

Samuli Konttinen

SELLUMASSAN ROSKIEN MITTAAMINEN KONENÄÖLLÄ

Insinöörityö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Tietotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2005



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

## OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Ala Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Samuli Konttinen	
Työn nimi Sellumassan roskien mittaaminen konenäöllä	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Konenäkö	Ohjaaja(t) Pentti Romppainen, Pekka Teppola
Aika 31.3.2005	Sivumäärä 48 + 3
Tiivistelmä  <p>Metso Automation Field Systems valmistaa analysointilaitteita ja mittalaitteita sellumassan ja paperin laadun mittaamiseen. Insinöörityön aiheena oli tutkia konenäkömenetelmän soveltuvuutta sellun roskien mittaamiseen.</p> <p>Konenäköjärjestelmällä tutkittiin sellumassan sisältämien roskien lukumääriä ja dimensioita. Kuva-analyysissä käytetty laitteisto koostui CCD-kamerasta, kuvankaappauskortista ja tietokoneesta. Työssä suunniteltiin ohjelmisto, jolla voidaan ottaa kuvaa virtaavasta sellumassasta, käsitellä otetut kuvat kuvankäsittelyalgoritmeilla ja laskea kuvista sellumassan sisältämä roskien suhteellinen jakauma. Ohjelmointi tehtiin Visual Basicilla ja kuvankäsittely toteutettiin Matrox ActiveMIL-kuvankäsittelykirjastolla.</p> <p>Kaikista testeistä tallennetut kuvat ja Excel-data on tallennettu tiedostoihin myöhempää analysointia varten. Mittaustulokset tulevat työn tilaajan käyttöön. Tuloksista arvioidaan konenäköjärjestelmän jatkokehitysmahdollisuuksia sellumassan mittaamiseksi.</p>	
Luottamuksellisuus	Ei
Hakusanat	Kuva-analyysi, Matrox ActiveMIL, Visual Basic
Säilytyspaikka	Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**  
*Kajaani Polytechnic*

ABSTRACT  
THESIS

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Information Technology
Author(s) Samuli Konttinen	
Title Measurement of Dirt Characteristics in Pulp by Image Analysis	
Optional professional studies Machine Vision	Instructor(s) / Supervisor(s)  Pentti Romppainen Pekka Teppola
Date 31 March 2005	Total number of pages 48 + 3
Abstract <p>Metso Automation Field Systems produces analyzers and sensors for pulp and paper industry. These products provide a competitive advantage through improved process performance and profitability. A machine vision design system is one of the tools in producing highly qualified and reliable products. A review of image analysis techniques has shown that they are suitable for studying dirt in pulp.</p> <p>The basic principle of the technique was to use an optical lens to magnify dirt for an analysis, transfer the image to a personal computer with a CCD-camera and a frame grabber board, then process and enhance the image with an image analysis program. Dirt could then be quantitatively characterized for the size, shape and density profile. Such quantitative information and the images were stored in a database. The images can be taken either automatically one by one in a specific order or continuously when the operator selects the test to be executed.</p> <p>The Machine Vision Testing system is fully Visual Basic programmed and works in Windows. It is quite easy to make graphical user friendly interfaces with Visual Basic and Matrox ActiveMIL. The program will mainly be used by the research and design development. It can also be used as a device for producing the analyzers.</p>	
Confidential Yes No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords Image analysis, Matrox ActiveMIL, Visual Basic	
Deposited at Kajaani Polytechnic's library	

## ALKUSANAT

Tämän insinööriyön tilasi Metso Automation Field Systems Kajaani.

Kiitän insinööriyön valvojina toiminutta yliopettaja Pentti Romppaista sekä Metso Automationin Pekka Teppolaa.

Lisäksi haluan kiittää Metso Automationin Keijo Lehmikangasta ja Pasi Moilasta, jotka ovat auttaneet työni valmistumisessa.

Eriyisesti kiitän Raija Mikkosta hänen antamastaan tärkeästä tuesta.

Kajaanissa 31.3.2005

Samuli Konttinen

# SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO JA TAVOITTEET .....	8
2 SELLUPROSESSI .....	9
2.1 Sellun tutkimus ja kehitys .....	9
2.2 Selluprosessi .....	10
3 KONENÄKÖLAITTEISTO .....	13
3.1 CCD-kamera .....	14
3.2 PC-laitteisto .....	14
3.3 Kuvankaappauskortit .....	14
3.4 Valaistus .....	15
4 DIGITAALISEN KUVANKÄSITTELYN TEORIAA .....	18
4.1 Kuva-analyysin vaiheet .....	18
4.2 Digitaalisen kuvan käsite .....	19
4.3 Kuvan esikäsittely .....	20
4.4 Segmentointi .....	25
4.5 Morfologiset operaatiot .....	26
5 KUVAAMINEN .....	29
5.1 Sovelluksessa käytetty laitteisto .....	29
5.2 Ohjelmistot .....	32
5.3 Mittaus .....	32
6 ROSKAMITTAUSMENETELMÄ .....	34
6.1 Sakeuden määrittäminen .....	34
1.2 Päältä valaisu .....	35
7 MITTAUSTULOKSET .....	43
7.1 Suoritetut testit .....	43
7.2 Tulosten arviointi .....	44
7.3 Mittausten luotettavuus .....	46
7.4 Menetelmän kehittäminen tulevaisuudessa .....	46
8 YHTEENVETO .....	47

LÄHDELUETTELO .....	48
LIITTEET .....	

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

### BLOB-ANALYYSI

Partikkelianalyysi. Operaatio jolla määritellään kohteiden lukumäärä ja dimensiot.

### CCD-ILMAISIN

Charge-coupled device. CCD-ilmaisimen toiminta perustuu yksittäisessä kuva-alkiossa valon synnyttämään varaukseen, jonka suuruus riippuu valaistuksesta ja valotusajasta. Varaukset siirretään siirtorekisterillä, josta se edelleen muutetaan jännitemuotoiseksi videosignaalksi

### MATROX ACTIVE MIL

Matroxin kuvankäsittelykirjasto.

### MATROX INSPECTOR

Kuvankäsittelyn analysointityökalu.

### MUSTALIPEÄ

Sulfaattisellun keitossa puusta liuennut aines ja keittokemikaalit.

### REJEKTI

Massan puhdistimien erottama ja hylkäämä aine.

### TMP

Thermo mechanical pulp, kuumahierreprosessissa valmistettu paperimassa.

### VISUAL BASIC

Visuaalinen ohjelmointikieli.

## 1 JOHDANTO JA TAVOITTEET

Metso-konserni on sellu- ja paperiteollisuuden sekä kiven- ja mineraalienkäsittelyn maailmanlaajuinen toimittaja. Konserniin kuuluva Metso Automation on yksi johtavia prosessiteollisuuden automaatoratkaisujen toimittajia.

Metso Field Systems Kajaanin yksikkö kuuluu Metso Oyj:n Automation-ryhmään. Kajaanin yksikössä suunnitellaan ja valmistetaan mittaus- ja säätölaitteita sellu- ja paperiteollisuudelle. Se onkin yksi maailman johtavista sellun- ja paperinvalmistukseen liittyvien mittausjärjestelmien toimittajista. Kajaani-mittalaitteet tunnetaan sellu- ja paperiteollisuudessa maailmanlaajuisesti. [1.]

Mittalaitteiden kehitys on edennyt enenevässä määrin modulaaristen yksiköiden käyttämiseen selluprosessin mittaamisessa. Modulaaristen rakenteiden etuja ovat mm. parempi yhteensopivuus tuotteisiin, kustannussäästöt ja parempi huollettavuus. Sellumassan mittaustiedon viiveettömyyden vuoksi näytteenoton täytyy tapahtua nopeasti. Mittaaminen tapahtuu joko ottamalla näyte massasta (on-line) ja analysoimalla se analysaattorissa tai jatkuvatoimisesti mitattavasta massasta (in-line). Kameralla tapahtuva sellumassan mittaus mahdollistaa nopean ja lähes reaaliaikaisen massan analysoinnin.

Uusien mittalaitteiden tuotekehitysprosessi vaatii paljon testausta eri vaiheissa. Laadukas ja kustannustehokas suunnittelu tuottaa yritykselle moninkertaisesti siihen sijoitetun pääoman myöhemmin tuotteen koko elinkaaren aikana.

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia, soveltuuko konenäköjärjestelmä eri sellumassoihin sisältyvien roskien mittaamiseen. Roskien osuudesta sellumassassa halutaan tietoa, koska roskien lukumäärä vaikuttaa sellun laatuun. [2.]



## 2 SELLUPROSESSI

### 2.1 Sellun tutkimus ja kehitys

Kiristynyt kilpailu prosessiteollisuudessa, tiukentuneet ympäristömääräykset viranomaisten taholta ja ihmisten lisääntynyt huoli ympäristön tilasta pakottavat selluteollisuuden etsimään uusia ratkaisuja paremman tuottavuuden saavuttamiseksi ympäristöä rasittamatta. Nämä asiat tehostavat uusien, nopeampien ja tarkempien mittausratkaisujen kehittämistä selluprosessin säätämiseksi.

Suomen metsäteollisuus sijoittaa tutkimus- ja kehitystoimintaan maailmanlaajuisesti noin 200 miljoonaa euroa vuodessa. Oman tutkimus- ja kehitystoimintansa lisäksi metsäteollisuus osallistuu kansallisiin teknologiaohjelmiin. Massa- ja paperiteollisuuden yhteisesti omistama keskuslaboratorio KCL kehittää alan osaamista tuottamalla teknistä ja taloudellista tietoa, jota tarvitaan prosessien ja tuotteiden kehittämisessä. KCL tarjoaa teollisuudelle myös laboratorio- ja koeajopalveluja. Tuotteiden ja prosessien tutkimusta tehdään lisäksi Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) tutkimusyksiköissä, yliopistoissa ja korkeakouluissa sekä mittalaitteita valmistavissa yrityksissä. [3.]

Selluteollisuus ja selluprosessin mittaaminen on tuonut vaurautta Suomeen. Esimerkiksi Kainuussa on prosessimittauksen laajaa asiantuntemusta ja osaamista. Kajaanissa on hyvin omalla alallaan menestyneitä selluprosessin mittalaitteiden tuotantolaitoksia.

Selluprosessin mittaustekniikan kehittämisellä on alueellisesti suuri merkitys. Valtakunnallisen osaamiskeskusohjelman osana on käynnistynyt vuonna 2003 hanke, Measurepolis–Kajaani, jonka tavoitteena on kehittyä kansallisesti merkittäväksi ja kansainvälisesti tunnetuksi mittaustekniikan osaamiskeskukseksi. Osaamiskeskusohjelma on generoinut useita erillisiä hankkeita, joista merkittävin on Measurepolis Research Consortium (MeRc) mittaustekniikan tutkimustoiminnan kehittämisohjelma. Sen määrällisinä tavoitteina on kaksinkertaistaa mittaustekniikan tutkimustoiminnan volyymi

vuoteen 2010 mennessä. Lisäksi tavoitteena on välillisesti synnyttää Kainuuseen 300 uutta työpaikkaa mittaustekniikkaa kehittäviin ja soveltaviin yrityksiin. Ohjelmassa kehitetään uusia optisia mittaamenetelmiä lähinnä puunjalostusteollisuuden tarpeisiin, mutta sovelletaan myös kehitettyjä mittaamenetelmiä uusille sovellusaloille, kuten ympäristötekniikkaan ja liikuntateknologiaan. [4.]

Selluteollisuuden näkökulmasta sellumassan kehittyneellä mittaamisella pyritään lisäämään sellun saantoa ja parantamaan kannattavuutta, siis tuomaan lisää rahaa omistajilleen. Investointien takaisinmaksu edistyneillä mittalaitteille lasketaan parhaimmillaan kuukausissa. Kehittyneillä mittaamenetelmillä ja mittalaitteilla pyritään myös vähentämään ympäristökuormitusta. Selluprosessin mittaaminen ja säätö ovat pitkälti automatisoituneet. Tämä kehityssuunta on muuttanut myös henkilöstön määrää ja työtehtäviä prosessiteollisuudessa. Joiltakin osin automaattiset mitta- ja säätölaitteet ovat parantaneet myös työturvallisuutta.

## 2.2 Selluprosessi

Selluprosessin jatko tuote, paperi, voi koostua yksinomaan sellusta tai mekaanisesta massasta, mutta yleensä käytetään molempia massalaatujia. Valmistuksessa voidaan käyttää myös keräyspaperista valmistettua uusiomassaa. Massapohjan ratkaisee paperin käyttötarkoitus. [5.]

Sellun valmistustapoja on periaatteessa kaksi, sulfaatti- ja sulfiittimenetelmä, mutta Suomessa kaikki sellu tehdään nykyisin yksinomaan sulfaattimenetelmällä. [5.]

Sellumassan valmistus sisältää useita eri vaiheita. Puu matkaa ensiksi metsästä sellutehtaalle, jossa puuainees varastoidaan ja käsitellään. Ennen kuin puuta voidaan prosessoida, siitä on ensin tehtävä haketta. Haketus tehdään yleensä kiekkohakuilla, ja sulfaattisellun raaka-aineena käytetään Suomessa tavallisesti mäntyä tai koivua. Tavoitteena on kuidutusprosessin vaatimusten mukainen tuote. Yhtenä kriteerinä on hakkeen mahdollisimman suuri tasaisuus.

Ennen hakkeen varastointia siitä seulotaan pois tikut ja hienoaines. Tämän käsittelyn jälkeen puuaines on valmis sellunkeittoa varten. [5.]

Sellunkeitossa, kemiallisen massan valmistuksessa, puun kuidut irrotetaan toisistaan liuottamalla kuituja yhdistävä sideaine, ligniini keittämällä haketta lipeäliuoksessa kemikaalien avulla. Prosessi tapahtuu korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Kemikaaleina käytetään pääasiassa natriumhydroksidia ja natriumsulfidia. [5.]

Sellua voidaan keittää joko erä- tai jatkuvatoimisella keittimellä. Keitossa käytettävät kemikaalit voidaan kerätä talteen ja kierrättää takaisin prosessiin. Tämän valmistuksessa syntyneen keittoliemen, mustalipeän talteenotto ja hyödyntäminen ovat oleellinen osa prosessia. Mustalipeä haihdutetaan ja poltetaan soodakattilassa, jolloin liuenneena olleen puuaineksen energia otetaan talteen höyrynä ja sähköinä. [5.]

Keiton jälkeen massasta erotetaan oksanerottimella oksat ja muu karkea aines. Seuraavaksi pesemöllä pestään puukuitujen joukossa oleva lipeä talteen kierrätystä varten. Pesemön jälkeen sellusta poistetaan lajittamalla ylisuuret kuitukimput ja muu karkeampi aines. Poistunutta ainesosaa kutsutaan rejektiksi. Nykyaikaisessa lajittelussa käytetään painovoimaan perustuvia rako- tai reikä-painesihtejä. [5.]

Sulfaattimassa on keiton jälkeen väriltään ruskeaa. Massa valkaistaan eri valkaisukemikaaleja käyttäen useassa vaiheessa. Tavallisimmat valkaisukemikaalit ovat happi, vetyperoksidi ja klooridioksidi.

Suomessa käytetään yleisesti happivalkaisua, jolla voidaan keiton jälkeistä ligniinipitoisuutta vähentää n. 50–60 %. Tämän seurauksena rajumpien ja eniten päästöjä aiheuttavien kemikaalien käyttöä sellun valkaisussa voidaan vähentää. Myös sellun puhtaus paranee lujusominaisuuksien ratkaisevasti kärsimättä. Happivaihetta seuraavassa pesussa kemikaalit ja liuennut aines saadaan talteen uudelleen käyttöä ja polttoa varten. [5.]

Paperin kuituraaka-aineen ominaisuudet ovat ehkä merkittävin tekijä paperin laatuun vaikuttavista tekijöistä. Kuidun ominaisuuksiin voidaan prosessin eri vaiheissa vaikuttaa, mutta suuria muutoksia voidaan tehdä vain joihinkin ominaisuuksiin. Kuituraaka-aineen karakterisoinnissa tärkein yksittäinen suure on jo pitkään ollut kuidunpituus. Mekaanisen massan valmistuksessa siihen eniten vaikuttava vaihe prosessissa on jauhatus, jota voidaan seurata mittaamalla massan kuidunpituuksia. Saatavaa mittaustietoa hyväksi käyttäen jauhimien toimintaa säädetään asiakkaan määrittelemien tuotanto- ja laatutavoitteiden mukaiseksi. [5.]

Kun tavoitteena on laatu, tavoitearvojen mukainen sellumassojen ominaisuuksien mittaaminen on ensiarvoisen tärkeää. Valmistuksessa käytettävän puun kuidun ominaisuudet määräytyvät pitkälti tietyissä osaprosesseissa (keitto, valkaisu). Siksi nämä prosessit tulee olla tarkoin hallinnassa. Edeltävien prosessivaiheiden mittaustietoja hyväksi käyttäen voidaan massan ominaisuuksia myös jopa ennustaa. [5.]

### 3 KONENÄKÖLAITTEISTO

Arviolta 75 % ihmisen saamasta informaatiosta perustuu näköhavaintoihin. Tällä perusteella on helppo ymmärtää automaattisen kuvainformaation suuri tarve. [6.]

Konenäkö on ihmisen näköaistia muistuttava aisti, joka sopivassa valaistuksessa kameran tai muun detektorin avulla kerää kuvattavasta kohteesta tarvittavan kuvainformaation, työstää sitä tietokoneeseen ohjelmoitujen algoritmien avulla ja tuottaa tuloksen mittaustuloksia tai lajittelu- ja säätöohjeita. Suomen hahmontunnistusseura määrittelee konenäön (machine vision) synonyymiksi englanninkieliselle sanalle computer vision. Käytetään yleisnimityksenä kuvan tai näkymän analyysistä erilaisilla hahmontunnistusmenetelmillä (pattern recognition). [7, 8.]

Konenäölle tyypillisiä tehtäviä ovat esimerkiksi kappaleen sijainnin määrittely, pinnan virheiden etsintä, kappaleiden mittojen tarkistus ja tuotteen osien havainnointi. Esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa konenäön avulla tarkastetaan piirilevyn komponentteja. Ensimmäiset konenäön sovellukset toteutettiin Suomessa 1970-luvun alussa sahateollisuudessa. [9.]

Konenäkö on ihmisen näköön verrattuna nopea, tarkka ja väsymätön. Konenäköön liittyviä ongelmia ovat luotettavan kuvainformaation saaminen kohteesta, riittämätön tai liian voimakas valaistus ja kameran optiikan vääristymät. Kameran tarkennuksen, kuvausaukon koon sekä kameran etäisyyden muutokset aiheuttavat myös kuvaustulokseen muutoksia. Tämän takia järjestelmä on oltava uudelleen kalibroitu.

Viimeisin kehityssuunta konenäkölaitteistoissa ovat ns. älykamerat, joihin on sisäänrakennettu kaikki konenäössä tarvittavat komponentit: kamera, valaistus ja kuvankäsittelyn tietokone. Älykameroiden hinnat alkavat muutamasta tuhannesta eurosta, joten niiden käyttö älykkäinä antureina (tunnistimina) on lisääntynyt nopeasti. [9.]

### 3.1 CCD-kamera

Yleisimmin konenäössä käytetyssä kamerassa on CCD-ilmaisim (Charge-Coupled Device). CCD-ilmaisim toimii siten, että yksittäisessä kuva-alkiossa valo synnyttää varauksen, jonka suuruus riippuu valaistuksesta ja valotusajasta. Varaukset siirretään siirtorekisterillä, josta se edelleen muutetaan jännitemuotoiseksi signaaliksi. Saatu informaatio siirretään analogisena videosignaalinä kuvankaappauskortille. Koska pikselin varaus ei ole täysin lineaarisesti riippuvainen siihen saapuneesta energiasta, täytyy oikealla valaistus- ja kuvausgeometrialla pitää huoli siitä, että detektori saa sopivasti valoa. Jos detektori saa liikaa valoa tapahtuu ylivuotoa ja jos valoa on liian vähän, niin kohina kasvaa. Paras tulos saavutetaan kun operoidaan kennon varauksen lineaarisella keski-alueella. [10.]

Tämän jälkeen signaali muutetaan A/D-muuntimella digitaaliseksi ja tallennetaan tietokoneen muistiin. Näin on saatu aikaan digitaalinen kuva. Kameran valinnassa on otettava huomioon mittaustarkkuus, jonka määrää mitattava suure. Mittaustarkkuutta kuvataan spatiaaliresoluutiolla, joka kertoo kuvattavan kohteen pikselien lukumäärän mittayksikköä kohden. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että spatiaaliresoluution on oltava 4-10 kertainen tarkkuusvaatimukseen nähden. Kameran resoluution määräävät lopulta kuvausgeometria, optiikka ja ilmaisimen koko. [10.]

### 3.2 PC-laitteisto

Laitteistot voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, jotka ovat PC-pohjaiset järjestelmät, älykamerajärjestelmät ja DSP-pohjaiset räätälöidyt järjestelmät. Tässä tarkastellaan PC-pohjaista konenäköjärjestelmää, jolle on ominaista, että PC:tä käytetään järjestelmän ohjaukseen ja kuvan prosessointiin. Hyvänä puolena PC-pohjaisessa järjestelmässä ovat käyttäjälle tutut laitteet ja käyttöliittymät Windows-tyyppisine ulkoasuineen.

### 3.3 Kuvankaappauskortit

Kuvankaappauskorttien tärkein tehtävä analogisissa järjestelmissä on datan digitointi digitaaliseksi kuvaksi. Kortit sisältävät salaman laukaisun ja ajoituksen

kuvanottohetkeen. Kortit suorittavat A/D-muunnoksen, ja ne voivat käyttää hyväksi pikselikelloa. Kortin täytyy tukea korkean tason ohjelmointikieliä kuten C/C++ ja toimia halutussa käyttöjärjestelmässä. Kortin täytyy tukea myös prototyyppien testausta ja nopeita sovelluskehittämiä kuten Visual Basic.

### 3.4 Valaistus

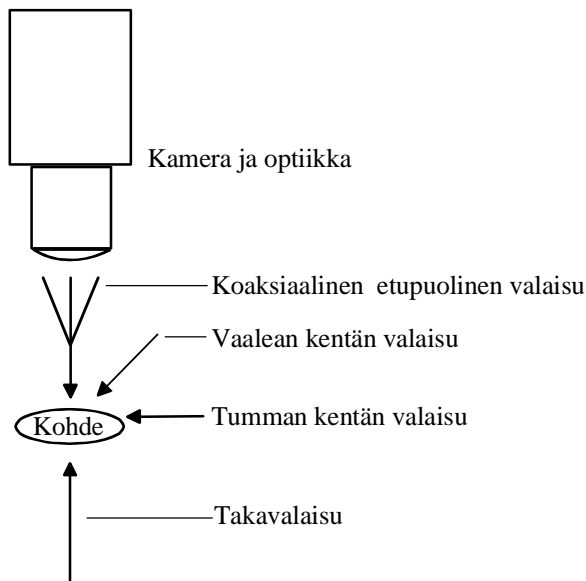
Konenäkösovellukseen oikean valaistuksen valitseminen on erityisen tärkeää. Väärin valittua valaistusta ei voi kompensoida kuvankäsittelyalgoritmeilla. [11.]

Kuvattavien kohteiden esillesaamiseksi valaistuksella on ratkaiseva merkitys. Tietääkseen minkä valaistuksen konenäkösovellukseen valitsee, täytyy tietää kuvattavasta kohteesta. Valaistuksen valintaan vaikuttavat tapauskohtaisesti kuvattavan kohteen ja alueen koko, pinnanmuoto, materiaali, kohteen mahdollinen liikkuminen ja liikenopeus sekä käytettävissä oleva kamera.

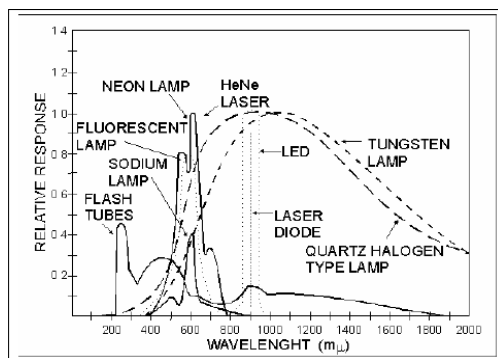
Konenäössä valaistuksen kohteet voidaan jakaa kohteen pinnan mukaan kolmeen pääluokkaan, jotka ovat peilimäiset, diffuusit ja heijastavat pinnat. [12,13.]

Valonlähteet voidaan jakaa koherentteihin ja ei-koherentteihin valonlähteisiin valon interferenssikuvioiden tuottamiskyvyn mukaan. Koherentteja lähteitä ovat laserit. Muut valonlähteet ovat ei-koherentteja. Diffuusit valonlähteet sirottavat valoa tasaisesti kaikkiin avaruuskulmiin. Kollimoidut valonlähteet tuottavat yhdensuuntaista valoa, joka saadaan aikaan sijoittamalla pistemäinen valonlähde valaisuohtiikan polttopisteeseen. [12,13.]

Tutkittavan kohteen valaisuun käytettävät valaisutekniikat voidaan jakaa useaan päätyyppiin riippuen siitä, mitä valaistuksella kuvataan. Käytetyistä tekniikoista on lisäksi useita variaatioita. Kuvassa 1 on esitetty valaistuksen eri kulmia. Valonlähteen valintaa vaikuttaa myös valonlähteen spektri. [12,13.] Kuvassa 2 on esitetty eri valonlähteiden spektrejä.



Kuva 1. Valaistuksen kulmat.



Kuva 2. Valonlähteiden spektri esimerkkejä. [12.]

### Etupuolinen valaisu

Etupuolinen valaisu on valaisutyyppinä helppo toteuttaa. Kuituoptiikalla toteutettuna voidaan toteuttaa monia rakenteita. Etupuolisella valaisulla voidaan kuvata peiliheijastavia pintoja. Sovelluksesta riippuen hyödynnetään joko peiliheijastunutta komponenttia (bright field –valaisu) tai diffuusia komponenttia (dark field –valaisu). Haittapuolena valaistuksessa voi ilmetä ei-haluttuja varjoja ja lisäksi valaistus voi olla epätasainen. [12,13.]



### Diffuusi etuvalaisu

Toteutetaan rengasmaisilla loisteputkivalaisimilla, kuituvalaistuksella tai diffusöörillä varustetulla hehkulampulla. Valaistus antaa pehmeän, verrattain suuntaamattoman valon. Menetelmä vähentää pinnan heijastuksen räikeyttä ja on verraten helppo toteuttaa. Miinuspuolena on valaisimen kohtuullisen suuri koko. Kuvattavan kohteen reunat voivat sumentua ja värillisten kohteiden kontrasti voi olla vähäinen. [12,13.]

### Koaksiaalinen valaisu

Tässä etupuolinen valaistus kohdistuu tarkassa suunnassa kameran objektiiviin nähden. Valaistuksen hyvänä puolena on varjojen eliminoiminen ja tasaisuus koko valaistusalalla. Valaistus on kuitenkin hankala toteuttaa ja se on herkkä pinnan heijastuksille. [12,13.]

### Diffuusi takavalaisu

Diffuusi takavalaisu on helppo toteuttaa. Menettelytapa luo kohteesta siluetin ja tuottaa erittäin suuren kontrastin kuvaan kohteen ollessa musta vaaleaa taustaa vasten. Laitteisto on edullinen toteuttaa, mutta valaistustapa voi sumentaa kohteiden reunoja. Lisäksi valaistusta suunniteltaessa on otettava huomioon valaisimen vaatima tilantarve kuvattavan kohteen takana. [12, 13.]

### Ksenonvalaisu

Käytetään erityisesti nopeiden kohteiden valaisuun. Menetelmä tuottaa voimakkaan valon, laajan spektrin ja hyvän värien balanssin. Ksenonvalaisin voi olla jatkuvatoiminen tai pulssitettu, joka on yleisin. [7.]

## 4 DIGITAALISEN KUVANKÄSITTELYN TEORIAA

Tärkein tavoite konenäkösovelluksille on löytää digitaalisista kuvista oleellisia piirteitä joiden selitys, tulkinta tai käsittely voidaan suorittaa tietokoneella. Digitaalisen kuvankäsittelyn laitteiden kalleus ja suuret datamäärät ovat hidastaneet digitaalisen kuvankäsittelyn yleistymistä. Laitteistojen edullisen hintakehityksen ja lisääntyneen tiedonkäsittelykapasiteetin myötä tästä rajoituksesta on päästy eroon ja yhä useammat sovellukset ovat tulleet toteuttamiskelpoisiksi. Digitaalinen kuvankäsittely voidaan jakaa päämäärän mukaan joko kuvainformaation parantamiseen ihmisen tulkintaa varten tai käsittelyyn koneellista tulkintaa varten. Kuvainformaation parantaminen ihmisen tulkintaa varten tarkoittaa kuvaan kohdistuvia käsittelyjä kuten suodatus, entistäminen, geometrian korjaus, viivojen ja reunojen vahvistus, kuvien kohdistus ja muutosanalyysi. Lähtökohtana on kuva ja lopputuloksena on ehostettu kuva. [7,14.]

### 4.1 Kuva-analyysin vaiheet

Kuva-analyysin tarkoituksena on tuottaa tietoa muodostetusta kuvasta. Ensimmäinen vaihe analyysissä on kuvan muodostaminen kameralla ja saadun kuvan tallentaminen digitaaliseen muotoon.

Kuvan ehostuksella tarkoitetaan menetelmiä, joiden avulla pyritään parantamaan kuvatietoa myöhempiä operaatioita varten. Tavoitteena on käsitellä kuvaa siten, että lopputulos on tietyssä mielessä parempi kuin alkuperäinen kuva. Päämääränä voivat olla kohinan vaimentaminen, kuvan terävöittäminen tai taustan poisto. Ehostuksessa käytettävät keinot ovat yleisesti sovelluskohtaisia. Ehostusmenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan; taajuusmenetelmät ja spatiaalialuemenetelmät. Käytännön sovelluksissa näiden menetelmien kaikkia variaatioita voidaan yhdistellä. [7.]

Seuraavassa kuva-analyysin vaiheessa, segmentoinnissa, kuva-alue jaetaan kohteisiin ja taustaan. Kuva-analyysin onnistumisen kannalta segmentointi-

vaihetta pidetään yhtenä kaikkein tärkeimpänä. Konenäössä segmentoinnin onnistuminen pyritään varmistamaan valaistuksen ja kuvausgeometrian avulla.

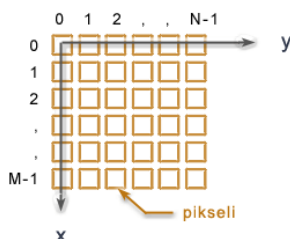
Segmentoinnin jättämiä puutteellisuuksia pyritään korjaamaan jälkiprosessoimalla kuvia morfologisilla operaatioilla. Segmentoinnin ja jälkiprosessoinnin tuloksena kuva on vielä raakadatamuodossa. Kuva-analyysin eri vaiheita on esitelty kuvassa 3. [7.]



Kuva 3. Kuvan käsittelyn eteneminen. [7.]

#### 4.2 Digitaalisen kuvan käsite

Kuvalla tarkoitetaan kaksikulotteista funktiota  $f(x,y)$ , missä  $x$  ja  $y$  viittaavat spatioali- eli paikkakoordinaatteihin. Funktion  $f(x,y)$  arvo on verrannollinen kirkkauteen paikkakoordinaattien määräämässä pisteessä. Yleisimmin käytetään kuvan 4 mukaista paikkakoordinaatistoa.



Kuva 4. Digitaalisen kuvan paikkakoordinaatisto-konventio [7.]

Kuvan digitointi  $x$ - ja  $y$ -koordinaattien suhteen vastaa kaksikulotteista näytteenottoa, jota kutsutaan myös spatiaaliseksi kvantisoinniksi. Valaistusamplitudin digitointia kutsutaan harmaataso- eli intensiteettikvantisoinniksi. Spatiaalitason

kvantisointi osoittaa siten kuvapisteen paikan ja harmaatason kvantisointi sen luminanssin. Sekä paikkatason koordinaatit, että harmaasävyn taso esitetään diskreetissä muodossa. [7.]

Digitaalinen kuva voidaan esittää  $N \times N$  -matriisina. Paikkakoordinaatit  $(x, y)$  osoittavat kyseisessä pisteessä olevan funktion  $f(x, y)$  arvon eli harmaasävyn arvon. [7.]

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kuva  $f(x, y)$  voidaan jakaa vielä valaistuskomponenttiin  $i(x, y)$  ja heijastuskomponenttiin  $r(x, y)$  muodossa

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y). \quad (2)$$

Valaistuskomponentti voi vaihdella ulko-olosuhteissa huomattavasti, jopa miljoonakertaisesti, normaaleissakin sääolosuhteissa tuhatkertaisesti. Heijastuskomponentin vaihtelut jäävät välille 0 – 1, suurimman heijastuksen ollessa kiiltävillä metallipinnoilla. Pienimmillään heijastus on valoa hyvin absorboivilla pinnoilla. [7.]

### 4.3 Kuvan esikäsittely

Kuvan esikäsittelyn tavoitteena on parantaa kuvan laatua myöhempää käsittelyä varten. Tässä vaiheessa kuvaan tehdyt kuvankäsittelyoperaatiot vaikuttavat myös jatkossa tehtyihin kuvankäsittelyoperaatioihin. Spatiaalisilla eli paikkatason suodattimilla kuvankäsittelyoperaatiot kohdistuvat suoraan kuvapikseleihin. Paikkatason suodattimilla kuvasta voidaan vähentää kohinaa, tunnistaa reuna tai pehmentää kuvaa.

## Pisteenkäsittelymenetelmät

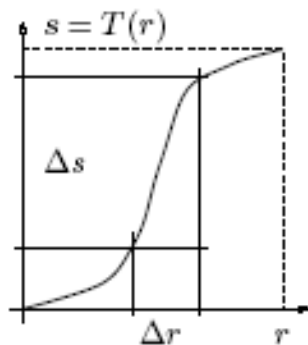
Pisteoperaatioita, joiden lähdekuvasta muodostetaan tulokuva käyttäen muunnosfunktiota, kutsutaan harmaataseoperaatioksi. Kuvankäsittelyoperaatio voidaan esittää matemaattisesti muodossa [7.]

$$s = T(r), \quad (3)$$

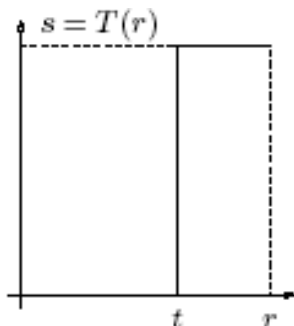
missä  $r = f(x, y)$  on harmaa-arvo lähdekuvan tietyssä pisteessä,

$s = g(x, y)$  on harmaa-arvo vastaavan tulokuvan pisteessä.

Harmaataseoperaatioita ovat esimerkiksi kontrastin venyttäminen (kuva 5) ja binarisointi (kuva 6). Lisäksi kuvalle voidaan tehdä negatiivin muodostaminen, dynamiikan kompressointi, logaritminen muunnos tai gammakorjaus. [7 ]



Kuva 5. Kontrastin venyttäminen [6.]



Kuva 6. Binarisointi [6.]

## Histogrammi

Digitaalisen kuvan histogrammi on diskreetti jakauma, joka kuvaa värien tai harmaatasojen esiintymiskertojen määrää kuvassa. Histogrammi on graafinen esitys, jossa luokiteltu aineisto esitetään pylväsdiagrammina. Digitaalisen kuvan luokitteluperusteena käytetään harmaasävyä, jossa harmaasävyypylvään korkeus vastaa harmaasävyjen esiintymiskertojen määrän kuvassa. [7.]

Digitaalisen kuvan histogrammi määritellään:

$$P(r_k) = n_k / n, \quad (4)$$

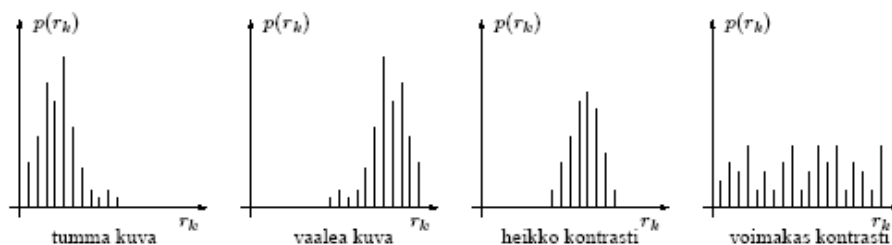
missä  $k$  on harmaatason numero,

$r_k$  on  $k$ :s harmaataso,

$n_k$  on harmaatasoa  $r_k$  olevien pikselien määrä kuvassa,

$n$  on kuvan pikseleiden kokonaismäärä

Kuvan histogrammille voidaan suorittaa operaatioita, jolla prosessoitavaan kuvaan saadaan kullekin pikselille uusi arvo alkuperäisen histogrammin avulla. Kuvassa 7 on esitetty miten histogrammin avulla voidaan tulkita kuvan valotuksen onnistumista ja dynamiikkaa. Histogrammin avulla voidaan tehdä myös päätelmiä kuvan kohteiden ja taustan välisestä osuudesta. [7.]



Kuva 7. Esimerkkejä kuvan tulkinnasta histogrammin avulla [6.]

Histogrammin sisältämää informaatiota voidaan käyttää kuvan piirteiden korostamiseen esimerkiksi histogrammin tasoituksella eli linearisoinnilla. Tässä operaatiossa histogrammin harmaasävyt jakautuvat alkuperäistä laajemmalle

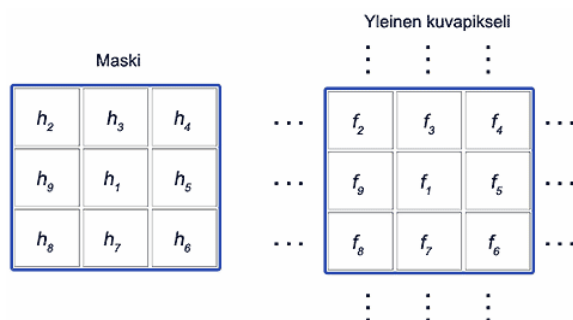
alueelle. Käytännössä näillä operaatioilla voidaan dynamiikkaa lisäämällä saada alkuperäisestä tummasta kuvasta käyttökelpoinen käsitelty kuva. [7.]

### Spatiaalisuodattimet

Paikkatason suodattimet voidaan jakaa alipäästösuodattimiin ja ylipäästösuodattimiin. Nämä voidaan edelleen jakaa lineaarisiin ja epälineaarisiin suodattimiin. Suodattamiseen käytetään maskioperaatioita. Maskit ovat tavallisesti pieniä, esimerkiksi 3 x 3 –matriiseja. Matriisin koko ja painokertoimet määräävät suodatuksen tuloksen. Maskia liikutetaan kuva-alueen yli tavallisesti rivien suuntaisesti vasemmasta yläkulmasta oikeaan alakulmaan. Operaatioissa prosessoidun kuvan pikselin uusi harmaa-arvo määräytyy kohdepikselin ja sen naapureiden harmaasävyistä. Yleinen maskioperaation vasteen laskeminen on näytetty kuvassa 8. [7.]

Spatiaalisen maskin vaste voidaan laskea yhtälöstä

$$R = \frac{1}{N} (h_1 f_1 + h_2 f_2 + h_3 f_3 + h_4 f_4 + h_5 f_5 + h_6 f_6 + h_7 f_7 + h_8 f_8 + h_9 f_9) \quad (5)$$

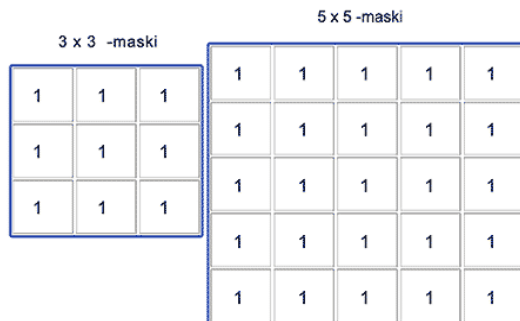


Kuva 8. Maskioperaation vasteen laskeminen [7.]

Alipäästösuodattimella (Lowpass) voidaan pienentää kuvassa esiintyvää kohinaa. Samalla kuvassa tapahtuu kuitenkin yksityiskohtien sumentumista, joka on sitä voimakkaampaa mitä suurempi maski on käytössä

Yksinkertaisimman kuvankäsittelyssä käytetyn maskin kertoimet saavat arvon yksi. Tällöin operaatio vastaa keskiarvon muodostamista pikselin ja sen maskin määräämien naapureiden harmaasävyistä. Suotimeen on liitettävä normeeraustekijä arvojen pitämiseksi alkuperäisellä alueella. Maskin

suurentaminen lisää kuvan sumentumista. Erikokoisia alipäästömaskien muotoa on hahmotettu kuvassa 9. [7.]



Kuva 9. Alipäästösuodattimien maskeja [7.]

Sumentumista voidaan vähentää käyttämällä suodatuksessa Gaussin suodatinta. Suodattimen vaste on nimensä mukaisesti Gaussin käyrän mukainen.

Ylipäästösuodattimella (Highpass) voidaan korostaa kuvassa olevia pieniä yksityiskohtia tai terävöittää hämärtyneitä kuvia. Ylipäästösuodattimella (*HP*) käsitelty kuva saadaan vähentämällä alkuperäisestä kuvasta (*OI*) alipäästösuodattimella (*LP*) käsitelty kuva. [7.]

$$HP = OI - LP \quad (6)$$

Pelkkää ylipäästösuodatusta parempaan tulokseen päästään käyttämällä suurtaajuuksien korostussuodatinta (high-boost). Suodattimen toiminta esitetään operaatiolla. [7.]

$$\begin{aligned} HB &= A \cdot OI - LP \\ &= (A - 1)OI + OI - LP \\ &= (A - 1)OI + HP. \end{aligned} \quad (7)$$

missä *HB* on suuria taajuuksia korostava suodatin,



$A$  on kerroin,  
 $O$  on alkuperäinen kuva,  
 $LP$  on alipäästösuodatettu kuva.

Kun suurtaajuussuodattimen kerroin  $A$  on suurempi kuin yksi, saadaan tulos, jossa ylipäästösuodattimella prosessoituun kuvaan lisätään osa alkuperäisestä kuvasta. Tämän operaation seurauksena käsitelty kuva muistuttaa enemmän alkuperäistä kuvaa. [7.]

Epälineaariset suodattimet toimivat kuten lineaariset suodattimet, mutta maskia käytetään rajaamaan vain alue, jonka keskellä oleva pikseli saa uuden harmaasävyyn arvon. Epälineaarisisissa suodattimissa käytetään myös maskia, jonka mitat ovat parittomia. Kuvan käsittely tapahtuu samalla tavalla kuin lineaarisilla suodattimilla. Naapuripikseleiden keskiarvoistuksen huonona puolena ovat reunojen ja muiden terävien yksityiskohtien sumeneminen.

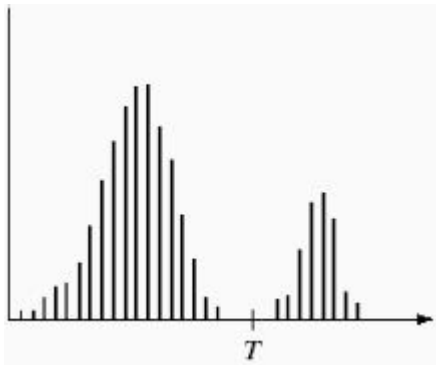
Lineaarista suodatusta parempi tulos saadaan usein käyttämällä mediaanisuuodattinta. Mediaanisuuodatus vähentää myös yksityiskohtia, mutta ei yleensä niin paljon, kuin vastaavan kokoinen lineaarinen suodatus. Mediaanisuuodatusta käytetään kuvan kohinan poistoon kuten alipäästösuodatustakin. Mediaanisuuodatus on tehokas menetelmä pisteittäisen ns. suola- ja pippurikohinan poistamiseksi. [7, 14.]

#### 4.4 Segmentointi

Kuvan esikäsittelyä seuraa kuvan segmentointi, millä tarkoitetaan kuvan jakamista kohteisiin ja taustaan. Segmentointia pidetään yleisesti kuvankäsittelyn vaikeimpana tehtävänä. Segmentoinnin onnistumiseen voidaan vaikuttaa oikeanlaisella valaistuksella ja kuvaustekniikalla. Harmaasävykuvien segmentoinnissa käytetään yleisesti kahta periaatetta; epäjatkuvuuden ja samanlaisuuden havaitseminen. [7.]

## Kynnystäminen

Kynnystäminen on yksi merkittävimmistä segmentointimenetelmistä. Kynnystämällä tutkitaan histogrammia ja pyritään sen perusteella löytämään kynnysarvo, joka jakaa sen kahtia. Samalla kynnysarvon ( $T$ ) perusteella kuva itse on jaettavissa kahdentyyppisiin alueisiin (kuva 10). [7.]



Kuva 10. Kaksihuippuisen jakauman kynnystäminen [6.]

Segmentointi voidaan toteuttaa suoraan kynnystämällä, jos kuvan kohteen ja taustan harmaatasot poikkeavat toisistaan riittävästi. Globaali kynnystäminen voidaan suorittaa asettamalla tietty harmaasävyn arvo  $T$  kynnykseksi, jota pienemmät saavat arvon nolla ja suuremmat arvon yksi. Pikseli kuuluu kohteeseen tai taustaan riippuen siitä, onko harmaataso suurempi vai pienempi kuin  $T$ . Globaali kynnystäminen on yleinen ja käyttökelpoinen operaatio hyvin kontrolloidussa ympäristössä. Kynnystyksessä voidaan käyttää myös useampitasoista kynnystämistä. Tämä monitasoinen kynnystäminen on kuitenkin yleensä epäluotettavampi toimenpide kuin yksitasoinen kynnystäminen. [7.]

### 4.5 Morfologiset operaatiot

Morfologisia operaatioita käytetään kuvankäsittelyssä laajasti. Operaatioilla voidaan esimerkiksi laajentaa ja supistaa kohteita, täyttää kohteissa olevia reikiä, tasoittaa reunaviivaa, poistaa pieniä kohteita, erottaa toisiaan koskettavat kohteet tai muodostaa kohteen luuranko. Morfologiset operaatiot voidaan jakaa binäärikuva- ja harmaasävykuvaoperaatioihin. [7,14.]

Binäärioperaatiossa pikseli saa arvon nolla tai yksi, jolloin kuva on mustavalkokuva. Harmaasävykuvalla suoritetaan kynnystys ennen binäärisiä morfologisia operaatioita. Morfologisissa operaatioissa tarvitaan strukturointielementtiä, jonka pikselit voivat saada vain arvoja nolla tai yksi. Strukturointielementtiä liikutetaan kuva-alueen yli samalla tavalla kuin suodatusoperaatioiden maskia. Suodatinoperaatioiden aritmeettisten operaatioiden sijasta morfologisten operaatioiden strukturointielementin ja alla olevien pikseleiden tulee täyttää jokin looginen ehto. Tämä looginen ehto määrää kohdepikselin arvon. Strukturointielementillä operaatio kohdistuu keskuspikselin alla olevaan pikseliin. Täten strukturointielementin täytyy olla kooltaan pariton. [7.]

Binäärisiä morfologisia perusoperaatioita ovat eroosio, dilaatio ja hit-miss-funktio. Muut operaatiot voidaan yhdistellä näiden funktioiden sekä alkuperäisen kuvan kombinaationa. [7.]

### Eroosio

Eroosio poistaa taustassa olevia pieniä pikseliryhmiä ja kohteiden reunoilla olevia pikseleitä riippuen strukturointielementin koosta ja siinä olevien ykkösten paikan valinnasta. [7.]

### Dilaatio

Dilaation vaikutus on päinvastainen eroosiolle, koska dilaatio vastaa taustan eroosiota. Operaatio poistaa kohteessa olevia pieniä reikiä ja kasvattaa kohteita reuna-alueiltaan riippuen strukturointielementin koosta ja siinä olevien ykkösten paikan valinnasta. [7.]

## Hit-miss

Hit-miss-operaatiota käytetään esimerkiksi yksittäisistä pikseleistä koostuvien reikien havaitsemiseen kohteesta, kohteen vaaka- tai pystysuorien reunojen havaitsemiseen ja nurkkien havaitsemiseen. [7.]

## Avaaminen

Avaaminen (opening) on operaatio, jossa suoritetaan peräkkäin eroosio ja dilaatio. Avaaminen poistaa kohinapisteitä ja tasoittaa reunaviivaa. Operaatio ei muuta oleellisesti kohteiden kokoa ja muotoa. [7.]

## Sulkeminen

Sulkeminen (closing) on operaatio, joka muodostuu peräkkäisestä dilaatiosta ja eroosiosta. Sulkeminen täyttää kohteessa olevia pieniä reikiä ja tasoittaa reunaviivaa. Toiminto ei muuta oleellisesti kohteen kokoa ja muotoa. [7.]

Edellisistä operaatioista voidaan kombinoida monimutkaisia yhdistelmiä, joita ovat esimerkiksi kuvan reunaviivaa koskettavien kohteiden poistaminen, reikien täyttäminen, leimaaminen, pienien tai suurien kohteiden poistaminen kuvasta, toisiaan koskettavien kohteiden erottaminen erillisiksi kohteiksi, luurangon muodostaminen ja segmentointi kohteisiin [7.]. Valittavien operaatioiden käyttö on täysin tapauskohtaista.

## 5 KUVAAMINEN

Ensimmäisenä työnä oli hahmotella, minkälaisella konenäkölaitteistolla sellumassojen roskien tutkimusta tehtäisiin. Laitteiston kameralla piti pystyä kuvaamaan sellumassaa virtaavasta näytteestä. Virtausnopeutta piti myös pystyä säätämään. Järjestelmän käytön ja puhtaanapidon tuli olla vaivatonta. Mittauksessa tuli huomioida tutkittavien sellumassojen vaihteleva koostumus, vaaleus ja sakeus. Näistä seikoista johtuen myös valaistuksen toteutus ja voimakkuus tulisi olemaan tapauskohtainen.

Kuvankäsittelyssä tarvittavan ohjelman valinnassa piti määritellä miten paljon kuvia tullaan ottamaan ja miten saatuja kuvia tulitaisiin käsittelemään. Konenäköjärjestelmässä graafisilla kuvankäsittelyohjelmistoilla testataan usein yksinkertaisimpien menetelmien toimivuutta kuvankäsittelyllisiin ongelmiin. Ohjelmistoilla voidaan tuottaa testikuvia oman järjestelmän perustoimivuuden testaamiseksi.

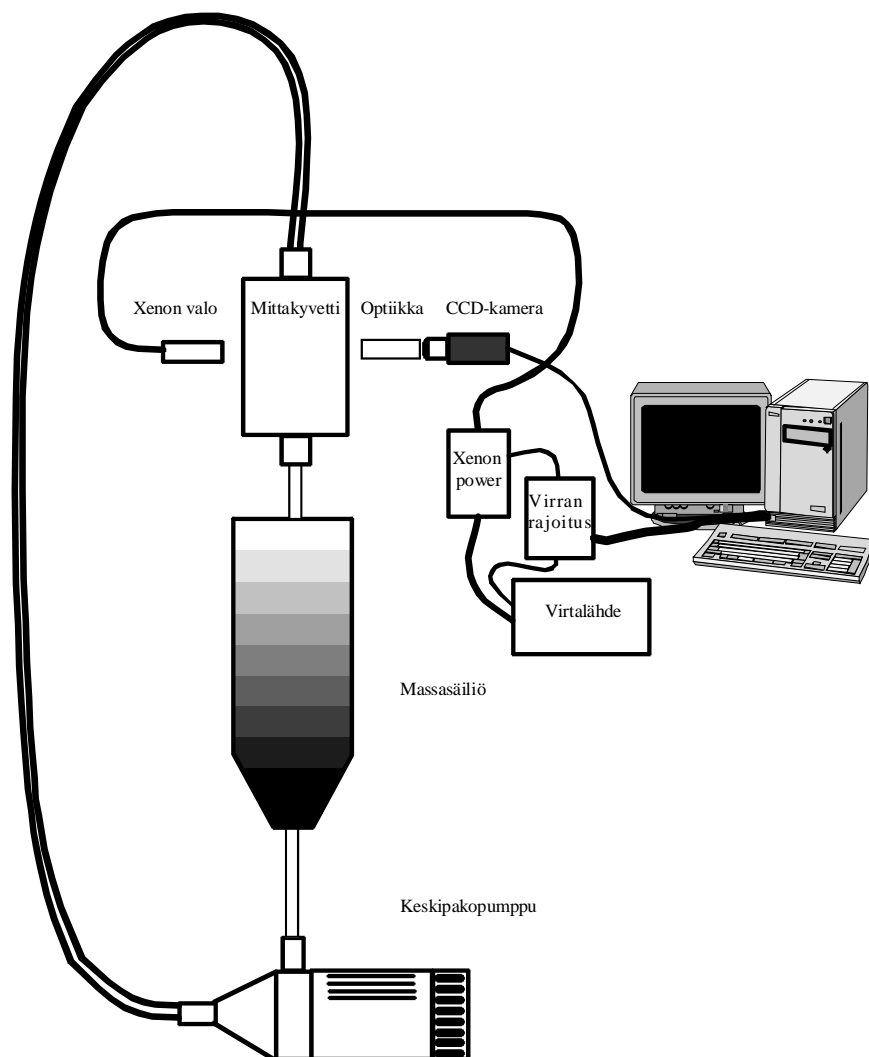
Kaupallisesti on tarjolla runsaasti konenäköohjelmistoja esimerkiksi MATLAB-, LabVIEW- ja Matrox-järjestelmät, jotka tarjoavat kuvien hallinnan lisäksi ohjelmistotyökaluja kuvankäsittelyyn ja analysointiin.

### 5.1 Sovelluksessa käytetty laitteisto

Suunnittelun jälkeen mittauslaitteiston kokoonpano päästiin toteuttamaan. Valittuun mittauslaitteistoon kuuluvat CCD-kamera, kuvausoptiikka, valaisulaitteet, mittakierto, tietokone ja kuvankäsittelykortti. Kuvankäsittelyjärjestelmänä on standardi Pentium 500-PC, jossa on käytössä Windows-käyttöjärjestelmä. PC:lle on asennettuna Matrox Meteor II -kuvankaappauskortti. Korttia käytetään CCIR-signaalin kaappaamiseen digitaaliseksi kuvaksi tietokoneen muistiin.

Mittakierrossa sellumassa pumpataan massasäiliöstä keskipakopumpulla läpinäkyvää putkistoa pitkin lasista tehdyn mittauskyvetin läpi takaisin säiliöön. Mittakiertoon tehtiin liitäntä vesijohtoverkkoon ja viemärointiin.

Mittaus tapahtuu käynnistämällä ensin keskipakopumppu, jolloin sellumassa alkaa virrata mittauskyvetin läpi. Kuvaukseen aloitetaan, kun on tarkistettu visuaalisesti, että virtaus on tasaantunut putkistossa. Kuvauksen alussa suoritetaan ensin referenssikuvaukset. Referenssikuvia käytetään taustakuvan muodostamiseen, jolla vähennetään ksenonlampun intensiteetin ja massan sakeusvaihtelusta aiheutuvaa kuvan kohinaa. Laitteiston komponentit on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Sellun mittaamiseen käytetty laitteisto.

## CCD-kamera

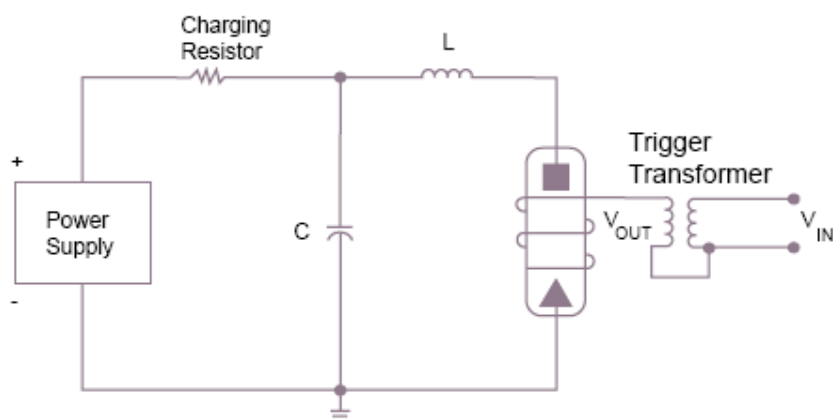
Mittauskyvettiin on kiinnitetty teollisuuskamera JAI-10, jossa on CCD-kuvailmaisin. Kameraan on liitetty standardi teollisuusoptiikka.

## Kuvankaappauskortti

Kortiksi valittiin yrityksessä yleisesti käytössä ollut Matrox Meteor II -kortti, johon suunniteltiin korttia suojaava puskurointi. Kokemusperäisesti tiedettiin, että ksenonvalon tehonlähteen suora liipaisu kuvankaappauskortilta saattoi aiheuttaa kortin tuhoutumisen. Suojaukseen käytettiin olemassa olevaa LEDille tarkoitettua triggeraus-korttia, jonka komponenttiarvoja muuttamalla saatiin aikaan liipaisu ksenonlampulle ja samalla suojaus kuvankaappauskortille.

## Valaistusgeometria

Valaistuksena käytettiin kuitukaapelilla toteutettua diffuusia päältä valaisua ja valonlähteenä toimi ksenonlamppu. Yrityksessä on ennestään käytössä japanilaisen Matsushitan ksenonvalaisujärjestelmä. Se koostuu korkeajännitevirtalähteestä ja ksenonlampusta. Virtalähteen jännite säädettiin arvoon 975 VDC. Ksenonvalaisun tyypillisen virtalähteen piirikaavio on esitetty kuvassa 12 ja ksenonlamppu, kuvassa 13.



Kuva 12. Xenon powerin purkausosan piirikaavio [15.]



*Kuva 13. Ksenonlampun syttymisen ajanhetki [15.]*

## 5.2 Ohjelmistot

Yrityksellä on lisenssioikeus Matroxin mittaustuotteisiin, joten kuvankäsittely päätettiin toteuttaa Matrox ActiveMIL -kuvankäsittelykirjaston algoritmeja käyttäen. Kuvankaappausta, järjestelmän ohjausta, kuvien tallentamista ja käsittelyä varten sovellukseen asennettiin siten Matrox Imaging- ja Visual Basic -ohjelmat. Ohjelmointikieleksi valittiin Visual Basic, koska yrityksessä ohjelmalla oli aikaisemmin toteutettu kuvankäsittelysovelluksia. Näin työssä oli mahdollisuus edetä nopeammin. Lisäetuna on, että ohjelmat ovat yhteensopivia tulevaisuudessakin.

## 5.3 Mittaus

Kuvankäsittelyn ensimmäinen tavoite oli kuvanmuodostus virtaavasta sellumassasta. Kuvien ottamiseen käytettiin Visual Basic-ohjelmointikielellä tehtyä ohjelmistoa. Ohjelmistolla voitiin ottaa yksittäisiä kuvia ja tallettaa otetut kuvat tiedostoihin. Aikaisessa vaiheessa toteutettu kuvien tarkastelu osoitti, että tehdyllä kuvankäsittelyllä (Matrox Inspector) kuvista olisi mahdollista saada näkyviin halutut kohteet.



Kokemusperäisesti tiedettiin, että kuvanmuodostuksen onnistumiseen vaikuttivat ratkaisevasti tutkittavan sellumassan sakeus ja vaaleus sekä käytetty valaistusgeometria. Työn esivaiheen tutkimuksissa sellumassoja kuvattiin vaihtelevissa sakeuksissa. Näin saatiin perustavaa tietoa varsinaisia mittauksia varten. Näissä mittauksissa käytettyjä sellumassoja olivat happivaiheen massat, vaaleusmassa sekä TMP-rejektimassa.

## 6 ROSKAMITTAUSMENETELMÄ

Toteutetulla laitteistolla tutkittiin sellumassan roskaisuutta. Mittaukseen käytettiin CCD-kameraa ja valaistukseen etupuolista kuituvalaistusta. Järjestelmää ohjattiin testausta varten suunnitellulla ohjelmistolla. Tutkittavia sellumassoja kuvattiin vaihtelevissa sakeuksissa. Mittaustulokset saatiin Matrox ActiveMIL -kuvankäsittelykirjaston partikkelianalyysin tuloksista, josta ne siirrettiin taulukkolaskentaan käsiteltäväksi.

### 6.1 Sakeuden määrittelyminen

Sellumassan sisältämien roskien mittaaminen konenäköjärjestelmällä menestyksellisesti riippuu hyvin paljon mitattavan massan sakeudesta. Tämän vuoksi mitattavien sellumassojen sakeusmääritykset tuli tehdä huolellisesti. Sakeuden määrittelyssä käytettiin yrityksessä käytössä ollutta standardimenetelmää.

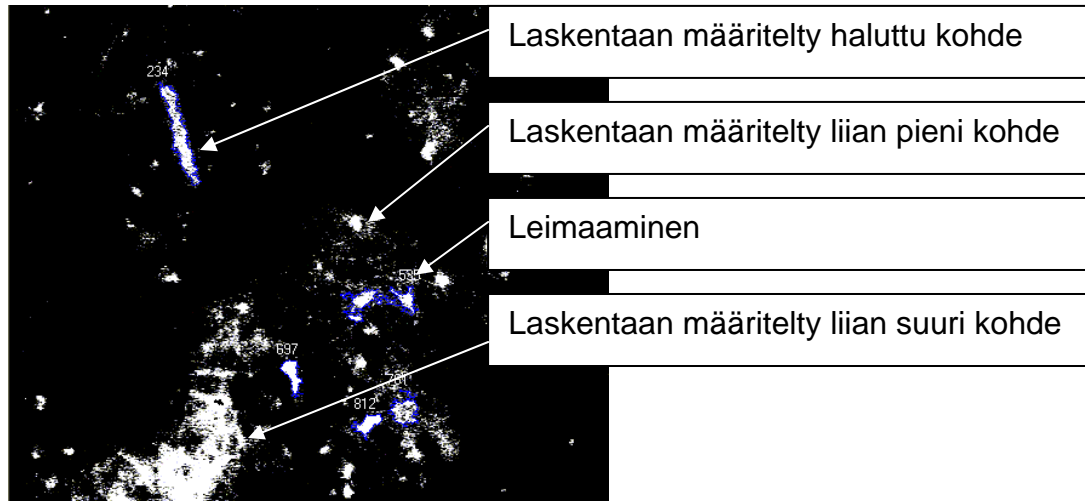
Menetelmässä määriteltävästä sellumassasta otetaan osanäyte, jonka sakeusmääritys edustaa koko näytteen sakeutta. Määritystä tehtäessä on näytettä sekoitettava huolellisesti siten, että näyte on homogeenista. Työ aloitetaan kuivaamalla työssä käytettävät suodatinpaperit ensin 105° C asteisessa kiertoilmaunissa, jonka jälkeen ne kuivataan vielä eksikaattorissa. (Eksikaattori on tiivis lasikupu, jonka pohjalla on kosteutta imeviä rakeita.) Jäähymisen jälkeen paperit punnitaan tarkkuusvaa'alla ja saatu paino merkitään paperiin. Punnittu paperi asetetaan imuastian päälle Buchner-suppiloon. Tämän jälkeen kytketään ejektori päälle, jolloin imuastiaan syntyy alipaine. Suodatinpaperi kastellaan vedellä paperin tiivistämiseksi Buchner-suppiloa vasten. Näyte kaadetaan hitaasti suodatinpaperin päälle, jolloin massa jää paperille ja vesi valuu imusuppiloon. Seuraavaksi syntynyttä näytekakkaa kuivataan 105° C asteisessa kiertoilmaunissa noin tunnin ajan. Näytekakut laitetaan jäähymään eksikaattoriin ja punnitaan vaa'alla. Jokaisesta näytteestä tehdään kaksi määritystä ja saaduista tuloksista lasketaan keskiarvo. Näin on saatu tehtyä sellumassan sakeusmääritys.

## 6.2 Päättä valaisu

Ensimmäinen tavoite sellumassan roskien mittauksessa oli saada muodostettua hyväksyttävä kuva. Kuvanmuodostukseen vaikuttivat käytössä ollut valon määrä ja valaistuksen kulma. Kuvaan voitiin vaikuttaa kameran suljinaikaa ja valotuksen aukkolukua säätämällä. Kun visuaalisesti tarkasteltu kuva oli riittävän hyvä, aloitettiin kuvankäsittelyyn tarvittavien toimenpiteiden suunnittelu. Tässä vaiheessa arvioitiin millä massoilla ja sakeuksilla kuvaaminen mahdollisesti onnistuu.

Aluksi tarkasteltiin käsittelemättömien kuvien informaatiota silmämääräisesti. Visuaalisen tarkastelun jälkeen kuvia siirryttiin tutkimaan Matrox Inspector -ohjelmalla. Ohjelma on käyttökelpoinen kuvankäsittelyn työkalu kuvien alkuvaiheen tutkimisessa. Ohjelmalla muodostettiin tarkasteltaville kuville ensin histogrammi, jolla tutkittiin kuvan kirkkautta ja pikseleiden jakautumista tummiin ja vaaleisiin pikseleihin. Sovelluksessa käytetystä valaistuksesta johtuen tausta on tumma, kohteiden näkyessä vaaleampana (taustavalaisulla päinvastoin). Kohteiden näkyminen kuvassa vaaleampana perustuu siihen, että tutkittavan massan roskista ksenonvalon sironta oli voimakkaampaa kuin taustasta siroava valo.

Kuvan jakaminen taustaan ja kohteisiin on ensimmäinen tarvittava tieto. Histogrammia tutkimalla saatiin siis selville taustan ja kohteiden harmaatasojen jakauma, jonka perusteella kuva jaettiin kynnyksellä kohteisiin ja taustaan. Tämän jälkeen kuvia alettiin käsitellä morfologisilla operaatioilla. Lopuksi morfologisten operaatioiden jälkeen kuville määritettiin sopiva partikkelianalyysi (blob-analyysi) ja suoritettiin tulosten laskenta. Esimerkki suoritetusta kuvankäsittelystä on näytetty kuvassa 14 ja tulokset kuvassa 15.



Kuva 14. Matrox Inspectorilla tehty kuvankäsittely. [16]

	Label	Area	Compactness	Roughness	Length	Breadth	Elongation
0	234	819	21.36	2.351	230.9	3.547	65.1
1	535	643	34.18	3.105	260.3	2.47	105.4
2	697	282	4.209	1.461	56.03	5.033	11.13
3	761	357	20.29	3.225	148.5	2.405	61.74
4	812	248	4.255	1.515	52.89	4.689	11.28

Kuva 15. Matrox Inspectorilla tehty mittaus tunnistetuista kohteista.[16.]

Kuvien alkuvaiheen silmämääräisen tarkastelun ja Matrox Inspector -ohjelmalla käsiteltyjen kuvien tutkimisen jälkeen siirryttiin suunnittelemaan varsinaista mittaussekvenssiä. Ohjelmaa kehitettiin koko työn ajan ja siihen lisättiin toimintoja mittauksen edistyessä. Testaus suoritettiin pumpaamalla sakeusmääritettyä sellumassaa mittauskyvetin läpi ottamalla samaan aikaan yksittäisiä kuvia. Testiajoista voitiin päätellä sellumassaan sisältyvien roskien näkyminen otetuissa kuvissa.

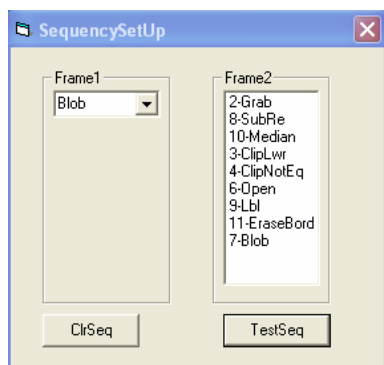
Ensimmäiseksi kuville muodostettiin taustakuva (Reflmg), kuvaamalla 20 kuvan sarja ja ottamalla niistä keskiarvo. Taustakuvalla saatiin pienenettyä sakeusvaihtelun aiheuttama kohinaa vähentämällä mittauskuvasta saatu referenssikuva. Operaation vaikutus kuvaan oli, että halutut kohteet (roskat) näkyivät nyt kuvassa vaaleampana. Kokonaisuudessaan ohjelmaan toteutetulla sekvenssillä kuvaan voitiin muodostaa taustakuvan korjaus, segmentointi, kuvankäsittely sekä tiedostoon tallennus. Seuraavassa vaiheessa toteutettu

mittaussekvenssi sisälsi kohteiden tunnistamiseksi leimaamisen, mittausta varten partikkelianalyysin (Blob-analyysi) ja tulosten siirtämisen Excel-laskentaan. Nyt voitiin ottaa yksittäinen kuva, jonka kohteet oli numeroitu, suorittaa valittu kuvankäsittely ja siirtää tulokset Excel-tilukkolaskentaan. Taulukkolaskennassa tuloksille suoritettiin varsinainen laskenta ja muodostettiin roskien jakauman kertova kuvaaja.

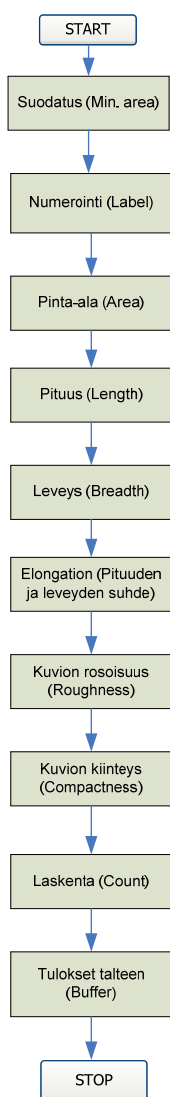
Yksittäisten kuvien tarkastelun jälkeen kävi selväksi, että luotettavan tuloksen saamiseksi mittaus tulisi automatisoida. Nyt tehdyissä mittauksissa roskat osuivat kuviin sattumanvaraisesti käyttäjän määräämällä kuvanottohetkellä. Ryhdyttiin määrittelemään sekvenssiä, jolla saataisiin otettua kuvia jatkuvasti ja jonka lopuksi kuvat voitaisiin tallentaa tiedostoihin.

Seuraavassa vaiheessa toteutettu mittaus sisälsi edellisten toimintojen lisäksi jatkuvan kuvauksen mahdollisuuden. Sekvenssi mahdollisti 5000 kohteen käsittelyn ja analysoinnin käyttäjän ohjaamana. Suuresta analyysimäärästä voitiin määritellä roskiksi tulkittavat kohteet pitkänomaisuuden (Elongation) perusteella ja analyysin luotettavuus parani huomattavasti. Jo aikaisemminkin ongelmaksi muodostunut, sellumassojen mittaus korkeammilla sakeuksilla vaati kehittyneempää analysointia. Suuremmilla sakeuksilla kohteet eivät enää erottuneet riittävästi taustasta, eikä niistä voitu siten suorittaa analysointia.

Viimeisimmässä vaiheessa mittaussekvenssiä muutettiin siten, että mittaus tapahtui taustakuvan (Reflmage) ottamisen ja käyttäjän määrittelemän kuva-analyysisekvenssin (SequencySetUp, kuva 16) jälkeen automaattisesti. Sekvenssiin valitut operaatiot vaikuttivat ratkaisevasti kuva-analyysin onnistumisen. Kuvasta saatavan mittaustiedon määrittely on esitetty kuvan 17 vuokaaviossa.



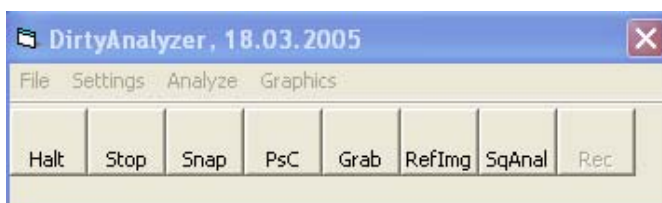
Kuva 16. Kuva-analyysin määrittelemine



Kuva 17. Partikkelianalyysin vuokaavio.

Mittauksen aikana kuvaan otettujen kohteiden tunnistusta voitiin seurata laskurista ja käyttäjä saattoi pysäyttää analyysin haluamallaan hetkellä.

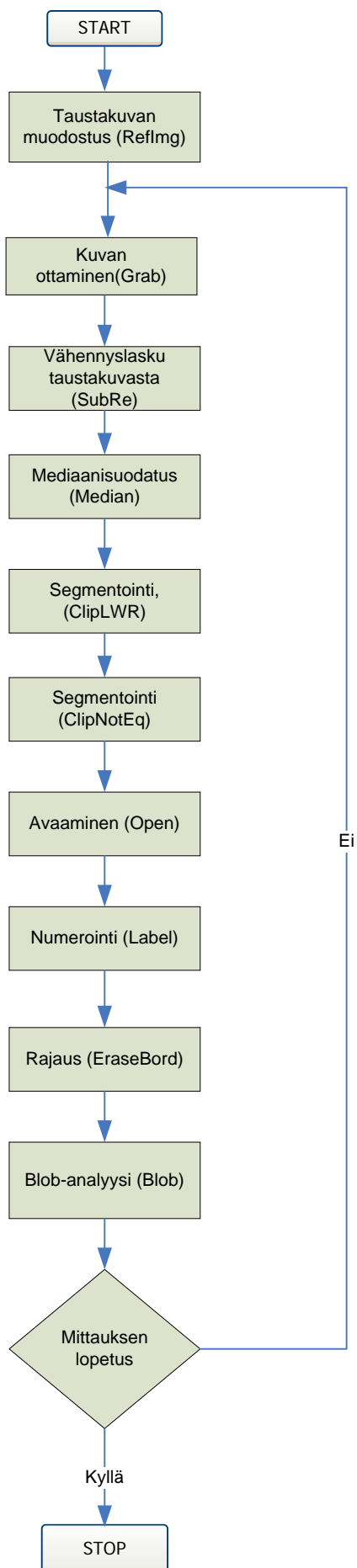
Analyysi pysähtyi nyt myös automaattisesti laskurin osoittaessa 10 000 kohdetta. Mittauksen aikana kohteiden tunnistus ja kuva-analyysin eteneminen näkyivät PC:n näytöllä. Laskurin ja näytön kuvien perusteella käyttäjä saattoi vielä säätää kuvaussekvenssiä ennen varsinaisen mittauksen alkua. Esimerkiksi, jos laskuri näytti liian vähän tai liian paljon kohteita, niin kohteiden määrään voitiin vaikuttaa muuttamalla suodatusta tai morfologisia operaatioita. Lopullinen ohjelma, jolla mittaukset suoritettiin, sisälsi taustakuvan vähennyksen, määriteltävän sekvenssin partikkelianalyysille, segmentoinnin kynnyksarvon asettamisen, morfologisten operaatioiden määrittelyn sekä tulosten taulukkolaskentaan siirron. Kuvan ottamiseen tarvittava ohjauspaneeli on esitetty kuvassa 18 ja kuvankäsittelyn ohjaus kuvassa 19. Mittaus ja kuvankäsittelyanalyysit tapahtuivat määrittelyjen ja asetusten jälkeen käyttäjän ohjaamana automaattisesti. Kuvankäsittelyohjelman vuokaavio on esitetty kuvassa 20 ja koko mittaustapahtuman eteneminen kuvassa 21.



*Kuva 18. Kuvanoton ohjaus*

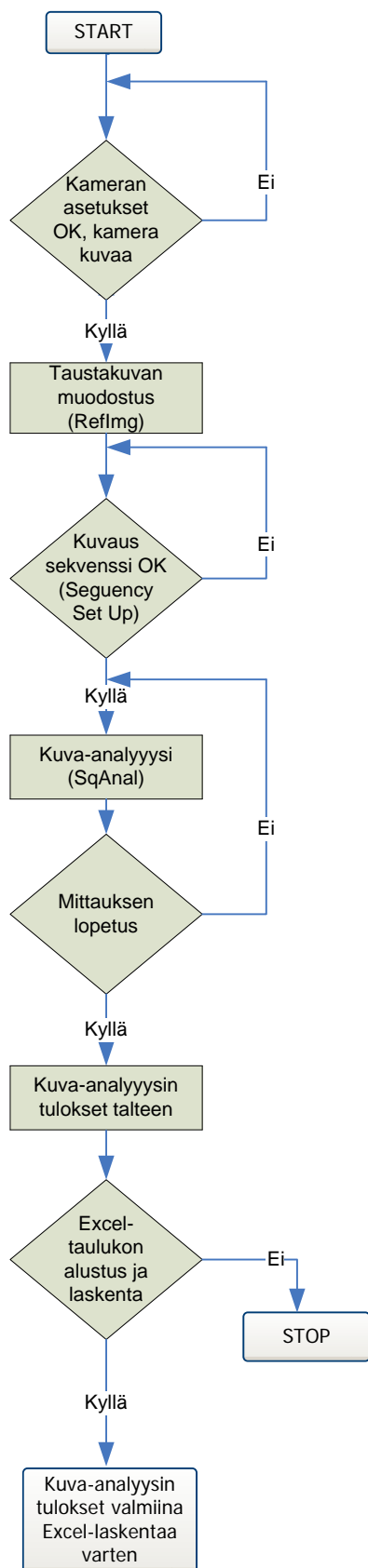


*Kuva 19. Kuvankäsittelyn ohjauspaneeli*



Kuva 20. Kuvankäsittelyohjelman vuokaavio





Kuva 21. Sellun roskamittauksen etenemisen vuokaavio.

Kuvankäsittelyssä suoritettiin ensin taustankorjaus REF-näppäimellä. Tämän jälkeen suoritettiin kuvankaappaus (Grab), jossa samaan aikaan tapahtui kuvankäsittely. Kuvankäsittely määritettiin SequencySetUp-valikossa, johon määritettiin kokeellisesti sopiva sekvenssi. Käytettävä sekvenssi riippui mitattavan massan sakeudesta ja roskaisuudesta. Kun sopiva sekvenssi oli kokeellisesti löydetty, mittaus voitiin aloittaa. Esimerkki kuva-analyysistä on esitetty liitteessä A.

## 7 MITTAUSTULOKSET

Tässä osassa käsitellään sellumassojen kuva-analyyseistä saatuja mittaustuloksia ja niistä koottuja kuvaajia. Esimerkit mittaustuloksista on koottu liitteisiin B ja C.

### 7.1 Suoritetut testit

Ensimmäisen vaiheen testiajot tehtiin TMP-rejektimassalla, koska se sisältää mittaustarkoitukseen sopivaa roska-ainesta. Analysoitavan sellumassan sakeudeksi oli alustavien testiajojen perusteella valittu 0,3 % ja näytteen tilavuus oli 3 litraa. Testiajot suoritettiin sarjoina, joihin kuului 5 näytteen analysointi. Testiajoja tehtiin yhteensä viisi sarjaa. Jokainen näyte valmistettiin samalla menetelmällä, näytteenotosta aiheutuvan virheen minimoimiseksi. Jokaisen näytesarjan näytteet analysoitiin samoilla kuvankäsittelyasetuksilla ja analyysin mittaustulokset laskettiin samoilla taulukkolaskennan kaavoilla. Näin tuloksista saatiin vertailukelpoisia keskenään. Mittaustuloksista tehtiin histogrammit, jotka kuvaavat roskien jakaumaa kokoluokittain. Kaikki saadut tulokset tallennettiin erilliseen kansioon verkkolevylle myöhempää tarkastelua varten. Saatuja histogrammeja ei ole esitetty liitteessä.

Toinen vaihe mittauksia suoritettiin siten, että tarkkuusvaa'alla punnittu 0,500 g määrä roskaa lisättiin mittauksiin. Mittaus roskalla suoritettiin ensin pelkällä vedellä, jolloin saatiin selville mittaukseen sisältyvien roskien lukumäärä ja dimensioiden jakauma. Kun pohjamittaus oli tehty, lisättiin säiliöön sakeusmääriteltyä TMP-rejektimassaa siten, että näytteen kokonaissakeus oli alussa 0,6 % Aloitussakeus oli valittu aikaisempien kokemusten ja testiajojen perusteella. Testiajo sakeuden suhteen suoritettiin nyt massaa vedellä laimentaan 0,1 % portain siten, että seuraava sakeus oli 0,5 %. Jokaisessa tutkittavassa sakeudessa etsittiin optimaaliset kuvankäsittelyalgoritmit, joilla roskat saatiin analysoitua ja mitattua. Näin menetellen määritettiin maksimisakeus TMP-rejektimassalle, jolla mittaus toimi vielä luotettavasti. Sakeusmittauksen tulos 0,3 % sakeudessa on esitetty liitteessä B. Sakeustestaus suoritettiin muuten samalla tavalla näytteenkäsittelyn ja mittausrutiinien osalta kuin ensimmäinen mittaus. Tämän mittauksen

yhteydessä haluttiin selvittää testissä käytettyjen roskien kokoluokka, joka tehtiin FiberLab -kuidunpituusmittarilla. Sillä ajettiin vertailumittaus samasta näytteestä niin pituuden, leveyden kuin kappalemäärienkin suhteen. Mittaustulokset on esitetty liitteessä C. Tuloksien histogrammeista roskien lukumäärä näkyy pylvään korkeudesta ja leveys on luettavissa vaaka-akselin  $\mu\text{m}$ -asteikolta. Saatua roskien jakaumaa voitiin tämän jälkeen verrata sakeusmittauksen kuva-analyysistä saatuun jakaumaan.

Suurin hankaluus tässä mittauksessa oli sopivan roskan löytäminen. Kokeilut Rayon-kuiduilla epäonnistuivat roskien ollessa liian pieniä ja niiden värin ollessa huonosti valoa sirottava (musta). Sakeusmittauksissa käytetyistä roskista parhaimpaan tulokseen päästiin itse tehdyllä roska-aineksella.

## 7.2 Tulosten arviointi

Suoritettujen kuva-analyysien perusteella voidaan todeta, että konenäkömenetelmällä on mahdollista tunnistaa sellumassan seasta roskiksi luokiteltavat kohteet. Tunnistuksen jälkeen roskien määrällinen osuus koko sellumassasta voidaan laskea. Roskien kokoluokan määrittäminen saadaan partikkelianalyysiin tuloksista. Roskien lukumäärää näytteestä ei selvitetty, koska mittauksessa kierrätettiin samaa näytettä.

Dimensioiden laskentaan voidaan partikkelianalyysissa määrittellä erilaisia käyttäjän valitsemia vaihtoehtoja. Roskiksi luokiteltavien kohteiden määrittäminen tehtiin pituuden ja leveyden suhdeluvun (elongation) perusteella. Roskien laskentaan käytettiin taulukkolaskentaan tehtyä kaavaa, jolla roskiksi luokiteltaville kohteille voitiin antaa erilaisia ehtoja roskan koon mukaan.

Roskamittauksen histogrammi kertoo roskien esiintymiskertojen lukumäärää sellussa ja luokitteluperusteena käytettiin roskan leveyttä. Saatujen tulosten histogrammista on luettavissa mittauksen roskien lukumäärä pylvään korkeudesta ja roskan kokoluokka (leveys) vaaka-akselilta.

Saadut tulokset riippuivat ensisijaisesti siitä, miten hyvin kuvien segmentoinnista onnistuttiin eli saatiinko roskat erotettua taustasta. Segmentoinnin onnistumiseen vaikuttavat mittaukseen valittu sellumassa ja sen sakeus, sekä valitut kuvankäsittelyoperaatiot. Ensimmäisessä mittauksen testiajoissa käytetyn sellumassan (TMP-rejektin) koostumus, vaaleus ja sakeus havaittiin sopiviksi mittauksia varten. Se sisälsi riittävästi roskiksi luokiteltavia kohteita ja niiden kokoluokka oli mittauksiin sopiva. TMP-rejektimassaan sisältyvää roska-aineksen määrää ja roskien kokoluokan jakautumista voidaan arvioida mittauksista saaduista histogrammeista. Saatuja histogrammeja ei ole esitetty liitteessä.

Sakeusmittauksien tuloksista tutkittiin miten sakeuden muutos 0,3-0,6% vaikuttaa roskamittaukseen. Tulosten tulkinta tehtiin samalla tavalla histogrammin jakaumaa tutkimalla kuin ensimmäisen vaiheen mittauksessa. TMP-rejektimassalla saadun mittaustuloksen histogrammin huippua ja muotoa tutkittaessa havaitaan, että sakeuden kasvaessa roskien erottelukyky pienenee. Vertailumittauksena käytetyn FiberLab -kuidunpituusanalysaattorin tuloksista nähdään, kuinka pieniä roskia 0,3 % sakeasta TMP-rejektimassasta oli mitattavissa. Näiden mittaustulosten perusteella voidaan todeta laitteiston mittaavan vähintään 20 µm kokoisia (leveys) roskia sakedella 0,3-0,6%. Mittaustulos kuitenkin huononee massan sakeuden kasvaessa. Mittauksien tulokset olivat toistettavissa (Liite B). Mittaustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että kuva-analyysin tulokset ovat esitetty pikseleinä ja kuidunpituusanalysaattorin tulosten yksikkö on µm.

Työssä tutkittiin myös miten pieniä roskia laitteistolla kyetään mittaamaan. Mittauksessa käytetyn kameran ja optiikan pienten roskien erottelukyky oli riittävä. Pienten roskien mittaamisen onnistumiseen vaikuttivat morfologisten operaatioiden lisäksi partikkelianalyysiin valitut suodatukset, sekä mitattavan massan koostumus, sakeus ja vaaleus. Alustavien testiajojen aikana herkästi flokkiintunut (kuitukimppuja sisältänyt) happivaiheen massa oli vaikeata analysoida. Kuitukimppujen muodostumiseen vaikutti osaltaan käytetyn massan aikaisempi käsittely. Tässä korostuu se, että tutkittavan massan ominaisuudet eivät saisi muuttua olennaisesti sellutehtaalla tapahtuneen näytteenoton jälkeen.

### 7.3 Mittausten luotettavuus

Merkityksellistä mittauksen luotettavuudelle on näytteenkäsittelyn oikea suorittaminen, näytemäärän tarkka mittaaminen ja sakeusmäärityksen tarkkuus. Riittävän näytemäärän analysoiminen ja laskenta on oleellista luotettavien mittaustulosten saamiseksi. Ensimmäisen analyysin mittaussarjoista saatiin tuloksiksi samantyyppisiä histogrammien jakaumia. Menetelmä ei kerro roskien absoluuttista lukumäärää, ainoastaan roskien jakauman kokoluokittain. Tämän lisäksi histogrammien jakaumista voidaan havaita tehtyjen mittausten toistettavuus. (Liite B)

Toisessa mittauksessa etsittiin maksimaalinen sakeus, jolla mittaus onnistui luotettavasti. TMP-rejektimassan 0,3 % sakeudella saatuja mittaustuloksien luotettavuutta voidaan arvioida vertailemalla mittausten histogrammien jakaumia ja huippuja, sekä tuloksien keskinäistä hajontaa. Mittaussarjaa tarkastelemalla havaitaan, että histogrammien jakaumat muistuttivat toisiaan. Histogrammeista havaitaan, että luotettavuus pienien roskien mittaamiseen huononee sakeuden kasvaessa.

### 7.4 Menetelmän kehittäminen tulevaisuudessa

Tehtyjen kuva-analyysien perusteella voidaan todeta, että tietyillä massoilla ja sakeuksilla kuvien segmentointi kohteisiin ja taustaan on vaativaa. Pulmallista on etenkin tummilla massoilla ja korkeilla sakeuksilla riittävä valon määrä. Ongelman ratkaisua voidaan etsiä lisäämällä valon määrää tai muuttamalla valaistuksen geometriaa. Lisäksi voidaan tutkia valon erilaisten aallonpituuksien ja suodattimien käytön vaikutusta sirontaan ja sitä kautta itse mittaukseen.

Mittauksissa haettiin kuville mittaskaalaa lisäämällä mitattavan massan sekaan tasalaatuista Rayon-kuitua, jonka mitat olivat tarkasti tiedossa. Rayon-kuidut eivät kuitenkaan näkyneet päältävalaisussa, koska käytettyjen kuitujen dimensiot olivat liian pienet ja kuitujen tumma väri absorboi valoa tehokkaasti. Tasalaatuisen ja tarkasti määritellyn roska-aineksen käyttö mittauksissa mahdollistaisi vertailumittausten tekemisen ja siten parantaisi tulosten luotettavuutta.

## 8 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin konenäköjärjestelmän soveltuvuutta sellun roskaisuuden mittaamiseen. Roskista mitattiin leveyden ja kappalemäärien jakaumat ja itse mittaustuloksia arvioitiin mittausten toistettavuuden ja referenssimittauksen avulla. Pienten roskien erottelukyvyn vertailumittaus tehtiin FiberLab -kuidunpituusanalysointilaitteella.

Työssä toteutettiin ohjelmisto, jonka avulla analysoitiin sellumassan roskien suhteellisia osuuksia. Testeissä käytetty ohjelmisto kirjoitettiin Visual Basic -ohjelmointikielellä ja kuvien käsittely tehtiin Matrox ActiveMIL -kuvankäsittelykirjaston operaatioilla.

Työn alussa kartoitettiin menetelmän soveltuvuutta mittaukseen ja mahdolliset työssä eteen tulevat ongelmat, sekä hankittiin tietoa mittauksen teoreettisesta taustasta. Työn teoriaosuus esittää teollisuudessa yleisesti käytettävän konenäköjärjestelmän rakenteen ja käytettäviä menetelmiä.

Itse työ jakautui kolmeen päävaiheeseen, jotka olivat ohjelmiston suunnittelu, ohjelmiston testaus ja menetelmän testaus. Mittaus perustui ksenonlampun lähettämän valon sirontaan kohteesta. Valon sironta tapahtui kohteesta voimakkaammin kuin taustasta. Tämä mahdollisti sen, että käsiteltävien kuvien harmaatasojen vaihtelut olivat riittävän suuria kuvan jakamiseksi roskeen ja taustaan. Sironnan tunnistaminen tehtiin CCD-kameralla, kuvankäsittelyt ja roskien tunnistus suunnitellun ohjelmiston avulla.

Tutkittavia sellumassoja analysoitiin alkuvaiheessa eri sakeuksilla ja niistä otettuja kuvia tutkittiin myös Matrox Inspector -ohjelmalla. Kun riittävän hyvä kuvankäsittelyn taso oli saavutettu ja testattavat massat valittu, aloitettiin itse menetelmän testaus. Työ ja mittaukset toteutettiin Metso Automation Kajaanin yksikön tiloissa. Testit tehtiin TMP-rejektimassalla ja saaduista tuloksista voidaan todeta mittausmenetelmän toimivuus tietyin rajoituksin.

Menetelmä vaatii jatkokehittelyä. Etenkin kaikkein pieninten roskien mittaaminen vaatii parempaa erottelukykyä ja kehittyneempää valaistusta.

## LÄHDELUETTELO

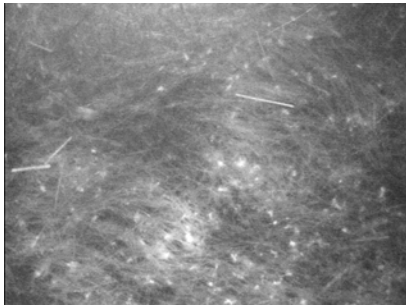
- 1 Metso Automation Kajaanin yksikön perehdyttämisopas Tervetuloa taloon 210104.: Metso Automation.
- 2 Pekka Teppola. Suullinen tieto.
- 3 28.3.2005: Forest Industries [WWW-dokumentti]
- 4 Measurepolis Kajaani tiedotuslehti 2004, s.2-3.
- 5 Rinne R. Metso Automation koulutusmateriaali.
- 6 28.3.2005: [WWW-dokumentti. Digitaalinen kuvankäsittely]  
<http://www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.247/edita2004/slides-8.pdf>.
- 7 Romppainen P. Konenäkö. Kajaanin Ammattikorkeakoulu, 2004. Opetusmoniste.
- 8 29.3.2005 [WWW-dokumentti]Suomen Automaatioseura ry,
- 9 28.3.2005 [WWW-dokumentti]Tekniikkatalous.fi/doc.ot?f\_id=493626 21.3. 2005.
- 10 28.3.2005 [WWW-dokumentti] <http://members.aol.com/ajayner/nyquist.htm>
- 11 25.3.2005 [WWW-dokumentti. Illumination for Machine Vision] <http://dolan-jenner.com/jenner/equipment/quide.asp>
- 12 Kärkkäinen T. Kajaanin Ammattikorkeakoulu, 2004. Opetusmoniste. Valaistusgeometria s.6
- 13 25.3.2005 [WWW-dokumentti. Machine Vision Guide]  
[http://www.mellesgriot.com/products/machinevision/lif\\_3.htm](http://www.mellesgriot.com/products/machinevision/lif_3.htm)
- 14 Gonzalez, R.C., Woods, R.E. Digital Image Processing. Prentice Hall, Second Edition, 2002 ISBN 0-13-094650-8.
- 15 25.3.2005 [WWW-dokumentti. Benefits of Xenon Technology] Perkin Elmer.com.
- 16 Matrox Inspector 4.



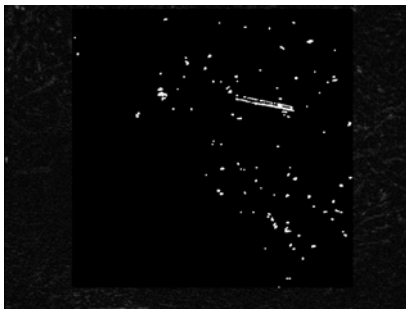
## LIITTEET

- A. Kuva-analyysin kuvasarja
- B. Mittaustulos; TMP-rejektimassa
- C. FiberLab -kuidunpituusanalysointorin tulokset

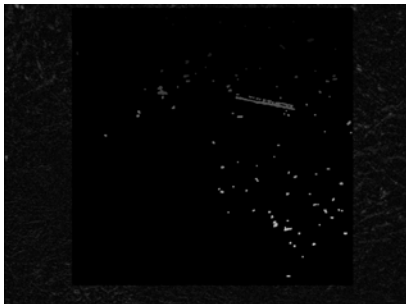
Kuvasarja kuva-analyysin etenemisestä



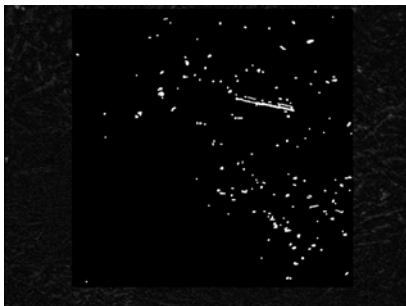
1. Kuvanotto, Grab



2. Kuvalle suoritettu SubRe, ClipLWR,ClipNotEq

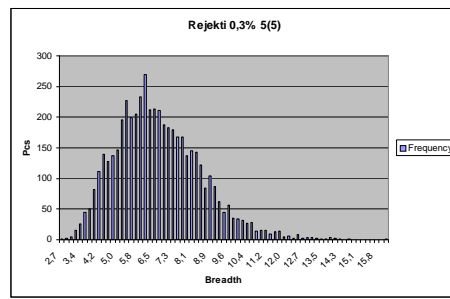
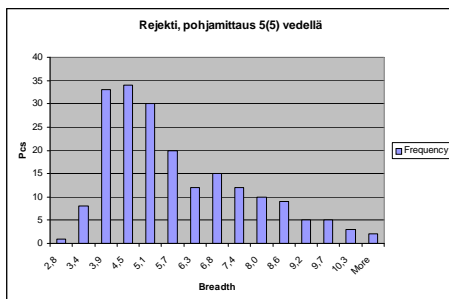
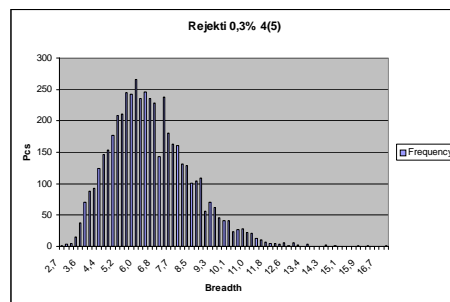
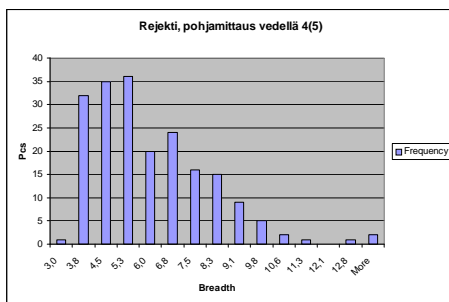
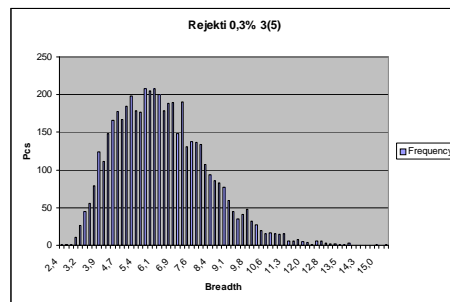
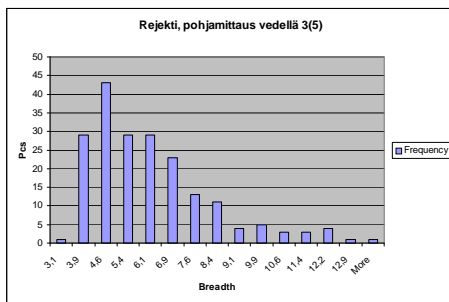
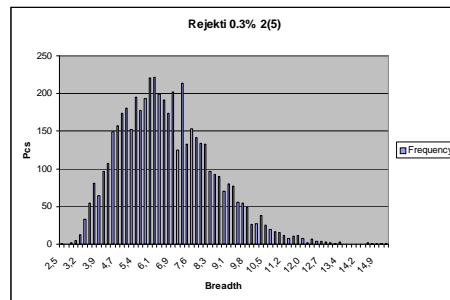
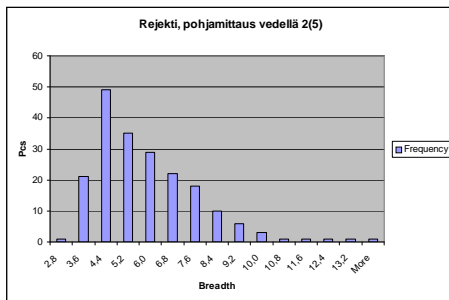
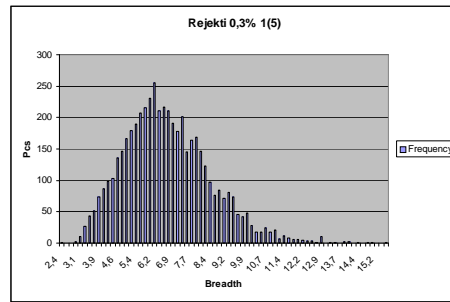
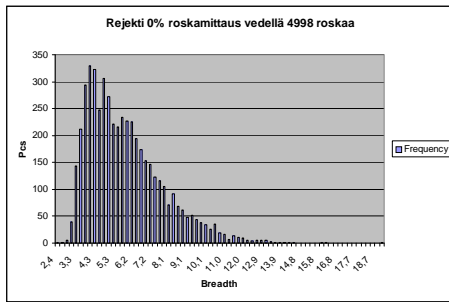


3. Kuvalle suoritettu Open ja Label



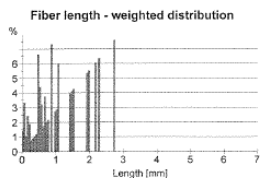
4. Kuvalle suoritettu partikkelianalyysi, Blob

Mittaustuloksista tehtyjä histogrammeja



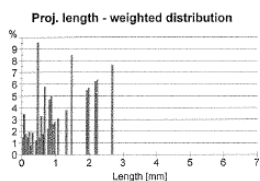
# FiberLab Kuidunpituusanalyysit

**FiberLab** Summary Report **Metso Automation**  
**D3** **04/04/05 16:43**  
 Sample ID - Phase: 024 - - Sample name: roska\_040405\_1643 Date: 04-04-05 15:36  
 Notes:



Length results: Cont Proj

L(n)	0.44	0.43	mm
L(l)	1.23	1.21	mm
L(w)	1.74	1.72	mm
Fines(n)	54.32	54.35	%
Fines(l)	9.22	8.16	%
Fibers measured		81	pcs
Length range	0.00 - 7.60		mm
Coarseness	0.000		mg/m
Fibers/mg	0.00		pcs/mg
Weight	0.000		mg
Fibers total	129		pcs

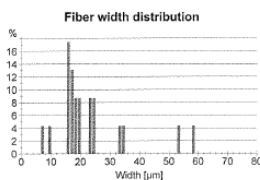


Wood species: <none>

Reference 1: 0.0 %  
 Reference 2: 0.0 %  
 Reference 3: 0.0 %

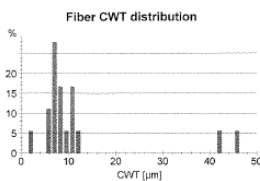
Custom results:

Y1:	0.00	Lc(n) [mm]
Y2:	0.00	Lc(l) [mm]
Y3:	0.00	Lc(w) [mm]



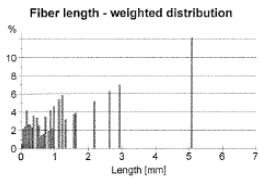
Length weighted fractions:

mm	Fr (l)	Fr (p(l))
0.00 - 0.20	8.22	8.16 %
0.20 - 0.60	20.60	20.11 %
0.60 - 1.20	28.67	28.06 %
1.20 - 2.00	23.21	23.41 %
2.00 - 3.00	20.00	20.28 %
3.00 - 7.60	0.00	0.00 %



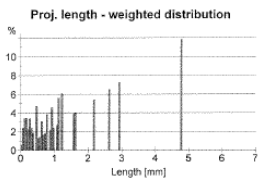
Fiber width:	27.4	µm
Fiber CWT:	10.6	µm
Fibers imaged:	25	pcs
Width range:	1.3 - 125.0	µm
CWT range:	1.3 - 125.0	µm

**FiberLab** Summary Report **Metso Automation**  
**D3** **04/04/05 17:03**  
 Sample ID - Phase: 024 - - Sample name: roska\_040405\_1703 Date: 04-04-05 15:36  
 Notes:



Length results: Cont Proj

L(n)	0.51	0.49	mm
L(l)	1.64	1.60	mm
L(w)	3.03	2.87	mm
Fines(n)	47.56	50.00	%
Fines(l)	9.26	9.85	%
Fibers measured		82	pcs
Length range	0.00 - 7.60		mm
Coarseness	0.000		mg/m
Fibers/mg	0.00		pcs/mg
Weight	0.000		mg
Fibers total	137		pcs

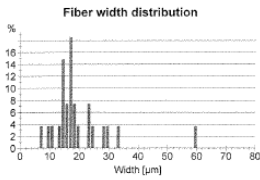


Wood species: <none>

Reference 1: 0.0 %  
 Reference 2: 0.0 %  
 Reference 3: 0.0 %

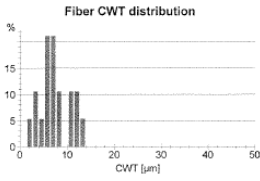
Custom results:

Y1:	0.00	Lc(n) [mm]
Y2:	0.00	Lc(l) [mm]
Y3:	0.00	Lc(w) [mm]



Length weighted fractions:

mm	Fr (l)	Fr (p(l))
0.00 - 0.20	9.26	9.85 %
0.20 - 0.60	18.52	17.35 %
0.60 - 1.20	24.97	27.82 %
1.20 - 2.00	16.67	14.00 %
2.00 - 3.00	18.46	19.14 %
3.00 - 7.60	12.13	11.83 %



Fiber width:	23.4	µm
Fiber CWT:	8.0	µm
Fibers imaged:	27	pcs
Width range:	1.3 - 125.0	µm
CWT range:	1.3 - 125.0	µm