

# Massan ja paperinvalmistuksen märkäosan kuvantava mittaus sekä konenäkösovellukset (PULPVISION)

MAMK / FiberLaboratory: TKT Jari Käyhkö, DI Heikki Mutikainen,

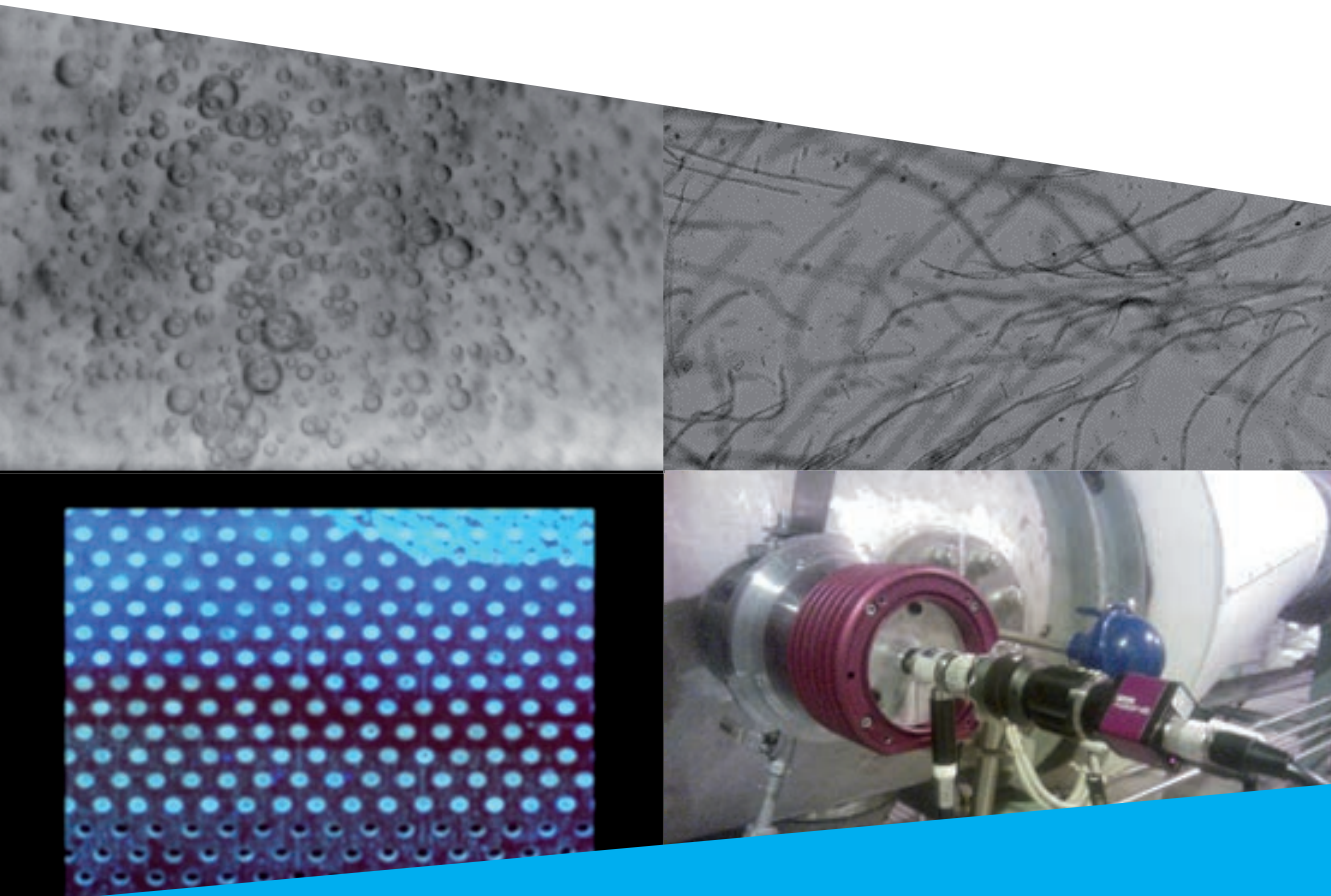
TkL Juhani Turunen, TkL Tapio Tirri ja Prof. Yrjö Hiltunen

LUT / MVPR: Dos.Tuomas Eerola, Prof. Lasse Lensu, Prof. Heikki Kälviäinen

UEF / Väriryhmä: FT Jarkko Mutanen, Prof. Markku Hauta-Kasari

Univ. of Oulu / CEMIS-Oulu (Kajaani): FL Kyösti Karttunen, FT Kaarina Prittinen

3K-tehdas: Ins. Elmar Bernhardt



**MAMK**  
University of Applied Sciences



# MASSAN JA PAPERIN- VALMISTUKSEN MÄRKÄOSAN KUVANTAVA MITTAUS SEKÄ KONENÄKÖSOVELLUKSET (PULPVISION)

MAMK / FIBERLABORATORY: TKT JARI KÄYHKÖ,  
DI HEIKKI MUTIKAINEN, TKL JUHANI TURUNEN,  
TKL TAPIO TIRRI JA PROF. YRJÖ HILTUNEN

LUT / MVPR: DOS.TUOMAS EEROLA, PROF. LASSE LENSU,  
PROF. HEIKKI KÄLVIÄINEN

UEF / VÄRIRYHMÄ: FT JARKKO MUTANEN,  
PROF. MARKKU HAUTA-KASARI

UNIV. OF OULU / CEMIS-OULU (KAJAANI):  
FL KYÖSTI KARTTUNEN, FT KAARINA PRITTINEN

3K-TEHDAS: INS. ELMAR BERNHARDT

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

MIKKELI 2015

A: TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA – RESEARCH REPORTS 105

© Tekijät ja Mikkelin ammattikorkeakoulu  
Kannen kuvat: Mikkelin ammattikorkeakoulu,  
CEMIS-Oulu ja Itä-Suomen yliopisto  
Kannen ulkoasu: Mainostoimisto Nitro ID  
Taitto : Mainostoimisto Groteski  
ISBN: 978-951-588-541-8 (PDF)  
ISSN: 1795-9438

[julkaisut\(a\)xamk.fi](mailto:julkaisut(a)xamk.fi)

# TIIVISTELMÄ

Projektin tavoitteena oli kehittää uusia pääasiassa kuvantamiseen ja konenäköön perustuvia mittauksia hyödynnettäväksi massan- ja paperinvalmistuksen märkäosalla sekä näihin prosesseihin liittyvissä tutkimuksissa. Projektissa tutkittiin hyvin laajasti erilaisia mittausmenetelmiä, sovelluksia sekä näiden toteutukseen liittyviä konenäkömenetelmiä. Pääasialliset tutkimuskohteet olivat tahmo- ja roskapartikkelien, kuitujen sekä kaasukuplien kuvantaminen ja tunnistus, fluoresenssi- ja spektrimittaukset ja näiden sovellukset eri osaprosesseissa sekä eri prosessilaitteiden toiminnan spesifiset kuvantamis- ja mittausmenetelmät. Joidenkin sovellusten osalta päästiin jo tehdastutkimus- ja patentointivaiheeseen. Happikaasun kuplakokojakauma pystyttiin mittaamaan täyden mittakaavan delignifointiprosessissa ja menetelmää tullaan jatkossa kehittämään ja soveltamaan alueen tutkimus- ja kehitystoiminnassa. Lisäksi hakkeen fluoresensikuvantamisella sekä suovan fluoresenssimittauksella on näköpiirissä käytännön sovelluksia. Tehdyt tutkimukset antavat myös pohjaa mittaussovellusten kehittämiseksi jatkossa massa-, paperi- ja biotuoteprosesseissa laajemminkin.

# ALKUSANAT

Tämä Tekes/EAKR rinnakkaisprojekti (diarinumerot 2291/31/2009, 2292/31/2009, 2293/31/200, 2294/31/2009, 2299/31/2009) toteutettiin 1.1.2010-31.10.2014 välisenä aikana yhteistyössä seuraavien tutkimusryhmien kanssa: MAMK/FiberLaboratory, LUT/FiberLaboratory, LUT/MVPR, UEF/ Väriryhmä, Univ. of Oulu/CEMIS-Oulu (Kajaani) ja 3k-tehdas. Projektin rahoitukseen, ohjausryhmätyöskentelyyn sekä osin myös tutkimustoimintaan osallistuivat seuraavat yritykset: Andritz Oy, Wetend technologies Oy, Teknosavo Oy, LabVision Oy, Savled/Diranet Oy, Janesko Oy, Cavitar Oy ja Pixact Oy

Toteuttajat kiittävät Tekesiä ja ko. yrityksiä heidän panoksestaan sekä antoisasta ja hyvin sujuneesta yhteistyöstä.

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	6	7 FLUORENSSIN JA SPEKTRIN MÄÄRITYS ERI VAIHEISTA PROSESSIA (UEF JA FIBERLABORATORY)	46
ALKUSANAT	7	7.1 Suovan fluorenssitutkimukset	46
1 TAUSTAA	10	7.2 Fluorenssimittaukset eri vaiheista delignifointi- ja valkaisu prosessia	50
2 TAVOITTEET	12	8 YHTEENVETO	53
3 TULOKSET	13	9 PROJEKTISSA SYNTYNEET JULKAISUT	56
4 KUITUJEN JA PARTIKKELIEN FYSIKAALINEN KARAKTEROINTI	14	LIITE I	60
4.1 Tahmo- ja roskapartikkelien kuvantaminen ja tunnistus (MVPR ja FiberLaboratory)	14	LIITE II A	61
4.2 Kuitumateriaalin karakterisointi ja tunnistus (MVPR, Väriyhmä ja CEMIS-Oulu/Kajaani)	16	LIITE II B	62
4.3 Hakkeen spektri- ja fluorenssitutkimukset (UEF, FiberLaboratory)	21	LIITE III	63
5 PROSESSILAITTEIDEN ERI ILMIÖIDEN KUVAS- JA MITTAUS- JÄRJESTELMIEN KEHITTÄMINEN SEKÄ MENETELMIEN SOVELTAMINEN ALUEEN PERUSTUTKIMUKSEEN	24		
5.1 Haihduttamokuvaukset (FiberLaboratory ja 3k-tehdas)	24		
5.2 Tomografia (FiberLaboratory, LUT/MVPR)	27		
5.3 Lämpövuomittaus (FiberLaboratory ja 3k-tehdas)	29		
5.4 DD-pesurin sihdin saostumakuvaukset (FiberLaboratory, UEF ja 3k-tehdas)	31		
5.5 Kuitujen liikkeen tunnistus (CEMIS-Oulu ja MVPR)	34		
6 MC-MASSAN NESTE-KAASU DISPERSIOILMIÖIDEN HALLINTA KUVANTAMISTEKNOLOGIOILLA (FIBERLABORATORY JA MVPR)	36		
6.1 Kuvantavan mittausmenetelmän kehitys	36		
6.2 Automaattiset menetelmät kuplakokojakauman määrittämiseksi	41		

# I TAUSTAA

Massan ja paperin valmistaminen on investointipääomaa edellyttävä teollisuudenala, joka kuluttaa paljon energiaa ja sen ympäristönsuojelukustannukset ovat suuria. Teollisuudenalalla on tarve pienentää prosessilaitteiden investointikustannuksia, alentaa energian- ja vedenkulutusta, laajentaa raaka-aineen käyttöä erityyppisiin puubiomassalaatuihin, nopeuttaa lajinvaihtoja sekä hallita paremmin esimerkiksi erilaisista konsentroituvista harmiaineista aiheutuvia häiriötilanteita. Osa näistä haasteista korostuu mm. kehitteillä olevan ”sellutehdas-biojalostamo”-konseptin edetessä tutkimuksesta kohti teollista sovelluskenttää. Näiden taloudellisesti merkittävien haasteiden voittaminen edellyttää vielä rajallisesti tunnettujen yksikköprosessien ja niissä vaikuttavien ilmiöiden parempaa ymmärrystä. Ilmiöiden nykyistä olennaisesti parempi ymmärrys edellyttää uudenlaisen informaation hankintaa prosessien käyttäytymisestä ja toiminnasta.

Uusien mittausten kehittämisen ja soveltamisen kannalta tutkimuksen kohteena oleva prosessiympäristö on erittäin haastava ja mitattavat suureet hyvinkin monimutkaisia. Tästä johtuen konenäkö on yksi potentiaalisimmista uusista ”älykkäistä” mittaustavoista. PulpVision-projektin tavoitteena oli tutkia ja kehittää konenäkömenetelmiin perustuvia mittausten menetelmiä hyödynnettäväksi pääasiassa massan- ja paperinvalmistuksen merkösalla sekä näiden prosessien kehittämiseen liittyvässä työssä. Tällä on vaikutus tuotantoprosessin alkupäässä, jolloin tavoiteltuun laatuun on mahdollista vaikuttaa entistä tehokkaammin aiemmassa vaiheessa. Tutkittavat ja kehitettävät mittausratkaisut ja analyysimenetelmät mahdollistavat merkittäviä toimintatapamuutoksia ja niiden seurauksena merkittäviä säästöjä investointi- ja tuotantokustannuksissa.

Paperi- ja massaprosesseja on perinteisesti ohjattu mittaamalla lopputuotteen laatua. Viime aikoina prosessien alkupäässä tapahtuvat mittaukset sekä näihin perustuvat erityisesti prosessilinjassa eteenpäin suuntautuvat säädöt ovat lisääntyneet. Kyseinen suuntaus luo hyvin merkittävän tehostamispotentiaalin paperin- ja massanvalmistusprosessien rakenteelle ja toiminnalle. Tietokoneiden laskentakapasiteettien sekä alan perus- ja sovellustietämyksen lisääntymisen johdosta konenäkösovellukset tarjoavat useita lupaavia ratkaisuvaihtoehtoja uusien mittausten toteutukselle.

Mikkelin ammattikorkeakoulun (MAMK) FiberLaboratory on ollut mukana kehittämässä simulaatio- ja kuvausallustaa prosessilaitteiden hydrodynamisten

ilmiöiden tutkimukseen. Kuvantava mittaus on kehitetty tilaan, jossa kuituja ja muita sulpun sisältämiä partikkeleita (epäpuhtaudet, kaasukuplat, yms.) voidaan tarkastella visuaalisesti laitteiden toiminnallisilla pinnoilla ja osa niiden ominaisuuksista laskea ja luokitella (koko ja nopeus) manuaalisesti. Laitteiston avulla on mm. saatu uutta teoreettista tietoa painelajittelusta ja saatu aikaan uutta tekniikkaa, jota jo käytetään eräiden tehtaiden päälinjoissa. Tämä on merkinnyt nykyisten maksimisyöttösakeustasojen nousua jopa 70 %:lla. Tämä puolestaan pienentää tarvittavia pumppauksia vastaavassa suhteessa, mahdollistaa tuotannon lisäyksen, laskee huoltokustannuksia, poistaa laitteita päälinjasta, poistaa laimennussäiliön, pienentää hajukaasupäästöjä säiliöiden vapaiden pinta-alojen pienentyessä, pienentää energian kulutusta, pienentää kemikaalikustannuksia, lisää linjan toimintavarmuutta, pienentää uusien tehtaiden layout:ia, yms. Lisäksi uusi teknologia mahdollistaa energian kulutuksen pienentämisen jopa yli 50 % nykytasosta.

Samankaltainen edistys on mahdollista saavuttaa myös muissa laitteissa ja toiminnoissa, kun sulpun virtaustilaa päästään mittaamaan todellisissa olosuhteissa. Kuvantava mittaus on vasta alkutekijöissään, mutta tehdyissä laboratoriokeissa sen merkitys on jo osoittautunut välttämättömäksi tulevaisuuden kehityssuunnaksi prosessisäästöjä tavoiteltaessa. Kuvantaminen ja sen menetelmät tulisi automatisoida, mikä mahdollistaisi tehokkaamman tutkimuksen ja seurannan sekä parantaisi merkittävästi laitteiden toiminnasta kertovien mittausten edustavuutta.

Projektin toteutukseen osallistuivat seuraavat tutkimusosapuolet:

- FiberLaboratory, Mikkelin ammattikorkeakoulu (MAMK<sup>3</sup>), projektin massa- ja paperinvalmistusosaaminen.
- Konenäön ja hahmontunnistuksen laboratorio (MVPR<sup>1</sup>), Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), projektin konenäköosaaminen.
- Mittalaitelaboratorio (MILA<sup>2</sup>, myöhemmin CEMIS-Oulu), Oulun yliopisto, projektin mittaustavoittaminen.
- Väritutkimusryhmä (UEF/Väri<sup>4</sup>), Itä-Suomen yliopisto (UEF), fluoresenssi ja spektrimittaukset.
- Lisäksi projektiin osallistui ostopalveluna Itä-Suomen yliopiston Fysiikan laitos ja 3K-tehdas.

PulpVision-projekti toteutettiin kansalliseen osaamisklusteriin Uusituva mestäteollisuus kuuluvien Kaakkois-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Kainuun osaamiskeskusten yhteistyönä. Projektilla oli myös yhtymäkohtaa Tekes/Metsäklusteri hankkeeseen nimeltään QVision. QVision-hankkeessa samojen osapuolien toimesta tutkittiin kuvantamisen ja konenäön soveltamista roska- ja tahmopartikkelien analysointiin koearkeista ja valmiista tuotteesta. Tässä hankkeessa hyödynnettiin ja jatketaan ko. aiheeseen liittyvää tutkimusta.

<sup>1</sup> <http://www.it.lut.fi/mvpr/>

<sup>2</sup> <http://www oulu.fi/kajaaninyliopistokeskus/ce mis-oulu>

<sup>3</sup> <http://www.mamk.fi/kuitulaboratorio>

<sup>4</sup> <http://www.uef.fi/fi/spectral>

## 2 TAVOITTEET

Projektin *päättavoite* oli kehittää menetelmiä sekä analysoida paperi- ja massatehtaan prosessien käyttäytymistä kuvantavalla mittauksella ja konenäkötekniikalla. Tällaisia kuvantamiskäytännöjä tarvitaan merkittävien energia-, laatu-, ympäristö- ja kunnossapitosäästöjen aikaansaamiseksi. Valmiita kaupallisia laitteita ei ole saatavilla. Hankkeen *taloudellisena tavoitteena* oli tuottaa tutkimustulokset, joiden perusteella tarvittavat laitteistot voidaan kehittää tuotteiksi – soveltuvilta osin jo projektin aikana.

*Tutkimussisältöön ja osaamiseen liittyvät tavoitteet* olivat seuraavat:

- Syvällinen paperin- ja massanvalmistuksen mittausten ja prosessien tietämys.
- Korkeatasoinen konenäkötekniikan soveltamiskyky paperi- ja massateollisuuden ongelmiin, erityisesti nopeasti virtaavien kuitususpensioiden hallinnassa ja erotusprosesseissa, MC-sakeusalueella tapahtuvien neste-kaasu-sekoitusilmiöiden ja reaktioiden (valkaisu) sekä kuitulinjalle konsentroituvien NPE-aineiden hallinnan osa-alueilla.
- Teollisuusolosuhteissa tapahtuvaan optiseen mittaamiseen ja kuvantamiseen liittyvä uusi tieto ja tekniset ratkaisut sekä niiden soveltaminen: diodilaserstroboskopia, pulssilaser, fluoresenssi-, spektri- ja prosessimikroskopia.
- Konenäköön, hahmontunnistukseen ja laskennallisten menetelmien tutkimukseen liittyvät tieteelliset ja sovellettavat tulokset.
- Tieteellisesti ja etenkin sovelluksille merkittävän uuden tiedon tuottaminen (väitöskirjat ja muut julkaisut).

Hankkeella on ilmiselvät *ympäristöön ja ympäristömyötävyyden parantamiseen liittyvät tavoitteet* mm. Energian, veden, materiaalien ja kemikaalien käytön vähentämisen osalta.

## 3 TULOKSET

Alla on koostettu projektin päätulokset jaoteltuina tutkimussuunnitelmassa esitettyjen tehtäväkokonaisuuksien mukaisesti. Otsikon perässä sulkeissa on listattu ko. tutkimusalueen pääasialliset toteuttajat.

## 4 KUITUJEN JA PARTIKKELIEN FYSIKAALINEN KARAKTEROINTI

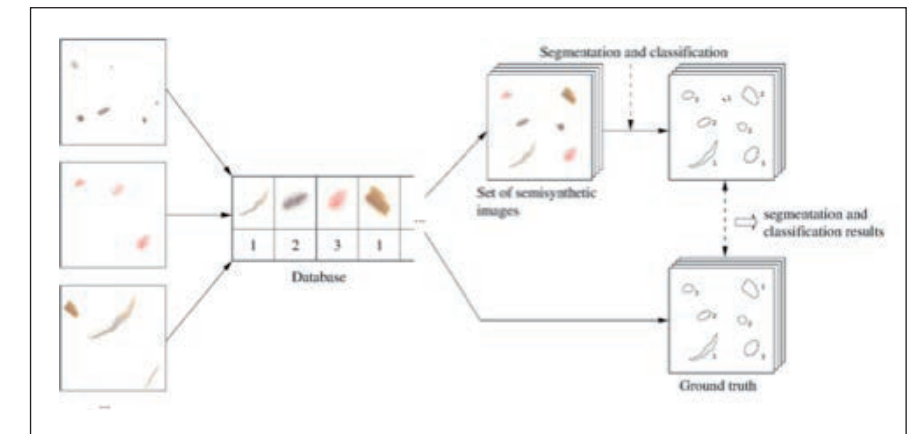
### 4.1. TAHMO- JA ROSKAPARTIKKELIEN KUVANTAMINEN JA TUNNISTUS (MVPR JA FIBERLABORATORY)

Massa- ja paperi tuotteet tehdään heterogeenisestä puu/kuitumateriaalista ja prosesseissa ja tuotteissa on aina läsnä primäärisiä (kuori, tikut, hiekka) ja sekundaarisia (pihkakasamat, kemialliset- ja biologiset saostumat) haitta-aineita. Tärkeä osa tuotantoa on siten näiden aineiden erottelu sekä muodostumisen estäminen. Olennainen osa tätä toimintaa on näiden partikkelien visuaalinen analysointi. Off-line menetelmiä on jo ollut pitkään käytössä ja on-line menetelmät ja niiden käyttö on nykyisin lisääntymässä. On-line menetelmissä olennainen osa on konenäkömenetelmien hyödyntäminen kuvamateriaalin analysoinnissa.

Keskeinen ongelma tahmo- ja roskapartikkeleiden tunnistuksessa on tiettyjen roskatyyppien tunnistamisen vaikeus tai jopa mahdottomuus pelkän visuaalisen tarkastelun avulla. Tämä aiheuttaa käytännön ongelmia myös automaattisen menetelmän kehittämisen kannalta. Oppivat menetelmät vaativat toisaalta luotettavaa opetusdataa eli esimerkkejä tunnistettavista roskapartikkeleista, joiden tyyppi tunnetaan, ja toisaalta testidataa eli käsin tai muulla tavalla tunnistettuja roskapartikkeleita, joiden avulla voidaan mitata, kuinka hyvin menetelmä toimii. Tämänkaltaisen referenssidatan tuottaminen ei käytännössä onnistu mielivaltaisille sellunäytteille ainakaan näytteitä rikkomatta, sillä edes asiantuntija ei pysty tunnistamaan kaikkia roskapartikkeleita oikein. Projektissa ongelma ratkaistiin kehittämällä menetelmäkehys, jolla automaattisia menetelmiä voitiin opettaa ja testata hyödyntämällä luotuja puolisynteettisiä sellunäytekuvia, joissa kaikkien roskapartikkeleiden tyyppi tunnettiin etukäteen.

Kehitetty menetelmäkehys on esitetty kuvassa 4.1.1. Aluksi valmisteltiin puhaita sellunäytteitä, joihin kuhunkin lisättiin laboratoriossa yhtä tunnettua roskatyyppiä. Kuivatut sellunäytteet kuvattiin ja kuviin merkittiin ylimääräiset tuntemattomat roskapartikkelit. Näin saaduista yhtä tunnettua roskapartikkelia sisältävistä kuvista yhdisteltiin kuvakäsittelymenetelmin uusia puolisynteet-

tisiä kuvia, jotka sisälsivät useita erilaisia roskapartikkeleita. Tällä tavoin saatiin tuotettua aitoja sellunäytteitä vastaavia kuvia täydellisellä referenssidatalla (kaikkien roskapartikkeleiden tyyppi tunnetaan). Tuotettuja puolisynteettisiä kuvia hyödyntäen testattiin useita erilaisia roskapartikkeleiden paikantamis-, karakterisointi- ja luokittelumenetelmiä. Parhaimmilla menetelmillä tunnistettiin yli 95% roskapartikkeleista oikein datalla, jossa esiintyi neljää eri roskatyyppiä. Käytetyt menetelmät ja tulokset on raportoitu yksityiskohtaisesti yhdessä tiedelehtiartikkelissa [LUT01] ja kahdessa konferenssiartikkelissa [LUT03, LUT04].



**KUVA 4.1.1 Automaattisten roskantunnistusmenetelmien kehitys puolisynteettisillä sellunäytteillä.**



## 4.2 KUITUMATERIAALIN KARAKTERISOINTI JA TUNNISTUS (MVPR, VÄRIRYHMÄ JA CEMIS-OULU/KAJAANI)

Kuitu on sellususpension pääkomponentti, mikä motivoi sen ominaisuuksien mittaamista tähdäten laadunvalvontaan ja prosessin hallintaan. Kuitujen karakterisointi luo lisäksi pohjan, jonka päälle voidaan rakentaa menetelmiä puulajien tunnistukseen. Viimeaikaiset kehitysaskeleet kamera- ja valaisutekniikoissa mahdollistavat kuvamateriaalin tuottamisen suoraan kuitulinjasta. Tällaiset kuvapohjaiset menetelmät mahdollistavat kuitujen karakterisoinnin valmistusprosessin aikana ilman, että tarkoitusta varten tarvitsee ottaa näytettä laboratorion analysoitavaksi. Projektissa kehitettiin kuvankäsittelymenetelmiä kuitujen karakterisointiin ja tunnistamiseen.

Kuitulajien tunnistus: CEMIS-Oulu -yksikössä (Kajaanissa, jatkossa C-O) tehtiin kirjallisuusselvitys kuitunäytteiden lajintunnistuksessa käytettävistä morfologisista piirteistä. Tarkoituksena oli kyetä tunnistamaan kuitunäytteistä kasvilajit virtauskennon mikroskooppikuvissa näkyvien ominaisuuksien perusteella. Tunnistuksessa käytettäviksi piirteiksi valikoituivat kuitujen pituus ja leveys; putkilosolujen määrä, pituus, leveys, ja perforaatiolevy; tylppysolujen koko ja määrä; sekä erilaiset solujen pintarakenteet. Kiinnostuksen kohteena olivat seuraavat kasvilajit tai -suvut: kuusi, mänty, koivu, haapa, tammi, akasia, eukalyptus, vehnä (olki) ja järviruoko. Seuraavana on esitetty projektissa laadittu määrittyskaava em. lajien tunnistamiseksi:

Long fibres, no vessels > **softwoods**

only small pits in tracheids > Norway Spruce  
small pits and large windowlike pits > Scots Pine

Long fibres, abundant vessel and parenchyma cells > **non-woods**

vessel cells up to 1,0 mm long and 60 µm wide > Wheat  
vessel cells up to 2,0 mm long and 120 µm wide > Common Reed

Fibres short; vessels and parenchyma cells present > **hardwoods**

large, oblong vessel cells with scalariform perforation plates and small pits > European White Birch  
large, oblong vessel cells with fairly large pits; pitting areas widely spaced > Aspen  
large earlywood vessel cells, often broader than long, with pits in rows; narrow latewood vessel cells > Oak  
large, profusely pitted vessel cells with threadlike tails > Eucalyptus  
small, profusely pitted vessel cells; all pits small and similar shaped > Acacia

Esimerkiksi kuusen ja männyn toisistaan erottava piirre on männyn kuitujen ikkunamaiset rakenteet, jotka näkyvät selkeästi C-O:n virtauskennossa kuvatussa virtaavassa näytteessä (kuva 4.2.1).



**KUVA 4.2.1 Männyn kuidussa erottuvat ikkunamaiset rakenteet, joita kuusen kuiduissa ei ole.**

C-O:ssa myös tarkistettiin LUT:n MVPR-konenäköryhmän tekemiä kuituluokitteluja (ns. ground truth) Kajaanissa tuotetuista kuvasarjoista. Näistä kuvista tunnistettiin kuidut, putkilosolut, hienoaines sekä kuitujen mutkat ja kuitukimput.

Kuitumateriaalin kuvantavat mittaukset:

Mittalaitelaboratorion (siis nyk. CEMIS-Oulu, C-O) osaamista optisten mitausmenetelmien käytössä hyödynnettiin projektin aikana, niin aiemmin kehitettyjen menetelmien hyödyntämisessä, kuin uudentyyppisen virtauskennon mikroskooppisen kuvantamisympäristön kehityksessä. Lyhyesti, perustavoitteena oli tuottaa virtaavasta laimennetusta kuitumateriaalista teknisesti hyvälaatuista kuvasarjamateriaalia (tyypillisesti 100 – 10000 kuvaa /sarja) kuitujen tilastollista kuva-analyysia varten. Kuvantamisen mittaustekniikan kehitystyö ja kuvasarjojen tuottaminen tapahtui C-O:ssa, minkä jälkeen sarjat siirrettiin MVPR/LUT:n tutkijoille.

### Kvantamistekniikka (kuva 4.2.2):

Projektin alussa (kevät 2010) suunniteltiin mittausaiheiksi kuiturakennekuvaus ja kuitulajikuvaus. Mukaan hahmoteltiin tarpeen mukaan myös painovärijäämämittausta sekä roskakuvausta. Käytettäviksi kvantamistekniikoiksi suunniteltiin polarisaatiomikroskopioita, diodilaserstroboskopiaa sekä suurnopeuskamerakuvausta.

Projektin aikana kehitystyössä testattiin useita kuvamateriaalin ominaisuuksiin vaikuttavia teknisiä ratkaisuja ja optimoitiin oleelliset tekijät, mm. optiikka, depth-of-field, näytteen konsentraatio ja virtausprofiili. Laboratoriomikroskoopilla (Leica DMR), objektiivisarjalla ja kameralla (QImaging Retiga2000R) tehtiin kuvasarjamittauksiin tai testeihin käytettiin seuraavia pulssitettuja valaisujärjestelmiä:

- 1) flash (white):  
Hamamatsu Xenon Flash (L4633) & HV power supply
- 2) diodilaser (690 nm): Cavilux HF & ohjausyksikkö & ohjausohjelma (Cavitar Ltd, Tampere)
- 3) high power led (near white, wide peaks at 450 nm, 570 nm) :  
W724C0 (Z-power series, Seoul Semiconductor) & Gardasoft RT820F-20 Lighting Controller
- 4) kaksois- ja kolmoisvalotuskuvaus: Järjestelmä 2) eri asetuksilla.



KUVA 4.2.2 Tutkimuksissa käytetty kvantamistekniikka.

Koska yhteen sarjaan kuvattiin tuhansia kuvia, niin selkein motiivi valaistusjärjestelmän kehitystyölle oli riittävän hyväresoluutioisen kuvasarjan kuvausnopeuden parantaminen vähintään 10 kuvaan/s. Diodilaser ja high power led -järjestelmillä se onnistui. Perustavoite, hyvä kuvan optinen laatu riittävällä resoluutiolla, mahdollisti lähtökohdan kuitumateriaalin morfologiselle tarkastelulle (MVPR) myös yksittäisten kuitujen osalta.

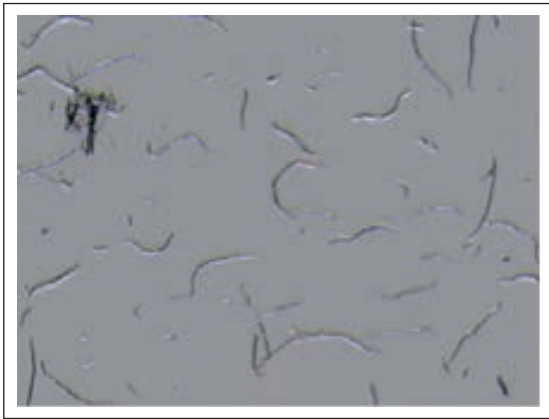
### Virtauskenno:

Projektin aikana käytettiin tai suunniteltiin kolme eri mittauskennorakennelmaa:

- 1) Alussa käytettiin Mittalaitelaboratorion aiempaa laboratoriomikroskooppiin modifioitua virtauskennoa (ks. oheinen Kuva), jonka slitin virtauskorkeus oli optimoitu kuitususpensiolle. Ko. kennolla tehtiin lähes kaikki ”tuotantoajot” käyttäen em. valaistusjärjestelmää 3)
- 2) Vuoden 2013 aikana suunniteltiin säädettävä virtauskennotarkaisu kennon korkeuden suhteen. Se myös rakennettiin. Korkeuden säädettävyys (teflonliuskat 0.25, 0.50 1.0, 2.0 mm) sekä lasiikkunoiden särkyväisyys aiheutti tiiveysongelmia, minkä jälkeen kennon rakennetta muutettiin ja testeissä pitäydettiin kuitunäytteille sopivassa korkeudessa 0.5 mm.
- 3) Projektin loppuvaiheessa v. 2014 aikana suunniteltiin ja toteutettiin edellisen kennon rakenteeseen perustuva modifioitu virtauskennotarkaisu, jossa virtauskammioon on lisätty ”injektiokapillaari”. Siten tähän (neliö)putkivirtaukseen on mahdollista suoraan syöttää esim. nestemäistä väriainetta tai kemikaalia. Ko. kennolla ehdittiin tehdä lupaavat ensitestit ja kuvasarjat. Kennon jatkokehitys ja jatkokommitukset suunnitellaan tehtäväksi toisten tutkimushankkeiden yhteydessä.

### Mittaussarjat:

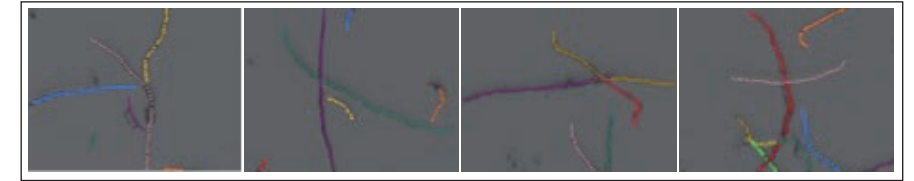
Projektin aikana mitattiin monia lukuisia mittaussarjoja eri kuitulajeista, Esimerkki kuvassa 4.2.3. Mitattuja lajeja olivat akaasia, koivu, vehnä, eukalyptus ja mänty. Tyypillisesti sarjat mitattiin kolmella eri objektiivilla (2.5x, 5x, 10x), ja usein myös kahdella eri kuvaresoluutiolla (600x800, 1200x1600). Sarjojen kuville tehtiin aluksi taustankorjaus- ja normalisointioperaatiot (Flat-Field correction), minkä jälkeen ne olivat MVPR-ryhmän (LUT) PulpVision-tutkijoiden käytössä jatkoprosessointia varten.



**KUVA 4.2.3. Esimerkkikuva virtauskennossa kuvatuista kuiduista.**

Jotta kuituja voidaan karakterisoida, ne tulee löytää kuvasta. Kuvankäsittelyn kannalta keskeisin ongelma on kuvissa risteävät kuidut. Projektissa kehitettiin menetelmä kuitujen paikantamiseen kuvasta perustuen kaarimaisten kohteiden etsimiseen ja ryhmittelyyn. Menetelmän osoitettiin löytävän kuidut hyvin. Menetelmä löysi käytetyllä kuvadatalla kaikki kuidut, joista 38% useassa osassa. Kuvassa 4.2.4 on esitetty esimerkkituloksia. Kuitujen paikantaminen mahdollistaa niiden ominaisuuksien mittaamisen. Kehitetyn menetelmän osoitettiin kykenevän määrittämään kuitujen pituus 72% ja kaarevuus 71% tarkkuudella. Ongelmia aiheuttivat useassa osassa paikannetut kuidut. Menetelmä kuitujen paikantamiseen ja ominaisuuksien mittaamiseen on raportoitu konferenssiartikkelissa [LUT08] sekä diplomityössä [LUT14].

Kuitujen paikantamismenetelmän kehitys tehtiin käyttäen laboratorio-olosuhteissa tuotettua kuvamateriaalia kuituvirtauksesta. Teollisuusolosuhteissa kuvantaminen on merkittävästi haastavampaa, mikä heikentää kuvanlaatua. Tätä silmällä pitäen projektissa kehitettiin menetelmä kuvanlaadun parantamiseen. Tulokset osoittivat, että kehitetty menetelmä paransi kuitujen paikantamistarkkuutta teollisuusolosuhteissa tuotetulla kuvadatalla. Menetelmä on raportoitu konferenssiartikkelissa [LUT05] sekä diplomityössä [LUT11].



**KUVA 4.2.3. Esimerkkikuva virtauskennossa kuvatuista kuiduista.**

Kuitujen karakterisointi mahdollistaa puulajien tunnistuksen tutkimisen. Projektissa suoritettiin alustavia testejä kuvadatalla, jossa kussakin kuvassa esiintyi vain yhtä puulajia. Kuvista laskettiin kuitujen tilastollisia ominaisuuksia, joiden perusteella kuvassa esiintyvä puulaji pyrittiin tunnistamaan käyttäen luokittelumenetelmiä. Alustavissa testeissä saavutettiin hyvin korkea 97,6% luokittelutulos viidellä puulajilla. Vaikka käytetty koeasetelma, jossa kerrallaan esiintyi vain yhtä puulajia, ei vastaa todellista mittaustilannetta, jossa eri puulajien kuituja on sekaisin, ovat saadut tulokset silti hyvin lupaavia jatkokehitystä silmällä pitäen. Puulajien tunnistusmenetelmä on raportoitu kandityössä [LUT13].

### 4.3 HAKKEEN SPEKTRI- JA FLUORESENSSI-TUTKIMUKSET (UEF, FIBERLABORATORY)

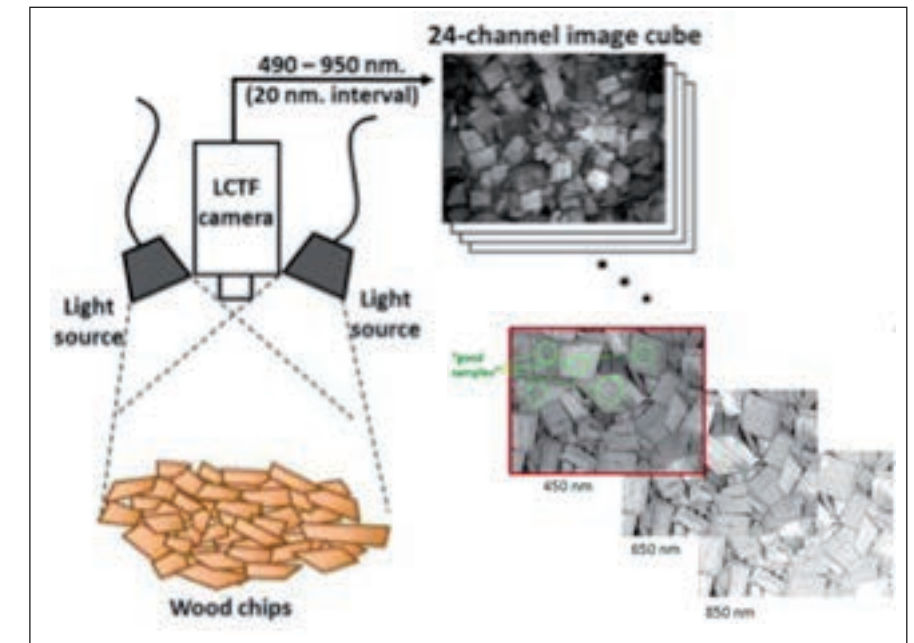
Spektrisen puuhakkeen lajikeluokittelututkimusosa-alueen avulla pyrittiin tehostamaan hakkeen lajittelua sellutehtaalla. Ensimmäisenä osa-alueena kartoitettiin hakkeen mahdollisia "fluoresenssimarkkereita" mm. eri sellutehtailta, CEMIS-Oulusta ja Teknosavosta saaduista hakenäytteistä. Fluoresenssispektrejä pyrittiin kartottamaan puulajien luokittelua varten. (Taulukoituna kaaran, eri haketyyppien, ja sahanpurun fluoresenssin viritys- ja emissio-aallonpituudet Liitteessä I).

Hakkeen fluoresenssimittauksien jälkeen mitattiin spektrikuvantavilla laitteilla ja luokiteltiin mänty-, kuusi- ja hies- ja rauduskoivuhaketta k-Nearest Neighbour (k-NN) –menetelmällä, jolloin kustakin puulajista muodostettiin oma luokitteluluokkansa (yht. 3 luokkaa, puulajit kuvassa 4.3.1). Lajittelussa haluttiin myös simuloinnin avulla testata sitä, millainen kuvantava lajittelujärjestelmä soveltuisi parhaiten hakkeen lajitteluun.

Mittaukset suoritettiin SPECIM ImSpector N25E-SWIR NIR viivaspektrikameralla lähi-infrapuna-alueella (NIR) [1000-2500 nm] ja näkyvällä aallonpituusalueella (VIS) Cambridge Research Instruments Nuance™ EX LCTF-kameralla (LCTF-Liquid Crystal Tunable Filter) [450-950 nm]. Hakemittausten

koejärjestely on esitettyä kuvassa 4.3.2. Lisäksi VIS-alueen vertailevassa mittausjärjestelmäsimuoinnissa vertailtiin Nikon D800 RGB-kameran ja 7-kanavaisella Fluxdatan spektrivideokameran simuloituja RGB-arvoja ja niiden vasteherkkyysdataa sekä standardi-D65 päivänvalodataa. Luokiteltu spektrin heijastusdata mitattiin siis sekä VIS-, että NIR-alueella ja mittauksissa ja mittausdataa analysoidessa huomioitiin kosteuden vaikutus spektreissä erityisesti NIR-alueella. Varsinaiset kuvantavien mittausjärjestelmien vertailut suoritettiin vain VIS-alueella neljän eri simuloitun spektrikuvantavan järjestelmän kesken: 1) Spektrikuvantava järjestelmä (LCTF-kamera) 2) simuloitu RGB-kameradata 3) 7-kaistainen spektrikuvantava järjestelmä 4) Järjestelmä, joka koostui optimaalisesti valituista aallonpituuskaistoista (testattiin useita eri aallonpituuskaistayhdistelmiä).

Tuloksista (esim. K-nn –menetelmä ja Cohenin Kappa-analyysi) havaittiin, että spektrikuvantava LCTF-kamerajärjestelmää käyttämällä puulajikkeet voitiin luokitella kaikkein tarkimmin, mutta hitautensa vuoksi järjestelmä ei sovellu hakkeen online-luokitteluun. Vastaavasti huonoimman luokittelutuloksen antoi RGB-datan käyttäminen. Tätä parempi tulos saatiin kaupallista 7-kanavaista Flux-data –videokamerajärjestelmää käyttämällä. Vieläkin tätä tarkempi luokittelutulos kuitenkin tuli simuloitulla (optimaalisesti valituilla) 10-spektrikanavan kamerajärjestelmää käyttäen. Teoriassa online-sovelluksiin paras menetelmä voisi olla käyttää Flux-data videokameraa. Tosin ongelmana tämän järjestelmän käyttämisessä linjalla on laitteiston erittäin korkea hinta. Niinpä puulajiluokittelun kannalta voisikin olla paras kehittää erinäisiä filterimenetelmiä apuna käyttäen esim. simulointien mukainen 10-kanavainen optimaalinen mittausjärjestelmä, jossa käytettäisiin lisäksi apuna hankkeessa mitattujen eri haketyyppien fluoresoivien ominaisuuksien tunnistusta.



KUVA 4.3.2. Hakemittausten koejärjestelyn kaaviokuva.



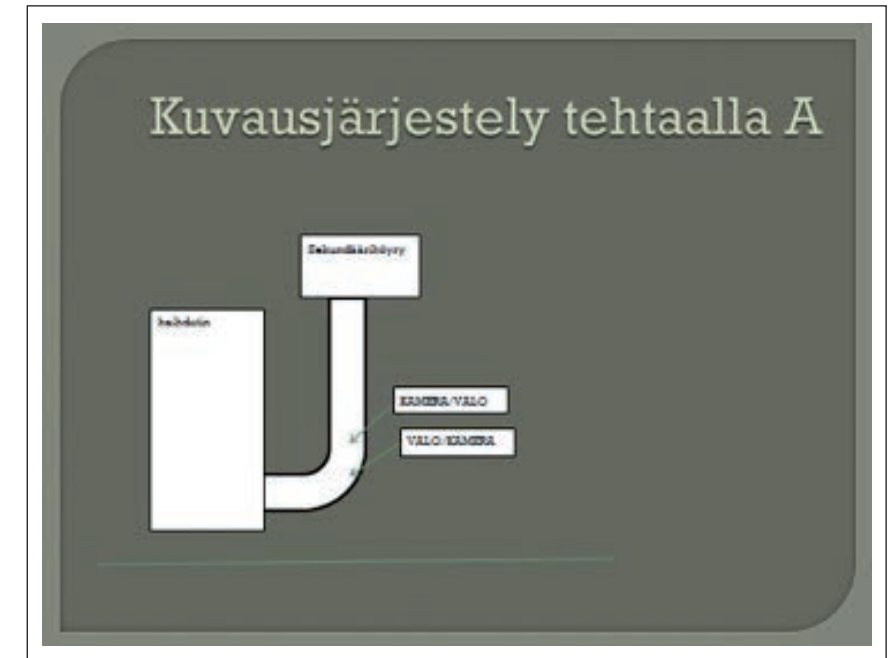
KUVA 4.3.1. Spektrikuvantavilla mittalaitteilla kuvatut koivu, kuusi- ja mäntyhakenäytteet. Huomaa fluoresoivia ”kellertäviä” hakekomponentteja männyn hakekuvassa oikealla.

## 5 PROSESSILAITTEIDEN ERI ILMIÖIDEN KUVAUS-/ MITTAUSJÄRJESTELMIEN KEHITTÄMINEN SEKÄ MENE- TELMIEN SOVELTAMINEN ALUEEN PERUSTUTKIMUKSEEN

### 5.1 HAIHDUTTAMOKUVAUKSET (FIBERLABORATORY JA 3K-TEHDAS)

Ensimmäiseksi tutkittavaksi prosessilaitteeksi valittiin sellutehtaan haihdutin. Haihduttamo on merkittävä osa sellutehdasta. Haihduttamon päätehtävä on poistaa vettä mustalipeästä, jotta mustalipeä voidaan polttaa soodakattilassa. Samalla haihduttamo tuottaa huomattavan määrän puhdasta vettä käytettäväksi prosessissa. Lisäksi haihduttamalla otetaan talteen sivutuotteita, kuten tärpättä, metanolia ja suopaa. Andritz Oy tarjosi mahdollisuuden päästä kuvaamaan heidän valmistamaansa haihdutinyksikköä sekä suunnitteli ja asennutti näihin tarvittavat kuvantamisyhteet. Ensimmäisessä vaiheessa määritettiin tarkoitukseen soveltuva kuvauslaitteisto. Yhteistyössä kuitulaboratorion, 3k-tehtaan ja Andritzin kanssa ja testattiin se käytännössä. Haihduttamon alkupään kuvaukset osoittautuivat erittäin haasteelliseksi kuvauslinssin nopean likaantumisen johdosta, joten niistä päätettiin luopua ja keskittyä puhtaampaan loppupäähän.

Sellutehdas A:n kuvauskohde oli haihduttimeen menevä sekundäärihöyryputki, johon suihkutetaan lauhdetta sen puhdistamiseksi VOC-kaasuista. Neste ja höyrystynyt VOC otetaan talteen seuraavassa haihdutusvaiheessa. Höyry on alipaineessa, kuivaa ja väritöntä. Lauhteen suihkutusta aiheuttaa höyrylle kyllästyminen ja valkoisen värin. Kuvauksen tarkoitus oli selvittää nesteen käyttäytymistä höyryputkessa.



KUVA 5.1.1. Kuvausjärjestely sellutehtaalla A



KUVA 5.1.2. Kuvausjärjestely tehtaalla A.

Kelvollista kuvamateriaalia saatiin aikaiseksi, mikäli lauhteensyötön määrä on pieni. Suuri lauhteensyöttö aiheuttaa voimakkaan valkoisen värin, eikä tyydyttävää kuvaa saada. Neste näyttää kuvamateriaalin perusteella kulkevan putken seinämällä, mikä on toivottava olotila.

Sellutehdas B:n haihduttamalla kuvauskohteina olivat pintalauhduttajalle ja 6-yksikölle menevät höyryputket. Kuvausjärjestely oli samanlainen kuin tehtaalla A. Kun lauhteensyöttö oli pois päältä, saatiin erittäin tarkkaa kuvaa.



**KUVA 5.1.4. Kuvat tehtaalla B ilman lauhteensyöttöä.**

Pienikin lauhteensyötön määrä aiheutti erittäin voimakkaan valkoisenharmaan sumun, joka esti kelvollisen kuvan saamisen. Valolähteen muuttaminen jatkuvasta LED-valosta LED-stroboskoopiksi ei parantanut tilannetta.



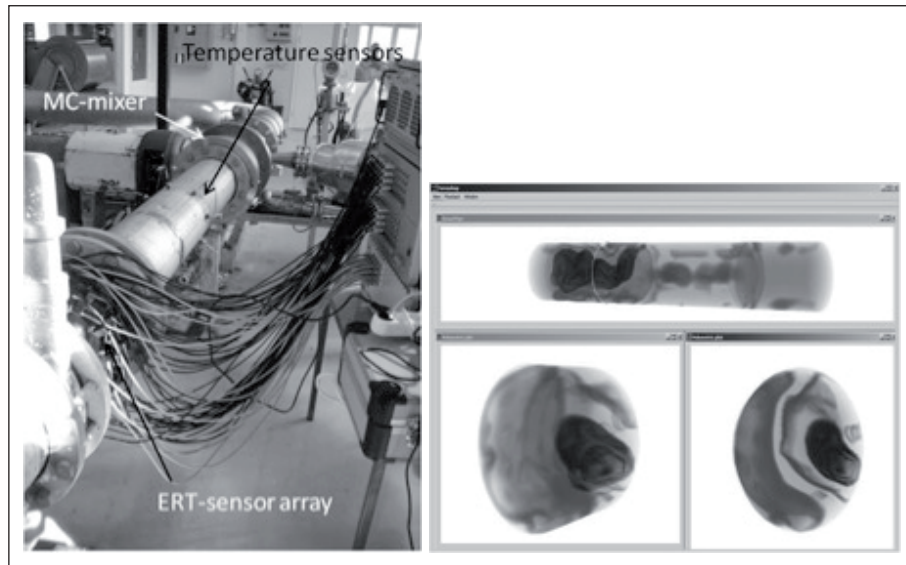
**KUVA 5.1.5. Kuvat tehtaalla B pienellä lauhteensyötöllä.**

Tutkimuksissa ei täysin onnistuttu, mutta kyettiin rakentamaan erinomainen kuvauslaitteisto ja kehittämään toimiva menetelmä erittäin vaikean kohteen tutkimiseksi.

## 5.2 TOMOGRAFIA (FIBERLABORATORY, LUT/MVPR)

FiberLaboratoryn ja UEF/Kuopio yhteistyönä on aiemmin kehitetty prosessitomografiaa prosessilaitteissa tapahtuvan turbulenssin ja sekoittumisen havainnoimiseksi käytäntöä vastaavissa olosuhteissa. Tomografialla pystytään jo mittaamaan ilmiöitä, joita millään muulla menetelmällä ei voida mitata, esim havainnoimaan kaasujen sekoittumista sulppuun sekä voidaan laskea sekoittumistehokkuutta kuvaavia tunnuslukuja. Tässä projektissa ko. tutkimuksia jatkettiin ja tavoitteena oli ensisijaisesti parantaa menetelmän hyödynnettävyyttä sekoittumiseen liittyvässä kehitystyössä. Tomografiamittauksella pystytään tarkastelemaan esimerkiksi lämpimään keskisakeaan massaan sekoitettavan kylmän kemikaalin sekoittumista. Tomografiamittauksia onkin tehty paljon asiakkaiden koeajojen yhteydessä, jolloin on voitu verrata tomografian osoittamaa sekoitustulosta lämpötilamittausmatriisin osoittamiin arvoihin. Läm-

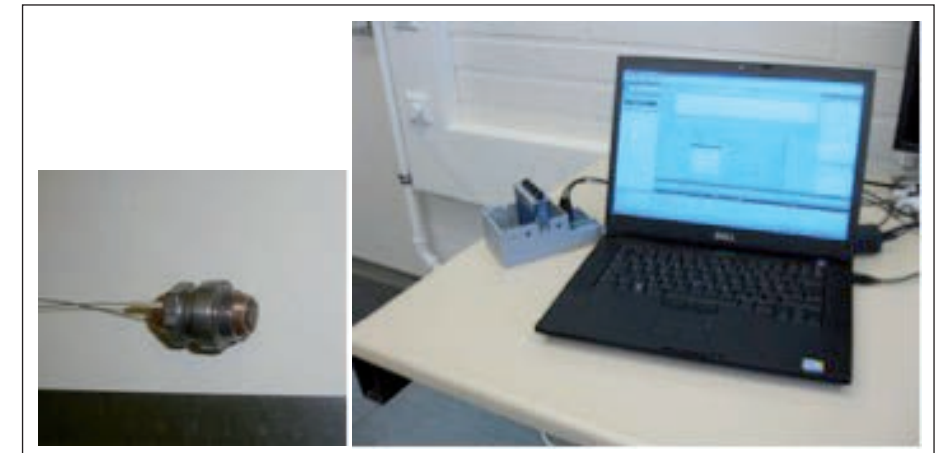
pötilamatriisista ei kuitenkaan voida yksiselitteisesti päätellä esimerkiksi kylmän kemikaalin tunkeutumista massaan, mistä syystä tomografiamittaus on osoittautunut erittäin hyväksi mittausmenetelmäksi vastaavanlaisissa koejärjestelyissä ja mittausdata arvokkaaksi asiakkaan kannalta. Tomografiamittaus tullaan hyödyntämään ja kehittämään jatkossa palvelutoiminnassa ja mm. TEKES/FLASH hankkeen tutkimuksissa. Alla olevissa kuvissa on tomografialaitteisto sekä esimerkki kolmiulotteisesta mittaustuloksen visualisoinnista.



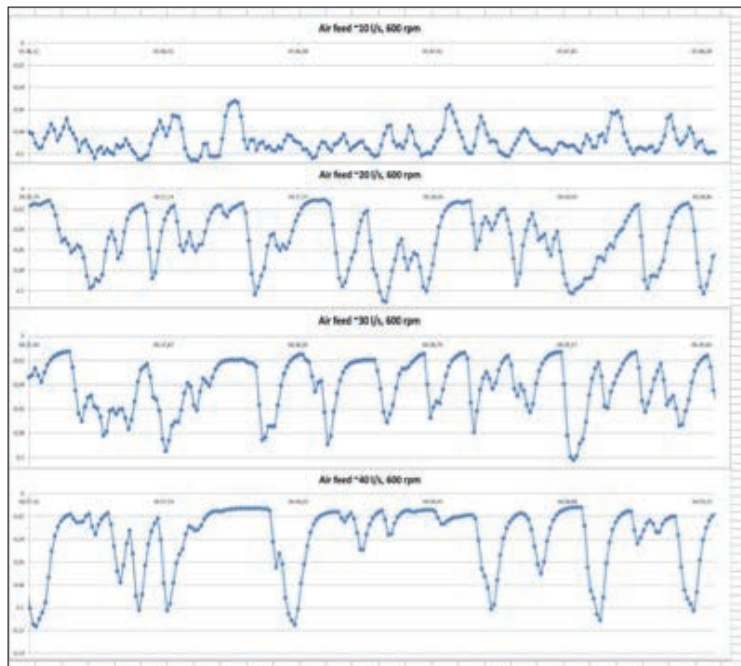
**KUVA 5.2.1.** Kuitulaboratorion MC-luopin koeasema sisältäen tomografialaitteiston, lämpötilamittausanturit sekä MC-sekoittimen. Oikealla esimerkkipicture tomografiamittauksen reaaliaikaisesta visualisoinnista.

### 5.3 LÄMPÖVUOMITTAUS (FIBERLABORATORY JA 3K-TEHDAS)

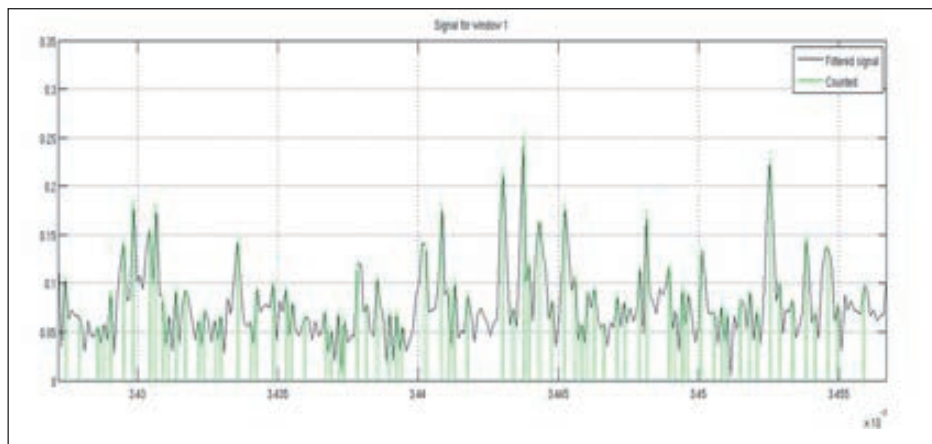
Lämpövuomittauksen testauksia on tehty Kuitulaboratoriossa aiemmin yhteistyössä LUT:n Prof. Andrey Mitiakovin kanssa. Tässä hankkeessa rakennettiin mittausjärjestelmä (kuva 5.3.1) ja testattiin anturin kykyä detektoida kaasun sekoittumista kuitulaboratorion MC-luupissa (ks. kuva 5.2.1). Lämpövuon mittaus on periaatteessa erittäin nopea, yksinkertainen ja selektiivinen menetelmä kaasun detektointiin nestefaasista ja siten sille voisi löytyä paljonkin sovelluksia prosessiteollisuudesta. Esim MC-luupissa sekoittumisen mittaamiseen käytetty lämpötilamittaus on hidasa (1 hz) eikä sillä voida detektoida kaasurajapintoja. MC-luupissa tehdyillä mitauksilla (kuva 5.3.2) osoitettiin, että lämpövuomittauksella voidaan havainnoida kaasurajapintoja prosessiolosuhteissa. Lisäksi LUT/MVPR rakensi signaalin käsittelymenetelmän jolla signaalista voidaan automaattisesti määrittää kaasun "kuplakoko" (kuva 5.3.3). Lämpövuomittauksen ja sovellusten tutkimuksia jatkettiin erillisessä Tekes/Tutli/Demis hankkeessa yhteistyössä LUT:n sähkötekniikan osaston kanssa.



**KUVA 5.3.1.** Lämpövuomittausanturi ja mittausjärjestelmä.



KUVA 5.3.2. Lämpövuosignaali mitattuna MC-luupista happisekoittimen jälkeen eri kaasumäärillä 100 hz mittaustaajuudella.



KUVA 5.3.3. LUT/MVPR:n kehittämä piikkien tunnistus lämpövuosignaalista.

#### 5.4 DD-PESURIN SIHDIN SAOSTUMAKUVAUKSET (FIBERLABORATORY,UEF JA 3K-TEHDAS)

Projektissa kehitettiin menetelmää DD-pesurin sihtilevyä tukkivan orgaanisen tai epäorgaanisen saostuman ( $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ) havainnointiin ja online-monitorointiin. Saostuman muodostuminen on ongelmallista prosessin kannalta, sillä se vaikuttaa negatiivisesti pesutulokseen mutta toisaalta sihtilevyn tukkeutumista ei pystytä havaitsemaan prosessin mittausdatasta. Saostumaa muodostuu DD-pesurin sihtipinnalle (kuva 5) hyvin hitaasti, mutta lopulta saostuman tukkiessa sihtilevyn reiät pesutulos huononee niin paljon että pesuri joudutaan pysäyttämään ja saostuma poistamaan mekaanisesti.



KUVA 5.4.1. Näytepala saostuman tukkimasta DD-pesurin sihtilevystä.



Projektissa lähdettiin kehittämään kuvantamistekniikkaan perustuvaa menetelmää saostuman monitorointiin. Kysymyksiä herätti heti ajatus, voisiko fluoresoivalla valolla saada tehokkaammin havaintoja saostumasta ennen kuin saostuma alkaa näkyvästi edes tukkia sihtilevyn reikiä. UEF:n spektriryhmä testasi mittausmenetelmää sihtilevynäytteisiin ja mittaus todettiin mahdolliseksi, mikäli saostuman spektri pysyisi jotakuinkin samanlaisena. Mikäli spektrimittauksella skannattaisiin kaikki mahdolliset aallonpituudet, tulisi mittauksesta liian hidas prosessimittausmenetelmäksi. Ensimmäinen mittalaitteiston prototyyppi tehtiin normaalilla valolla toimivaksi, ja laitteisto olikin valmiina, mutta projektin aikataulujen puitteissa ei ehditty järjestämään mittauskoekäyntiä sopivalle sellutehtaalle. Kuvassa 5.4.2 on esitetty kuvauskohde konepajalla ja mittauslaitteisto sekä kuvassa 5.4.3 mittauslaitteistolla saatavaa kuvaa.

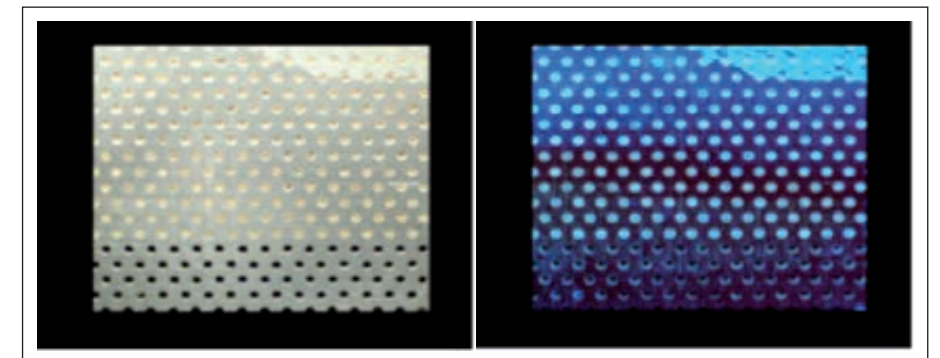


**KUVA 5.4.2.** DD-pesuri sekä pesurin saostuman mittaamiseen kehitetty laitteisto.

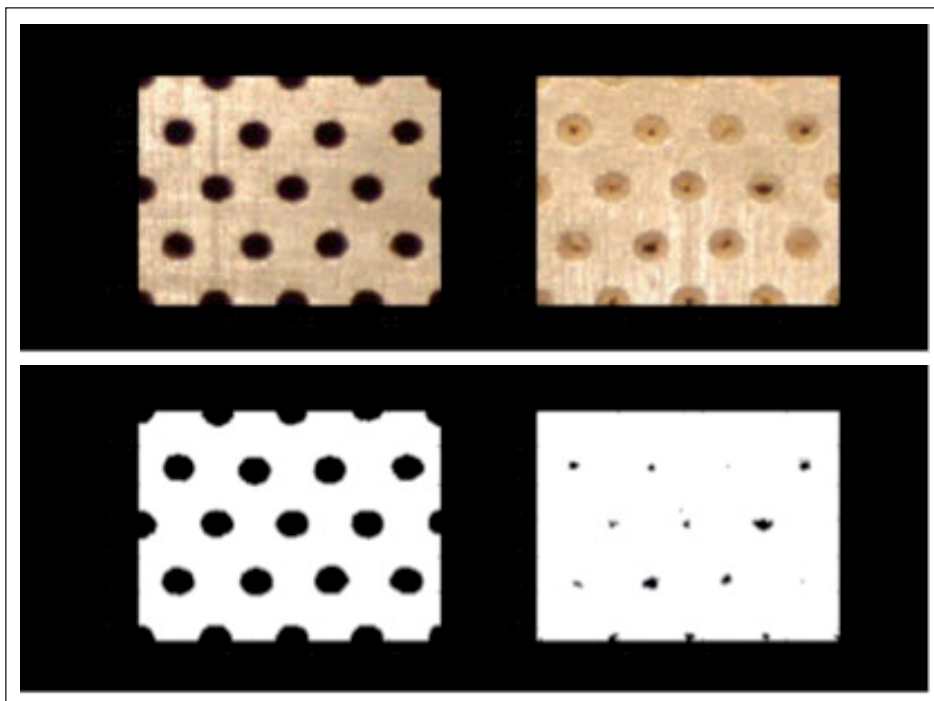


**KUVA 5.4.3.** Pesurin sihtilevy sekä kuvauspää (vas.) ja esimerkki laitteistolla saatavasta kuvadatasta.

Tukkeutunutta sihtiä kuvattiin ensin päivänvalossa (valotusaika 1/40 s) (Kuva 5.4.4 a), jolloin sihdissä nähdään mustat aukot kun tukkeumia ei ole. UV-valossa (aallonpituus = 365 nm, valotusaika 10 s) saostumatukkeumat ja jopa myös alkavat saostumat mustien aukkojen ympärillä havaitaan sinertävinä ympyröinä (Kuva 5.4.4 b). Koska DD-pesurin toiminnassa ollessa pesurin sihti pyörii ja kuvaolosuhteet (mm. lämpötila ja kosteus) ovat haastavat fluoresenssin detektointin kannalta jouduttaisiin online-mittauksissa käyttämään voimakasta optimoitua fluoresenssia virittävää valonlähdettä kuten pulssilaseria lisäksi fluoresenssidetektorilta/kameralta vaaditaan riittävää herkkyyttä. Käyttämällä riittävän tehokasta fluoresenssin viritysvalonlähdettä laboratoriomittauksissa havaittua fluoresenssimittauksien vaatimaa detektorin pitkää valotusaikaa voidaan lyhentää online-mittausten vaatimusten mukaiseksi. Tosin ko. mittauslaitteisto voi olla kustannuksiltaan melko korkea. Edellisten mittausmenetelmien lisäksi voidaan DD-pesurin sihdin tukkeumia tarkastella kynnystämismenetelmien avulla (kuva 5.4.5) ja fluoresenssimenetelmän ja kynnystämismenetelmien yhdistelmä parantaa saostumien muodostumisen havaitsemista.



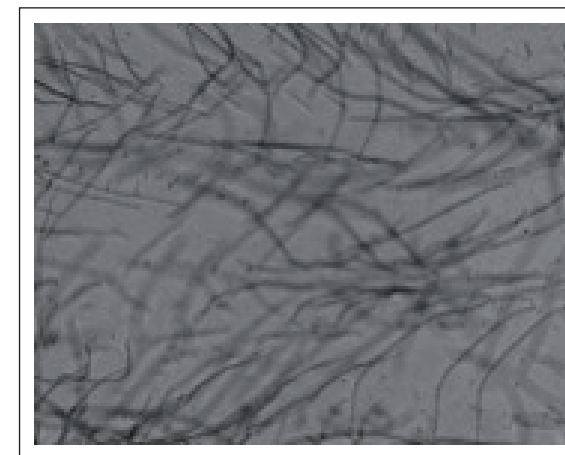
**KUVA 5.4.4.** DD-pesurin sihdin saostuma päivänvalossa (a) ja UV-valaistuksessa (b).



**KUVA 5.4.5.** DD-pesurin puhdas sihti (a), tukkeutunut sihti (b), kynnystetty kuva puhtaasta sihdistä (c) ja kynnystetty kuva tukkeutuneen sihdin aukoista (d). Kuvan kynnystäminen tietyistä pikseliarvosta tarkoittaa kuvan harmaasävyarvojen jakamista kuvautumaan kahteen ryhmään (binäärikuvaksi).

## 5.5 KUITUJEN LIIKKEEN TUNNISTUS (CEMIS-OULU JA MVPR)

Kaksoisvalotettuja kuvia (kuva 5.5.1) voidaan käyttää virtauksen karakterisointiin. Jotta kuituvirtauksen suunta ja nopeus voidaan päätellä, tulee kuitujen sijainti pystyä selvittämään kahdella eri ajanhetkellä. Kuvapohjaisesti tämä voidaan toteuttaa joko käyttämällä hyvin nopeaa kuvanopeutta, jolloin samat kuidut on mahdollista nähdä peräkkäisissä kuvissa, tai käyttämällä kahta lyhyttä peräkkäistä valopulssia ja “valottamalla” samaa kuvaa molempien pulssien aikana. Näistä jälkimmäinen tapa (kaksoisvalotus) on usein käytännössä helpompi ja halvempi toteuttaa, kun virtauksen nopeus on suuri ja kuvausolosuhteet vaikeat.



**KUVA 5.5.1.** Esimerkki kaksoisvalotetusta kuvasta.

Projektissa vertailtiin kahta menetelmää kuituvirtauksen määrittämiseksi kaksoisvalotetuista kuvista. Toinen menetelmä perustui autokorrelaatioon ja toinen Particle Image Pattern (PIP) -tekniikkaan. Menetelmiä testattiin sekä normaaleista kerran valotetuista kuvista warping-tekniikalla luoduilla synteettisillä kuvilla että CEMIS-Oulun tuottamalla oikealla kaksoisvalotetulla kuvadatalalla. PIP-menetelmän onnistui kuvajoukosta riippuen arvioimaan oikein 74-84% liikevektoreista ollen menetelmä tarkempi. Autokorrelaatiomenetelmä saavutti vastaavasti 66-71% tarkkuuden, mutta oli laskennallisesti tehokkaampi. Menetelmät ja tulokset on raportoitu yhdessä konferenssiartikkelissa [LUT10] ja diplomityössä [LUT12].

## 6 MC-MASSAN NESTE-KAASU DISPERSIOILMIÖIDEN HALLINTA KUVANTAMIS- TEKNOLOGIOILLA (FIBERLABORATORY JA MVPR)

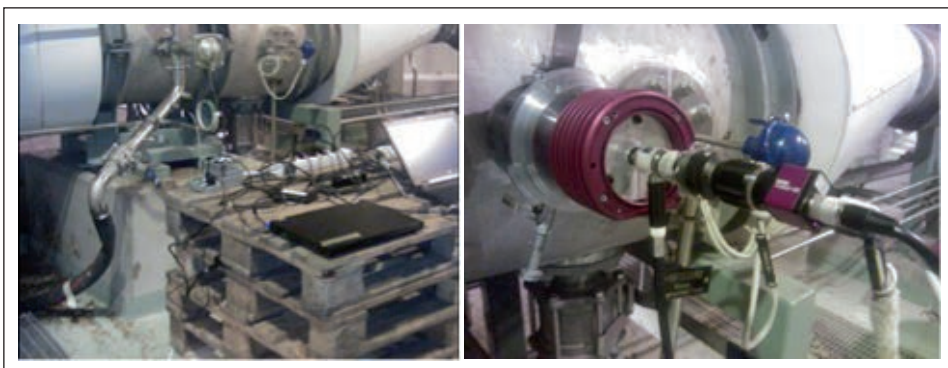
Tässä osiossa keskityttiin kaasumaisten valkaisukemikaalien sekoittamisen parempaan ymmärtämiseen ja optimointiin. Vaikka kaasua sekoitetaan massasuspensioon lähes kaikissa sellutehtaissa, ei vielä tiedetä tarkasti, miten ja millä energiamäärällä kaasun sekoittaminen kuitu-vesi-suspensioon tulisi tehdä, jotta kaasun liukeneminen suspension nestefaasiin olisi mahdollisimman tehokasta ja tasaista sekoitushetkestä aina reaktoritornin huipulle saakka. Yleisesti pidetään mahdollisimman pientä sekoituksella aikaansaatu kuplakokoa parhaimpana. Toisaalta mitä pienempään kuplakokoon pyritään, sitä enemmän sekoitukseen on käytettävä energiaa. Tavoitteena oli uuden kuvantamismenetelmän avulla ymmärtää kaasun käyttäytyminen paremmin ja löytää sekoituksella aikaansaatu optimaalisin kuplakokojakauma kullekin sovelukselle. Kuvantamiseen liittyvän tekniikan, kuten kameroiden, valaistuksen sekä tunnistusalgoritmien, tehokkuuden nopea kehitys on mahdollistanut vasta hiljattain tämän mittaluokan asioiden tarkastelun. Kuvantavia mittausmenetelmiä oli aiemmin kokeiltu myös muissa kohteissa Kuitulaboratoriossa tehdyissä tutkimuksissa ja opinnäytetöissä, joten olemassa olevaa tietotaitoa ja laitekantaa haluttiin hyödyntää laajemmin erilaisiin sovelluksiin.

### 6.1 KUVANTAVAN MITTAUSMENETELMÄN KEHITYS

Kuvantavaa mittausmenetelmää kehitettiin ja kokeiltiin ensiksi kolmessa diplomityössä laboratorio- ja pilot-ympäristössä Kuitulaboratoriossa (Rantala 2010, Mutikainen 2011, Kumpulainen 2011). Mittausmenetelmää käyttäen dispersiotutkimukset aloitettiin Quantum Mark IV -laboratoriosekoittimessa. Kokeissa tarkasteltiin sekoituksen parametrien vaikutusta hapen kuplakokoon, kappareduktion ja kuplakokoon välistä korrelaatiota sekä happidispersion homo-

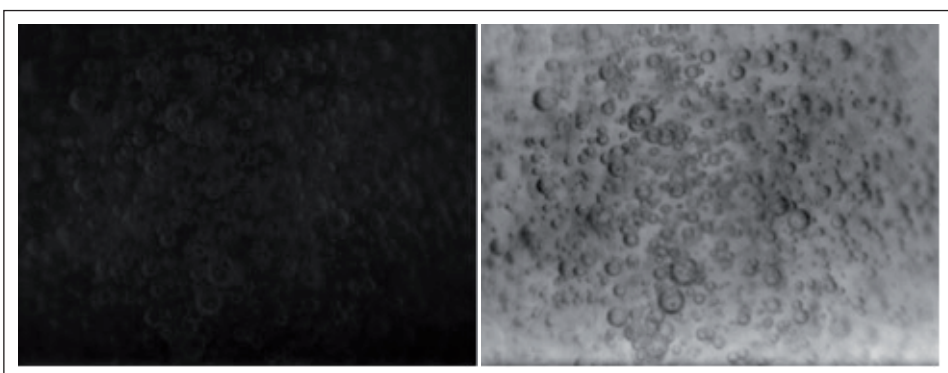
geenisuutta neljän eri kuvausyhteen välillä. Tämän jälkeen mittausmenetelmää sovellettiin pilot-mittakaavan kokeisiin Kuitulaboratorion koehallin MC-luupissa. Mittauslaitteiston pääkomponentit ovat konenäkökamera, boroskooppi sekä valonlähde. Käytetyt kameramallit olivat Allied Vision Technologies Guppy F-046B (780 x 582 pikseliä), FOculus FO531TB (1600 x 1200 pikseliä) ja Allied Vision Technologies Guppy Pro F-503B (2588 x 1940 pikseliä), joista viimeisin on edelleen käytössä nykyisessä mittauslaitteistossa. Mittauslaitteiston optiikkana käytetään Richard Wolfin 6.10028.00 -boroskooppia, joka on kiinnitetty kameraan Richard Wolf 51-kamerasovitella. Valonlähteenä käytettiin aluksi kahta rinnankytkettyä Contrôle Recherche Industrien ST-15E stroboskooppia, jotka myöhemmin korvattiin Cavilux Smart -pulsilaserilla. Syinä pulsilaserin käyttöön ovat korkeampi valoteho, nopeammat valopulssit ja valon sopiva aallonpituus ruskean massan kuvantamissovellukseen.

Mittausmenetelmän skaalaus teolliseen mittakaavaan aloitettiin esikokeilla ns. sivuvirtausmenetelmällä; kokeita varten tehtiin kuitulinjan näytteenottimeen kiinnitettävä putki (kuva 6.1.1, vasen), jonka kautta massaa voitiin johtaa pieniä määriä kanaaliin ja samalla kuvata mittauslaitteistolla hapen dispersiota. Kun esikokeilla oli varmistettu laitteiston toimivuus myös teollisessa ympäristössä, alettiin suunnitella pysyviä mittausyhteitä ja selvittää mahdollisuuksia yhteiden asentamiseksi. Yhteet sekä yhteisiin mittauksien ajaksi kiinnitettävän sensoriosan suunnitteli ja toimitti Vantaalla toimiva Janesko/K-Patents. Kaksi yhdettä asennettiin suomalaisen havusellua valmistavan tehtaan happivaiheeseen syksyllä 2013, yksi asennettiin vielä kesällä 2014. Yksi yhde on sijoitettu ensimmäisen happivaiheen sekoittimen jälkeen, yksi happitornin syöttöön ja yksi toisen happivaiheen sekoittimen jälkeen. Kuvassa 6.1.1 on vasemmalla esitetty sivuvirtausmenetelmän mittaus ja oikealla suoraan kuitulinjan kiinnitettyyn yhteeseen sijoitettu mittalaite.



**KUVA 6.1.1. Sivuvirtausmenetelmän mittauslaitteisto kiinnitettynä kuitulinjan näytteenottimeen (vasen) ja mittauslaitteisto kiinnitettynä kuitulinjan yhteeseen (oikea).**

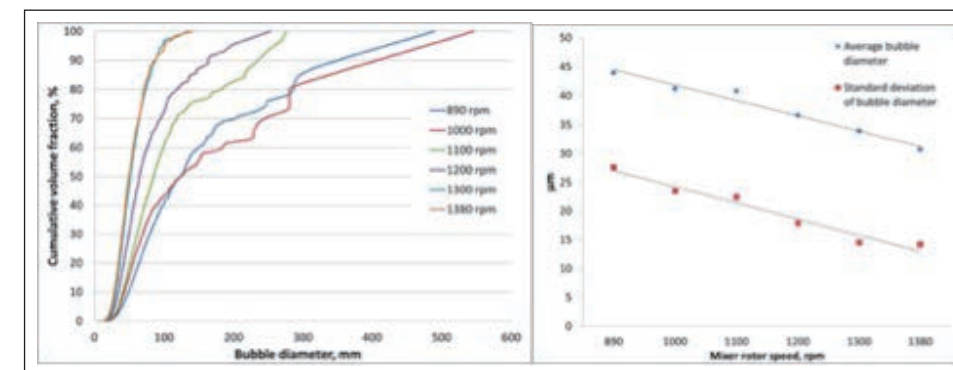
Mittausmenetelmällä ei optiikan rajoitusten vuoksi saada kovinkaan hyvää syvysterävyyttä, joten kuplien koon määrittäminen perustuu kuva-alan visuaalisesti määritettyihin dimensioihin. Kuva-ala laboratorioissa ja sivuvirtauskokeissa oli 2,71 x 2,0 mm resoluutiolla 1600 x 1200 pikseliä ja tehdasmittakaavan kokeissa 1,75 x 1,31 mm resoluution ollessa 2588 x 1940 pikseliä. Aluksi tulokset määritettiin laskentaan tarkoitettulla ohjelmalla merkkimalla kuplat kuvista silmämääräisesti, kuitenkin samalla kehittämällä rinnalla automaattista menetelmää. Automaattisen laskentamenetelmän kehitti MVPR-laboratorio. Kuvassa 6.1.2 on esitetty alkuperäinen esimerkkikuva tehdasmittauksista sekä manuaalista laskentaa varten muokattu versio.



**KUVA 6.1.2. Esimerkkikuva hapen dispersiosta massasuspensiossa kuvattuna happitornia edeltävästä yhteestä suomalaisella havusellulinjalla. Sekoittimen kierrosnopeus 1100 min<sup>-1</sup>, sakeus 10 %, happiannos 12 kg/t. Kuvan dimensiot 1,75 x 1,31 mm.**

Laboratoriosekoittimella tehdyissä kokeissa todettiin, että sekoittimen roottorin nopeus sekä suspension sakeus olivat eniten hapen kuplakokoon vaikuttavat tekijät sekoituksen aikana. Roottorin nopeuden taas todettiin olevan tärkein kappareduktioon vaikuttava tekijä. Laboratorio-olosuhteissa mittausmenetelmällä pystyttiin havaitsemaan parhaimmillaan hieman alle 10 µm kokoisia kuplia. Pilot-loopissa tehdyissä kokeissa virtausmäärän ja sekoittimen roottorin pyörimisnopeuden todettiin selvästi vaikuttavan mittauksella havaittuun kuplakokoon. Mittauksella pystyttiin määrittämään optimaaliseksi sekoittimen roottorin pyörimisnopeudeksi 1500 min<sup>-1</sup> ja optimaaliseksi massan virtaukseksi määritettiin 20 l/s, mikä tarkoitti noin 0,90 m/s virtausnopeutta massalle putkistossa sekoittimen jälkeen. Tuloksista pystyttiin havaitsemaan myös kuplakoon kasvamista sekoittimen jälkeisessä putkistossa. Tuloksia näistä Kuitulaboratoriossa suoritetuista kokeista julkaistiin kootusti vertaisarvioitussa artikkelissa Appita Journalissa alkuvuodesta 2014 (Mutikainen, Peltonen, Tirri, Käyhkö 2014).

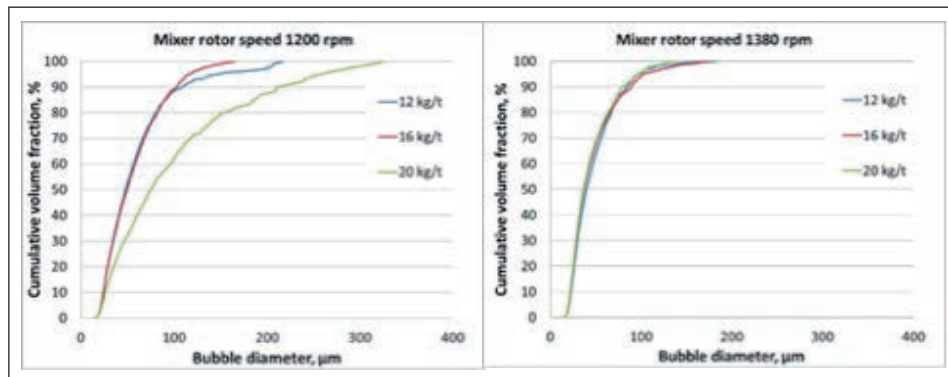
Tehdasmittaukset sivuvirtausmenetelmällä aloitettiin syksyllä 2012. Sivuvirtausmenetelmän kokeissa ainoaksi muuttujaksi valittiin sekoittimen roottorin kierrosnopeus. Kuvassa 6.1.3 on esitetty tilavuuspainotettu kumulatiivinen kuplakokojakauma sekoittimen roottorin eri pyörimisnopeuksilla sekä keskimääräinen kuplakoko sekoittimen kierrosnopeuden funktiona.



**KUVA 6.1.3. Sivuvirtausmenetelmällä määritetty hapen tilavuuspainotettu kuplakokojakauma (vas.) ja keskimääräinen kuplakoko sekä kuplakoon keskihajonta 10 % massasuspensiossa suomalaisen havusellutehtaan kuitulinjan happivaiheessa.**

Sivuvirtausmenetelmät varmistivat, että mittausmenetelmä voisi soveltua myös oikeissa prosessiolosuhteissa mittaamiseen. Mittaustulokset olivat suuntaa antavia, vaikka esimerkiksi paine oli mittausputkessa vain noin 7,5 baaria mikä oli paljon prosessissa vallitsevaa noin 11 baarin painetta alhaisempi.

Yhteet päälinjaan samaisen tehtaan happivaiheeseen asennettiin syksyllä 2013. Sivuvirtauskokeiden pohjalta jatkettiin kokeita tarkastellen ensiksi sekoittimen roottorin kierrosnopeuden vaikutusta happikaasun dispersioon kahdesta eri yhteestä mitattuna. Kokeiden perusteella todettiin mittausmenetelmä toimivaksi ja roottorin kierrosnopeudella olevan selvä yhteys happikuplien kokoon ja kuplakokojakaumaan kuitususpensiossa. Seuraaviin kokeisiin valittiin myös happiannos muuttujaksi. Kuvassa 6.1.4 on esitetty hapen tilavuuspainotettu kumulatiivinen kuplakokojakauma kahdella sekoittimen roottorin eri pyörimisnopeudella.



**KUVA 6.1.4. Hapen tilavuuspainotettu kumulatiivinen kuplakokojakauma 10 % massasuspensiossa suomalaisen havusellutehtaan kuitulinjan happivaiheessa sekoittimen roottorin pyörimisnopeuksilla 1200 min<sup>-1</sup> ja 1380 min<sup>-1</sup> eri happiannoksilla.**

Kuvasta 6.1.4 voidaan todeta happiannoksen vaikuttavan melko paljon hapen kuplakokojakaumaan; esimerkiksi vasemmanpuoleisesta kuvasta voidaan todeta 20 kg/t happiannoksen olevan selkeästi liian suuri sekoittimen roottorin pyörimisnopeudelle 1200 min<sup>-1</sup>, jotta aikaansaataisiin homogeeninen happidispersio optimaalisen delignifointituloksen takaamiseksi. Tämä sekoittimen kierrosnopeus on melko tavanomainen kyseisellä kuitulinjalla, kuten myös alin kuvissa esitetty happiannos 12 kg/t. Oikeanpuoleisesta kuvasta voidaan todeta, että käytetyn sekoittimen maksiminopeudella 1380 min<sup>-1</sup> tehdyissä kokeissa ei havaittu happikaasun kuplakokojakaumassa ollut mainittavaa eroa eri happiannoksia käytettäessä.

## 6.2 AUTOMAATTISET MENETELMÄT KUPLAKOKOJAKAUMAN MÄÄRITTÄMISEKSI

Projektissa kehitettiin ja testattiin useita menetelmiä kuplien kokojakauman automaattiseen määrittämiseen kuvista. Valtaosa tehdystä tutkimuksesta painottui kuvankäsittelymenetelmien kehittämiseen kuplien löytämiseksi kuvista, mutta lisäksi kehitettiin menetelmä, jolla kuplien kokojakaumaa voitiin arvioida kuvassa esiintyviä taajuuksia hyväksikäyttäen suoraan kuplia paikantamatta.

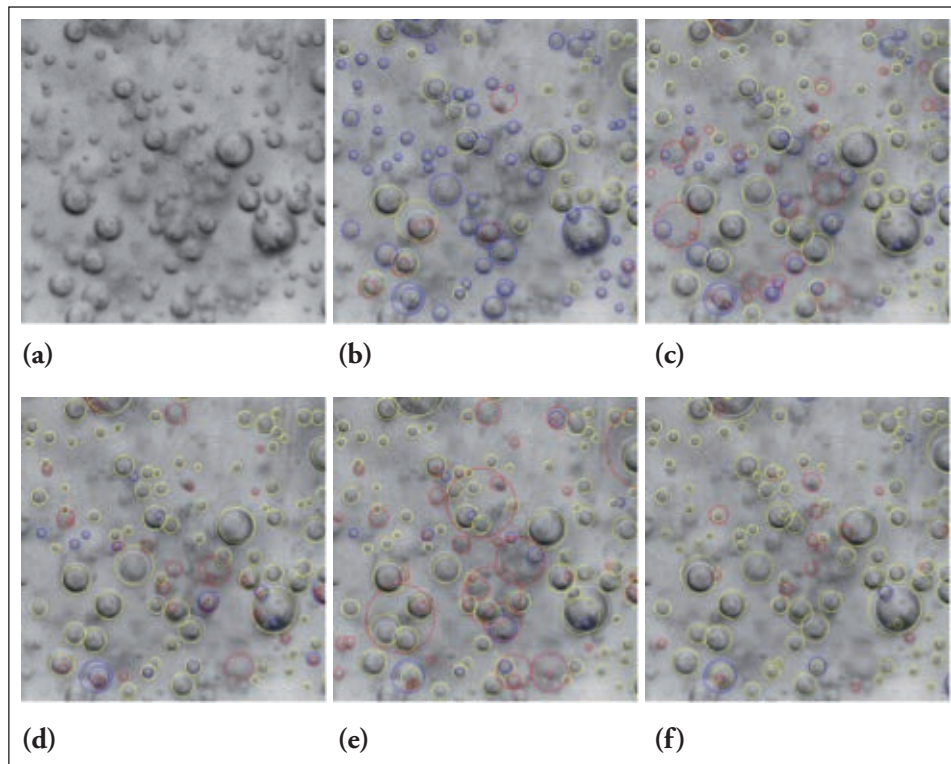
Kehitetyt kuvien paikantamismenetelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan: 1) kuplien geometriseen malliin perustuvat menetelmät ja 2) kuplien ulkonäköön perustuvat menetelmät. Ensimmäisen luokan menetelmissä kuplia etsitään perustuen kuplien reunoihin ja kuplan (ympyrän) geometriseen malliin käyttäen äänestystekniikoita. Tähän luokkaan kuuluvia menetelmiä ovat yleisesti käytetty Hough-muunnos (HT) sekä projektissa kehitetty Concentric Circular Arrangement (CCA) -menetelmä. Jälkimmäisestä kehitettiin lisäksi moniskaalaversio, jonka avulla eri kokoluokan kuplien paikantamistarkkuutta saatiin parannettua.

Kuplien ulkonäköön perustuvissa menetelmissä koko kuva käydään läpi liukuvan ikkunan menetelmää (sliding window) käyttäen siten, että kutakin kohtaa (ikkuna) kuvasta verrataan opittuun kuplan ulkonäkömalliin ja tehdään päätös onko kyseessä kupla vai ei. Projektissa testattiin useita erilaisia kuvapiirteisiin perustuvia ulkonäkömalleja ja luokittimia, joilla alue luokiteltiin joko taustaksi tai kuplaksi. Testatut menetelmät olivat hyvin nopeaan WaldBoost-luokittimeen perustuvat Local Binary Pattern (LBP)- ja päätöspuumenetelmät (WBT), AdaBoost-luokittimeen perustuva Aggregated Channel Features (ACF) -menetelmä sekä konvoluutioneuroverkkoihin (CNN) perustuva menetelmä, jossa käytettävät piirteet opittiin opetusdatasta.

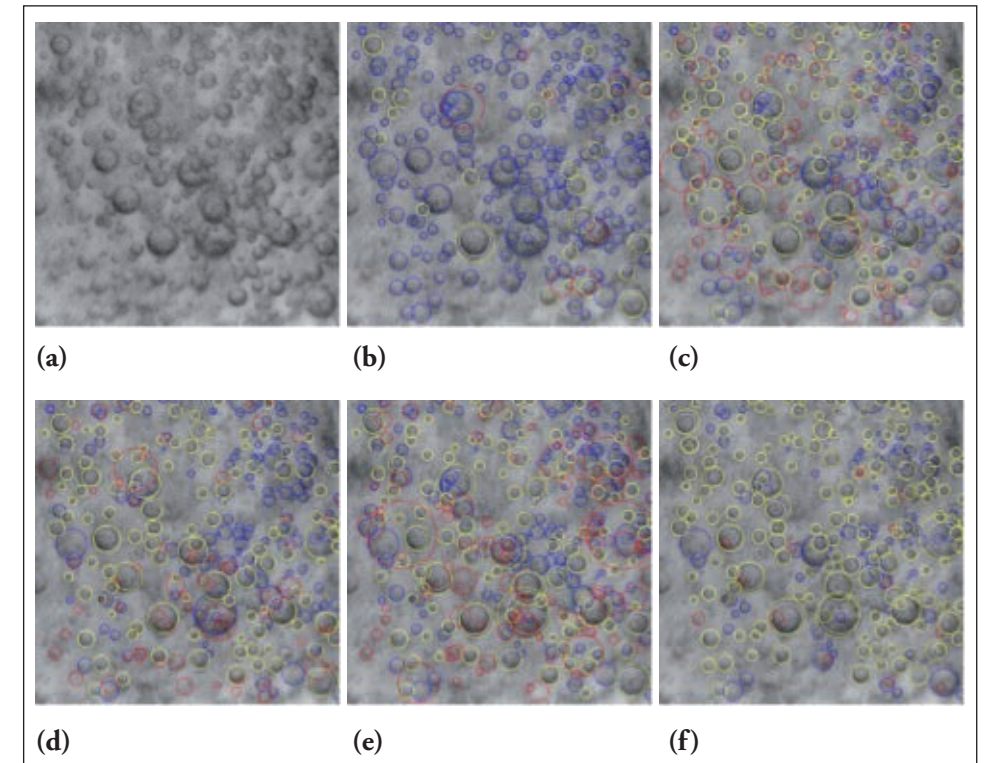
Kehitetyssä taajuuspohjaisessa menetelmässä (Power Spectrum) kokojakauma arviointi suoraan kuvasta perustuu oletukseen, että pienet kuplat aiheuttavat suuritaajuisia vaihtelua kuviin, kun taas suuret kuplat pienitaajuisia. Kuvissa esiintyvien taajuuksien ja manuaalisesti määritettyjen kuplakokojakaumien välille kehitettiin malli, jota voidaan käyttää kokojakauman arviointiin.

Esimerkkituloksia eri menetelmille on esitetty kuvissa 6.2.1 ja 6.2.2. Kuvassa 6.2.3 on esitetty eri menetelmillä määritettyjä kuplien kokojakaumia. CNN-menetelmä saavutti selkeästi suurimman kuplien paikantamistarkkuuden löytäen 79.7% asiantuntijan merkitsemistä kuplista ja vain 15.3% sen löytämistä kuplista oli virheellisiä. CNN antoi myös tarkan estimaatin kuplien kokojakaumalle. CNN:n ongelma on kuitenkin pitkä laskenta-aika. Yhden kuvan analysointiin kuluu nykyisellä toteutuksella henkilökohtaiselta tietokoneelta noin tunti. WaldBoost-luokittimeen perustuvat LBP- ja WBT-menetelmät toimivat myös varsin hyvin kokojakauman estimoinnissa ja ovat lisäksi

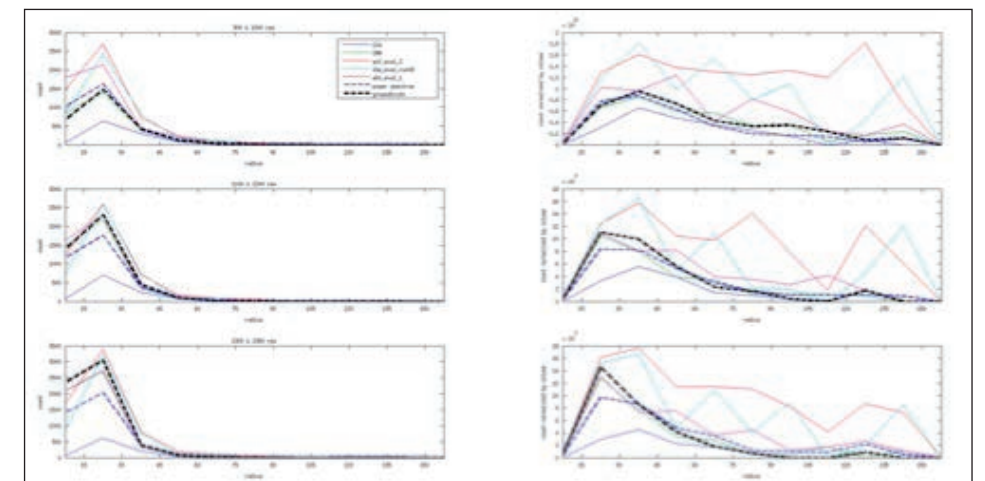
hyvin nopeita laskea mahdollistaen jopa prosessin reaaliaikaisen hallinnan. Taajuuspohjainen Power Spectrum -menetelmä on paitsi hyvin nopea laskea myös nopea opettaa, mikä mahdollistaa paitsi reaaliaikaisen prosessinhallinnan myös mallin jatkuvan päivittämisen. Menetelmän ongelma on suuri herkkyys kokojakauman nopeille muutoksille. CCA-menetelmä toimii hyvin hyvälaatuisilla kuvilla, joissa kuplia on vähän, mutta muuttuu epäluotettavaksi kohinan ja kuplien määrän lisääntyessä. Menetelmän hyvä puoli on yksittäisten löytyneiden kuplien tarkka koonmääritys. Toisin kuin liukuvaan ikkunaan perustuvilla menetelmillä, joilla koon määritys perustuu ikkunan kokoon, kuplan koko pystytään määrittämään pikselin tarkkuudella. Se mikä menetelmistä kannattaa valita riippuu sovelluskohteesta ja siitä kumpi on kriittisempää, menetelmän nopeus vai tarkkuus. Menetelmät ja tulokset on raportoitu yhdessä lehtiartikkelissa [MAMK01], kolmessa konferenssiartikkelissa [LUT06, LUT08, LUT09] sekä yhdessä arvioitavana olevassa lehtiartikkelissa [LUT02].



**KUVA 6.2.1. Kuplan detektointituloksia matalalla roottorin pyörimisnopeudella (1000rpm); oikein löydetyt kuplat on merkitty keltaisella, löytämättä jääneet kuplat sinisellä ja menetelmien virheellisesti löytämät ylimääräiset kuplat punaisella: (a) Alkuperäinen kuva; (b) CCA; (c) LBP; (d) WBT; (e) ACF; (f) CNN.**



**KUVA 6.2.2. Kuplandetektointituloksia suurella roottorin pyörimisnopeudella (1380rpm): (a) Alkuperäinen kuva; (b) CCA; (c) LBP; (d) WBT; (e) ACF; (f) CNN.**

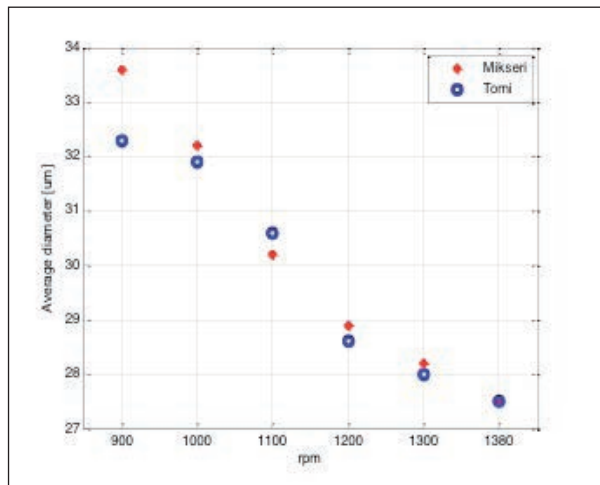


**KUVA 6.2.3. Automaattisilla menetelmillä määritetyt kuplakokojakaumat.**

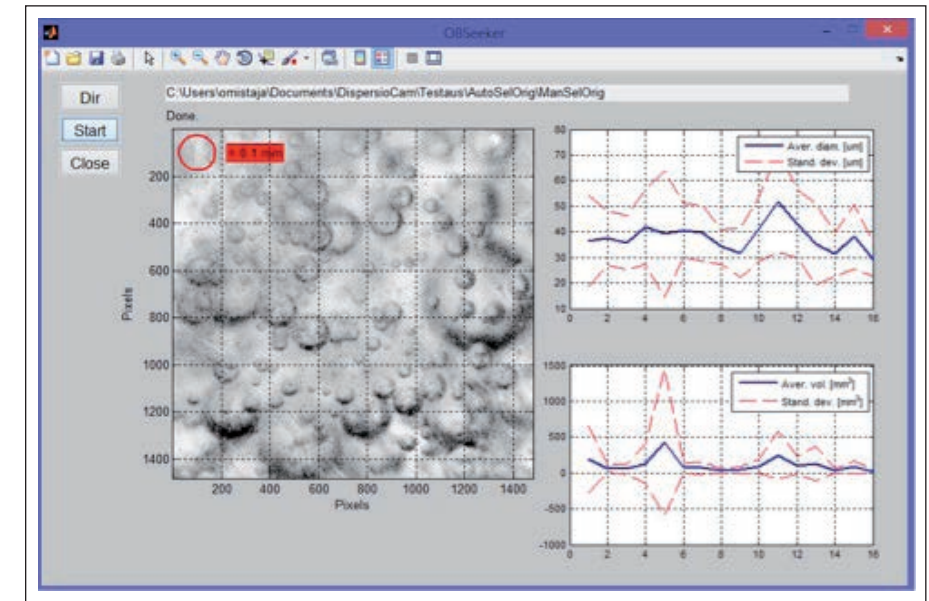
Hankkeessa kehitettiin myös MAMK/Yrjö Hiltusen toimesta vertaileva menetelmä happikuplien koon automaattiseen määrittämiseen digitaalisten kuvien perusteella. Kuva-aineisto oli peräisin kappaleessa 6.1 esitetyistä tehdaskokeista. Lähtökohtana oli, että analyysimenetelmää voitaisiin soveltaa online-mittausten yhteydessä, mistä johtuen sen pitäisi olla suhteellisen nopea ja robusti. Tältä pohjalta kehitettiin uusi kuva-analyysimenetelmä happikuplien karakterisointiin sellunvalkaisuolosuhteissa. Koko proseduuri yhden happidispersio-kuvan osalta kestää noin neljä sekuntia, mikä avaa uusia mahdollisuuksia jopa prosessin säädön kannalta.

Menetelmä ja sen validointi sekä tulokset on raportoitu tarkemmin konferenssiartikkelissa [MAMK04]. Saavutettujen tulosten perusteella kuva-analyysimenetelmällä pystytään mittaamaan happikuplien kokoa automaattisesti. Kuvassa 6.2.4 on esitetty menetelmällä määritetty keskimääräinen kuplakoko pilotin kahdessa eri mittausyhteessä (ensimmäisen happivaiheen sekoittimen jälkeen ja happitornin syötössä) eri sekoitusnopeuksilla. Toistaiseksi ei vielä tiedetä, mikä on optimaalinen kuplakoko optimaalisen happivalkaisun saavuttamiseksi pienimmällä mahdollisella happiannoksella ja sekoitusnopeudella, mutta kehitetty menetelmä avaa uusia mahdollisuuksia näiden asioiden tutkimiseen.

Analysimenetelmän lisäksi kehitettiin siihen perustuva tietokoneohjelmisto, jolla voidaan suodattaa kuvia manuaalisesti tai automaattisesti sekä automatisoida kuvankäsittely ja analyysi (ks. Kuva 6.2.5).



**KUVA 6.2.4. Kuplien keskimääräinen halkaisija mikserin sekoitusnopeuden funktiona.**



**KUVA 6.2.5. OBSeeker-ohjelma, jolla voidaan määrittää automaattisesti happikuplien ominaisuuksia sellunvalkaisuolosuhteissa.**

# 7 FLUORESENSSIN JA SPEKTRIN MÄÄRITYS ERI VAIHEISTA PROSESSIA (UEF JA FIBERLABORATORY)

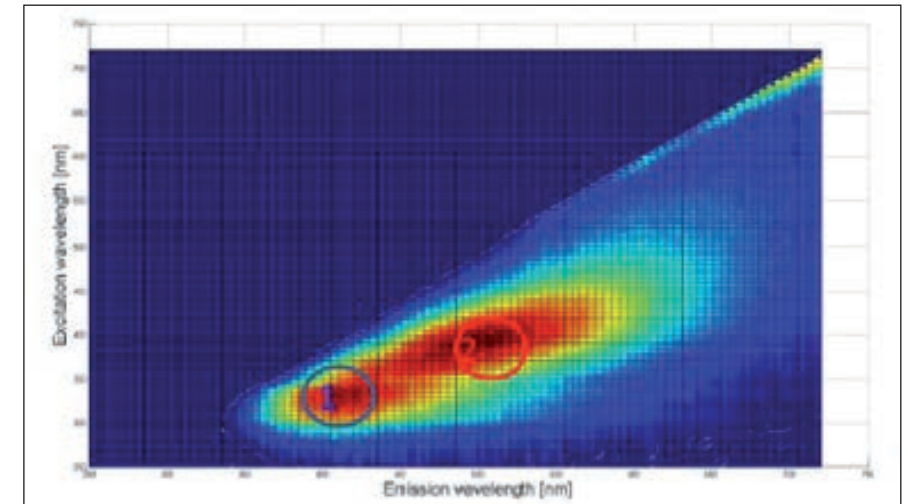
## 7.1 SUOVAN FLUORESENSSITUTKIMUKSET

Sellunjalostusprosessin keittämävaiheessa keittohakkeeseen lisätään valkollipeää, jonka tarkoituksena on poistaa selluloosakuituja sitova ligniini. Keitetessä noin 150-170 °C lämpötilassa massasta irtoava ligniini värjää lipeän tummaksi, jolloin sitä kutsutaan mustalipeäksi, joka on jäteliuos. Mustalipeä johdetaan haihduttimessa tapahtuvan väkevöinnin jälkeen soodakattilaan, jossa siitä otetaan prosessissa hyödynnettävissä olevat kemikaalit, ja energia talteen. Mustalipeään liuenneet uuteaineet erotetaan suovan erotuksessa.

Suovan erotus on tärkeä osa kemiallisen massan valmistusprosessia. Puu sisältää 2-4 % suovan muodostavia uuteaineita ja ko. ainevirran hallinta ja tuotot ovat hyvin merkittäviä sellutehtaan kokonaistalouden kannalta. Erotetun suovan vesipitoisuus pitäisi saada mahdollisimman alhaiseksi ja haihduttamoon sekä massan mukana kulkeutuvan suovan määrä mahdollisimman pieneksi. Lipeän erotus suovasta on teknisesti haastava ja prosessin talouden kannalta tärkeä prosessivaihe. Lisäksi mm. mäntyöljyn hinta on lyhyessä ajassa kolminkertaistunut mikä lisää kiinnostusta suovan erotusprosessin kehittämistä kohtaan.

Tällä hetkellä suovan erotuksen hallintaan ei ole käytössä on-line mittaamenetelmiä. Tämän tutkimusosion tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia mustalipeän suopapitoisuuden määrittämiseksi optisin mittaamenetelmin.

Ensiksi kartoitettiin mustalipeän ja suovan erottelumahdollisuuksia fluoresenssin avulla. Mittauslaitteistona käytettiin bispektrometriä, jolla näytteen fluoresenssin viritys- ja emissiospektrit voidaan mitata  $n \times n$  -kokoisena matriisiesityksenä 250-950 nm alueella. Suopa- ja mustalipeänäytteitä kerättiin mm. eräältä Suomalaiselta sellutehtaalta. Kuvassa 7.3.1 nähdään tyypillinen suopanäytteen fluoresenssin viritys-emissio –spektrimatriisi.



**KUVA 7.1.1. Suopanäytteen tyypillinen viritys-emissio –spektrimatriisi, jossa kaksi fluoresenssin viritys-emissiomaksimiaallonpituutta: no 1: Viritysmaksimi 330 nm, emissiomaksimi 405 nm ja no 2: viritysmaksimi 385 nm ja emissiomaksimi 480 nm.**

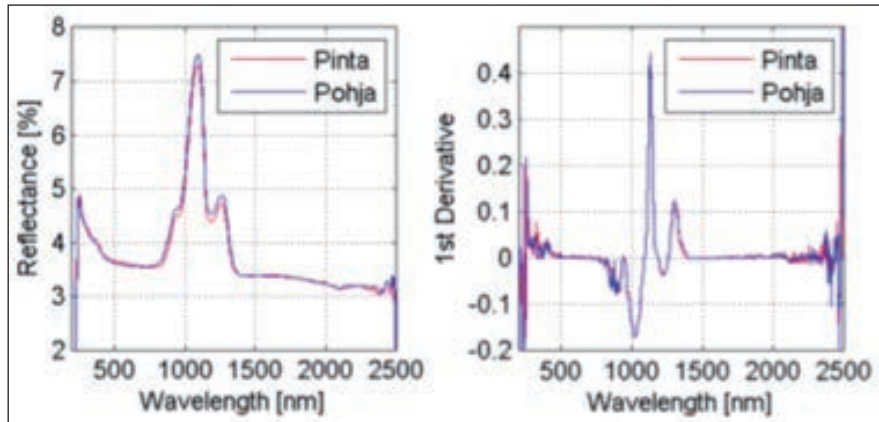
Näytteessä havaitaan kaksi fluoresenssin viritys-emissiomaksimiaallonpituutta: no:1, jossa viritysmaksimi 300 nm ja emissiomaksimi 405 nm kohdalla (esiintyy ainoastaan suovassa) ja no:2, jossa viritysmaksimi 385 nm ja emissiomaksimi 480 nm kohdalla (esiintyy myös pelkässä mustalipeässä). Fluoresenssimaksimipiikkien lisäksi suopanäytteistä havaitaan tutkimuksissa useita pienempiä fluoresenssiipukkeja. Kaiken kaikkiaan suovan erottaminen jo pelkän spektroskopisen fluoresenssierottelun on mahdollista, mutta tämän lisäksi tutkimusosa-alueeseen liittyen tehtiin myös heijastus- ja läpäisymittauksia, jotka varmentavat erottelumenetelmän luotettavuutta.

Heijastus- ja läpäisymittaukset suoritettiin 200-2500 nm aallonpituusalueella PerkinElementer Lambda 1050 spektrofotometrillä. Termospulloon (ulkomitat: korkeus 28 cm ja halkaisija 10 cm) säilötystä mustalipeästä otettiin pipetillä kaksi näytettä; ensimmäinen noin 5 cm pohjasta (mustalipeää) ja toinen noin 5 cm pinnasta (suopaa). Näytteet valutettiin kvartsilasikyvetteihin, joiden ulkomitat olivat (1,2 × 1,2 × 4,5) cm (leveys × syvyys × korkeus).

Heijastusmittauksen tulos on esitetty vasemmalla kuvassa 7.1.2. Heijastukselle laskettiin myös ensimmäinen derivaatta, joka on nähtävissä kuvassa 7.1.2 oikealla. Kuvasta 7.1.2 nähdään, että mustalipeän heijastus on vähäistä, enimmäkseen noin 3-4 % välillä, joka vastaa visuaalisia havaintoja. Suurin heijas-



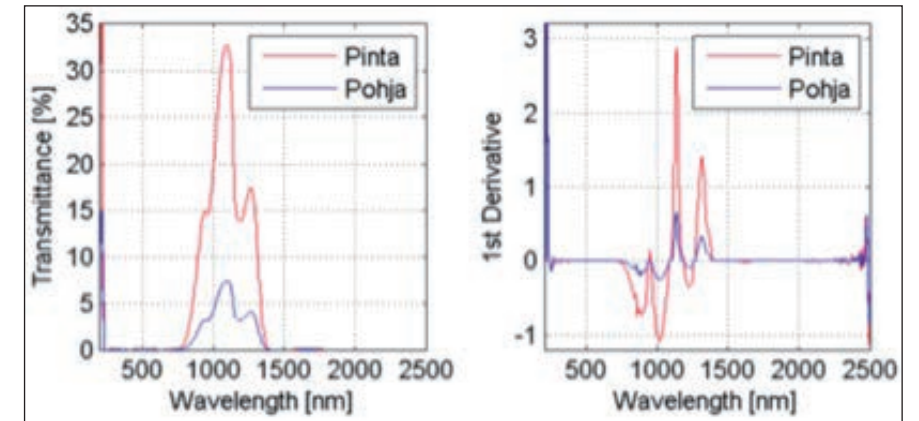
tusarvo 7 % saavutetaan noin 1000-1200 nm välillä. Heijastusmittauksen tuloksien perusteella mustalipeän ja suovan heijastusominaisuudet ovat hyvin samanlaiset tutkitulla aallonpituusalueella, joten niiden erottelu on haastavaa heijastusinformaation perusteella.



**KUVA 7.1.2. Heijastusmittauksen tulokset. Vasemmalla heijastus aallonpituuden funktiona ja oikealla heijastuksen ensimmäinen derivaatta aallonpituuden funktiona.**

Läpäisymittauksen tulos on esitetty vasemmalla kuvassa 7.1.3. Kuvasta nähdään, että pinnasta otetun näytteen läpäisy (noin 33 %) on huomattavasti parempi kuin pohjalta otetun näytteen (noin 7 %). Läpäisy on mahdollisesti verrannollinen suopapitoisuuteen, jota tulisi tutkia lisää eri pitoisuuksien avulla tarkemman riippuvuussuhteen selvittämiseksi. Mittauksessa käytetyn dynamiikan puitteissa kummankin näytteen läpäisy on nollasta poikkeavaa ainoastaan noin 800-1400 nm aallonpituus-kaistalla.

Läpäisylle laskettiin myös ensimmäinen derivaatta, joka on nähtävissä kuvassa 7.1.3 oikealla. Kuvassa havaitaan neljä selvää piikkiä, joista kaksi on nollatason alapuolella (noin 800 nm ja 1000 nm) ja kaksi ylä-puolella (noin 1150 nm ja 1350 nm). Nämä piikit kertovat aallonpituudet, jotka soveltuvat parhaiten mustalipeän ja suovan erotteluun.



**KUVA 7.1.3. Läpäisymittauksen tulokset. Vasemmalla läpäisy aallonpituuden funktiona ja oikealla läpäisyn ensimmäinen derivaatta aallonpituuden funktiona.**

Mahdollinen mittalaite suovan online-mittaamiseen voitaisiin toteuttaa varsin suoraviivaisesti. Mustalipeävirtaa johdettaisiin prosessista tarkasteltavia aallonpituuksia läpäisevään ohueen putkeen (halkaisija senttimetrien suuruusluokkaa) ja valaistaisiin laajakaistaisella valonlähteellä, esimerkiksi halogeenivalaisimella. Putken toisella puolella sijaisivat sensorit, jotka mittaisivat kahta tarkoin valittua aallonpituutta. Aallonpituudet valittaisiin siten, että ensimmäistä aallonpituutta mustalipeä ei juuri läpäise, esimerkiksi 1500 nm. Toisen aallonpituuden puolestaan tulisi läpäistä mustalipeäliuos mahdollisimman hyvin ja tähän soveltuu esimerkiksi 1150 nm. Aallonpituuksien läpäisyarvot mitattaisiin ja laskettaisiin niiden välinen suhde  $T_{1500}/T_{1150}$ . Lasketusta  $T_{1500}/T_{1150}$  -suhteen saataisiin selville suopapitoisuus, kun riippuvuussuhde tunnettaisiin. Aallonpituuksien suhteen käyttäminen on eduksi, sillä se poistaa laitteistossa tapahtuneiden muutosten, esimerkiksi valonlähteen vaihtelun, vaikutukset. Tämän lisäksi järjestelmässä olisi fluoresenssianalysointia varten kaksi valonlähdettä (esim LED) 330 nm (suopa) ja 385 nm (mustalipeä) aallonpituuksilla viritämässä fluoresenssia ja edelliset sensori viritettäisiin myös mittaamaan 405 nm (suopa) ja 485 nm (mustalipeä) aallonpituuksia. Toki jos vain halutaan detektoida vain yhtä komponenttia (esim. vain suopa) silloin käytettäisiin virityksessä vain yhtä valonlähdettä/sensoriaallonpituutta.

Saadun tuloksen perusteella mustalipeäliuoksen suopapitoisuutta voitaisiin mahdollisesti mitata läpäisymittauksen avulla. Tarkastelussa löydettiin neljä mielenkiintoista aallonpituutta, jotka voisivat soveltua tehtävään.

## 7.2 FLUORESENSSI MITTAUKSET ERI VAIHEISTA DELIGNIFIOINTI JA VALKAISUPROSESSIA

Spektroskopiaan perustuvat fluoresenssimenetelmät ovat erittäin herkkiä ja sopivat erinomaisesti esimerkiksi valkaisuprosesseissa aromaattisesta ligniinistä, uuteaineista ja valkaisu-kemikaaleista aiheutuvien fluoresenssisignaalien detektointiin. Tässä tutkimusosiossa mitattiin Suomalaisten sellutehtaiden koivu- ja havusellunäytteitä märkinä ja kuivana eri vaiheissa delignifointi ja valkaisu-prosessia.

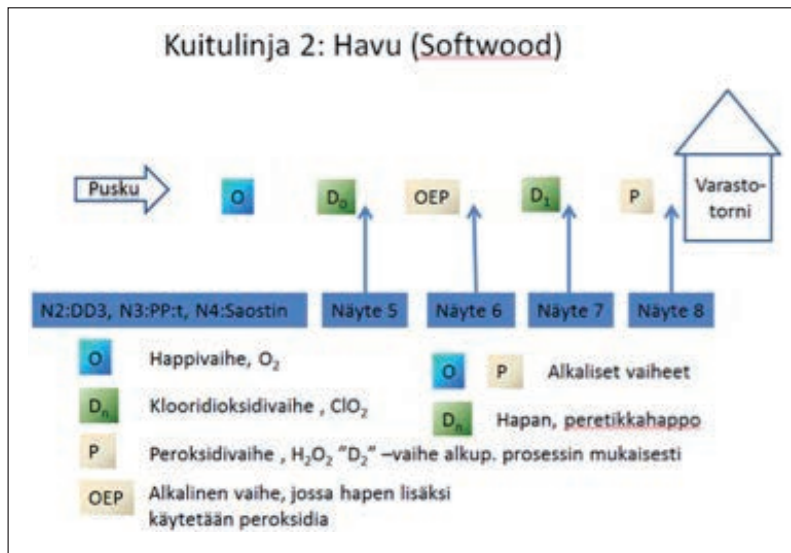
Perusoletuksena mittausten alussa oli, että prosessista voidaan spektrisesti mitata/analysoida heikkoakin sellun valkaisuun käytettyjen kemikaalien ja sellun fluoresenssia, ja tarkkailla kemikaalien ja massan spektrisiä vaihteluja missä tahansa prosessin näytteenottokohdassa kun tunnetaan fluoresenssin viritysaallonpituudet ja vastaavat fluoresenssin emissiot.

Aluksi selvitettiin delignifointi- ja valkaisu-prosessin fluoresenssin viritysaallonpituudet ja emissiot kussakin sellun valkaisu-linjan näytteenottovaiheessa. Tehtaalta A (Kuitulinja 2) kerättiin seitsemästä eri kohdasta valkaisu-prosessia märkiä havusellunäytteitä (Kuva 7.2.1). Tehtaalta B kerättiin vastaavasti kuu-desta eri kohdasta valkaisu-prosessia märkiä koivusellunäytteitä (kuitulinja 3) ja seitsemästä eri kohdasta valkaisu-prosessia märkiä havusellunäytteitä (kuitulinja 2). Kaikkien näytesettien näytteet jaettiin ensin kahteen eri märkään ”näytesettiluokkaan”, jotka sitten mitattiin märkinä bispektrometrillä fluoresenssimatriisin määrittämiseksi. Tämän jälkeen toinen seteistä kuivattiin ja sekä märkä, että kuivattu näytesetti mitattiin bispektrometrillä kerran viikossa viikon välein noin 2 kuukauden ajan. Samat mittaussarjat tehtiin sekä molempien tehtaiden näyteseteille. Näillä mittaussarjoilla haluttiin määrittää kuinka määrän sellun kuivumisesta mitatut ja kuivasta sellusta mitatut spektrit vaihtelevat ajan funktiona n. 2 kuukauden aikana.

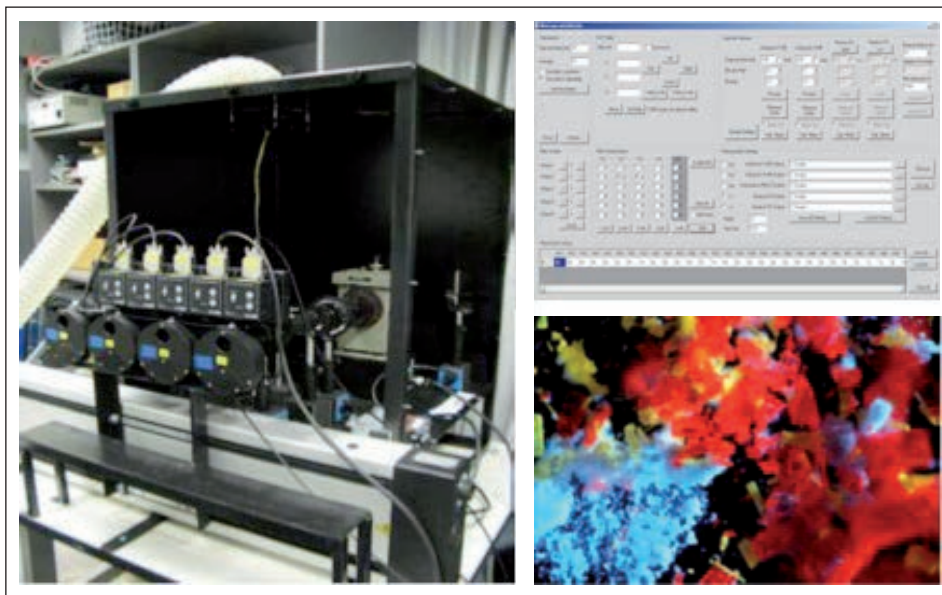
Jokaisen valkaisu-vaiheen ”kumulatiivisen” spektrianalyysin lisäksi aiemmin hankkeessa analysoitiin erikseen referenssiksi valkaisu-käytettyjen kemikaalien, kuten natriumhydroksidin, valkolipeän ja vetyperoksidin fluoresenssiominaisuudet (+heijastusspektrit) ja lisäksi prosessoinnissa huomioitiin ”irto”-ligniinin” (testinäytteet Itä-Suomen yliopiston biologian laitokselta) mahdollisia vaikutuksia spektreihin. Myös niiden valkaisu-kemikaalien spektrisiä ominaisuuksia, joita ei voitu mitata (esim. olomuodon, haitallisuuden jne. vuoksi) kartoitettiin kirjallisuudesta, jotta kaikkien prosessissa käytettyjen valkaisu-aineiden fluoresenssispektrit voitiin ottaa huomioon spektristä analysointia tehtäessä. Tällainen referenssianalysointi oli tarpeellinen koska kustakin näytteenottokohdan näytteiden fluoresenssimittauksissa saatiin useita ”summaspektrejä” joissa tosin jo toisistaan eroavien viritysaallonpituuksien avulla voitiin tehdä tarkkaakin spektriluokittelua. Lisäksi hankkeen aikana kerättyä

märkä- ja kuivasellun spektristä tietokantaa (esimerkki Liitteissä II ja III) sekä eri mittausten menetelmien yhdistämistä (esim. pistemittaukset+kuvantavat mittaukset) apuna käyttäen valkaisu-kemikaalien optimoiminen ja massan spektristen ominaisuuksien muuttumisen seuraaminen oli mahdollista. Lisäksi pyrittiin kehittämään relaatiota mitattujen fluoresenssi/heijastus-spektrien ja prosessissa käytettyjen kemikaalien/ligniinin välille, jopa siten, että käytettyjen aineiden spektrinen tarkkailu olisi mahdollista suoraan sellulinjalla. Myös massan fluoresenssin homogeenisyyttä (esim. kemikaalien esiintyvyys sellunäytteessä) voitiin analysoida hankkeen aikana kehitetyllä kuvantavalla bispektrometrillä (Kuva 7.2.2).

Varsinaista märkäsellun fluoresenssin online-mittalaitetta kehitettäessä tulee huomioida, että vaikka fluoresenssin emissiot ovat linjalta mitattuna heikompia johtuen siitä, että näytteen sisältämä vesi ja korkeampi lämpötila alentavat fluoresenssin voimakkuutta voitaisiin mittauksia periaatteessa tehdä linjalta jopa suoraankin, jos massan fluoresenssin virityksessä käytettäisiin esim. aallonpituusoptimoituja lasereita ja herkkää pistedetektoria. Lisäksi voidaan todeta, että online-mittausten apuna kemikaalien tai niiden yhdistelmien ”esiintyvyys”-analyysiä olisi hyödyllistä tehdä spektrisesti kuvantavalla bispektrometrillä off-line koska sellumassa ei ole homogeenista vaikka yleensä usein näin helposti kuvitellaankin ja täten eri aallonpituuksilla emittoivat (esim. valkaisu-kemikaalien) fluoresenssialueet näkyvät massassa erilaisina fluoresenssi-läikkinä. Hankkeessa kehitetyn märkäsellun fluoresenssidetektointi-menetelmästä tehty artikkeli on tarkoitus lähettää *Holzfor-schung*-lehteen.



KUVA 7.2.1. Sellutehdas A kuitulinja 2 (havu) kaavio eri valkaisu/delignifointi vaiheineen ja vastaavat näytteenottokohdat (N2-N8). Kuvassa alimmaisena esimerkkinä näytteenottokohdista N2 ja N8 otettujen märkien ja kuivattujen havusellunäytteitten fluoresenssi-spektrit ja LCTF-spektrikameralla otetut vastaavat kuvat.



KUVA 7.2.2. Kvantava bispektrometrialiteisto.

## 8 YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli kehittää uusia pääasiassa kuvantamiseen ja konenäköön perustuvia mittauksia hyödynnettäväksi massan- ja paperinvalmistuksen märkäosalla sekä näihin prosesseihin liittyvissä tutkimuksissa. Projektissa tutkittiin hyvin laajasti erilaisia mittausten menetelmiä, sovelluksia sekä näiden toteutukseen liittyviä konenäkömenetelmiä. Tutkimuskohteet ja näiden pääasialliset tulokset olivat seuraavat:

**Tahmo- ja roskapartikkelien kuvantaminen ja tunnistus:** Roskapartikkelien tunnistamiseen liittyen kehitettiin menetelmäkehys, jolla pystyttiin luomaan semisynteettisiä sellunäytekuvia täydellisellä referenssidatalla, jotka mahdollistivat automaattisten menetelmien opettamisen testaamisen. Tuotettuja puolisynteettisiä kuvia hyödyntäen testattiin useita erilaisia roskapartikkeleiden paikantamis-, karakterisointi- ja luokittelumenetelmiä.

**Kuitumateriaalin karakterisointi ja tunnistus:** Kuitujen segmentointiin ja analysointiin liittyen kehitettiin menetelmä, joka erottaa kuvista keskenään risteävät kuidut mahdollistaen niiden ominaisuuksien kuten pituuden, paksuuden ja käyryyden mittaamisen. Mitattujen kuitujen ominaisuuksien perusteella tehtiin alustavia kokeita kuitulajien tunnistamiseksi. Tehdyt testit antoivat lupaavia tuloksia.

**MC-massan neste-kaasu dispersioilmiöiden hallinta kuvantamisteknologioilla:** Kaasudispersio mittaustekniikassa päästiin käytännössä toimivaan ratkaisuun sekä pystyttiin kuitulinjasta määrittämään eri prosessimuuttujien vaikutusta dispersion laatuun. Lisäksi pystyttiin kehittämään toimivia konenäkömenetelmiä kuplien tunnistukseen sekä näihin perustuvia analysointikäyttöliittymiä hyödynnettäväksi alueen tutkimustoiminnassa. Tämä avaa valtavia kehitysmahdollisuuksia on-line mittausteknologialle sekä kaasumaisia kemikaaleja käyttävien delignifointi- ja valkaisu prosessien kehittämiseksi. Tehdasmittauksia jatketaan meneillään olevassa FLASH Tekes hankkeessa.

**Prosessilaitteiden eri ilmiöiden kuvaus-/mittausjärjestelmien kehittäminen sekä menetelmien soveltaminen alueen perustutkimukseen:** Tomografiamenetelmän sekä lämpövuomittauksen toimivuus sekoittumisen karakterisoinnissa voitiin todentaa MC-massan kemikaalisyöttöön liittyvissä koeajoissa.

Haihduuttamoprosessista pystyttiin saamaan selkeää in-line kuva-aineistoa mutta tämä ei onnistunut käytännön kannalta tärkeimmistä prosessivaiheista kuten haihdutinlamellien pinnalta. DD-pesurin saostumatutkimusten osalta tehtiin fluoresenssimittauksia sekä kehitettiin on-line kuvantamismenetelmää mutta merkittäviä tuloksia ei vielä saatu aikaiseksi.

**Fluoresenssi- ja spektrimääritykset eri prosessivaiheista:** Projektissa tehtiin fluoresenssin ja spektrin määrittämistä eri selluprosessin vaiheista. Hakelajittelua spektrin perusteella tehtiin puulajien tunnistamista varten. Tässä onnistuttiin hyvin ja luokittelutulokset osoittivat että puulajia voidaan määrittää spektrin perusteella. Löydetyt aallonpituusalueet on mahdollista toteuttaa suotimina konenäköjärjestelmissä. Selluprosessin eri vaiheista otettujen näytteiden analyysi onnistui myös. Saimme fluoresenssin perusteella näkymään eri vaiheissa käytettäviä kemikaaleja. Kemikaalien tarkka määrittäminen jäi kesken, mutta tulevaisuudessa kemian osaaminen tarvittaisiin mukaan. Selkeästi fluoresenssin perusteella nähtiin kemikaali jäämiä esimerkiksi pesuvaiheiden jälkeen. Tämä voisi toimia tuotannossa optimointitekijänä, eli kemikaalien määrää voitaisiin säätää optimaalisemmaksi. Suovan mittaus osoittautui myös onnistuneeksi, tässäkin fluoresenssi oli avainasemassa. Kuvantavan fluoresenssikuvauslaitteen kehitystyö eteni projektin aikana. Sen käyttöönotto vaatii vielä lisätyötä, mutta valmistuessaan se mahdollistaa fluoresenssin määrittämisen isoilta alueilta saman mittauksen aikana. Projektissa selvitettyt aallonpituusalueet toimivat perustana tulevaisuuden mahdollisille mittauslaitteille.

Yhteenvetona voidaan todeta, että joidenkin sovellusten osalta projektissa päästiin jo tehdastutkimus- ja patentointivaiheeseen. Happikaasun kuplakoko pystyttiin mittaamaan täyden mittakaavan delignifointiprosessissa ja menetelmää tullaan jatkossa kehittämään ja soveltamaan alueen tutkimus- ja kehitystoiminnassa. Lisäksi hakkeen fluoresenssikuvantamisella sekä suovan fluoresenssimittauksella on näköpiirissä käytännön sovelluksia. Tehdyt tutkimukset loivat myös verkostoja ja pohjaa mittaussovellusten kehittämiseksi jatkossa massa-, paperi- ja biotuoteprosesseissa laajemminkin.

## 9 PROJEKTISSA SYNTYNEET JULKAISUT

Julkaisut on koostettuna sähköisessä muodossa projektin Wiki-sivuille <https://wiki oulu.fi/display/pulpvision/Publications>. Sivujen käyttöön vaaditaan käyttäjätunnus ja salasana.

### Vertaisarvioidut tiedelehtijulkaisut

[LUT01] Strokina, Nataliya; Mankki, Aki; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Käyhkö, Jari; Kälviäinen, Heikki. Framework for Developing Image-based Dirt Particle Classifiers for Dry Pulp Sheets, In Machine Vision and Applications, Springer-Verlag, vol. 24, no. 4, pages 869-881, 2013.

[MAMK01] Mutikainen, Heikki; Strokina, Nataliya; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Kälviäinen, Heikki; Käyhkö, Jari. Online measurement of the bubble size distribution in medium-consistency oxygen delignification, Accepted for publication in Appita Journal.

[LUT02] Strokina, N.; Matas, J.; Eerola, T.; Lensu, L.; Kälviäinen, H.. Detection of bubbles as concentric circular arrangements, Submitted to Pattern Recognition Letters.

[MAMK02] Mutikainen, Heikki.; Peltonen, Kari; Tirri, Tapio; Käyhkö, Jari; Characterisation on Oxygen Dispersion in Medium-Consistency Pulp Mixing, In Appita Journal, vol. 67, no. 1, pages 37-42, 2014.

### Vertaisarvioidut konferenssiartikkelit

[LUT03] Strokina, Nataliya; Mankki, Aki; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Käyhkö, Jari; Kälviäinen, Heikki. Semisynthetic ground truth for dirt particle counting and classification methods, In Proceedings of the 12th IAPR Conference on Machine Vision Applications, MVA, 2011.

[LUT04] Strokina, Nataliya; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Kälviäinen, Heikki. Adaptive Classification of Dirt Particles in Papermaking Process, In The 17th Scandinavian Conference on Image Analysis, SCIA, 2011.

[LUT05] Laaksonen, Lauri; Strokina, Nataliya; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Kälviäinen, Heikki. Improving Particle Segmentation from Process Images with Wiener Filtering, In The 17th Scandinavian Conference on Image Analysis, SCIA, 2011.

[LUT06] Strokina, N.; Matas, J.; Eerola, T.; Lensu, L.; Kälviäinen, H.. Detection of bubbles as concentric circular arrangements, In the 21st International Conference on Pattern Recognition, ICPR, Tsukuba Science City, Japan, 2012.

[LUT07] Strokina, Nataliya; Kurakina, Tatinana; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Kälviäinen, Heikki. Detection of Curvilinear Structures by Tensor Voting Applied to Fiber Characterization, In The 18th Scandinavian Conference on Image Analysis, SCIA, pages 22-33, 2013.

[LUT08] Strokina, Nataliya; Juránek, Roman; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Zemcik, Pavel; Kälviäinen, Heikki. Comparison of appearance-based and geometry-based bubble detectors, In Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Graphics, ICCVG, pages 610-617, Warsaw, Poland, 2014.

[LUT09] Ilonen, Jarmo; Eerola, Tuomas; Mutikainen, Heikki; Lensu, Lasse; Käyhkö, Jari; Kälviäinen, Heikki. Estimation of bubble size distribution based on power spectrum, In the 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, CIARP, 2014.

[LUT10] Sorokin, Mikhail; Strokina, Nataliya; Eerola, Tuomas; Lensu, Lasse; Kälviäinen, Heikki. Image-based characterization of the pulp flows, In the 9th Open German-Russian Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding, OGRW, 2014.

[MAMK03] Mutikainen, Heikki; Peltonen, Kari; Pikka, Olavi; Käyhkö, Jari; Characterization of Oxygen Dispersion in Delignification Process, In Proceeding on the International Pulp Bleaching Conference 2014, IPBC, pages 51-56, Grenoble, France, 2014.

[MAMK04] Liukkonen, Mika; Mutikainen, Heikki; Käyhkö, Jari; Peltonen, Kari; Hiltunen, Yrjö; Towards Online Characterization of Oxygen Delignification in Kraft Pulping, Automaatio XXI seminaari 2015, Helsinki, Suomi, 17-18.3. 2015.

## Diplomityöt ja kandityöt

[LUT11] Laaksonen, Lauri. Image processing methods for particle analysis in pulp making process, Lappeenranta University of Technology, M.Sc. Thesis, 2011.

[LUT12] Sorokin, Mikhail. Image-based characterization of the process flows in pulping, M.Sc. Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2012.

[LUT13] Kurakina, Tatiana. Characterization of fiber and vessel elements in pulp suspension images, M.Sc. Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2012.

[LUT14] Kerminen, Kimmo. Wood species identification by visual characterization of fibers, Bachelor's Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2014.

[MAMK05] Mutikainen, Heikki. Happidispersion karakterisointi laboratoriosekoittimessa, diplomityö, Lappeenranta teknillinen yliopisto, 2011.

[UEF1] Mutanen K., Heikkinen V., Mutanen J., Hauta-Kasari M., Parkkinen J, "Wood chip species classification using spectral based data", *Holzforschung* (käsikirjoitus korjattavana), 2014.

## Väitöskirjat

[LUT15] Strokina, Nataliya. Machine vision methods for process measurements in pulping, PhD thesis, Lappeenranta University of Technology, 2013.

## LIITELUETTELO

- Liite I.** Taulukoituna hankkeen aikana mitattuja suomalaisista ja thaimaalaisista sellutehtaista, sekä Oulu-Cemis-Kajaanista ja Teknosavosta saatujen kaarna-, hake ja sahanpurunäytteiden (mänty, kuusi, koivu ja eukaliptus) fluoresenssin tyypillisiä viritys- ja emissioaallonpituuksia.
- LiiteII a.** Taulukoituna hankkeen aikana mitattujen thaimaalaisen ja suomalaisten sellutehtaiden eri tyyppisten märkien mänty-, kuusi-, koivu- ja eukaliptussellujen fluoresenssin tyypillisiä viritys- ja emissioaallonpituuksia.
- Liite II b.** Taulukoituna hankkeen aikana mitattujen thaimaalaisen ja suomalaisten sellutehtaiden eri tyyppisten kuivien mänty-, kuusi-, koivu- ja eukaliptussellujen fluoresenssin tyypillisiä viritys- ja emissioaallonpituuksia.
- Liite III.** Mm. Koivu-, mänty-, kuusi- ja eukalyptussellun bispektrometrillä mitatut fluoresenssi- ja heijastusmatriisit ja taulukoituna kunkin sellutyypin fluoresenssin maksimiviritys- ja emissioaallonpituudet.

# LIITE I.

Taulukoituna hankkeen aikana mitattuja suomalaisista ja thaimalaisista sellutehtaista, sekä Oulu-Cemis-Kajaanista ja Teknosavosta saatujen kaarna-, hake ja sahanpurunäytteiden (mänty, kuusi, koivu ja eukalyptus) fluoresenssin tyyppillisiä viritys- ja emissioaallonpituuksia.

**Results (Bispectrometer): Fluorescence, excitation and emission values:**

**1.1 Bark**

Sample No.	Pine			Spruce			Birch		
	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]
1	290-340	320	450	275-375	350	420	290-360	350	425
2	N/A	N/A	N/A	270-385	360	420	290-360	350	425

**1.2 Wood chips**

Sample No.	Pine			Spruce			Birch			Fucus		
	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]
kaula-1	400-470	445	555	-	-	-	Maybe none, if any then mixed to scattering			-	-	-
kaula-2	400-470	430	510	-	-	-	Maybe none, if any then mixed to scattering			-	-	-
tilat1 (Mä-2 (Savon))	No fluorescence			No fluorescence			300-380	360	415	No fluorescence		
tilat2 (Mä-2 (Savon))	No fluorescence			No fluorescence			300-380	360	415	Maybe fluorescence, check it again		
Teknosavo-1	380-460	405	480	580-460*	405*	485*	Maybe none, if any then mixed to scattering			No fluorescence		
Teknosavo-2	400-500	445	555	420-480	445**	570**	300-370	340	415	No fluorescence		

\*similar to Pine-Teknosavo-2\*  
\*\*similar to Pine-Teknosavo-2\*

# LIITE II. A)

Taulukoituna hankkeen aikana mitattujen thaimalaisen ja suomalaisten sellutehtaiden eri tyyppisten märkien mänty-, kuusi-, koivu- ja eukalyptussellujen fluoresenssin tyyppillisiä viritys- ja emissioaallonpituuksia.

**2.1 Wet pulp (1)**

Source	Sample type-No.	Pine/Soft wood			Spruce (Mechanical pulp)			Birch/Hard Wood			Eucalyptus					
		Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]	Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]			
Thailand	Unbleached	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	320-400	385	440	
	Bleached	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	peak1: 300-380, peak2: 400-480	335, 415	445, 505	
Finland	Unbleached-1	peak1: 200-280, peak2: 300-380, peak3: 380-450	240, 325, 415	435, 435, 500	390-450*	425*	485*	peak1: 300-370, peak2: 400-480	325, 405, 505	425, 505	peak1: 300-340, peak2: 420-480	330, 450	505	-	-	-
	Unbleached-2	-	-	-	380-440*	425*	480*	-	-	-	peak1: 300-340, peak2: 420-480	330, 450	505	-	-	
	Lab Unbleached-1	270-325	305	355	390-450*	425*	485*	peak1: 300-370, peak2: 400-480	325, 405, 505	-	-	-	-	-	-	
	Lab Unbleached-2	-	-	-	390-450*	425*	485*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	O <sub>2</sub>	peak1: 200-280, peak2: 300-380, peak3: 380-450	240, 325, 415	435, 435, 500	-	-	-	390-450**	385	490	-	-	-	-	-	-
	Lab/O <sub>2</sub>	peak1: 200-350, peak2: 400-450	325, 410***	-	-	-	-	390-450**	405	500	-	-	-	-	-	-
	Bleached-1	330-400	360	430	380-420	390	440	340-400	370	440	peak1: 300-340, peak2: 420-480	335	415	-	-	-
	Bleached-2	-	-	-	380-420	390	440	-	-	-	peak1: 300-340, peak2: 420-480	335	415	-	-	-
	Lab Bleached	320-410	365	445	-	-	-	340-400	365	430	-	-	-	-	-	-

\*quite big fluorescent peak, 2 joint peaks (peak 2, excitation max @ 425, emission max @ 390 nm)  
\*\*possibly 2 peaks joined  
\*\*\*not so strong fluorescence

**2.1 Wet pulp (2)**

Source	Sample type-No.	Soft Wood (pine and 5-15 % spruce)		
		Excitation range [nm]	Exc. max [nm]	Em. max [nm]
Stora Enso Oulu	After digester	280-350	310	405
	After digester, washed	300-360	345	400
	O <sub>2</sub>	peak1: 300-350, peak2: 400-450	325, 425	425, 485
	Bleached	350-400	370	425

## LIITE II. B)

Taulukoituna hankkeen aikana mitattujen thaimaalaisen ja suomalaisten sel-lutehtaiden eri tyyppisten kuivien mänty-, kuusi-, koivu- ja eukalyptussellujen fluoresenssin tyypillisiä viritys- ja emissioaallonpituuksia.

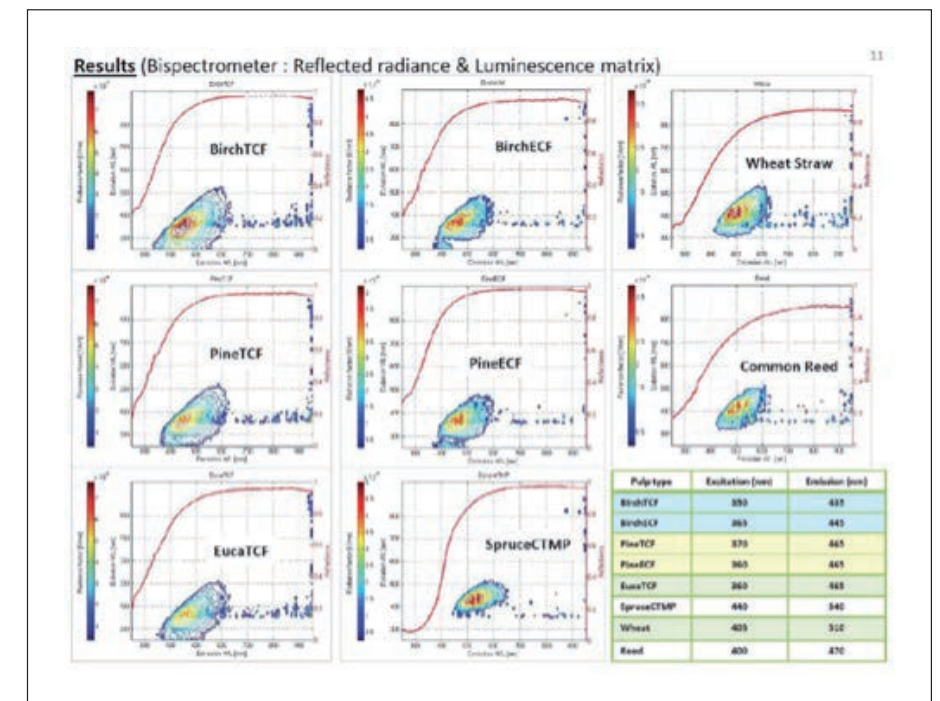
**2.2 Dry pulp**

Source	Sample type-No.	Pine/ soft wood			Spruce (Mechanical pulp)			Birch/ Hard wood			Eucalyptus		
		Excitation range (nm)	Exc. max (nm)	Em. max (nm)	Excitation range (nm)	Exc. max (nm)	Em. max (nm)	Excitation range (nm)	Exc. max (nm)	Em. max (nm)	Excitation range (nm)	Exc. max (nm)	Em. max (nm)
Thailand	Unbleached	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380-480	480	480
	Bleached	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350-400	385	425
Kaukas	1	peak1: 250-275, peak2: 300-440	265, 365	340, 445	-	-	-	330-420	375	430	-	-	-
	2	peak1: 250-275, peak2: 300-440	265, 365	340, 445	-	-	-	330-420	370	425	-	-	-
Eno	ECF-1	peak1: 250-275, peak2: 280-310, peak3: 300-400	265, 300, 345	340, 350, 430	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ECF-2	peak1: 250-275, peak2: 280-310, peak3: 300-400	265, 300, 330	340, 350, 430	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dulu*	ECF-1	peak1: 250-280, peak2: 300-420	270, 335	335, 430	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ECF-2	peak1: 250-280, peak2: 300-420	270, 335	335, 430	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unknown	TCF-1	280-420	345	430	-	-	-	300-400	340	430	300-400	340	425
	TCF-2	280-420	345	430	-	-	-	300-400	340	425	300-400	340	425
Botania	KM-1	-	-	-	-	-	-	300-400	345	420	-	-	-
	KM-2	-	-	-	-	-	-	300-400	370	425	-	-	-
Sphine-Tampere	TMP-1	-	-	-	320-500	425	510	-	-	-	-	-	-
	TMP-2	-	-	-	320-500	430	510	-	-	-	-	-	-

\* much less fluorescence than in Eno samples

## LIITE III.

Mm. Koivu-, mänty-, kuusi- ja eukalyptussellun bispektrometrillä mitatut fluoresenssi- ja heijastusmatriisit ja taulukoituna kunkin sellutyypin fluoresenssin maksimiviritys- ja emissioaallonpituudet.





## MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

### MIKKELI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES. MIKKELI. FINLAND

PL 181, SF-50101 Mikkeli, Finland. Puh.vaihde (tel.vx.) 0153 5561

Julkaisujen myynti: Tähtijulkaisut verkkokirjakauppa, www.tahtijulkaisut.net.  
Julkaisutoiminta: Kirjasto- ja oppimisteknologiapalvelut, Kampuskirjasto, Patteristonkatu 2, 50100 Mikkeli, puh. 040 868 6450 tai email: julkaisut(a)xamk.fi

### MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A: Tutkimuksia ja raportteja ISSN 1795-9438  
Mikkeli University of Applied Sciences, Publication series

A: Tutkimuksia ja raportteja – Research reports

- A:1 Kyllikki Klemm: Maalla on somaa. Sosiaalinen hyvinvointi maaseudulla. 2005. 41 s.
- A:2 Anneli Jaroma – Tuija Vanttinen – Inkeri Nousiainen (toim.) Ammattikorkeakoulujen hyvinvointiala alueellisen kehittämisen lähtökohtia Etelä-Savossa. 2005. 17 s. + liitt. 12 s.
- A:3 Pirjo Käyhkö: Oppimisen kokemuksia hoitotyön kädentaitojen harjoittelusta sairaanhoitaja- ja terveydenhoitajaopiskelijoiden kuvaamina. 2005. 103 s. + liitt. 6 s.
- A:4 Jaana Lähteenmaa: "AVARTTI" as Experienced by Youth. A Qualitative Case Study. 2006. 34 s.
- A:5 Heikki Malinen (toim.) Ammattikorkeakoulujen valtakunnalliset tutkimus- ja kehitystoiminnan päivät Mikkeliissä 8. – 9.2.2006. 2006. 72 s.
- A:6 Hanne Orava – Pirjo Kivijärvi – Riitta Lahtinen – Anne Matilainen – Anne Tillanen – Hannu Kuopanportti: Hajoavan katteen kehittäminen riviviljelykasveille. 2006. 52 s. + liitt. 2 s.
- A:7 Sari Järn – Susanna Kokkinen – Osmo Palonen (toim.): ElkaD – Puheenvuoroja sähköiseen arkistointiin. 2006. 77 s.
- A:8 Katja Komonen (toim.): Työpajatoimintaa kehittämässä - Työpajojen kehittäminen Etelä-Savossa -hankkeen kokemukset. 2006. 183 s. (nid.) 180 s. (pdf)

- A:9 Reetaleena Rissanen – Mikko Selenius – Hannu Kuopanportti – Reijo Lappalainen: Puutislepinoitusmenetelmän kehittäminen. 2006. 57 s. + liitt. 2 s.
- A:10 Paula Kärmeniemi – Kristiina Lehtola – Pirjo Vuoskoski: Arvioinnin kehittäminen PBL-opetussuunnitelmassa – kaksi tapausesimerkkiä fysioterapeuttikoulutuksesta. 2006. 146 s.
- A:11 Eero Jäppinen – Jussi Heinimö – Hanne Orava – Leena Mäkelä: Metsäpolttoaineen saatavuus, tuotanto ja laivakuljetusmahdollisuudet Saimaan alueella. 2006. 128 s. + liitt. 8 s.
- A:12 Pasi Pakkala – Jukka Mäntylä: "Kiva tulla aamulla..." - johtaminen ja työhyvinvointi metsänhoitoyhdistyksissä. 2006. 40 s. + liitt. 7 s.
- A:13 Marja Lehtonen – Pia Ahoranta – Sirkka Erämaa – Elise Kosonen – Jaakko Pitkänen (toim.): Hyvinvointia ja kuntoa kulttuurista. HAKKU-projektin loppuraportti. 2006. 101 s. + liitt. 5 s.
- A:14 Mervi Naakka – Pia Ahoranta: Palveluketjusta turvaverkoksi -projekti: Osaaminen ja joustavuus edellytyksenä toimivalle vanhus-palveluverkostolle. 2007. 34 s. + liitt. 6 s.
- A:15 Paula Anttila – Tuomo Linnanto – Iiro Kiukas – Hannu Kuopanportti: Lujitemuovijätteen poltto, esikäsitteily ja uusiutuotteiden valmistaminen. 2007. 87 s.
- A:16 Mervi Louhivaara (toim.): Elintarvikeyrittäjän opas Venäjän markkinoille. 2007. 23 s. + liitt. 7 s.
- A:17 Päivi Tikkanen: Fysioterapian kehittämishanke Mikkelin seudulla. 2007. 18 s. + liitt. 70 s.
- A:18 Aila Puttonen: International activities in Mikkeli University of Applied Sciences. Developing by benchmarking. 2007. 95 s. + liitt. 42 s.
- A:19 Iiro Kiukas – Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Martti Pouru: Puun lämpökäsittelyssä muodostuvien hajukaasujen puhdistaminen biosuotimella. 2007. 80 s. + liitt. 3 s.
- A:20 Johanna Heikkilä, Susanna Hytönen – Tero Janatuinen – Ulla Keto – Outi Kinttula – Jari Lahti – Heikki Malinen – Hanna Mylly – Marjo Eerikäinen: Itsearviointityökalun kehittäminen korkeakouluille. 2007. 48 s. + liitt. (94 s. CD-ROM)

- A:21 Katja Komonen: Puhuttu paikka. Nuorten työpajatoiminnan rakentuminen työpajakerronnassa. 2007. 207 s. + liitt. 3 s. (nid.) 207 s. + liitt. 3 s. (pdf)
- A:22 Teija Taskinen: Ammattikeittiöiden ruokatuotantoprosessit. 2007. 54 s.
- A:23 Teija Taskinen: Ammattikeittiöt Suomessa 2015 – vaihtoehtoisia tulevaisuudennäkymiä. 2007. 77 s. + liitt. 5 s. (nid.) 77 s. + liitt. 5 s. (pdf.)
- A:24 Hanne Soininen, Iiro Kiukas, Leena Mäkelä: Biokaasusta bioenergiaa eteläsavolaisille maaseutuyrityksille. 2007. 78 s. + liitt. 2 s. (nid.)
- A:25 Marjaana Julkunen – Panu Väänänen (toim.): RAJALLA – aikuiskasvatus suuntaa verkkoon. 2007. 198 s.
- A:26 Samuli Heikkonen – Katri Luostarinen – Kimmo Piispa: Kiln drying of Siberian Larch (*Larix sibirica*) timber. 2007. 78 p. + app. 4 p.
- A:27 Rauni Väättäimöinen – Arja Tiippana – Sonja Pyykkönen – Riitta Pylvänäinen – Voitto Helander: Hyvän elämän keskus. ”Ikä-keskus”, hyvinvointia, terveyttä ja toimintakykyä ikääntyville –hankkeen loppuraportti. 2007. 162 s
- A:28 Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Saana Oksa: Etelä-Savon maaseutuyritysten ympäristö- ja elintarviketurvallisuuden kehittäminen. 2007. 224 s. + liitt. 55 s.
- A:29 Katja Komonen (toim.): UUDISTUVAT OPPIMISYMPÄRISTÖT – puheenvuoroja ja esimerkkejä. 2007. 231 s. (nid.) 221 s. (pdf)
- A:30 Johanna Logrén: Venäjän elintarviketurvallisuus, elintarvikelainsäädäntö ja -valvonta. 2007. 163 s.
- A:31 Hanne Soininen – Iiro Kiukas – Leena Mäkelä – Timo Nordman – Hannu Kuopanportti: Jätepolttoaineiden lentotuhkat. 2007. 102 s.
- A:32 Hannele Luostarinen – Erja Ruotsalainen: Opiskelijoiden oppimisen ja osaamisen arviointikriteerit Mikkelin ammattikorkeakoulun opiskelija-arviointiin. 2007. 29 s. + liitt. 25 s.
- A:33 Leena Mäkelä – Hanne Soininen – Saana Oksa: Ympäristöriskien hallinta. 2008. 142 s.
- A:34 Rauni Väättäimöinen – Merja Tolvanen – Pekka Valkola: Laatu arvi-

- oiden. Mikkelin ammattikorkeakoulun ja Savonia-ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön benchmarking. 2008. 46 s. + liitt. 22 s. (nid.) 46 s. + liitt. 22 s. (pdf)
- A:35 Jari Kortelainen – Yrjö Tolonen: Vuosiluston kierresyisyys sahatavaran pinnoilla. 2008. 23 s. (pdf)
- A:36 Anneli Jaroma (toim.): Virtaa verkostosta. Tutkimus- ja kehitystyö osana ammattikorkeakoulujen tehtävää, AMKtutka, kehittämisverkosto yhteisellä asialla. 2008. 180 s. (nid.) 189 s. (pdf)
- A:37 Johanna Logrén: Food safety legislation and control in the Russian federation. Practical experiences. 2008. 52 p. (pdf)
- A:38 Teija Taskinen: Sähköisten järjestelmien hyödyntäminen ammattikeittiöiden omavalvonnassa. 2008. 28 s. + liitt. 2 s. (nid.) 38 s. + liitt. 2 s. (pdf)
- A:39 Kimmo Kainulainen – Pia Puntanen – Heli Metsäpelto: Etelä-Savon luovien alojen tutkimus- ja kehittämissuunnitelma. 2008. 68 s. + liitt. 17 s. (nid.) 76 s. + liitt. 17 s. (pdf)
- A:40 Nicolai van der Woert – Salla Seppänen – Paul van Keeken (eds.): Neuroblend - Competence based blended learning framework for life-long vocational learning of neuroscience nurses. 2008. 166 p. + app. 5 p. (nid.)
- A:41 Nina Rinkinen – Virpi Leskinen – Päivikki Liukkonen: Selvitys matkailuyritysten kehittämistarpeista 2007–2013 Savonlinnan ja Mikkelin seuduilla sekä Heinävedellä. 2008. 41 s. (pdf)
- A:42 Virpi Leskinen – Nina Rinkinen: Katsaus matkailutoimialaan Etelä-Savossa. 2008. 28 s. (pdf)
- A:43 Kati Kontinen: Maaperän vahvistusratkaisut huonosti kantavien maiden puunkorjuussa. 2009. 34 s. + liitt. 2 s.
- A:44 Ulla Keto – Marjo Nykänen – Rauni Väättäimöinen: Laadun vuoksi. Mikkelin ammattikorkeakoulu laadunvarmistuksen kehittäjänä. 2009. 76 s. + liitt. 11 s.
- A:45 Laura Hokkanen (toim.): Vaikuttavaa! Nuoret kansalaisvaikuttamisen kentillä. 2009. 159 s. (nid.) 152 s. (pdf)
- A:46 Eliisa Kotro (ed.): Future challenges in professional kitchens II. 2009. 65 s. (pdf)

- A:47 Anneli Jaroma (toim.): Virtaa verkostosta II. AMKtutka, kehitys-impulsseja ammattikorkeakoulujen T&K&I –toimintaan. 2009. 207 s. (nid.) 204 s. (pdf)
- A:48 Tuula Okkonen (toim.): Oppimisvaikeuksien ja erilaisten opiskelijoiden tukeminen MAMKissa 2008–2009. 2009. 30 s. + liitt. 26 s. (nid.) 30 s. + liitt. 26 s. (pdf)
- A:49 Soile Laitinen (toim.): Uudistuva aikuiskoulutus. Eurooppalaisia kokemuksia ja suomalaisia mahdollisuuksia. 2010. 154 s. (nid.) 145 s. (pdf)
- A:50 Kati Kontinen: Kumimatot maaperän vahvistusratkaisuna puunkorjuussa. 2010. 37 s. + liitt. 2 s. (nid.)
- A:51 Laura Hokkanen – Veli Liikanen: Vaikutusvaltaa! Kohti kansalaisvaikuttamisen uusia areenoja. 2010. 159 s. + liitt. 17 s. (nid.) 159 s. + liitt. 17 s. (pdf)
- A:52 Salla Seppänen – Niina Kaukonen – Sirpa Luukkainen: Potilashotelli Etelä-Savoon. Selvityshankkeen 1.4.–31.8.2009 loppuraportti. 2010. 16 s. + liitt. 65 s. (pdf)
- A:53 Minna-Mari Mentula: Huomisen opetusravintola. Ravintola Tallin kehittäminen. 2010. 103 s. (nid.) 103 s. (pdf)
- A:54 Kirsi Pohjola. Nuorisotyö koulussa. Nuorisotyö osana monialaista oppilashuoltoa. 2010. 40 s (pdf).
- A:55 Sinikka Pöllänen – Leena Uosukainen. Oppimisverkosto voimaannuttajana ja hyvinvoinnin edistäjänä. Savonlinnan osaverkoston toiminnan esittely Tykes -hankkeessa vuosina 2006–2009. 2010. 60 s. + liitt. 2 s. (nid.) 61 s. liitt. 2 s. (pdf)
- A: 56 Anna Kapanen (toim.). Uusia avauksia tekemällä oppimiseen. Työpajojen ja ammattiopistojen välisen yhteistyön kehittyminen Etelä- ja Pohjois-Savossa. 2010. 144 s. (nid.) 136 s. (pdf)
- A:57 Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Veikko Äikäs – Anni Laitinen. Ympäristöasiat osana hevostallien kannattavuutta. 2010. 108 s. + liitt. 11 s. (nid.) 105 s. + liitt. 11 s. (pdf)
- A:58 Anu Haapala – Kalevi Niemi (toim.) Tulevaisuustietoinen kehittäminen. Hyvinvoinnin ja kulttuurin ammattikorkeakoulutuksen suuntaviivoja etsimässä. 2010. 155 s + liitt. 26 s. (nid.) 143 s. + liitt. 26 s. (pdf)

- A:59 Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Anni Kyyhkynen – Elina Muukkonen. Biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten tuhkien hyötykäyttö- ja logistiikkavirrat Itä-Suomessa. 2010. 111 s. (nid.) 111 s. (pdf)
- A:60 Soile Eronen. Yhdessä paremmin. Aivohalvauskuntoutuksen tehostaminen moniammatillisuudella. 2011. 111 s + liitt. 10 s. (nid.)
- A:61 Pirjo Hartikainen (toim.). Hyviä käytänteitä sosiaali- ja terveysalan hyvinvointipalveluissa. Tuloksia HYVOPA-hankkeesta. 2011. 64 s. (pdf)
- A:62 Sirpa Luukkainen – Simo Ojala – Antti Kaipainen. Mobiilihoiva turvallisen kotihoidon tukena -hanke 1.5.2008–30.6.2010. EAKR toimintalinja 4, kokeiluosio. Loppuraportti. 2011. 78 s. + liitt. 19 s. (pdf)
- A:63 Sari Toijonen-Kunnari (toim.). Toiminnallinen kehittäjäkumppanuus. MAMKin liiketalouden koulutus Etelä-Savon innovaatioympäristössä. 2011. 164 s. (nid.) 150 s. (pdf)
- A:64 Tuula Siljanen – Ulla Keto. Mikkeli muutoksessa. Muutosohjelman arviointi. 2011. 42 s. (pdf)
- A:65 Päivi Lifflander – Pirjo Hartikainen. Savonlinnan seudun palveluseteliselvitys. 2011. 59 s. + liitt. 6 s. (pdf)
- A:66 Mari Pennanen – Eva-Maria Hakola. Selvitys matkailun luontoaktiiviteettien, Kulttuurin ja luovien alojen Yhteistyön kehittämismahdollisuuksista ja -tarpeista Etelä-Savossa. Hankeraportti. 2011. 29 s. + liitt. 18 s. (pdf)
- A:67 Osmo Palonen (toim.). Muistilla on kolme ulottuvuutta. Kulttuuriperinnön digitaalinen tuottaminen ja tallentaminen. 2011. 136 s. (nid.) 128 s. (pdf)
- A:68 Tuija Vääntinen – Marjo Nykänen (toim.). Osaamisen palapeli. Mikkelin ammattikorkeakoulun opetussuunnitelmien kehittäminen. 2011. 137 s.+ liitt. 8 s. (nid.) 131 s. + liitt. 8 s. (pdf)
- A:69 Petri Pajunen – Pasi Pakkala. Prosessiorganisaatio metsänhoitoyhdistyksen organisaatiomallina. 2012. 48 s. + liitt. 6 s. (nid.)
- A:70 Tero Karttunen – Kari Dufva – Antti Ylhäinen – Martti Kempainen. Väsyttävästi kuormitettujen liimaliitosten testimenetelmän kehitys. 2012. 45 s. (nid.)

- A:71 Minna Malankin. Venäläiset matkailun asiakkaina. 2012. 114 s. + liitt. 7 s. (nid.) 114 s. + liitt. 7 s. (pdf)
- A:72 María del Mar Márquez – Jukka Mäntylä. Metsätalouden laitoksen opetussuunnitelman uudistamisprosessi. 2012. 107 s. + liitt. 17 s. (nid.)
- A:73 Marjaana Kivelä (toim.). Yksin hyvä – yhdessä parempi. 2012. 115 s. (nid.) 111 s. (pdf)
- A:74 Pekka Hartikainen – Kati Kontinen – Timo Antero Leinonen. Metsätiensuunnitteluopas – metsä- ja piennartiet. 2012. 44 s. + liitt. 20 s. (nid.) 44 s. + liitt. 20 s. (pdf)
- A:75 Sami Luste – Hanne Soininen – Tuija Ranta-Korhonen – Sari Seppäläinen – Anni Laitinen – Mari Tervo. Biokaasulaitos osana energiaomavaraista maatilaa. 2012. 68 s. (nid.) 68 s. (pdf)
- A:76 Marja-Liisa Kakkonen (toim.). Näkökulmia yrittäjyyteen ja yritysyhteistyötoimintaan. 2012. 113 s. (nid.) 106 s. (pdf)
- A:77 Matti Meriläinen – Anu Haapala – Tuija Vanttinen. Opiskelijoiden hyvinvointi ja siihen yhteydessä olevia tekijöitä. Lähtökohtia ja tutkittua tietoa ohjauksen ja pedagogiikan kehittämiseen. 2013. 92 s. (nid.) 92 s. (pdf)
- A:78 Jussi Ronkainen – Marika Punamäki (toim.). Nuoret ja syrjäytyminen Itä-Suomessa. 2013. 151 s. (nid.) 151 s. (pdf)
- A:79 Anna Kähkönen (toim.). Ulkomaalaiset opiskelijat Etelä-Savon voimavaraksi. Kokemuksia ja esimerkkejä. 2013. 127 s. (nid.) 127 s. (pdf)
- A:80 Risto Laukas – Pasi Pakkala. Suomen suurimpien kaupunkien metsätaloustoimintojen kehittäminen. 2013. 55 s. + liitt. 8 s. (nid.)
- A:81 Pekka Penttinen – Jussi Ronkainen (toim.). Itä-Suomen nuorisopuntari. Katsaus nuorten hyvinvointiin Itä-Suomen maakunnissa 2010–2012. 2013. 147 s. + liitt. 15 s. (nid.) 147 s. + liitt. 15 s. (nid.)
- A:82 Marja-Liisa Kakkonen (ed.). Bridging entrepreneurship education between Russia and Finland. Conference proceedings 2013. 2013. 91 s. (nid.) 91 s. (pdf)
- A:83 Tero Karttunen - Kari Dufva. The determination of the mode II fatigue threshold with a cast iron ENF specimen. 2013. 24 s. (nid.)

- A:84 Outi Pyöriä (toim.). Vesi liikuttaa ja kuntouttaa - hyviä käytänteitä vesiliikuntapalveluissa. Tuloksia VESKU-hankkeesta. 2013. 63 s. (nid.) 63 s. (pdf)
- A:85 Laura Hokkanen - Johanna Pirinen - Hanna Kuitunen. Vapaaehtoistyö, kansalaisjärjestöt ja hyvinvointipalvelujen kehittäminen Etelä-Savossa –esiselvitys. 2014. 114 s. (nid.) 114 s. (pdf)
- A:86 Johanna Hirvonen. Luontolähtöisen toiminnan hyvinvointivaikutukset ja niiden arviointi. Asiakasvaikutusten arviointi Luontohoiva-hankkeessa. 2014. 70 s. (nid.) 70 s. (pdf)
- A:87 Pasi Pakkala. Liiketoimintaa ja edunvalvontaa – Näkökulmia työhyvinvointiin metsähoitoyhdistyksissä. 2014. 52 s. (nid.)
- A:88 Johanna Arola - Piia Aarniosalo - Hannu Poutiainen - Esa Hannus – Heikki Isotalus. Open-tietojärjestelmä. Etämonitoroinnin kehittäminen osana ympäristötekniikan koulutusta ja innovaatiotoimintaa. 2014. 71 s. (nid.) 71 s. (pdf)
- A:89 Tapio Lepistö. Luonnonkuitukomposiitit. 2014. 67 s. (nid.) 67 s. (pdf)
- A:90 Kirsti Ilomäki - Kari Dufva - Petri Jetsu. Luonnonkuitulujitettujen muovikomposiittien tutkimus ja opetuksen kehittäminen. 2014. 49 s. (nid.) 49 s. (pdf)
- A:91 Jaana Dillström - Erja Ruotsalainen. Huomaan, että osaan. Opiskelijoiden kokemuksia simulaatiosta. 2014. 46 s. (nid.) 46 s. (pdf)
- A:92 Kati Kontinen. Huonosti kantavien maiden ja teiden vahvistamisratkaisut. 2014. 39 s. (nid.) 39 s. (pdf)
- A:93 Mika Liukkonen - Elina Havia - Henri Montonen - Yrjö Hiltunen. Life-cycle covering traceability and information management for electronic product using RFID. 2014. 55 s. (pdf)
- A:94 Liisa Uosukainen (ed.). Open source archive. Towards open and sustainable digital archives. 2014. 90 s. (nid.) 100 s. (pdf)
- A:95 Anu Haapala (toim.). Opinnollistaminen tki-projekteissa. Lähtökohtia ja kokemuksia käytännöstä. 2014. 95 s. (nid.) 88 s. (pdf)
- A:96 Päivi Niiranen-Linkama – Tiina Kuru. Kokemuksellinen hyvinvointi. Mitä 65–74-vuotiaat kertovat hyvinvoinnistaan. 2014. 55 s. (nid.) 55 s. (pdf)

- A:97 Marketta Koskinen. Mikkelin seudun Digipuntari 2014. Pilottitutkimuksen raportti. 2014. 67 s. (pdf)
- A:98 Sari Laanterä – Terttu Liimatainen – Marja-Liisa Laitinen. Ehkäisevän ja matalan kynnyksen hyvinvointipalvelumallin kehittäminen Mikkelin seudulle. 2014. 130 s. (nid) 162 s. (pdf)
- A:99 Maarit Karhula. Omaisen ja läheisen näkemykset roolistaan palveluverkostossa. 2015. 76 s. (nid.) 76 s.(pdf)
- A:100 Sonja Miettinen – Sanna-Mari Pöyry. Vainulla Etelä-Savossa. Vaikeimmin työllistyvät nuoret palvelujärjestelmässä -selvitys. 2015. 90 s. (nid.) 102 s. (pdf)
- A:101 Tuija Vanttinen (ed.). Enhancing learning outcomes evaluation. Benchmarking learning outcomes evaluation in Finland, Scotland and Kansas. 2015. 116 s (nid.) 126 s. (pdf)
- A:102 Marjo Nykänen (toim.). Itsearviointi korkeakoulun laatutyökaluna. 2015. 141 s. (nid.) 143 s. (pdf)
- A:103 Riitta Tuikkanen – Paula Mäkeläinen. Työmiesten työaikaiset ruokapalvelut ja syöminen työaikana. 2015. 55 s. (nid.) 66 s. (pdf)
- A:104 Tuomas Pesonen – Jari Käyhkö – Janne Keränen – Henna Sundqvist – Panu Lahtinen. Esiselvitys: Pienoistehdas painetun älyn alustan valmistamiseen hiilidioksidi-kalsiumhydroksidi-mikrokuitukomposiittina. Raportti. 2015. 49 s. (pdf)
- A:105 Jari Käyhkö – Heikki Mutikainen – Juhani Turunen – Tapio Tirri – Yrjö Hiltunen – Tuomas Eerola – Lasse Lensu – Heikki Kälviäinen – Jarkko Mutanen – Markku Hauta-Kasari – Kyösti Karttunen – Kaarina Prittinen – Elmar Bernhardt. Loppuraportti: Massan ja paperinvalmistuksen märkäosan kuvantava mittaus sekä konenäkösovellukset (PULP-VISION). 2015. 75 s. (pdf)



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2007-2013



MAMK  
University of Applied Sciences



LUT  
Lappeenranta  
University of Technology



ITÄ-SUOMEN  
YLIOPISTO

OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY OF OULU



MAMK  
University of Applied Sciences