

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Sähkötekniikan osasto

Marko Luoma

**ATM-KYTKENTÄLAITTEIDEN SUORITUSKYVYN  
MITTAUS**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 6.6.96

Työn valvoja

Professori Kauko Rahko

Työn ohjaaja

TkT Kalevi Kilkki

Tekijä: Marko Luoma

Työn nimi: ATM-kytkentälaitteiden suorituskyvyn mittaust

Päivämäärä: 6.6.96

Sivumäärä: 94

Osasto: Sähkötekniikan osasto

Professuuri: S-38 Teletekniikka

Työn valvoja: Professori Kauko Rahko

Työn ohjaaja : TkT Kalevi Kilkki

Tämä tutkimus on käsittelee ATM-kytkentälaitteiden suorituskykyä ja rakennetta lähinnä mittausten pohjalta. Samalla esitetään kriteerejä ATM-mittalaitteelle, jota käytetään liikennemittauksiin ja liikenneteoreettisten ongelmien tutkimiseen sekä selostetaan käytettyä mittaussympäristöä ja laitteistoa.

ATM ja ATM-mittaukset ovat suhteellisen uusi aluevaltaus tietoliikennetekniikassa. ATM-mittauksia on tehty tuotekehitys- ja tutkimusmielessä hyvin kapealla alueella. Tämä johtuu siitä, että ATM-liikenteelle ei ole kattavaa kuvausta ja siten mitattavat asiat ovat keskittyneet ei liikennekriittisiin ongelmiin. Mittauksia, joilla pyritään arvioimaan kytkentälaitteiden suorituskykyä, on tehty muutamissa laboratorioissa maailmalla. Mittaukset ovat kuitenkin keskittyneet teoreettisten tulosten verifiointiin tai spesifisten ongelmien ratkomiseen edellä mainituista syistä johtuen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan suorituskyvyn vaikuttavia tekijöitä sekä joitakin näistä esitetään mittausten kautta.

ATM-kytkentälaitteen suorituskyvyn mittauksista esitellään informaation siirtoon liittyvien parametrien mittauksiin käytettävät mittaussytkennät ja esimerkkitulokset. Suorituskyvyn vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan seuraavilta näkökulmilta: siirtoviive, parametrivalvonta ja puskurointi. Mittauskytkennät ovat yksinkertaisia, luonteeltaan yleispäteviä ja tarkoitettuja antamaan perusnäkemys lähestymistapaan.

Yhteenvedon mittaustuloksista voidaan sanoa, että käytetty laitteisto vastasi ennako-odotuksia. Tulokset kytkentäviiveen mittauksista olivat ehkä odotettua

paremmat. Liikenteen hallinnan mittaukset osoittivat, että liikenteen käyttäytymistä ja sen mallintamista mittalaitteelle sopivaan muotoon tulee kehittää. Mittaukset olisivat vaatineet huomattavasti moninaisempia lähestymistapoja kuin käytetty puhdas on/off -lähde. Toisaalta usean on/off-lähteen superpositio mallintaa ehkä parhaiten ATM-liikenteen fraktaalista käytöstä, tätä superpositioliikennettä olisi ollut syytä tarkastella virtuaaliväylän parametrivalvonnalla.

Avainsanat: ATM, B-ISDN, Liikennemittaus, Suorituskyky, UPC

Author: Marko Luoma

Name of the thesis: Performance measurements of ATM switching systems

Date: 6.6.96

Number of pages: 94

Faculty: Electrical Engineering

Professorship: S-38 Telecommunications Technology

Supervisor: Professor Kauko Rahko

Istructor : Dr. Kalevi Kilkki

This thesis is review of the ATM switching systems and their performance. Other as valuable topic as the performance analysis is verification and requirements of the ATM measurement systems. Some criteria for the unit which is used for the traffic analysis is presented.

ATM and ATM measurements are rather new area in the telecommunications technology. So far ATM measurements have been accomplished as a part of product development. This has lead the view to the very narrow area of ATM measurements. This largely due to the fact that there is no clear picture about the ATM traffic and how to model and implement it to the measurement tools. There have been some performance tests between different ATM switching systems but their perspective have been more or less in the area of data communications. This thesis tries to give larger perspective to the problem we are dealing with the traffic management and performance.

From the performance measurements, parameters which have relation to the information transfer are presented and respective ways to measure them. Parameters considered here are transfer delay, usage parameter control and buffering. Measurements have been done in manner that they give short insight to the idea.

Keywords: ATM, B-ISDN, Traffic Measurement, Performance, UPC

## **ALKULAUSE**

Tämä diplomityö on syntynyt Teknillisen korkeakoulun Teletekniikan laboratoriossa suorittamani tutkimuksen ja työn tuloksien pohjalta. Tutkimus on osa laboratoriossa alkanutta projektia, jossa on tarkoitus tutkia ATM-liikenteen luonnetta sekä etsiä keinoja liikenteen hallintaan ja verkkosuunnitteluun. Tutkimus on ollut eräänlainen perehdyttäminen liikenteen mittauksiin ja ongelmiin, joita esiintyy nopeissa tietoliikenneverkoissa.

Diplomityön ohella viimeisen vuoden ponnistuksiin kuului tutkimusverkon rakentaminen ja ideointi. Verkon rakentaminen antoi runsaasti tietoa ongelmista, joita esiintyy, kun uutta tekniikkaa hyödynnetään. Laboratorion tutkimusympäristö käsittää nykyään kaksi ATM-vaihdetta, neljä työasemaa, kuvan kompressio- ja dekompressiolaitteiston, verkkoemulaattorin ja mittalaitteen. Näiden laitteiden valinta ja asentaminen on osaltaan auttanut ymmärtämään liikenteen hallinnan ja suorituskyvyn ongelmia.

Professori Rahkoa kiitän uskosta ja luottamuksesta tätä tutkimustyötä kohtaan. Hänen kannustava asenteensa on tehnyt mahdolliseksi edellä mainitun tutkimusympäristön rakentamisen ja siten tämän diplomityön syntymisen.

Ohjaajalleni TkT Kalevi Kilkkille kuuluu kunnia lukuisista neuvoista, joita olen tutkimuksen eri vaiheissa häneltä saanut. ATM-liikenteen salat ovat moninaiset, ja ilman kokeneen tutkijan ohjausta olisi tämä diplomityö jäänyt varsin pintapuoliseksi.

Lisäksi kiitos kaikille niille, jotka ovat omalta osaltaan tehneet tämän tutkimuksen ja diplomityön mahdolliseksi.

Espoossa 6.6.96

Marko Luoma

---

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>ALKULAUSE</b>	<b>I</b>
------------------	----------

---

<b>SISÄLLYSLUETTELO</b>	<b>II</b>
-------------------------	-----------

---

<b>LUETTELO KUVISTA JA TAULUKOISTA</b>	<b>V</b>
--	----------

---

<b>SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO</b>	<b>VII</b>
------------------------------------	------------

---

<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
-----------------	----------

---

<b>1 ATM-VERKKO JA -LIIKENNE</b>	<b>2</b>
----------------------------------	----------

---

1.1 LAAJAKAISTAINEN MONIPALVELUVERKKO	2
1.2 ATM	3
1.3 LIIKENNE ATM-VERKOSSA	4
1.4 TILASTOLLINEN KANAVOINTI	7
1.5 VERKKOPARAMETRIT JA PALVELUN LAATU	10
1.5.1 B-ISDN -VERKON SUORITUSKYKY	10
1.5.2 PALVELUN LAATUPARAMETRIT	11
1.5.3 PALVELUN LAATULUOKAT	13

<b>2 KYTKENTÄLAITTEET JA NIIDEN RAKENNE</b>	<b>15</b>
---	-----------

---

2.1 ATM-KYTKENTÄLAITE	15
2.2 TULOMODUULI	16
2.3 LÄHTÖMODUULI	17
2.4 KYTKENTÄKENTTÄ	18
2.4.1 JAETUN MUISTIN KYTKENTÄKENTTÄ	19
2.4.2 JAETUN MEDIAN KYTKENTÄKENTTÄ	20
2.4.3 TÄYSINKYTKETYT KYTKENTÄKENTÄT	21
2.4.4 TILAKYTKENTÄINEN KYTKENTÄKENTTÄ	22
2.5 PUSKUROINTI	23
2.5.1 TULOPUSKUROINTI	23
2.5.2 LÄHTÖPUSKUROINTI	24
2.5.3 JAETTU PUSKUROINTI	24
2.6 YHTEYKSIEN HYVÄKSYMINEN JA HALLINTA	25
2.7 JÄRJESTELMÄNHALLINTA	26
2.7.1 KONFIGURAATIO	26
2.7.2 VERKKOTOPOLOGIA	26
2.7.3 YHTEYKSIEN SEURANTA	26

---

2.7.4 SUORITUSKYKY	27
2.7.5 LASKUTUS	27
2.7.6 SUOJAUS JA SALAUS	28
2.7.7 VIKATILANTEIDEN HALLINTA	28
<b>3 ATM-MITTAUKSET</b>	<b>30</b>
<b>3.1 MIKSI MITTAUKSIA SUORITETAAN</b>	<b>30</b>
<b>3.2 MITÄ MITATAAN</b>	<b>31</b>
3.2.1 OMINAISUUSKOKOELMAT	31
3.2.2 SUORITUSKYKY	31
<b>3.3 ATM-MITTALAITTEEN VAATIMUKSIA</b>	<b>32</b>
<b>3.4 KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO</b>	<b>34</b>
3.4.1 ATM-VAIHDE	34
3.4.2 ATM-MITTALAITTE [38]	35
<b>3.5 MITTALAITTEEN VERIFOINTI</b>	<b>37</b>
3.5.1 YHTEENVETO REFERENSSIMITTAUSTEN TULOKSISTA	40
<b>4 KYTKENTÄVIIVEET</b>	<b>42</b>
<b>4.1 SIIRTOYHTEYDEN VIIVE [26]</b>	<b>42</b>
<b>4.2 SOLUN KYTKENTÄVIIVE KYTKENTÄLAITTEESSA</b>	<b>42</b>
4.2.1 TULOMODULISTA AIHEUTUVA VIIVE	43
4.2.2 KYTKENTÄKENTÄSTÄ AIHEUTUVA VIIVE	44
4.2.3 LÄHTÖMODULISTA AIHEUTUVA VIIVE	44
<b>4.3 KYTKENTÄVIIVEEN MITTAUS</b>	<b>44</b>
<b>4.4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ KYTKENTÄVIIVEEN MITTAUSTULOKSISTA</b>	<b>47</b>
<b>5 LIIKENTEEN HALLINNAN MITTAUKSIA</b>	<b>49</b>
<b>5.1 YLIKUORMAN HALLINTA</b>	<b>49</b>
5.1.1 MITTAUS 1: IDENTTISTEN CBR-YHTEYKSIEN KARSIMINEN	50
5.1.2 MITTAUS 2: IDENTTISTEN VBR-YHTEYKSIEN KARSIMINEN	51
5.1.3 MITTAUS 3: IDENTTISTEN UBR-YHTEYKSIEN KARSIMINEN	52
5.1.4 YHTEENVETO TULOKSISTA	53
<b>5.2 LIIKENTEEN OHJAUS</b>	<b>53</b>
<b>5.3 LIIKENNEPARAMETRIEN VALVONTA</b>	<b>54</b>
5.3.1 PARAMETRIVALVONTA KANAVATASOLLA	57
5.3.2 PARAMETRIVALVONTA VÄYLÄTASOLLA	62
5.3.3 YHTEENVETO TULOKSISTA	62
<b>6 PUSKUROINNIN MITTAUKSIA</b>	<b>64</b>
<b>6.1 PUSKUROINTITEKNIKOIDEN VAIKUTUS SUORITUSKYKYYN</b>	<b>64</b>
6.1.1 TULOPUSKUROINNIN SUORITUSKYKY	65
6.1.2 LÄHTÖPUSKUROINNIN SUORITUSKYKY	66
<b>6.2 PUSKURIEN KOKO JA JAKOPERUSTE</b>	<b>67</b>
6.2.1 YKSI FIFO-JONO	67
6.2.2 RINNAKKAISET JONOT	67
<b>6.3 PUSKURIEN MITTAAMINEN</b>	<b>69</b>

6.3.1 PUSKURIN SIJAINNIN MITTAAMINEN	69
6.3.2 PUSKURIN KOON MITTAAMINEN	70
<b>6.4 YHTEENVETO PUSKUROINNIN MITTAUKSISTA</b>	<b>71</b>
<b><u>YHTEENVETO</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b><u>LÄHDELUETTELO</u></b>	<b><u>74</u></b>
<b><u>LIITE 1. ATM-PROTOKOLLAN VIITEMALLI</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b><u>LIITE 2. AX/4000:N STATISTIIKKATIEDOSTO</u></b>	<b><u>92</u></b>



## LUETTELO KUVISTA JA TAULUKOISTA

<i>Kuva 1-1</i> ATM-solun rakenne. Vasemmalla solu UNI-rajapinnalla ja oikealla solu NNI-rajapinnalla. [27, 36]	3
<i>Kuva 1-2</i> Verkko- ja palvelusuunnittelun ongelma [23]	5
<i>Kuva 1-3</i> Tilastollinen kanavointi	7
<i>Kuva 1-4</i> On/off-yhteyksien lukumäärä väylän nopeuden funktiona	8
<i>Kuva 1-5</i> Yhteyksien kanavointi ja kanavointiesto	9
<i>Kuva 1-6</i> Verkon rajapinnat ja niillä määriteltävät suorituskykyarvot [25]	11
<i>Kuva 1-7</i> Todennäköisyystiheysmalli solun siirtoviiveelle [32]	12
<i>Kuva 1-8</i> Soluvirhesuhde bittivirhesuhteen funktiona	13
<i>Kuva 2-1</i> ATM-kytkentälaitteen lohkokaavio [1]	16
<i>Kuva 2-2</i> Tulomoduulin lohkokaavio	16
<i>Kuva 2-3</i> UTOPIA-rajapinta [34]	17
<i>Kuva 2-4</i> Lähtömoduulin lohkokaavio	18
<i>Kuva 2-5</i> KytKentäkentän lohkokaavio	18
<i>Kuva 2-6</i> Jaetunmuistin kytkentäkenttä [10]	19
<i>Kuva 2-7</i> Jaetun muistin nopeusvaatimus.	20
<i>Kuva 2-8</i> Jaetun median kytkentäkenttiä [10]	21
<i>Kuva 2-9</i> Täysinkytketty kytkentäkenttä [1]	22
<i>Kuva 2-10</i> Tilakytketty kytkentäkenttä [4]	23
<i>Kuva 2-11</i> Tulopuskuroitu kytkin [3]	24
<i>Kuva 2-12</i> Lähtöpuskuroitu kytkin [3]	24
<i>Kuva 2-13</i> Jaetulla puskurilla toteutettu kytkin [3]	25
<i>Kuva 3-1</i> Fore ASX-200 ATM-vaihte	34
<i>Kuva 3-2</i> AMIn juuritaso	35
<i>Kuva 3-3</i> Generaattorin vuokaavio (vaaleat tekstilaatikot eivät ole aktiivisia)	36
<i>Kuva 3-4</i> Liikenneprosessin määrittelyikkuna	36
<i>Kuva 3-5</i> Analysaattorin vuokaavio (vaaleat tekstilaatikot eivät ole aktiivisia)	37
<i>Kuva 3-6</i> Referenssiarvojen mittauskytkentä	38
<i>Kuva 3-7</i> Solugeneraation tasaisuuden mittaustulokset	38
<i>Kuva 3-8</i> Poisson-prosessin väliaikajaus	39
<i>Kuva 3-9</i> Poisson-prosessin väliaikajaukauman suhdeluvut	40
<i>Kuva 4-1</i> Minimikytkentäviiveen mittauskytkentä	45
<i>Kuva 4-2</i> Solun siirtoviive eri kuormituksilla.	46
<i>Kuva 4-3</i> Yksipiste-CDV ja kaksipiste-CDV [26]	47
<i>Kuva 4-4</i> Solun kytkentäviiveen vaihtelu eri kuormituksilla.	47
<i>Kuva 5-1</i> EPD- ja PPD-algoritmien toimintatapa [39]	50
<i>Kuva 5-2</i> Mittauskytkentä solukarsinnan mittaukselle.	51
<i>Kuva 5-3</i> CDR eri yhteyksillä	51
<i>Kuva 5-4</i> CDR eri yhteyksillä	52
<i>Kuva 5-5</i> CDR eri yhteyksillä	52
<i>Kuva 5-6</i> Resurssien hallintasolun kulkeminen läpi verkon ABR-palvelussa	53
<i>Kuva 5-7</i> GCRA-algoritmin toteutustapoja [29]	55
<i>Kuva 5-8</i> Dual Leaky Budget rakenne	56
<i>Kuva 5-9</i> Solunopeuksien merkitykset ja suhteet	57
<i>Kuva 5-10</i> Parametrivalvonnan mittauskytkentä	58
<i>Kuva 5-11</i> UPC-prosessin hyvyysluku (F) erilaisilla parametrivariaatioilla.	59
<i>Kuva 5-12</i> UPC-prosessin hyvyysluku (F) on/off-purskeilla	60
<i>Kuva 5-13</i> CDR: kytkentälaitteessa $\gamma I_{(UPC)}$ ja mittalaitteen referenssi $\gamma M_{(REF)}$	60
<i>Kuva 5-14</i> CDR: kytkentälaitteessa $\gamma I_{(UPC)}$ ja mittalaitteen referenssi $\gamma M_{(REF)}$	61
<i>Kuva 5-14</i> CDVT:n vaikutus läpi menevään solunopeuteen.	61
<i>Kuva 5-15</i> Sopimuksen PCR-nopeuden vaikutus läpi menevään solunopeuteen	61
<i>Kuva 6-1</i> Keskimääräinen odotusaika tulopuskuroidussa kytkimessä	65
<i>Kuva 6-2</i> Keskimääräinen odotusaika lähtöpuskuroidussa kytkimessä	66

<b>Kuva 6-3</b> FIFO-puskurointitekniikka	67
<b>Kuva 6-4</b> Rinnakkaisten jonojen puskurointitekniikka	68
<b>Kuva 6-5</b> Prioriteettityypit ja niiden määräytyminen [13]	68
<b>Kuva 6-6</b> Puskurin sijainnin ja koon mittauskytkentä	69
<b>Kuva 6-7</b> Jonon pituuden mittaus ylivuotomenetelmällä	71

<b>Taulukko 1-1</b> Eri palveluiden vaatimukset siirtoyhteydelle	2
<b>Taulukko 1-2</b> B-ISDN verkon suorituskykyparametrit [25]	10
<b>Taulukko 1-3</b> ATM-kerroksen palvelun laatuparametrit [26, 32]	11
<b>Taulukko 5-1</b> Yhteyksien liikenneparametrit	50
<b>Taulukko 5-2</b> Yhteyksien liikenneparametrit	51
<b>Taulukko 5-3</b> Yhteyksien liikenneparametrit	52
<b>Taulukko 5-4</b> Virtuaalikanavien liikenneparametrit	58

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### A

AAL	ATM Adaption Layer ATM-sovituserros
ABR	Available Bit Rate Käytettävissä oleva bittinopeus
ATM	Asynchronous Transfer Mode Tahdistamaton toimintamuoto

### B

BER	Bit Error Rate Bittivirhesuhde
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network Laajakaistainen monipalveluverkko
B-ISUP	Broadband Integrated Services User Part B-ISDN -käyttäjäosa
BT	Burst Tolerance Pursketoleranssi

### C

CAC	Connection Admission Control Yhteyden hyväksymismenettely
CBR	Constant Bit Rate Vakio bittinopeus
CDR	Cell Discard Ratio Solun karsintasuhde
CDV	Cell Delay Variation Solun siirtoviiveen vaihtelu
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance Solun siirtoviiveen vaihtelun toleranssi
CER	Cell Error Ratio Soluvirhesuhde
CLP	Cell Loss Priority Soluhukka todennäköisyys
CLR	Cell Loss Ratio Soluhukkasuhde
CMIP	Common Management Information Protocol
CPCS	Common Part Convergence Sublayer Konvergenssikerroksen yhteinen osa (AAL:n alaosa)
CRC	Cyclic Redundancy Check Tarkistussumma
CS	Convergence Sublayer Konvergenssikerros
CTD	Cell Transfer Delay Solun siirtoviive

### E

EFCI	Efficient Forward Congestion Indication Koetun eston ilmaisu
EPD	Early Packet Discard Ennakoiva pakettien karsinta
ETSI	European Telecommunications Standards Institute Euroopan telealan standardointi elin

**G**

GCRA	Generic Cell Rate Algoritm Solunopeuden tarkkailualgoritmi
GFC	Generic Flow Control Vuon ohjaus

**H**

HEC	Header Error Control Otsikon virheen korjaus
-----	---

**I**

IAT	Inter Arrival Time Kahden peräkkäisen solun saapumisaikojen erotus
ILMI	Interim Local Management Interface Väliaikainen hallintaliityntä
ISO	International Standardisation Organisation Kansainvälinen standardointi elin
ITU-T(SS)	International Telecommunications Union - Telecommunications (Standardiation Sector) Kansainvälinen telealan standardointielin

**M**

MBS	Maximum Burst Size Maksimaalinen pusrkeen koko
MCR	Minimum Cell Rate Minimi solunopeus

**N**

NPC	Network Parameter Control Verkkoparametrien valvonta
nrt-VBR	Non-Real-Time Variable bit Rate Ei reaaliaikainen muuttuva bittinopeus

**O**

OSI	Open System Interconnection Avointen järjestelmien yhteenliittämismalli
-----	--

**P**

PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy Plesiokroninen digitaalinen hierarkia
PICS	Protocol Implementation Conformance Statement Protokollan toteutusmäärittysten kokoelma
PMD	Physical Media Dependent sublayer Mediariipuva osakerros
PPD	Partial Packet Discard Reaktiivinen pakettien karsiminen
PT	Payload Type Hyötykuorman tyyppi

**Q**

QoS	Quality of Service Palvelun laatu
-----	--------------------------------------

**R**

rt-VBR Real-Time Variable Bit Rate  
Reaaliaikainen muuttuva bittinopeus

**S**

SAAL Signaling ATM Adaption Layer  
Merkinannon sovituserros

SAR Segmentation and Reassembly  
Lohkomis- ja kokoamiskerros

SCR Sustainable Cell Rate  
Keskimääräinen solunopeus

SDH Synchronous Digital Hierarchy  
Synkroninen digitaalinen hierarkia

SNMP Simple Network Management Protocol

SSCF Service Specific Coordination Function  
Palveluriippuvien hallintafunktioden joukko

SSCOP Service Specific Connection-Oriented Protocol  
Palveluriippuva yhteyspohjainen protokolla

SSCS Service Specific Convergence Sublayer  
Palveluriippuva konvergenssikerros (AAL:n ylempi osakerros)

STM Synchronous Transport Module  
Synkroninen siirtokontti

SVC Switched Virtual Circuit  
Kytkeäminen virtuaalikanava

**T**

TAXI Transparent Asynchronous Transmitter/Receiver Interface  
Läpinäkyvä tahdistamaton lähetin ja vastaanotin liittymä

TCP Transmission Control Protocol  
Siirron valvontaprotokolla

TCS Transmision Convergence Sublayer  
Siirtojärjestelmä riippuvainen kerros

**U**

UBR Unspecified Bit Rate  
Määrittelemättömän bittinopeuden yhteys/lähde

UDP User Datagram Protocol  
Sanomapohjainen protokolla

UPC Usage Parameter Control  
Käyttäjäparametrien valvonta

UTOPIA Universal Test & Operations PHY Interface for ATM  
Fyysisen ja ATM-kerroksen välinen rajapinta

**V**

VBR Variable Bit Rate  
Muuttuva bittinopeus

VCI Virtual Circuit Identifier  
Virtuaalikanavan tunniste

VPI Virtual Path Identifier  
Virtuaaliväylän tunniste

## JOHDANTO

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) on ITU-T:n (*International Telecommunication Union*) standardisoiman B-ISDN (*Broadband Integrated Services Digital Network*) -verkon siirtomuoto. ATM:n tulisi mahdollistaa erilaisten palveluiden välittämisen yhdessä verkossa. Se miten tekniikka tullaan lopulta käyttämään ja minkälaisia palveluita sen yli tullaan välittämään tulee ratkaisevasti vaikuttamaan myös kytkentälaitteilta vaadittaviin ominaisuuksiin.

Suorituskyky on käsite, joka usein nostetaan esille, kun erilaisia ja erimerkkisiä laitteita vertaillaan. Suorituskyvyn mittaaminen on perinteisesti jakautunut kahteen osaan: tehokkuuden ja luotettavuuden mittaamiseen. Tehokkuus ATM:n tapauksessa on pitkälti kapasiteetti- ja viivepainotteista. Luotettavuus vastaavasti riippuu suoraan virhetiloista, joita esiintyy laitteiden toiminnassa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää ATM-kytkentälaitteiden suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä sekä valottaa niiden analysoinnissa tarvittavia mittauksia. Tutkimuksessa pyritään esittämään muutamia yleisiä mittauksia kytkentälaitteiden erilaisille ominaisuuksille. Työn keskeinen, vaikkakin varsin lyhyt, osa on selostus verkko- / mittaussympäristöstä, joka vaaditaan kunnollisten mittausten suorittamiseen. Kyseisen ympäristön kehittäminen onkin ollut keskeinen osa työtä.

Luvussa 1 keskitytään suorituskyvyn, palvelun laadun ja tason määrittelyihin. Esillä on tilastollisen kanavoinnin vaikutus suorituskykyyn ja sitä kautta palvelun laatuun ATM-verkossa. Luku 2 keskittyy ATM-kytkentälaitteiden rakenteeseen. Siinä kuvataan ATM-kytkentälaitteen rakennetta sekä sitä, miten eri osat vaikuttavat kokonaissuorituskykyyn. Luku 3 käsittelee mittalaitteita ja niille asettavia vaatimuksia. Kappaleessa esitetään muutamia tapoja arvioida laitteen toiminnan tarkkuutta. Luvussa 4 keskitytään suorituskykyparametreista kytkentäviiveeseen. Kytkentäviivettä tarkastellaan kytkentäkentän kuormituksen funktiona. Luku 5 keskittyy liikenteen hallintaan ja sen tarkasteluun mittausten avulla. Liikenteen hallintafunktioista parametrivalvonta on keskeisimmin esillä. Luku 6 käsittelee puskurointia. Puskuroinnille esitetään teoreettiset tarkastelumallit, joiden lisäksi esitetään muutamia mittaumenetelmiä puskurien koon ja sijainnin ratkaisemiseksi.

# 1 ATM-VERKKO JA -LIIKENNE

## 1.1 LAAJAKAISTAINEN MONIPALVELUVERKKO

ITU-T:n määrittelemän laajakaistaisen monipalveluverkon [24] (*Broadband Integrated Services Digital Network - B-ISDN*) tulisi kyetä välittämään yhdessä verkossa kaikki - niin kotitalouksien kuin liikemaailman - telepalvelut. Nämä hyvinkin erilaiset palvelut asettavat välittäville verkolle myös erilaiset vaatimukset. Puhelinpalvelut käyttävät kapeakaistaista (64 kbit/s), vakionopeuksista ja yhteydellistä informaation siirtoa. Puheen ymmärtämisen kannalta on viiveiden merkitys ratkaiseva. Datan siirto on perinteisesti raskasprotokollaista ja luonteeltaan yhteydellistä tai yhteydetöntä. Se ei ole herkkää viiveille, mutta vaatii hyvää virhesuhdetta. Videoneuvottelu ja videokuvansiirto vaativat suuren kaistanleveyden ja tasaisen yhteyden laadun. Näiden eri tyyppisten palveluiden integrointi yhdeksi B-ISDN -verkoksi vaatii koko verkkoinfrastruktuurin massiivista uudelleenjärjestelyä.

**Taulukko 1-1** Eri palveluiden vaatimukset siirtoyhteydelle

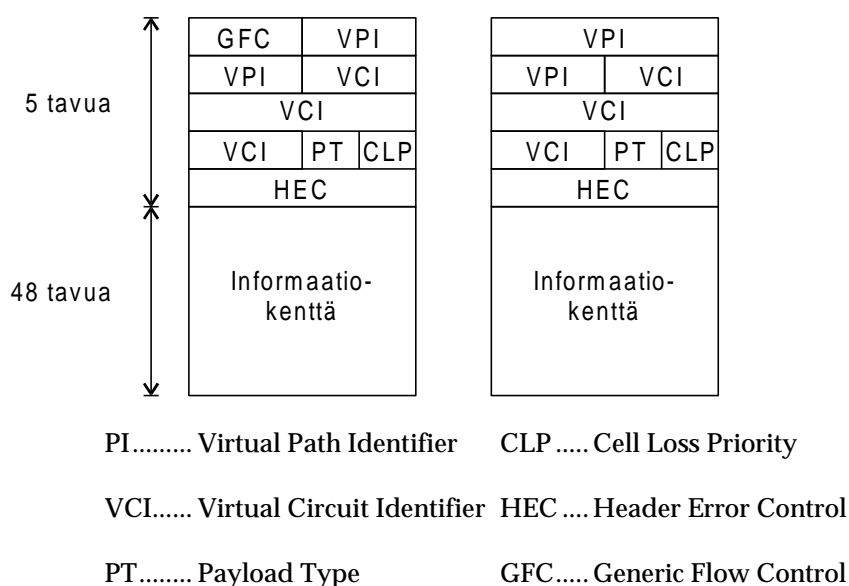
	<b>Puhelin</b>	<b>Data</b>	<b>Video</b>	<b>Videoneuvot.</b>
<b>Yhteydellinen</b>	On	On	Ei	On
<b>Yhteydetön</b>	Ei	On	On	Ei
<b>Viiveherkkyys</b>	Suuri	Pieni	Ei	Suuri
<b>Herkkyys viiveen vaihtelulle</b>	Suuri	Ei	Suuri	Suuri
<b>Kaistanleveys</b>	Pieni	Kohtalainen	Suuri	Suuri
<b>Vakio bittinopeus (CBR)</b>	On	Ei	On	On
<b>Vaihteleva bittinopeus (VBR)</b>	Ei	On	Ei	On

Perinteinen puhelinverkko perustuu piirikytkentäiseen välitystekniikkaan, joka näytetään soveltuvan B-ISDN -verkkoon, koska välitettävät tietokokonaisuudet ovat vaihtelevia sekä mitaltaan että nopeudeltaan. Nämä ominaisuudet ovat siirtäneet katseet pakettimuotoiseen tiedonsiirtoon, jossa välitettävä paketti on pieni vakiomittainen solu.

## 1.2 ATM

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) on kytkentä- ja välitystekniikka, jossa aikajakoinen kanavointi suoritetaan tahdistamattomasti. Kanavoitavilla yhteyksillä ei näin ole sidottua relaatiota siirtojärjestelmän aikaväleihin tai lohkoihin.

ATM:n perusideana on eri informaatiotyyppien yhdistäminen samaan kanavaan. Tämä toteutetaan bittivirtojen pilkkomisella ja paketoimisella 53 tavun soluiksi. Solut ovat täysin itsenäisiä informaatioyksiköitä, sillä niissä on informaation lisäksi tarpeelliset reititys- ja hallintatiedot. Solu sisältää 48 tavua informaatiota ja 5 tavun otsikkokentän.



**Kuva 1-1** ATM-solun rakenne. Vasemmalla solu UNI-rajapinnalla ja oikealla solu NNI-rajapinnalla. [27, 36]

Koska solu on pienikokoinen, ei yhteydellä muodostu suuria informaation paketoitviiveitä. Määrämittaisen solun käsittely on helppoa integroida laitteisiin, soluja pystytään myös prosessoimaan nopeammin kuin jatkuvaa bittivirtaa - näin päästään nopeampaan kytkentään. Tämä johtaa ATM-laitteiden suureen suorituskyykyyn. ATM-tekniikan avulla päästään terabittien tiedonsiirtonopeuksiin.

ATM on kuvattu kerroksittaisena standardina. OSI (*Open System Interconnection*) -mallissa ATM-protokollaviitemallin käyttäjätaso asettuu pinon kahdelle ensimmäiselle kerrokselle.



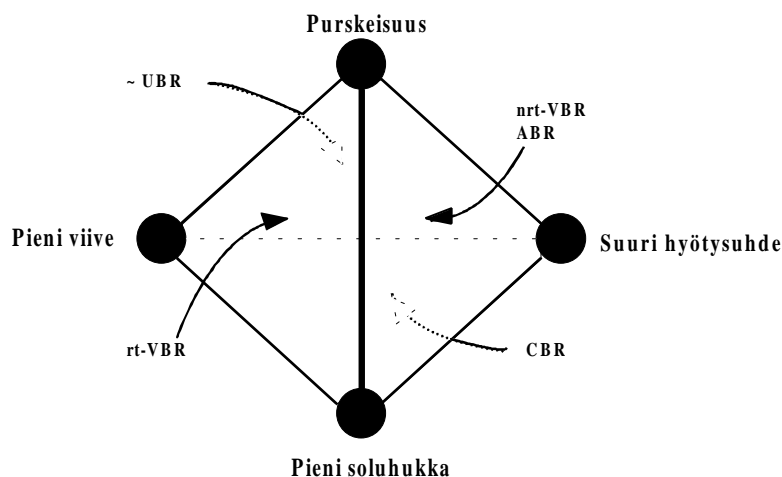
ATM-protokollaviitemalli on jaettu käyttäjä-, ohjaus- ja hallintatasoon. Käyttäjätaso on vastuussa solujen generoinnista, välittämisestä ja kytkennästä. Ohjaustasolla ollaan vastuussa yhteyden muodostamisesta ja purkamisesta erilaisten merkinantoprotokollien avulla. Hallintataso on vastuussa päätöksistä, joita verkon erilaiset laitteet tekevät. Se valvoo vikatilanteita, verkon konfiguraatiota, suorittaa laskutusinformaation keräämistä ja käsittelee OAM (*Operation And Maintenance*) -solujen informaatiota.

Jokainen taso on puolestaan jaettu erinäisiin kerroksiin riippuen siitä onko kyseessä pääte- vai kytkentälaitte. Kerroksilla on kullakin oma tehtävänsä. Liitessä 1 on esitetty ATM-protokollaviitemallin mukainen kerrosrakenne ja kunkin kerroksen tehtävät.

### 1.3 LIIKENNE ATM-VERKOSSA

ATM-verkko on suunniteltu ratkaisemaan nykyisten verkkojen rajalliset mahdollisuudet välittää muitakin palveluja kuin ne mihin kyseinen verkko on suunniteltu. Nykysissä verkoissa välitettävällä liikenteellä on hyvin erilaisia ominaisuuksia (vrt. Taulukko 1-1). Ominaisuudet välittyvät myös kokonaisliikenteen jakaumaan, joka ATM:n tapauksessa eroaa varsin paljon erillisverkkojen tapauksesta. ATM:n kokonaisliikenteen mallintamiselle ja verkon mitoittamiselle ei ole olemassa helppoa ja yksinkertaista lähestymistapaa. Puhelinverkon mitoittamisesta [6] käytetyt Poisson-prosessiin perustuvat säännöt eivät päde, koska kokonaisliikenne on luonteeltaan fraktaalista ja siten lähes mahdotonta pukea suljettuun muotoon. [16]

Kun katsotaan taulukossa 1-1 kuvattujen palveluiden vaatimuksia, voidaan piirtää malli, joka yhdistää eri ominaisuuksia sekä verkko- ja palvelusuunnittelun lähtökohtaa - hyötysuhdetta. Kuva 1-2 esittää yhdessä muodossa kyseisen ongelman. Kuvasta nähdään, että yksittäinen palvelu ei voi käsittää kaikkia osaluokkia. Tämä on luonnollista, koska erittäin puskurinen liikenne yhdessä pienen soluhukan kanssa tarkoittaa, joko suurta puskurointia tai alhaista hyötysuhdetta. Mikäli molemmista halutaan pitää kiinni joudutaan väistämättä kompromissiin, jossa puskuroidaan (lisätään viiveitä) ja lasketaan verkon hyötysuhdetta suorittamalla varaus suuremmalle nopeudelle.



**Kuva 1-2** Verkko- ja palvelusuunnittelun ongelma [23]

Yhteydet ATM-verkossa ovat sidonnaisia erilaisiin parametreihin. Parametreilla ilmoitetaan millaista palvelua verkolta pyydetään eli missä osassa kuvan tetraedriä ollaan. Seuraavassa on lyhyesti selostettuna ATM:n erilaiset palveluluokat. Esitetyt palveluluokat perustuvat ATM Forumin suosituksiin [32] ja eroavat ITU-T:n vastaavista nimiensä kohdalla.

CBR (*Constant Bit Rate*) -palveluluokka on tarkoitettu reaaliaikaisille, vakionopeuksisille sovellutuksille, jotka vaativat tarkkaa viivettä ja pientä viiveen vaihtelua. CBR-lähteillä saavutetaan hyvä hyötysuhde ja ne usein vaativat pientä soluhukkaa. CBR palvelua tarvitsevat lähteet lähettävät verkkoon jatkuvasti samalla nopeudella soluja - tyypillinen esimerkki on puhelin, joka lähettää informaatiota 64kbit/s nopeudella. CBR-yhteydelle neuvoteltavia parametreja ovat huippusolunopeus (*Peak Cell Rate ~ PCR*), solun siirtoviive (*Cell Transfer Delay ~ CTD*), solun siirtoviiveen vaihtelu (*Cell Delay Variation ~ CDV*) ja solujen kadotussuhde (*Cell Loss Ratio ~ CLR*).

rt-VBR (*Real-Time Variable Bit Rate*) -palveluluokka on tarkoitettu reaaliaikaisille, vaihtelevanopeuksisille sovellutuksille, jotka vaativat tarkkaa viivettä ja pientä viiveen vaihtelua. rt-VBR -lähteet ovat tyypillisesti arkoja soluhukalle mutta ovat purskeisia. Jotta soluhukka ei nousisi liian suureksi joudutaan niille varaamaan 'ylimääräistä' siirtokaistaa. Näin ollen siirtotien hyötysuhde jää heikommaksi alhaisemman kanavointitehokkuuden takia. rt-VBR palvelua tarvitsevat lähteet, esimerkiksi kompressoitu video, lähettävät verkkoon soluja vaihtelevalla nopeudella. Näin toimittaessa on verkossa - koodaustavasta

riippuen - muutaman megabitin pohjakuorma, mutta kuvan liikkussa voimakkaasti saattaa nopeus kasvaa kompressoimattoman kuvan tasolle. rt-VBR palvelu tarjoaa tilastollista kanavointia muiden **samaan luokkaan** kuuluvien lähteiden kanssa. Tämä ei kuitenkaan ole ainoa vaihtoehto, myös taattu välitys on mahdollista. rt-VBR -yhteydelle neuvoteltavia parametreja ovat huippusolunopeus (PCR), keskimääräinen solunopeus (*Sustainable Cell Rate ~ SCR*), purskeisuus (*Burst Tolerance ~ BT*), solun siirtoviive (CTD), solun siirtoviiveen vaihtelu (CDV) ja solun kadotussuhde (CLR).

Nrt-VBR (*Non-Real-Time Variable Bit Rate*) -palveluluokka on tarkoitettu **ei-reaaliaikaisille** sovellutuksille, jotka ovat luonteeltaan purskeisia sekä tarvitsevat pientä solujen kadotussuhdetta ja jossakin määrin rajallista siirtoviivettä. Nrt-VBR palvelua tarvitsevat lähteet lähettävät verkkoon soluja vaihtelevalla nopeudella GCRA:n (*Generic Cell Rate Algorithm*) mukaisesti. Nrt-VBR palvelu tarjoaa tilastollista kanavointia muiden lähteiden kanssa ja siten erittäin hyvää hyötysuhdetta verkon väylille. Nrt-VBR -yhteydelle neuvoteltavia parametreja ovat huippusolunopeus (PCR), keskimääräinen solunopeus (SCR), purskeisuus (BT) ja solun kadotussuhde (CLR).

ABR (*Available Bit Rate*) -palveluluokka ei sovellu reaaliaikaisille sovelluksille. ABR-lähteiden perusominaisuus on sopeutua ATM-verkon hetkittäisiin kuormitusmuutoksiin. Kuormitusta säädellään verkosta käsin RM (*Resource Management*)-soluilla, joiden sisältö kertoo sen hetkisen maksiminopeuden, jolla lähde voi lähettää soluja verkkoon. Näin ollen tämän tyyppin liikennelähteet eivät ole riippuvaisia hetkellisistä siirtonopeuksista vaan hyödyntävät esimerkiksi videokuvan siirrossa esiintyviä hiljaisen liikenteen jaksoja. Tyypillisiä esimerkkejä ovat tiedostojen siirto ja pääteyhteydet. ABR-yhteydelle neuvoteltavia parametreja ovat huippusolunopeus (PCR), minimisolunopeus (*Minimum Cell Rate ~ MCR*) ja solun kadotussuhde (CLR).

UBR (*Unspecified Bit Rate*) on palveluluokka, joka on tarkoitettu tietokoneyhteyksille sekä muille ei-reaaliaikaisille sovelluksille. Palveluluokan toimintaperiaate on 'Best-Effort', eli verkko ei takaa minkäänlaista palvelua UBR-lähteelle. UBR mahdollistaa erittäin tehokkaan tilastollisen kanavoinnin. UBR-yhteydelle ainut neuvoteltava parametri on huippusolunopeus (PCR).

#### 1.4 TILASTOLLINEN KANAVOINTI

Tahdistamattomana tiedonsiirtotapana ATM-liikenne on hankalaa käsitellä. ATM-verkon liikenteelle ei toistaiseksi ole yksinkertaista käyttäytymiskuvausta. Tämä onkin pakottanut turvautumaan tilastollisiin malleihin, joilla kokonaisliikenteen käyttäytymistä voidaan ennakoida jollakin tarkkuudella.

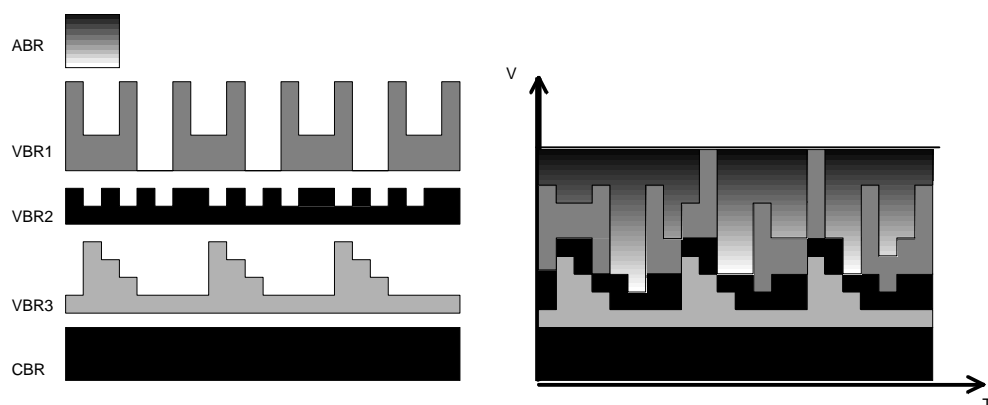
Tilastollinen kanavointi on eräs tapa hyödyntää ATM-verkkoa suuremmalla tehokkuudella kuin huippunopeuteen perustuvalla kanavoinnilla. Tilastollinen kanavointi perustuu ns. suurten lukujen lakiin, jonka keskeinen sisältö on seuraava:

*”Kun suuri määrä satunnaismuuttujan arvoja lasketaan yhteen ja jaetaan kyseisen satunnaismuuttujan arvojen lukumäärällä, saadaan tulokseksi, suurella todennäköisyydellä, likimain kyseisen satunnaismuuttujan odotusarvo.” [4]*

Sovellettuna ATM-liikenteeseen laki on seuraavanlainen:

*”Jos usealla vaihtelevanopeuksisella yhteydellä on huomattavasti pienempi keskimääräinen solunopeus kuin linkin nopeus, voidaan kyseisiä yhteyksiä kanavoida linkille siten, että niiden keskimääräisten solunopeuksien summa lähestyy linkin nopeutta.”*

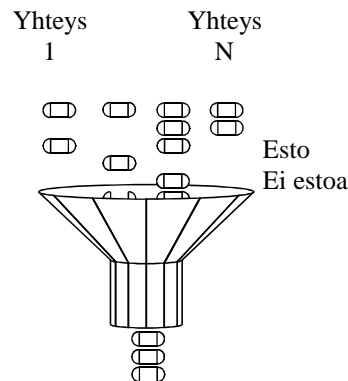
Kyseistä tekstiä on helppo tarkastella kuvan 1-3 avulla. Linkillä on nopeus ( $v$ ), joka ideaalisessa tapauksessa olisi myös maksimaalinen varauskapasiteetti. Suurten lukujen lain mukaan usean muuttuvanopeuksisen lähteen yhteenlaskettu nopeus keskiarvoistuu lähteiden keskiarvojen summaksi.



**Kuva 1-3** Tilastollinen kanavointi



siirtoyhteydelle, ja monelle palvelulle haitallinen siirtoviiveen vaihtelu kasvaa kilpailevien yhteyksien lukumäärän suhteessa.



**Kuva 1-5** Yhteyksien kanavointi ja kanavointiinfo

Tilastollinen kanavointi lisää siirtoviiveeseen komponentin, jota ei ole ollut huippunopeuteen perustuvassa kanavoinnissa. Tilastollinen kanavointi perustuu todennäköisyyteen, että useiden muuttuvanopeuksisten lähteiden yli ja ali keskinopeuden lähettämishetket osuvat kohdakkain ja näin nopeusvaihtelut keskiarvoistuvat pois. Jos lähteiden yhteisnopeus kasvaa yli linkin nopeuden, alkaa puskuroinnista aiheutuva tilastollinen kanavointiviive myös kasvamaan. Tällä on selvä vaikutus yhteyksien kokemaan palvelun laatuun.

CBR-pohjaiset piiriemuloidut yhteydet eivät kestä suuria siirtoviiveen vaihteluita, minkä vuoksi niitä ei saakaan ottaa huomioon tilastollista kanavointia muodostettaessa vaan niille on varattava linkiltä siirtokaistaa niiden tarpeen mukaisesti. Reaaliaikaiset VBR-yhteydet eivät niinkään kestä suuria viiveen vaihteluita. Siksi niitä saa kanavoida vain keskenään, jolloin tiedetään joka hetki kuormituksen aiheuttama palvelutaso. Normaaletta VBR-yhteyksiä kanavoitaessa ei tarvitse ottaa huomioon reaaliaikaisuuden reunaehtoja. Kyseisiä soluja voidaan viivästyttää kanavointitapahtumassa ilman pelkoa palvelutason heikentymisestä. UBR- ja ABR-solut ovat jo yhteyden muodostusvaiheessa määriteltävä kestävä tilastollisesta kanavoinnista aiheutuva viiveen summittamista vaihtelua.

Kuten edellä mainittiin ei liikenteen kaikkia komponentteja voida kanavoida vapaasti, tämä pakottaa jakamaan linkin kapasiteettia liikennekomponenttien mukaisille väylille. Linkin tilastolliseen kanavointiin vapaa nopeus, joka suurten lukujen lain mukaan tulee olla huomattavasti suurempi kuin yksittäisen lähteen

huippunopeus, pienenee väylien lukumäärän kasvaessa. Tämä vaikuttaa suoraan kanavoitavien lähteiden maksimi lukumäärään.

## 1.5 VERKKOPARAMETRIT JA PALVELUN LAATU

### 1.5.1 B-ISDN -verkon suorituskyky

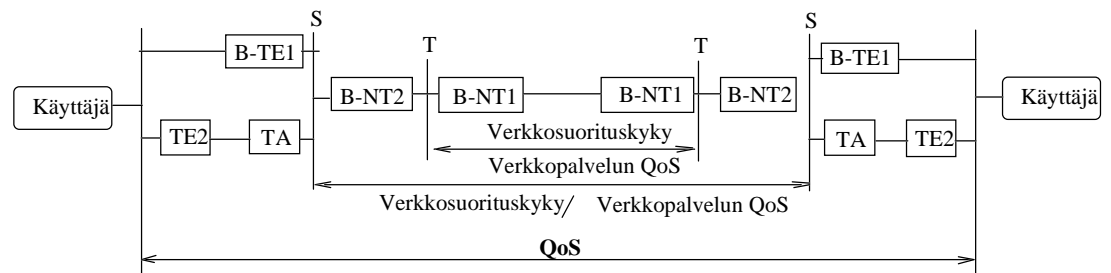
B-ISDN -verkolle on määritelty parametreja, joilla sen tarjoamaa palvelua voidaan tarkastella täysin numeerisessa muodossa. Parametrit ottavat huomioon niin yhteyden muodostamisen, purkamisen kuin varsinaisen informaation siirron. ITU-T on suosituksessa I.350 määritellyt erilaisia yleisiä suorituskykyparametreja, joita soveltamalla on mahdollista muodostaa yksittäisen verkon suorituskykyparametrit. Suosituksessa on kaavailtu B-ISDN -verkolle suorituskykyparametreiksi taulukon 1-2 mukaisia ominaisuuksia. Kuten taulukosta nähdään riippuvat kaikki verkkoparametrit enemmän tai vähemmän verkon kytkentälaitteista. Kytkentälaitteet muodostavat suurimman osan siirtoviiveestä sekä lähes yksinomaan yhteyden muodostamiseen ja purkamiseen kuluvan ajan. Verkon muut komponentit muodostavat vain pienen vakioviiveen sekä satunnaisen bittivirhelähteen.

**Taulukko 1-2** B-ISDN verkon suorituskykyparametrit [25]

<b>Yhteyden muodostus</b>		
Yhteyden muodostusviive	Väärinreitityssuhde	Kutsun hallintaesto
<b>Informaation siirtonopeus</b>		
Solun siirtoviive	Solun siirtoviiveen vaihtelu	Solun siirtokapasiteetti
<b>Informaation siirron tarkkuus</b>		
Soluvirhesuhde	Solulohkovirhesuhde	Solujen virhelisäysnopeus
<b>Siirron luotettavuus</b>		
Soluhukkasuhde		
<b>Yhteyden purku</b>		
Yhteyden purkuviive	Virheellisten purkujen suhde	Purunaikaisten virheiden suhde

### 1.5.2 Palvelun laatuparametrit

Palvelun laatu (*Quality of Service ~ QoS*) voidaan määrittellä, kuten kuva 1-6 osoittaa eri kohdissa verkkoa. Yleensä puhutaan päästä-päähän laadusta, jota mitataan päätelaitteen ATM-kerroksella. Palvelun laatua kuvataan joukolla parametreja, jotka on johdettavissa verkon tarjoamasta suorituskyvystä. Verkon suorituskykyparametrit ja palvelun laatu eroavat lähinnä huomioitavien laitteiden määrässä. Palvelun laadun tarkastelussa huomioidaan myös tilaajan hallitsemat laitteet, kuten vaihteet ja/tai päätelaitteet.



**Kuva 1-6** Verkon rajapinnat ja niillä määriteltävät suorituskykyarvot [25]

Palvelutaso (*Grade of Service ~ GoS*) on käyttäjän kokemus hetkellisistä esto ja varaustiloista johtuva subjektiivinen palvelun laatutaso. QoS ja GoS on syytä erottaa toisistaan, sillä ensimmäiseen voidaan vaikuttaa helposti muuttamalla yhteyden parametreja, mutta toinen onkin verkkosuunnittelun ja ihmisten psykologisen käyttäytymisen yhteistuotos, minkä ohjaaminen on käytännössä mahdotonta.

Palvelun laatuparametrit määrittelevät yhteydelle päästä-päähän tarjottavan verkkopalvelun tason. Laatuparametrit mitataan ATM-kerroksella käyttäjälle tulevasta soluvirrasta (On-Line) tai yhteydeltä irroitettuna segmenttinä (Off-Line). Laatuparametrit kuvaavat yhteyden tarkkuutta, tehokkuutta ja luotettavuutta. Laatuparametrit neuvotellaan yhteyden muodostusvaiheessa yhteyskohtaisesti. [26]

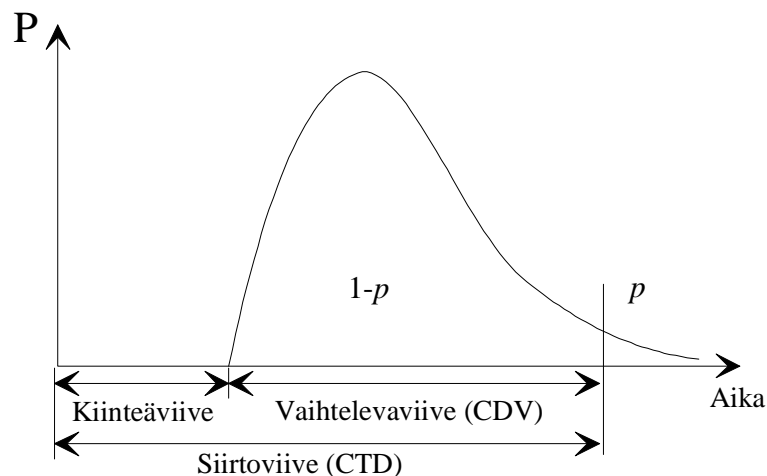
**Taulukko 1-3** ATM-kerroksen palvelun laatuparametrit [26, 32]

Neuvoteltavia parametreja	
Maksimi soluviiheen vaihtelu	CVD
Maksimi solun siirtoviive	Max CTD



Keskimääräinen solun siirtoviive	Mean CTD
Soluhukkasuhde	CLR
<b>Ei neuvoteltavia parametreja</b>	
Soluvirhesuhde	CER
Solulohkovirhesuhde	SECBR
Solujen virhelisäysnopeus	CMR

Taulukon 1-3 parametreista CDV (*Cell Delay Variation*) ja CLR (*Cell Loss Ratio*) ovat suoraan sidoksissa tilastolliseen kanavointiin. Tilastollinen kanavointi aikaansaa viiveitä ja ylikuormitustiloja, joissa soluja joudutaan karsimaan puskurien ylivuotaessa. Maksimaalinen siirtoviive ja maksimaalinen soluviiveenvaihtelu ovat sidoksissa toisiinsa kuvan 1-6 mukaisesti. Kuva pätee reaaliaikaisille palveluluokille CBR ja rt-VBR.

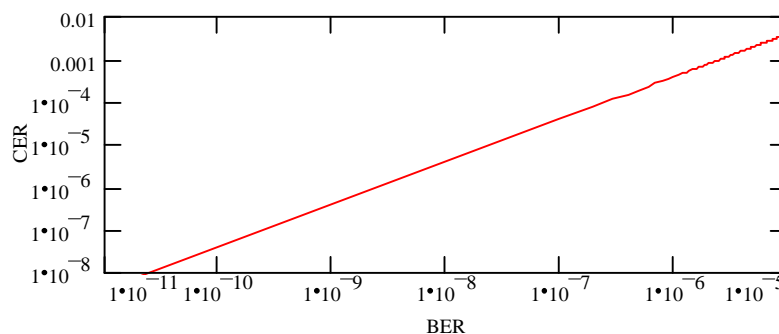


**Kuva 1-7** Todennäköisyysmalli solun siirtoviiveelle [32]

Kuvan parametri  $p$  on todennäköisyys sille, että solu saapuu vastaanottajalle liian myöhään. Reaaliaikaisille palveluille solun myöhässä saapuminen on yhtä harmillista kuin solun katoaminen. Reaaliaikaisia sovelluksia suorittavat päätelaitteet sisältävät puskurin, jolla kompensoidaan solujen siirrossa tapahtuvaa soluviiveen vaihtelua. Puskurin kokoa säädelään pahimman odotettavissa olevan solun siirtoviiveen mukaan. Jos siirtoviive on yli tämän, puskuri alivuotaa ja yhteyden laatu kärsii. Tämän vuoksi  $p$  tulisi mitoittaa yhtä pieneksi kuin sallittu soluhukkasuhde. [32]

Ei neuvoteltavat parametrit CER (*Cell Error Ratio*), SECBR (*Severely Errored Cell Block Ratio*) ja CMR (*Cell Missinsertion Rate*) ovat luonteeltaan 'yhteysvakioita'. Soluvirhesuhde määritellään virheellisten solujen suhteena kaikkiin soluihin, solulohkovirhesuhde virheellisten lohkojen suhteena kaikkiin solulohkoihin, solujen virhelisäysnopeus virheellisesti lisättyjen solujen lukumäärä suhteessa mittausvälin pituuteen. Solulohko on käsite, jota ei ole vielä sidottu mihinkään tiettyyn soluryhmän kokoon. Käytännössä tämä kuitenkin tullaan valitsemaan kahden peräkkäisen OAM-solun väliseksi ajaksi. [31, 32]

Soluvirheitä syntyy siirtojärjestelmän hetkellisistä virhetiloista, joita ATM:n tapauksessa ei sallita usein. Optisten järjestelmien tapauksessa siirron bittivirhesuhde on jatkuvasti pienentynyt ja tällä hetkellä voidaankin puhua  $10^{-12}$  bittivirhesuhteesta [5]. Bittivirhesuhteen vaikutus soluvirhesuhteeseen on nähtävissä kuvasta 1-8. Kuvassa esitetty käyrä edustaa tapausta, jossa bittivirheet ovat toisistaan riippumattomia, mikä ei useinkaan vastaa käytäntöä. Käytännön bittivirheet syntyvät purskeina, joita aiheuttavat fyysisen siirtotien väärä käsittely ja hetkelliset sähköhäiriöt siirtolaitteissa.



**Kuva 1-8** Soluvirhesuhde bittivirhesuhteen funktiona

### 1.5.3 Palvelun laatuluokat

Palvelun laatuluokat määrittelevät yksinkertaisen tavan asettaa yhteydelle tietyt laatuvaatimukset. Laatuluokkia käytetään silloin, kun päätelaite ei tue neuvotteluproseduuria tai laatuluokka on sellaisenaan sopiva yhteydelle. Perustana palvelun laatuluokille ovat kappaleen 1.3 palvelutavat sekä ITU-T:n määrittelemät palveluluokat (A, B, C, D ja X). [24, 32]

- Määriteltä QoS-luokka 1: Vastaa ITU-T:n palveluokkaa A ja tarjoaa nykyisiä digitaalisia vuokrajohtoja vastaavan palvelutason. (CBR)

- Määritelty QoS-luokka 2: Vastaa ITU-T:n palveluokkaa B. Tarkoitettu multimedia sovelluksille.
- Määritelty QoS-luokka 3: Vastaa ITU-T:n palveluokkaa C. Tarkoitettu yhteydellisille protokolille, kuten Frame Relay. (rt-VBR)
- Määritelty QoS-luokka 4: Vastaa ITU-T:n palveluokkaa D. Tarkoitettu yhteydettömille protokolille, kuten IP. (nrt-VBR)
- Määrittelemätön palveluokka: Vastaa ITU-T:n palveluluokkaa X. Palvelut välitetään ns. 'Best Effort'-palveluina eli niille ei taata minkäänlaista palvelua, mutta hiljaisina verkkojaksoina palvelua ei estetäkään. (UBR)