

3 ATM-MITTAUKSET

Seuraavat neljä lukua käsittelevät erilaisia mittauksia, niiden tarkoitusta ja niistä saatavaa informaatiota. Mittauksien valinnasta ja niiden osuvuudesta voidaan olla monta mieltä. Valittu osajoukko edustaa kirjoittajan mielestä keskeistä osaa suorituskykymittauksia. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi, mitä itseasiassa mitataan ja miksi. Lisäksi esitetään työssä käytetyn laitteiston keskeiset osat. Yleisen mittaustekniikan kannalta esitetään, mitä toimenpiteitä mittalaitteelle tulee tehdä ennen varsinaisia mittauksia.

3.1 MIKSI MITTAUKSIA SUORITETAAN

Pakettikytkentä on perinteistä piirikytkentää monimutkaisempaa. Pakettikytkennässä yksittäiset yhteydet eivät ole koko puhelun ajan estottomia, vaan niiden tila muuttuu jatkuvasti - noudattaen jotakin tilastollista mallia. Koska pakettikytkennässä ei voida taata solun välitystä kytkentäkentässä, tarvitaan kytkentälaitteisiin puskureita. Puskurointi, vaikkakin auttaa estotilanteiden hallinnassa, aiheuttaa yhteydelle harmillisia viiveitä ja mikä pahinta: viiveenvaihtelua. Viiveet kumuloituvat verkossa ja saattavat kasvaa joissain tapauksissa haitallisen suuriksi.

ATM-verkossa resurssien jako perustuu yhteyden hyväksymismenettelyssä (CAC) sovittuihin parametreihin, joita ovat huippusolunopeus, keskimääräinen solunopeus, solujen siirtoviive sekä siirtoviiveen vaihtelu. Nämä parametrit muodostavat palvelun laatutason (QoS) määrittelyn. ATM-verkon keskukset ja vaihteet pyrkivät valvomaan solunopeutta ja siirtoviiveen vaihtelua pakollisten valvontapisteiden kautta mutta tarkkojen tulosten saaminen edellyttää ulkopuolisia mittalaitteita.

ATM-laitteita, kuten muitakin kerroksittaisia protokollia hyödyntäviä laitteita, tarkastellaan ja analysoidaan protokollakerroksittain. Testien suorittaminen vaatii yleensä useamman kuin yhden mittalaitteen, sillä markkinoilla ei ole kunnollisia mittalaitteita koko protokollaviitemallin testaamiselle.

3.2 MITÄ MITATAAN

3.2.1 Ominaisuuskokeelmat

Tärkeä osa ATM-verkon toiminnan analysointia on varmistaa yksittäisten verkkokomponenttien toiminta. Komponenttien testaukset ovat hyvin pitkälti standardoituja. Standardointiorganisaatioiden laatimat ominaisuuskokeelmat (*Protocol Implementation Conformance Statement - PICS*) määrittelevät mitkä ominaisuudet kyseisen tyyppisen laitteen tulisi täyttää ja mitkä ovat lisäominaisuuksia. Ominaisuuskokeelmien täyttyminen takaa erimerkkisten laitteiden yhteensopivuuden ja siten monitoimittajaympäristön syntymisen. [37]

Ominaisuuskokeelmat on jaoteltu protokollakerroksittain. Tämä piirre johtuu kerroksittaisten protokollien piirteestä siirtää ohjausinformaatiota yhteydellä sijaitsevien pääte-/kytkentälaitteiden vastaavien kerrosten välillä. Tämän takia suoritetaan mittauksiakin pitkälti kerrokseen sidottuina. Koska mittaukset ovat usein täysin toisistaan riippumattomia, voidaan mittauksia suorittaa erillisillä mittalaitteilla.

3.2.2 Suorituskyky

Laitteiden ja verkkojen toiminnassa ovat tärkeitä arvoja niiden suoritusarvot. Suoritusarvot ovat liikenteen kytkentä- ja hallintafunktioiden yhdistelmä. Pelkkä solujen siirto ei riitä takaamaan tasaista suorituskykyä vaan myös järkevää liikenteen hallintaa tarvitaan.

Solun kytkennän suoritusarvoja ovat kytkentäviive, kytkentäviiveen vaihtelu, kadotetut solut ja väärin lisätyt solut. Liikenteen hallinnassa oleellisia suorituskykyä rajoittavia tekijöitä ovat kutsunkäsittelyproseduurit. Kutsunkäsittelyssä oleellista on se, kuinka monta yhtäaikaista kutsua kytkentälaite käsittelee ja se kuinka optimaalisesti se kykenee jakamaan resurssejaan. Normaaleja hallintafunktioita ovat ylikuormituksen hallinta, puskuroidintikyky ja yhteysparametrien valvonta.

Ylikuormitustilanteessa tulisi kytkentälaitteilla olla selvä mekanismi, jolla ne suojautuvat ja suojaavat yhteyksiään ylikuormituksen haitoilta. Se, onko mekanismi aina samanlainen ja johtaako se järkevään tulokseen, on verkon

toiminnan kannalta oleellista. Mittauksin voidaan todentaa, mitä tai minkä tyyppistä yhteyttä ylikuormitettu kytkentälaitte ensimmäisenä rajoittaa tai purkaa.

Puskurointi on tärkeä funktio verkossa, jossa eri osat ovat eri tavalla kuormitettuja sekä mahdollisesti fyysisesti eri nopeuksisia. Purskeinen liikenne suuremmasta nopeudesta pienempään aiheuttaa suuria soluhukkia, jos verkko ei kykene puskuroimaan yhteyksiä. Puskurointi voidaan toteuttaa monin eri tavoin, ja toteutustavat asettavat selviä rajoituksia välitettävälle liikenteelle.

Yhteysparametrien valvonta ratkaisee reaalisen verkon toiminnan silloin, kun tilaajien määrä kasvaa todelliselle tasolle. Käyttäjien osaamistaso ja päätelaitteiden toteutustavat eroavat suuresti ja ne saattavatkin aiheuttaa tahattomasti verkkoon kiusallisia ylikuormituspiikkejä.

Yhteysparametrien valvontaproseduurien tuottamat toimenpiteet tulisivat olla aina sen kaltaisia, että ne eivät turhaan vaikuttaisi liikenteen ominaisuuksiin vaan pitäytyisivät pakollisen ohjauksen rajoissa. Parametrien valvonta toimii pitkälti niin sanotun ‘vuotavan ämpärin’ -periaatteella. Eli kun liikenne ylittää sille asetetut raja-arvot vuotaa se ämpärin reunojen yli ja hukataan tai merkitään alemmalle prioriteetille. Tämän tilakoneen toiminta kaikissa olosuhteissa vaikuttaa suoraan yhteyksien palvelunlaatutasoon.

Yhteysparametrien valvontaa voidaan tarkastella seuraavien ominaisuuksien kautta: [29]

- Vasteaika sopimuksen rikkomisesta liikenteen muokkaukseen
- Läpinäkyvyys sopimuksen mukaiselle liikenteelle
- Toiminnan oikeudenmukaisuus
- Valvonnan virheettömyys, kun liikenne on sopimuksen mukaista

3.3 ATM-MITTALAITTEEN VAATIMUKSIA

ATM-liikenne on prosessina varsin monimutkainen. Liikenneprosessia voidaan tarkastella useassa eri aikatasossa. Jokaiselle aikatasolle voidaan rakentaa malleja, jotka kuvaavat kyseisen tason käyttäytymistä. Suoritettaessa suorituskymmittauksia ollaan aina sidottuja johonkin aikatasoon. Mitattaessa kutsunkäsittelykykyä liikutaan aikatasolla, jolla normaali ilmiöt ovat kestoaltaan

100ms – 10h. Mitattaessa puskurikapasiteettia liikutaan aikatasolla, jolla ilmiöt ovat kestoiltaan 100us – 100ms. Mitattaessa paramaterivalvontaa ja muita reaaliaikaisia liikenteen hallintatoimenpiteitä ollaan kiinnostuneita aikatasosta, jolla ilmiöt ovat ajassa 1us – 100us. [8, 9]

Jotta mittaukset vastaisivat todellisuutta, pitää mittalaitteen kyetä generoimaan sitä vastaavaa liikennettä oikealla aikatasolla. Solutasolla todelliset liikenneprosessit muodostuvat usean erilaisen lähteen tahdistamattomalla kanavoinnilla. Mikäli lähteet ovat suhteellisen pieni nopeuksisia ja niitä on riittävän paljon, voidaan liikenneprosessia mallintaa Poisson-prosessilla. Todellinen tilanne saattaa olla varsin erilainen. Liikenne saattaa olla runkoväyläliikennettä ja tilastolliselta luonteeltaan tasoittunutta. Näin ollen koko prosessi on enemmänkin deterministinen kuin satunnainen. Tietokoneet, joita verkossa on yhä enemmän ja enemmän, tuottavat vastaavasti liikennettä, jota voidaan mallintaa kahden nopeuden jaksollisella muuttumisella. Tämä on/off - tyyppinen vaihtelu aiheuttaa purskeita, joita mallinnetaan bernoulli-prosessilla. Kun näitä lähteitä on tarpeeksi monta, voidaan purskeita mallintaa binomijakaumalla. [8]

Jotta mittalaitteen tuottamalla liikenteellä olisi jonkinlainen korrelaatio todelliseen liikenteeseen, täytyisi liikenteen olla usean itsenäisen prosessin tulos. Ihanteellinen rakenne on puu, jonka lehdet on lähteitä ja juuri kanavointiyksikkö. Tällaisen generaattorin tilakaavio, kun kaikki lähteet on määritelty, muodostaa verkon, jolla on yhtä monta ulottuvuutta kuin on erilaisia lähteitä. Toisaalta yksittäisiä lähdetyyppijä tulee olla riittävän paljon, jotta todellisen liikenteen ominaisuudet mallintuisivat. [14, 18, 19]

Analyysissä mittalaitteelta vaaditaan hyvää liikenteen suodatuskykyä. Lopullisen analyysin kannalta merkityksettömät solut tulee poistaa jo varhaisessa vaiheessa, koska suuren johtonopeuden ansiosta analysoitava informaatiomäärä on valtava. Lisäksi informaation tallennus erilaisille medioille on huomattavasti hitaampaa kuin itse liikenne johdolla. Jotta liikenteelle voitaisiin tehdä riittävää analyysia tulee laitteella olla kyky ottaa johdolla välitettävästä liikenteestä näytteitä. Näytteiden pituuden tulee olla mahdollisimman suuri, sillä liikenteen mallintaminen vaatii kohtuullisen mittaista näytettä.

Suorituskyvyn analysoinnin kannalta on oleellista, että mittalaite tallentaa jokaiseen soluun informaation siitä, koska kyseinen solu on saapunut. Lisäksi, jos siirtoviiveitä määritetään tarvitaan tieto siitä, koska kyseinen solu on lähtenyt mittalaitteesta.

3.4 KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO

TKK:n teletekniikan laboratorio on hankkinut vuoden 1995 aikana ATM-mittauksia varten FORE System's ASX-200 ATM-vaihteen sekä ADTECH AX/4000 ATM-mittalaitteen.

3.4.1 ATM-vaihde

FORE ASX-200 on 2,4Gb rinnakkaisilla renkailla toteutettu estoton ATM-vaihde. Siinä on neljä liitäntäkorttipaikkaa, joihin kuhunkin voidaan kalustaa maksimissaan kuusiporttinen liitäntäkortti. FORE tukee ATM Forumin mukaista UNI v3.0 liitäntää sekä liikenteen hallinnassa että merkinannossa.



Kuva 3-1 Fore ASX-200 ATM-vaihde

Mittauksissa käytettävä laite on kalustettu seuraavilla korteilla:

- 1kpl 4*155Mb SDH, Monimuotokuitu ST-liittimin
- 1kpl 4*155Mb SDH, CAT 5 kierretty parikaapeli RJ45-liittimin
- 1kpl 4*100Mb TAXI, Monimuotokuitu ST-liittimin

Laitetta päivitettiin kesken mittausten seuraavaan konfiguraatioon:

- 3kpl 4*155Mb SDH, Monimuotokuitu ST-liittimin
- 1kpl 4*155Mb SDH, CAT 5 kierretty parikaapeli RJ45-liittimin

FOREa hallitaan TELNET-yhteyden yli tekstipohjaisella AMI (ATM Management Interface) ohjelmalla. Ohjelma mahdollistaa yhteyksien pystyttämisen ja hallinnan täydessä UNI v3.0 laajuudessa. Kunkin portin liikenteenhallinta ja merkinanto on myös poistettavissa, mikä takaa mittauksissa oikeampia tuloksia keinotekoisella liikennekuormalla.

```

ATM Management Interface v4.0
Copyright (c) 1994, 1995 FORE Systems, Inc.
All Rights Reserved

General commands:

'?' to get list of commands at the current level
'up' to go up one menu level
'top' to go to the root menu
'exit' to leave AMI

Opening a session for "localhost", please wait...

Connected to "localhost" (asx200).

localhost::> ?

about      close      configuration>  exit
help       history   open           operation>
ping       redo      rows           statistics>
top        up

localhost::>

```

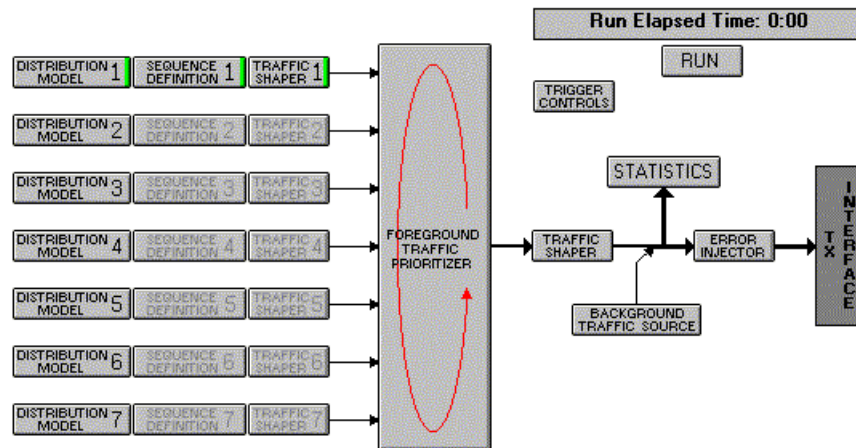
Kuva 3-2 AMIn juuritaso

3.4.2 ATM-mittalaite [38]

ADTECH AX/4000 on VXI-pohjainen ATM-mittalaite, joka kykenee yhtäaikaaisesti generoimaan ja analysoimaan täyttä kaistanleveyttä kaikissa kalustetuissa porteissaan. Mittalaitteeseen voidaan kalustaa maksimissaan 16 generaattoria tai 8 generaattori/analysointimodulia. Mittalaitteen hallinta suoritetaan Windows-pohjaisella hallintaohjelmalla hyödyntäen IEEE-488 väylää. Mittauksissa käytettävä laite sisältää kaksi 155Mb SDH-liitännällä varustettua generaattori-/analysointimodulia.

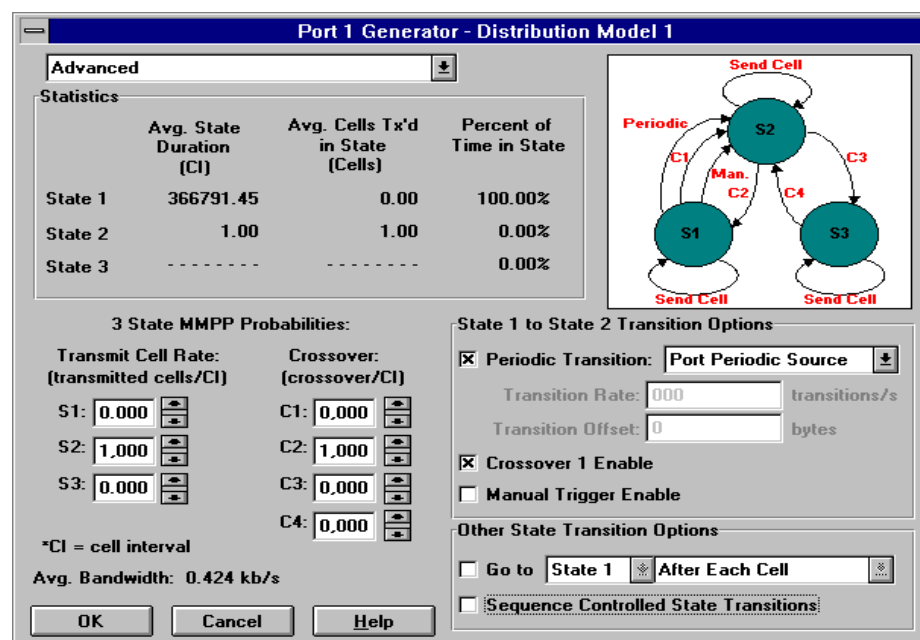
Solujen generoinnissa on käytettävissä virtauskaavio, jossa on seitsemän mittalähdettä ja yksi taustalähde. Kukin mittalähteistä on vapaasti määriteltävissä niin liikenneprosessin kuin solun tyyppin mukaan. Generoitava soluvirta on mahdollista muokata algoritmillä, joka vastaa I.371 mukaista solujen parametrivalvonta-algoritmia. Näin on mahdollista päästä suhteelliseen tarkkaan kokonaissolunopeuteen. Mittalähteille suoritetaan kanavointi, joka voi olla

priorisoitu tai kiertävä, kuten kuvassa. Kokonaissolvurtaan voidaan lisätä virheitä satunnaisesti tai määrättyihin tavuihin.



Kuva 3-3 Generaattorin vuokaavio (vaaleat tekstilaatikot eivät ole aktiivisia)

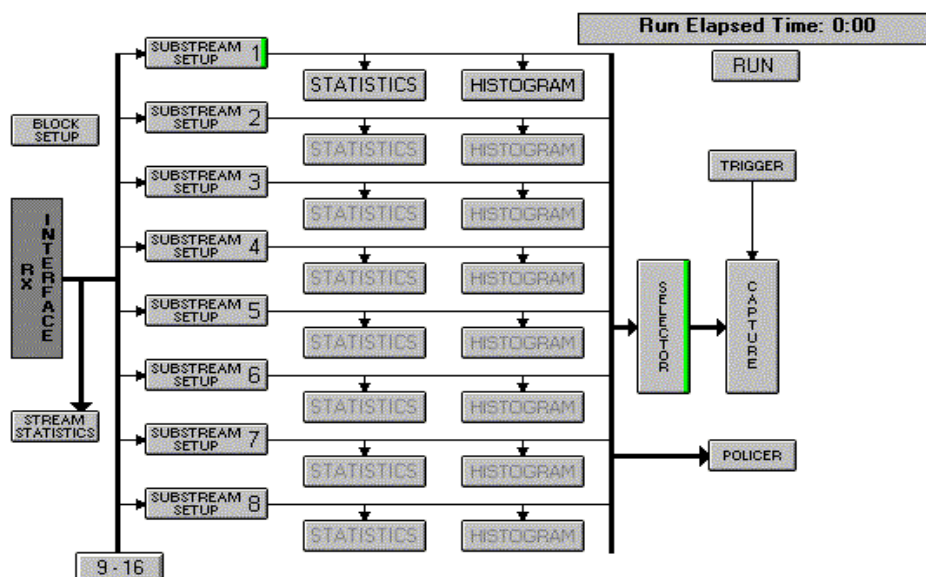
Solujen generointia voidaan suorittaa periodisesti, satunnaisesti tai Markov-moduloituina prosesseina. Mittalaite sisältää mallin, jossa on mahdollista määrittellä kolmitilaisen Markov-ketjun siirtymätodennäköisyydet sekä eri tilojen liikenneprosessit. Tällä mallilla pystytään luomaan kohtalaisella tarkkuudella todellista vastaavia liikenneprosesseja. Tosin prosessi on riippuvainen käytettävästä todennäköisyysjakaumasta, ADTECHin tapauksessa Poisson-jakaumasta.



Kuva 3-4 Liikenneprosessin määrittelyikkuna

Mahdollisia solutyyppejä ovat sovituskerrosten AAL1, AAL3/4 ja AAL5 PDU:t sekä erilaiset valmistajaspesifiset testisolut. Lisäksi on AAL0-solutyyppi, jota käsitellään raakana datana ja lähetetään suoraan sellaisenaan. Testisolut on tarkoitettu viiveiden ja bittivirhesuhteen määrittämiseen.

Analyysipuolella mittalaitteella voidaan suorittaa solujen suodatusta solutyypin ja otsikon perusteella. Suodatetuille soluille saadaan статистиikkaa, josta selviää solutyypistä riippuen solujen lukumäärä, kadonneiden solujen lukumäärä, keskimääräinen siirtonopeus ja mahdolliset bittivirheet. Histogrammina voidaan tarkastella solujen siirtoviiveitä, solujen välistä saapumisaikaa, siirtonopeutta ja väylöitystietoja.



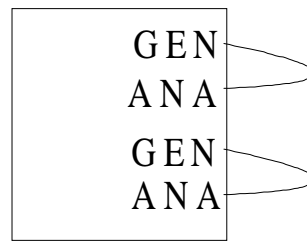
Kuva 3-5 Analysaattorin vuokaavio (vaaleat tekstilaatikat eivät ole aktiivisia)

3.5 MITTALAITTEEN VERIFIOINTI

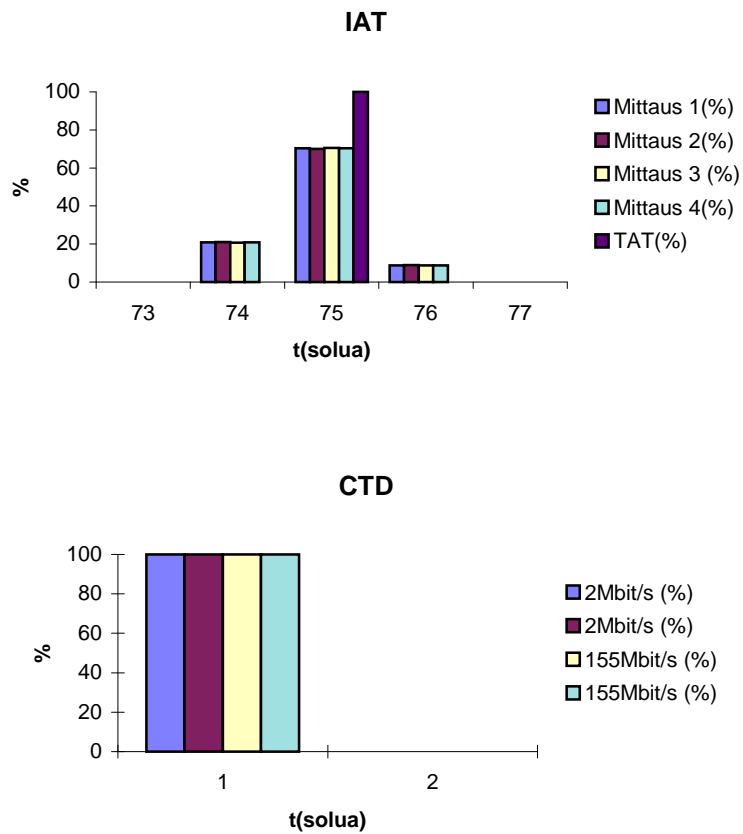
Hyödynnettäessä uutta mittalaitetta tulee sille suorittaa verifiointi, jossa sen toiminnallinen taso ja rajoitukset tarkistetaan. Kaikki mittauksien kannalta kriittiset kohdat tulee tarkastaa ja dokumentoida. Tällaisia ovat mittalaitteen sisäisen kellon tarkkuus, käytettävän siirtojärjestelmän toiminnallinen oikeellisuus ja solujen generoinnin tasaisuus.

AX/4000-mittalaitteelle suoritettiin kuitusilmukalla liikenteen generointikoe. Mittauskytkentä ja tulokset on esitetty alla olevissa kuvissa.

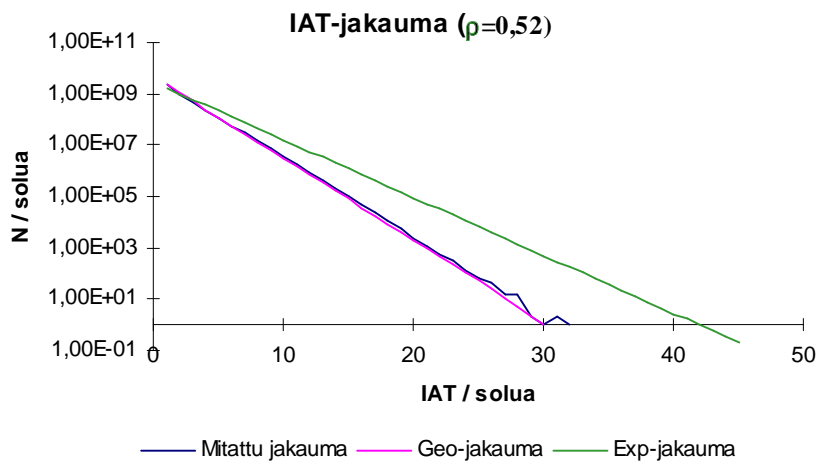
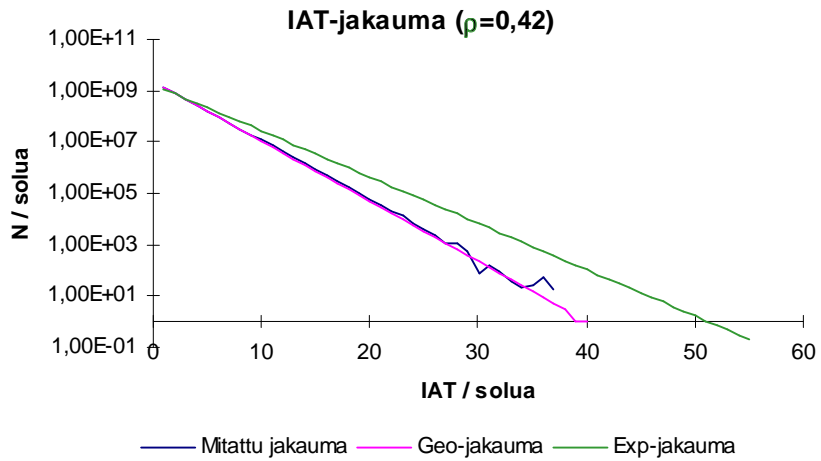
ATM-mittalaite



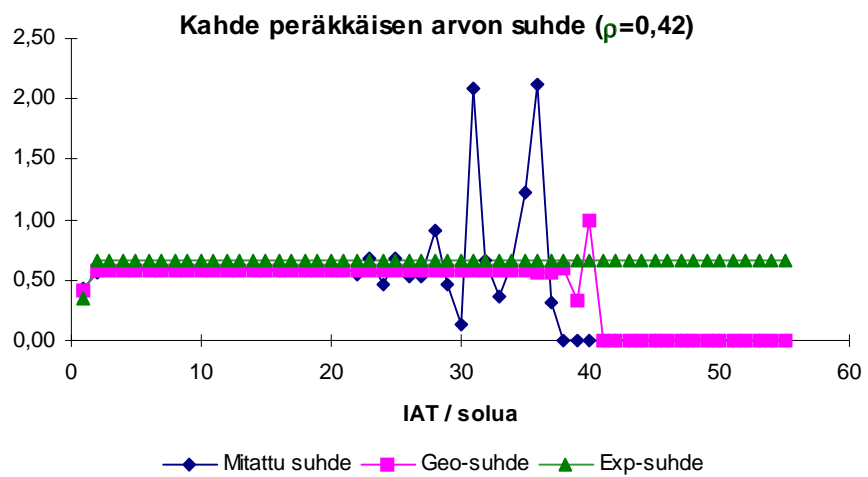
Kuva 3-6 Referenssiarvojen mittauskytkentä

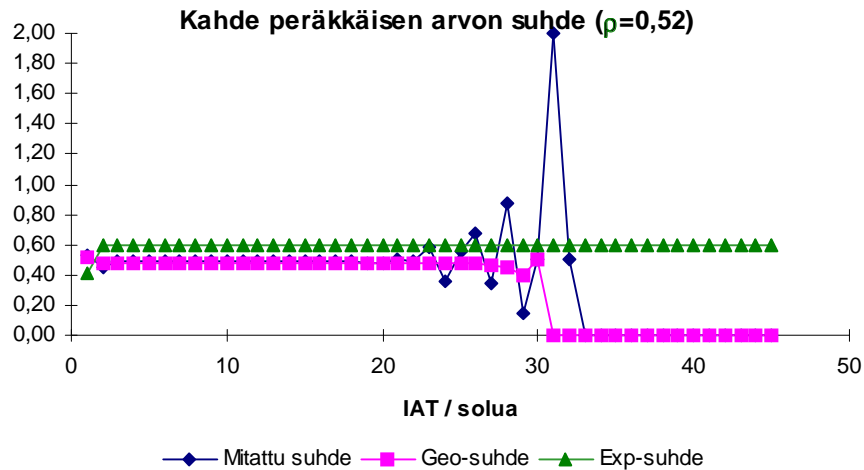


Kuva 3-7 Solugeneraation tasaisuuden mittaustulokset



Kuva 3-8 Poisson-prosessin väliaikajakauma





Kuva 3-9 Poisson-prosessin valiaikajaukauman suhdeluvut

3.5.1 Yhteenvedo referenssimittausten tuloksista

Referenssimittaukset paljastivat mittaustarkkuutta rajoittavia piirteitä AX/4000:ssa. Mittalaitteen sisäinen kello toimii $\frac{1}{2}$ mikrosekunnin tarkkuudella. Yhden solun siirtoviive on teoriassa 2,83 mikrosekuntia (STM-1 -liitynnässä), mikä ei ole jaollinen $\frac{1}{2}$ mikrosekunnilla. Tämä johtaa mittaustulosten jatkuvaan vaeltamiseen tosiasiallisen arvon ympärillä. Toinen vaeltamisen ikävämpi seuraus on nähtävissä solujen saapumisaikojen väliä kuvaavassa IAT-käyrässä. Kellon arvojen ja tosiasiallisen arvon vaelletuana tarpeeksi kauas saattaa solulukitus lipsahtaa yhden solun eteen tai taaksepäin oikeasta kohdastaan. Tätä ilmiötä on mahdoton ennustaa mittaustuloksista.

Poisson-prosessin väliaikajakauma generoidaan mittalaitteessa pseudosatunnaisella reaalityyppisellä generoijalla. Koska solujen väliaikajakauma on diskreettijakauma, perustuu Poisson-prosessin likiarvoitus eksponentiaalijakauman mallintamiseen geometrisella jakaumalla. Geometrisen jakauman sovitetaan valittuun Poisson-prosessin keskinopeuteen skaalauksella, jossa jakauman ensimmäisiä arvoja muutetaan suhteessa enemmän kuin muita. Geometrisen ja eksponentiaalisen jakauman suhde toisiinsa näkyy suhteita kuvaavista käyristä. Eksponentiaalijakauma ja geometrisen jakauman suhde ovat lähes identtisiä suurilla nopeuksilla, kun taas pienet nopeudet tuntuvat vääristyvän selvemmin. Tämä pienten nopeuksien vääristyminen kyseenalaistaa Poisson-

prosessin käyttämisen nopeusalueella $\rho < 0,1$. Toisaalta Poisson-prosessille ei olekaan tulkintaa kyseisellä alueella.