



# **PAPERIN PÖLYÄVYYDEN MITTAAMISEN KEHITYS TAMKIN POLYTEST-HANKKEISSA**

Topi Niskala

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2012  
Paperi-, tekstiili- ja kemian-  
tekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikka

NISKALA, TOPI:

Paperin pölyävyyden mittaamisen kehitys TAMKin POLYTEST-hankkeissa

Opinnäytetyö 49 sivua, josta liitteitä 0 sivua  
Kesäkuu 2012

---

Tampereen ammattikorkeakoulun POLYTEST-projektin tavoitteena on ollut kehittää luotettava pölynmittausmenetelmä paperipölyn analysointiin. Toimiva pölynmittausmenetelmä auttaisi niin paperi- kuin painoteollisuutta paperipölyn analysoinnissa ja sen aiheuttamien haittojen ennakoinnissa. Projektin varsinainen kehitys aloitettiin vuonna 2006, josta alkaen projektia on ajettu eteenpäin lukuisten opinnäytetöiden voimin.

POLYTEST-projektin aikana on rakennettu useita erilaisia laboratorioprototyypppejä pölynirrotukseen. Pölynirrotusmenetelmistä on keskitytty lupaavaan akustiseen pölynirrotusmenetelmään. Myös online-menetelmän toimivuutta on tutkittu projektin eri vaiheissa. Pölyn analysointia on suoritettu projektissa pienhiukkasanalysaattoreiden avulla, joilta data on saatu siirrettyä myös tietokoneelle käsiteltäväksi. Projektin aikana paperista irronnutta pölyä on analysoitu myös mikroskoopin ja skannerin avulla, jolloin on saatu tietoa muun muassa hiukkasten koosta ja rakenteesta. Rakennettujen prototyyppien toimintaa on testattu lukuisin eri keinoin, jotta on saatu laajaa tietoa pölyävyydestä eri parametrein.

POLYTEST-projektille on haettu kehityksen aikana kahta patenttia. Suomen Patentti- ja Rekisterihallitus on hyväksynyt ensimmäisen patentin vuonna 2011. Patentti koski laitteistoa, joka perustui akustiseen pölynirrotusmenetelmään. Jatkokehityksestä haetun toisen patentin käsittely on vielä tällä hetkellä keskeneräinen.

Opinnäytetyön aihe liittyi POLYTEST-projektin kehitykseen Tampereen ammattikorkeakoulussa. Vuosien aikana projektista on kertynyt paljon tietoa laitteistokehityksestä ja pölynmittauksen tutkimisesta. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä yhteenveto kehitystyöstä projektin aikana, ja näin ollen tiivistää vuosien aikana kertynyttä tietoa, jotta projektin kokonaiskulku olisi helpommin hahmoteltavissa.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering  
Option of Chemical Engineering

NISKALA, TOPI:

The Development of Paper Dusting Measurement in POLYTEST-projects of Tampere University of Applied Sciences

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 0 pages  
June 2012

---

The POLYTEST-project is an ongoing project in Tampere University of Applied Sciences. The aim of the POLYTEST-project has been the development of a reliable dusting measuring device for paper dust. A reliable dusting measuring device would be helpful for printing and paper industries. The POLYTEST-project has been active since 2006.

Several different laboratory prototypes for detaching dust from the surface of papers have been built during the project. The main concentration of the project has lately been on an acoustic dust detaching method which has shown promising results. The laboratory prototypes have been tested by using many different methods so that the results would be comprehensive. During the project there have also been measurements with the online method which would be the most useful in industry. The measurement and analysis of detached paper dust particles have been conducted by using different particle measurement devices and a variety of computer programs. Also a study of paper dust structure has been conducted by using a scanner and a microscope which have lead to results for example in the size distribution of dust particles.

POLYTEST-project development has lead to two patent applications. The first patent was granted in 2011 by the National Board of Patents and Registration of Finland. The first patent application was made to a laboratory prototype using the acoustic dust detaching method. The processing of the second patent application is still ongoing.

The purpose was to study the development of the POLYTEST-project in Tampere University of Applied Sciences. The aim was to summarize the progress of the project in different periods. This way the project development would be easier to comprehend.

---

Key words: paperdust, linting, dusting, measurement, measuring device

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PAPERIN PÖLYÄVYYS .....	7
2.1	Paperin linting ja dusting .....	7
2.2	Paperipölyn aiheuttamat ongelmat.....	7
2.2.1	Ongelmat paperitehtailla .....	8
2.2.2	Ongelmat painolaitoksissa .....	8
2.3	Paperipölyn mittausmenetelmät.....	10
3	POLYTEST-PROJEKTI .....	11
3.1	Projektin historia.....	11
3.2	POLYTEST-projektin patentit.....	12
4	POLYTEST-PROJEKTIN KEHITYS .....	13
4.1	Alkukehitys ja ensimmäinen prototyyppi .....	13
4.1.1	Electical Low Pressure Impactor .....	14
4.2	POLYTEST-projekti 2007.....	14
4.3	Laitteistot .....	15
4.3.1	ARTI-hiukkasmittalaite.....	16
4.3.2	Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 1 .....	17
4.3.3	Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 2 .....	18
4.3.4	Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 3 .....	19
4.3.5	Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 4.....	20
4.3.6	Pölynirrotuslaitteistojen testaus ja analysointi .....	21
4.4	Mittausmenetelmien vertailu .....	22
4.4.1	Vertailun tulokset .....	23
4.5	Kuvantaminen .....	24
4.6	Online-menetelmän tutkiminen .....	25
4.6.1	Esikokeet .....	27
4.6.2	Primäärikoe ja varsinaiset mittaukset.....	28
4.7	Reaaliaikainen tiedonkeruuohjelma.....	31
4.7.1	TSI DustTrak 8520.....	32
4.7.2	A/D-muunnin .....	32
4.7.3	Tiedonkeruuohjelma .....	33
4.8	POLYTEST-projekti 2008.....	35
4.8.1	ABA 1 – laitteiston kehitys ja testaus .....	35
4.8.2	PM10-impaktori ja mikroskooppi tutkimukset .....	36
4.8.3	PM-10 impaktori .....	38
4.8.4	Testausmenetelmät .....	39

4.8.5 Esimittaukset.....	39
4.8.6 Taajuusmittaukset .....	40
4.8.7 Pölyävyysmittaukset .....	41
4.8.8 Paperin amplitudimittaukset.....	42
4.8.9 Mustetestit.....	43
4.8.10 Prototyyppi paperinkuljettimesta .....	43
4.8.11 Laitteiston mahdolliset sijoituspaikat.....	44
4.9 POLYTEST-projekti 2011 .....	46
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	47
LÄHTEET .....	48

## 1 JOHDANTO

Painolaitosten korkeat laatuvaatimukset ja tuotannon tehokkuuden jatkuvatoimisuus asettavat korkeat laatuvaatimukset myös painolaitoksissa käytetylle paperille. Paperin pölyäminen aiheuttaa lisäkustannuksia paperipainojen tuotantoon. Paperin pölyäminen aiheuttaa painojäljen heikkenemistä ja hidastaa tuotantoa, kun pölyä joudutaan puhdistamaan painokoneen painokumeilta ja muista rakenteista. Puhdistuksen ajaksi painokoneet joudutaan pysäyttämään. Muut kuin suunnitellut tuotannon pysäyttämiset aiheuttavat aina lisäkustannuksia. Paperin pölyäminen aiheuttaa ongelmia myös paperitehtaissa. Suurimmat ongelmat ilmenevät kuitenkin painotalojen offsetpainatuksessa, jolla painetaan monesti esimerkiksi sanomalehtiä. Paperin pölyämisen aiheuttamat ongelmat ja haittavaikutukset on tiedostettu jo pitkään mutta luotettavaa ja reaaliajassa toimivaa mittauslaitteistoa ei ole saatu vielä kehitettyä yleiskäyttöön.

Tampereen ammattikorkeakoulun POLYTEST-hankkeen tarkoituksena on ollut kehittää luotettava järjestelmä paperipölyn mittaamiseen. POLYTEST-hankkeen kehitys on ollut käynnissä vuodesta 2006 lähtien ja hankkeen eri vaiheissa mittausmenetelmää on pyritty kehittämään eri sovelluksin. Kehitystyötä ja tutkimusta on ajettu eteenpäin muun muassa lukuisten eri opinnäytetöiden voimin. POLYTEST-hankkeen kehityksestä on myönnetty patentti vuonna 2011. Myös POLYTEST-hankkeen jatkokehityksestä on haettu patenttia. Hankkeen kehityksessä on annettu painoarvoa erityisesti reaaliaikaisen online-mittausjärjestelmän kehittämiseen.

Tämän työn tarkoituksena oli tutustua POLYTEST-hankkeeseen ja tehdä yhteenveto laitteiston kehitystyöstä eri vaiheissa. Työssä keskityttiin lähinnä hankkeen aikana kerättyneen materiaalin sekä hankkeeseen liittyvien opinnäytetöiden sisältämän tiedon jäsentelyyn ja tiivistämiseen, jotta projektin kokonaiskulku olisi helpommin hahmoteltavissa.

## 2 PAPERIN PÖLYÄVYYS

### 2.1 Paperin linting ja dusting

Paperin linting ja dusting ovat englanninkielisessä kirjallisuudessa esiintyviä termejä paperipölylle. Suomenkielessä ei ole suoria vastineita lintingille ja dustingille, vaan molempia asioita käsitellään yleisesti paperipölynä. Linting ja dusting ovat kuitenkin toisistaan hieman eroavia ilmiöitä, vaikka osa lähteistä listaakin ne samaan kategoriaan. (Leach & Pearce 1999, 82; Levlin & Söderhjelm 1999, 198; Oittinen & Saarelma 2009; 118.)

Paperin linting ja dusting termit ovat osittain päällekkäisiä. Yleisesti ottaen paperin lintingillä kuitenkin tarkoitetaan kuitumaisen materiaalin irtoamista paperin pinnasta. Dusting-ilmiölle taas tyypillistä on heikosti sitoutuneen täyteaineen tai päällystepartikkelin irtoaminen paperin pinnasta. Termit ovat siis ilmiöinä samantyyllisiä, mutta dustingissa esiintyvät hiukkaset ovat paljon linting-hiukkasia pienempiä. (Levlin & Söderhjelm 1999, 198; Kurra 2008, 7-8.)

Ilmiöinä sekä dusting että linting ovat kumulatiivisia ja niiden haittavaikutukset alkavatkin korostua vasta pidempinä aikajaksoina, kun materiaalia on irronnut paperista suuria määriä. POLYTEST-hankkeen kannalta ei ole ratkaisevaa kumman ilmiön paperipölystä on kyse, vaan tarkoituksena on käsitellä kaikkea paperista irtoavaa pölyä. Molempia ilmiöitä käsitellään työssä yleisenä paperipölynä, ellei toisin ole mainittu. Paperin lintingiin ja dustingiin on perehdytty laajemmin Janne Heinilän ja Teemu Aittamaan opinnäytetöissä. (Levlin & Söderhjelm 1999, 198.)

### 2.2 Paperipölyn aiheuttamat ongelmat

Paperipölyn aiheuttamat ongelmat ovat suurimmillaan painolaitoksissa, mutta ongelmia saattaa esiintyä jo paperin valmistusvaiheessa paperikoneilla. Yleisesti ottaen suurimmat ongelmat ilmenevät kuitenkin painolaitosten offsetpainatuksessa, jossa painetaan päällystämättömiä mekaanisesta massasta valmistettuja papereita. Paperipölyn hienoja-

koisuus aiheuttaa omat haasteensa myös työhygienialle ja paloturvallisuudelle sekä painolaitoksissa että paperitehtailla. (Kurra 2008, 7-9.)

### **2.2.1 Ongelmat paperitehtailla**

Paperikoneilla paperipölyn aiheuttamat ongelmat eivät yleensä ole niin suuria kuin painolaitoksilla havaitut ongelmat. Paperipöly voi kuitenkin aiheuttaa erilaisia ongelmia myös paperikoneiden toiminnassa. Omat ongelmansa aiheuttaa varsinkin uusiomassan käyttö paperin valmistuksessa. Uusiomassan käytön on havaittu nostavan lopputuotteen pölyävyysmääriä. (Kurra 2008, 7-8.)

Hienojakoinen paperipöly kulkeutuu helposti paperikoneen eri rakenteisiin aiheuttaen ongelmia varsinkin pitkillä aikaväleillä. Paperipöly saattaa aiheuttaa muun muassa laitteiston kulumista, mittalaitteistojen häiritsemistä ja jopa tuotantolaadun heikkenemistä tai tuotantokatkoja. Omat ongelmansa aiheuttavat myös paperipölyn aikaansaamat paloturvallisuusriskit. Ongelmien vuoksi paperikoneita joudutaan puhdistamaan kerääntyneestä pölystä. Siten pöly aiheuttaa paljon ylimääräistä työtä ja puhdistukseen käytetty aika on aina pois tuotantoajasta, jolloin kustannukset nousevat. (Kurra 2008, 7-8.)

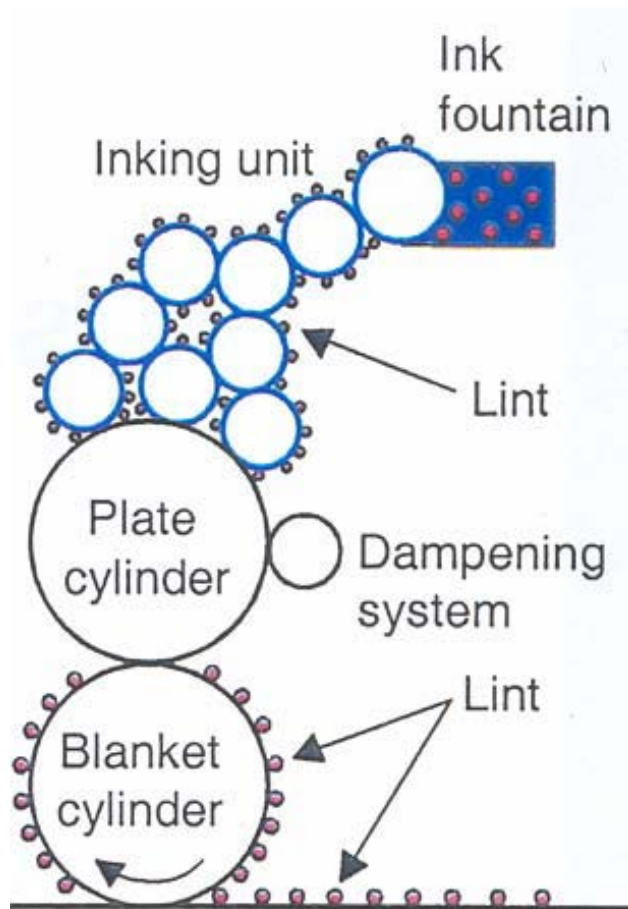
### **2.2.2 Ongelmat painolaitoksissa**

Paperipölyn aiheuttamat ongelmat korostuvat painolaitoksissa ja erityisesti offsetpainatuksessa. Offsetpainatuksessa painetaan päällystämättömiä, mekaanisesta massasta valmistettuja papereita. Offsetpainatus on yleinen menetelmä esimerkiksi sanomalehtien painamisessa. (Haaramo 2009, 12–13.)

Painoprosessin eri vaiheissa paperista irtoaa materiaalia eri tavoin. Tämä paperipöly kertyy painokoneen moniin osiin ja aiheuttaa useita ongelmia. Paperipölyä kertyy painokoneen painokumeille ja muihin osiin kumulatiivisesti. Kun paperipölyn määrä painokumeilla, -levyillä ja kostutusvesijärjestelmässä kasvaa ajan myötä, kasvavat myös ongelmat tuotannossa. Materiaalin kertyminen painokumeille haittaa muun muassa värintsiirtoa ja heikentää painojälkeä. Joskus pöly saattaa kulkeutua painokumeilta teloja pitkin jopa musteenlevitysyksikköön asti, jolloin ongelmat suurenevat ja painojäljen



taso heikkenee entisestään. Kuviossa 1 on selvennetty paperipölyn kulkeutumista musteenlevitysyksikköön. Toisin kuin kuvasta voi virheellisesti päätellä, teloja pitkin eteneminen ei vaikuta pölyaineksen kokoon. (Haaramo 2009, 12–13.)



KUVIO 1. Linting materiaalin kulkeutuminen musteenlevitysyksikköön (Aittamaa 2007, 10)

Painolaitoksissa on korkeat laatuvaatimukset valmistetuille tuotteille, tämän vuoksi painokoneilla joudutaan tekemään ylimääräisiä pysäytyksiä puhdistamisen ajaksi, kun pöly aiheuttaa liikaa ongelmia painojäljessä. Painokumien ja muiden kriittisten osien pesu ja puhdistus vie aikaa tuotantoajasta ja lisäksi ennalta-arvaamattomat pysäytykset aiheuttavat aina ylimääräisiä ongelmia. Painolaitokset ovat usein hyvin aikatauluriippuvaisia ja lehtien on oltava valmiita tiettyyn määräaikaan mennessä, jotta aikatauluista ei myöhästyä. Painokoneiden komponenttien peseminen onkin painolaitoksissa epäsuotuista, sillä pesuun kulunut aika vaikuttaa tuotantoon ja sitä kautta tuotannon aikatauluihin sekä kustannuksiin. Tämän vuoksi painolaitokset vaativat erittäin laadukkaita papereita tuotantoonsa. (Kurra 2007, 9; Haaramo 2009, 13.)

## 2.3 Paperipölyn mittaussmenetelmät

Paperipölyn aiheuttamat tuotanto-ongelmat on tiedostettu paino- ja paperiteollisuudessa jo pitkään. Paperipölyn mittaaminen on kuitenkin osoittautunut haasteelliseksi. Varsinkin nopeiden ja luotettavien mittalaitteiden kehittäminen on ollut vaikeaa, vaikka näistä mittalaitteista teollisuus hyötyisi eniten. Osa pölymittauksista onkin jouduttu tekemään laboratorio-mittauksina, jolloin tulosten saamisessa kestää kauan ja luotettavien tulosten saamiseksi on testattava suuria määriä paperia. Luotettavan pölynmittalaitteiston kehitys auttaisi niin paperi- kuin painoteollisuutta. Vaikka ongelmat korostuvat erityisesti painolaitoksissa, myös paperitehtaille on tärkeää saada jatkuvaa tietoa paperin pölymääristä laadukkaiden tuotteiden ja asiakastyytyväisyyden takaamiseksi. (Heinilä 2007, 11.)

Paperipölyn testausmenetelmiä on kehitetty vuosien varrella useita. Mittaukset perustuvat monesti eri menetelmiin, mikä aiheuttaa ongelmia tulosten vertailulle ja luotettavimman vaihtoehdon löytämiselle. Myös tarkkojen tietojen saaminen eri mittaussmenetelmistä on vaikeaa. Yksikään kehitetty mittaussmenetelmä ei ole kuitenkaan vielä nykyään laajamittaisessa käytössä, mikä osaltaan kertoo kehitystyön haastavuudesta. Varsinkin online-mittalaitteiden kehitys on ollut ongelmallista. Osa paperitehtaista onkin kehittänyt omia menetelmiä paperipölyn mittaamiselle ja arvioimiselle. Monesti menetelmät vaativat kuitenkin pitkiä testiajoja, eikä tuloksia pölyävyystä saada reaaliajassa. Taulukossa 1 on listattu muutamia käytössä olevia pölynmittauslaitteistoja ja – menetelmiä.

TAULUKKO 1. Esimerkkejä pölyävyysmittauksista

Laitteisto/metodologia	Analyysintyyppi	Valmistaja
IGT Fluff Test	Painojäljen imitointi	IGT Testing systems
The Heidelberg GTO-offset printing press	Massa	Heidelberg
Veitsiluoto -mittalaite	Massa	Stora Enso
The MB Lint & Dust Tester	Aika ja paine (online)	MacMillan Bloedel
Pölynmittalaite LPA	Aika ja paine (online)	ACA Systems Oy
Mustakangasmenetelmä	Massa	R.A. Emerson & Company

### 3 POLYTEST-PROJEKTI

#### 3.1 Projektin historia

Idea POLYTEST-hankkeeseen sai alkunsa Tampereen ammattikorkeakoulussa vuonna 2005 kun huomattiin, että saatavilla ei tuolloin ollut ainuttakaan täysin luotettavaa ja nopeaa menetelmää pölynmittaukseen. Varsinainen kehitystyö projektin parissa alkoi vuonna 2006. POLYTEST-hankkeen aikana on rakennettu lukuisia prototyyppejä laitteistosta ja prototyyppien toimintaa on testattu eri näkökulmista. Tärkeänä osana projektia on ollut erilaisten menetelmien ja sovellusten kehitys ja testaus. Projektin edetessä on keskitytty myös reaaliaikaisen online-järjestelmän kehitykseen, joka käytännössä mahdollistaisi suurimman hyödyn teollisuuden näkökannalta. Ideat ovat syntyneet työryhmässä, joka on toiminut projekteissa pidempään. Työryhmään kuuluvien henkilöiden nimillä on myös haettu patenteja. Vuosien aikana kehitystyön seurauksena on kertynyt myös suuri määrä materiaalia ja tietoa paperin pölyävyydestä. Projektin etenemistä on jonkin verran rajoittanut resurssipula ja varsinkin viime vuosien aikana kehitystyötä ei ole saatu jatkettua halutulla tahdilla. Taulukkoon 2 on listattu POLYTEST-projektiin liittyvät opinnäytetyöt.

TAULUKKO 2. POLYTEST projektiin liittyvät opinnäytetyöt

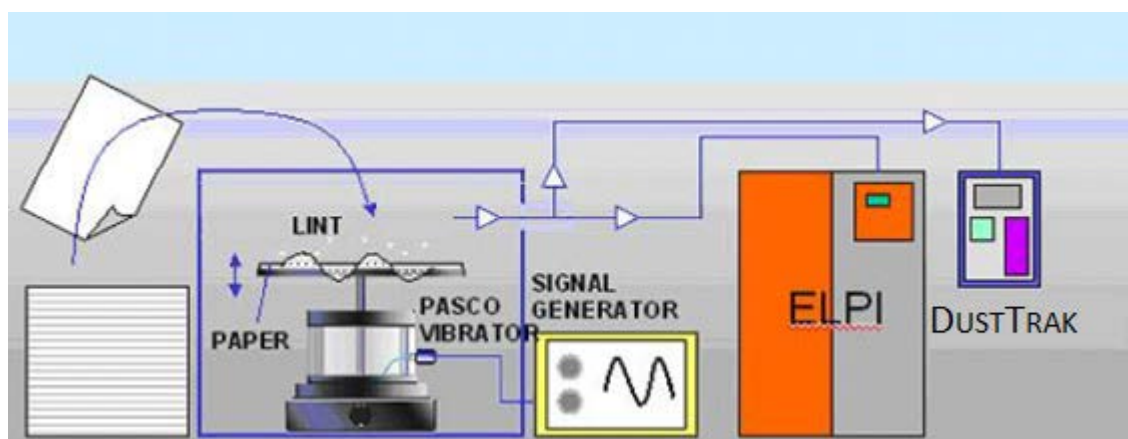
Vuosi	Tekijä	Aihe
2006	Inkeri Vilkmán	Measurement of paper dust particles using the electrical low-pressure impactor
	Anne Kuosmanen	Measuring of paper linting by IGT Fluff test
2007	Janne Heinilä	A comparison of the paper linting and dusting measurement methods used in the POLYTEST-project
	Teemu Aittamaa	Development of laboratory device for linting and dusting measurement in the POLYTEST-project
	Antero Haapaniemi	On-line mittalaitteen kehittäminen paperin pölyävyyden mittaamiseen POLYTEST-hankkeessa
	Sampsa Köppä	LabView-alustalla toteutettu tiedonkeruuohjelma TSI DustTrak 8520-mittalaitteelle
2008	Jani Kurra	Development and application of acoustic air flow paper dust measuring device in the POLYTEST-project
	Samuli Tuhkala	Collecting and analysing paper dust by acoustic air flow measurement device in the POLYTEST-project
2011	Emmi Olsson	Paperin z-suuntaisen rakenteen tutkiminen (sivuaa aihetta)



## 4 POLYTEST-PROJEKTIN KEHITYS

### 4.1 Alkukehitys ja ensimmäinen prototyyppi

Hankkeen ensimmäinen laitteistoprototyyppi rakennettiin keväällä 2006 osana Inkeri Vilkmanin ja Anne Kuosmasen opinnäytetöitä. Ensimmäisen prototyypin perusideana oli paperiarkin kiinnittäminen täristimeen. Täten paperiarkista irrotettiin pölypartikkeleita tärinän avulla. Täristin sijaitsi keräyskammion sisällä, jolloin partikkeleiden johtaminen analysointiin voitiin suorittaa imun avulla keräyskammioista. Irronneita pölypartikkeleita analysoitiin lähinnä Electrical Low Pressure Impactorin (ELPI) avulla. Kuviossa 3 on esitetty vuonna 2006 rakennetun laitteiston kaaviokuva. (Kuosmanen 2006, 20.)

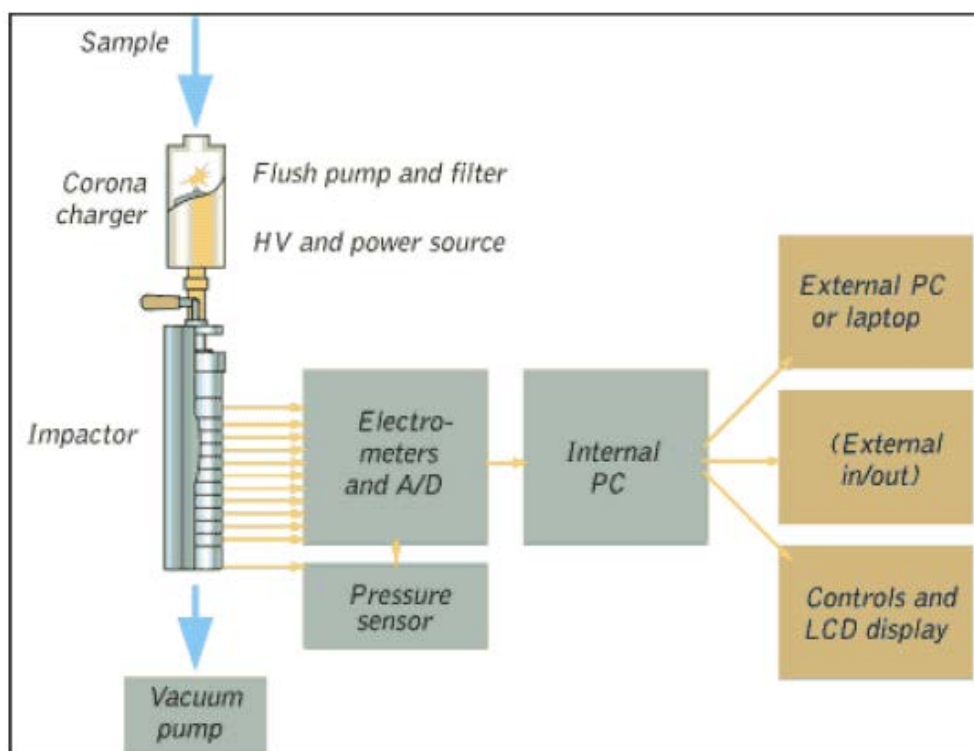


KUVIO 3. Ensimmäisen prototyypin kaaviokuva (Kuosmanen 2006, 20, muokattu)

Ensimmäisen prototyypin luotettavuutta tutkittiin erilaisilla paperilaaduilla ja vertailupohjana tuloksille käytettiin myös IGT Fluff Testin antamia tuloksia samoista näytteistä. Tulosten kannalta ELPI:n todettiin olevan potentiaalinen mittauslaitteisto paperin pölyävyysanalysointiin, mutta toisaalta ELPI toimii paremmin vain erittäin pienten hiukasten analysoinnissa. Myös ensimmäisen prototyypin pölynirrotusmenetelmän huomattiin kaipaavan parannuksia. Yksityiskohtaisempaa tietoa vuoden 2006 prototyypistä ja mittaustuloksista on saatavilla Inkeri Vilkmanin ja Anne Kuosmasen opinnäytetöistä. (Kuosmanen 2006, 31–32.)

#### 4.1.1 Electrical Low Pressure Impactor

ELPI on Dekati Ltd:n kehittämä hiukkasmittalaite, jonka toiminta perustuu hiukkasten kerääntymiseen eri kokoluokan keräystasosille. Täten hiukkasia voidaan tutkia kokojakauman ja lukumääräkonsentraation perusteella. ELPI laitteistoja käytetään yleisesti muun muassa ilman aerosolien tutkimuksessa ja sillä voidaan analysoida esimerkiksi ajoneuvojen pakokaasupäästöjä. ELPI:n antamia tuloksia on myös mahdollista käsitellä reaaliajassa tietokoneen avulla. Kuviossa 4 on esitetty ELPI:n toimintaperiaate. (Kuosmanen 2006, 19.)



KUVIO 4. Sähköisen alipaineimpaktorin toimintaperiaate (Kuosmanen 2006, 19)

#### 4.2 POLYTEST-projekti 2007

POLYTEST-hankkeen alkukehityksen ja – tutkimuksen pohjalta aloitettiin vuonna 2007 vaihe, jossa paperin pölyävyyden mittauslaitteita edelleen kehitettiin. Hanke sai tässä vaiheessa myös nimekseen POLYTEST-projekti. Vuoden 2007 aikana tehtyä kehitys- ja tutkimustyötä voidaan pitää POLYTEST-projektin kannalta erittäin tärkeänä. Vuoden 2007 POLYTEST-projektissa oli mukana peräti 4 opinnäytetyön tekijää ja siten hanketta päästiin kehittämään ja tutkimaan monin eri keinoin.

Vuoden 2007 aikana suunniteltiin ja rakennettiin 4 eri laitteistoprototyyppiä, joiden toimintaa testattiin osana opinnäytetöitä. Myös projektin aikaisemman prototyypin testausta ja kehitystä jatkettiin. Lisäksi tutkinnan kohteena oli online-mittalaitteen kehitys sekä kuvantamisen mahdollisuuksien kartoitus. Vuoden 2007 aikana tehdyt opinnäytetyöt on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Vuoden 2007 POLYTEST projektin opinnäytetyöt

2007	Janne Heinilä	A comparison of the paper linting and dusting measurement methods used in the POLYTEST-project
	Teemu Aittamaa	Development of laboratory device for linting and dusting measurement in the POLYTEST-project
	Antero Haapaniemi	On-line mittalaitteen kehittäminen paperin pölyävyyden mittaamiseen POLYTEST-hankkeessa
	Sampsa Köppä	LabView-alustalla toteutettu tiedonkeruuohjelma TSI DustTrak 8520-mittalaitteelle

### 4.3 Laitteistot

Vuonna 2006 rakennettua PMM V1 (Particle Measurement Method version 1) prototyyppiä testattiin edelleen vuoden 2007 aikana. Prototyypin perusrakenteeseen ei tehty muutoksia mutta tällä kertaa mittaustulosten analysointiin ei kuitenkaan käytetty aikaisemmin käytössä ollutta ELPIä, vaan se korvattiin ARTI-hiukkasmittalaitteella. Ensimmäisen prototyypin kaaviokuva on esitetty sivulla 13 esiintyvässä kuviossa 3.

Prototyyppien suunnittelun ja rakennuksen yhteydessä huomiota kiinnitettiin moniin asioihin, jotta prototyypeistä saataisiin muihin menetelmiin vertailukelpoisia mittaustuloksia. Prototyyppien pölynirrotusmenetelmän piti olla tehokas, jotta paperin pinnalla oleva heikosti kiinnittynyt pölymateriaali saatiin irrotettua. Toisaalta irrotusmenetelmä ei saanut vaikuttaa paperin rakenteeseen. Myöskään paperin reunalta irtoavan pölymateriaalin määrä ei saanut olla liian suuri suhteessa pintaosista irtoavaan pölyyn, jotta tulokset korreloisivat realistisesti laajamittaisessa tuotannossa irtoavaan pölymäärään.

Ensimmäisen uuden prototyypin pölynirrotusmenetelmänä käytettiin paperin akustista täristämistä. Ensimmäinen uusi prototyyppi nimettiin PMM A1:ksi (Particle Measurement Method Acoustic version 1). Ensimmäisen prototyypin kehittäminen ja parantaminen johti lopulta kolmen muun prototyypin kehitykseen: PMM A2, PMM A3 ja

PMM A4. Kaikissa vuoden 2007 prototyypeissä pölyä irrotettiin paperista akustisella menetelmällä. Menetelmissä tulosten analysointi tapahtui ARTI-hiukkasmittalaitteen avulla. Tutkimuksessa perehdyttiin myös online-mittalaitteen kehitykseen ja reaaliaikaiseen tiedonkeruuseen paperin pölyävyydestä. Vuoden 2007 aikana tutkimustyötä pystyttiin tekemään myös kuvantamisen kannalta paperin pölyävyysmittauksissa.

#### 4.3.1 ARTI-hiukkasmittalaite

Vuoden 2007 projektissa paperin pölyävyyden analysointiin käytettiin ARTI-hiukkasmittalaitetta. ARTI-laitteiston on kehittänyt yhteistyössä ART Instruments Inc. ja Rion Corporation. ARTI on optinen hiukkaslaskuri, joka rekisteröi ja jaottelee mitattavat hiukkaset niiden fyysisen koon perusteella. Toiminnaltaan ARTI perustuu laser valon sirontaan. ARTI jaottelee saadut mittaustulokset kuuteen kategoriaan, joiden ko-kojakauma on 0,5 – 10  $\mu\text{m}$ . Saadut mittaustulokset on mahdollista tallentaa ARTIn sisäiseen muistiin ja datan siirto tietokoneelle jatkokäsittelyyn on sen jälkeen mahdollista. Kuvassa 1 on esitetty vuoden 2007 projektissa käytetty ARTI-hiukkasmittalaite. (Aittamaa 2007, 47.)



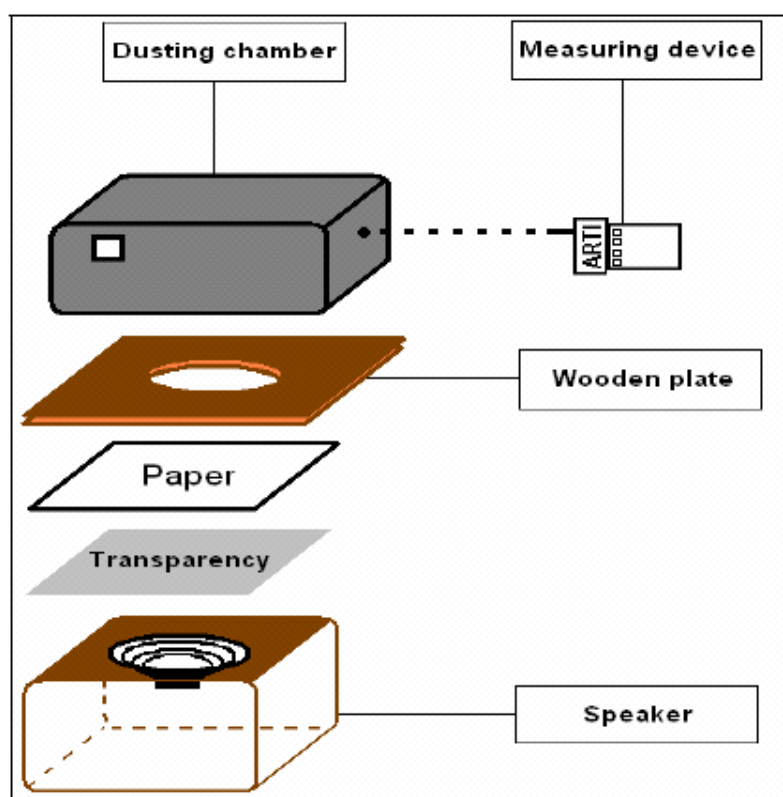
KUVA 1. ARTI-hiukkasmittalaite (Aittamaa 2007, 48)



### 4.3.2 Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 1

Projektin alkukehityksen aikana rakennettu PMM V1 – prototyyppi osoittautui osin ongelmalliseksi vuoden 2007 tutkimuksen aikana. Ongelmia havaittiin muun muassa pölynirrotusmenetelmässä, joka mittaustulosten mukaan irrotti liikaa pölyä paperin reunoilta. Myös keräyskammion suuri koko aiheutti mittaustuloksiin vääristymiä kun kaikkea pölymateriaalia ei saatu imettyä ARTiin tulosten analysointia varten. Tulosten perusteella päädyttiinkin rakentamaan täysin uudenlainen prototyyppi pölynmittausta ja –irrotusta varten. (Aittamaa 2007, 17–18.)

PMM A1 – prototyyppi kehitettiin ja rakennettiin ensimmäisessä prototyypissä esiintyneiden ongelmien pohjalta. PMM A1 versiossa pölynirrotusmenetelmänä käytettiin akustista ratkaisua, jolla mitattava paperi saatettiin värähtelytilaan. Akustinen värähtely tuotettiin tässä prototyypissä kaiuttimen avulla, käyttäen Audacity-ohjelmalla luotua signaalia. Kuviossa 5 on esitetty kaaviokuva PMM A1 – prototyypistä. (Aittamaa 2007, 18–20.)



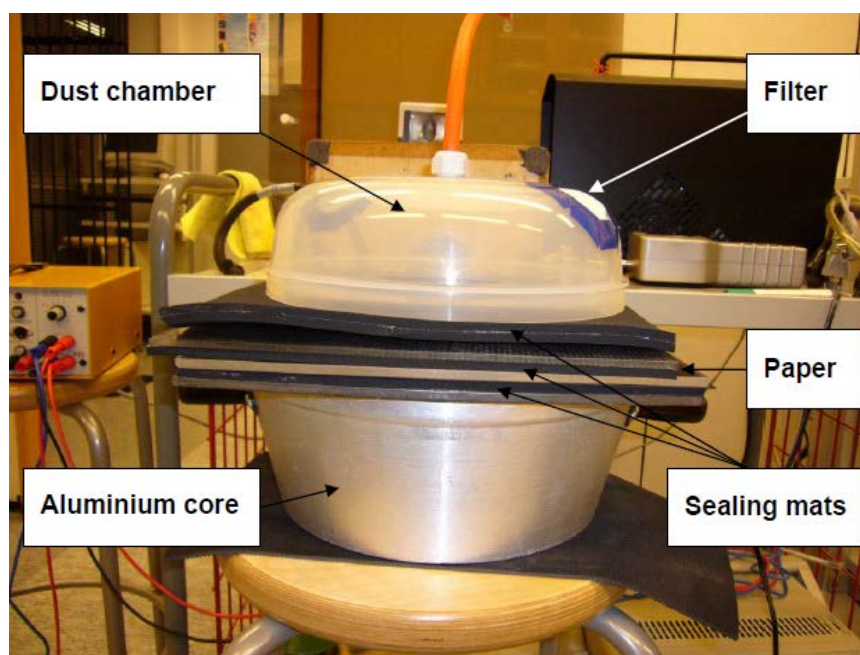
KUVIO 5. Particle Measurement Method Acoustic version 1 (Aittamaa 2007, 19)

Paperin reunoilta irtoava pöly rajattiin PMM A1 – prototyypissä pois käyttämällä aukolista puulevyä paperinäytteen päällä. Aukon kautta pöly johdettiin keräyskammioon, josta se imettiin mittauslaitteistona käytettyyn ARTiin. Taustapölyn vaikutus pyrittiin rajaamaan pois johtamalla puhdasta ilmavirtaa laitteistoon. (Aittamaa 2007, 19–20.)

PMM A1 – prototyypin tutkimisesta saadut tulokset olivat rohkaisevia ja varsinkin pölynirrotusmenetelmän todettiin olevan alkuperäistä menetelmää parempi. Ongelmia kuitenkin esiintyi vielä laitteiston eristyksen ja keräyskammion koon kanssa. Nämä seikat vaikuttivat laitteiston ilmantiiviyteen ja siten myös lopullisiin mittauksiin. Keräyskammion kokoa oli jo pienennetty huomattavasti alkuperäisestä versiosta, mutta luotettavien tulosten saamiseksi kokoa päätettiin vielä pienentää. PMM A1 – prototyypin pohjalta aloitettiin seuraavan prototyypin suunnittelu ja rakennus, jossa jälleen kiinnitettiin huomiota aikaisemmassa versiossa huomattuihin parannusmahdollisuuksiin. (Aittamaa 2007, 21–22.)

#### **4.3.3 Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 2**

PMM A2 kehitettiin parantamaan ensimmäisen akustisen prototyypin toimintaa. PMM A2 – prototyypissä laitteiston rakenteeseen tehtiin suuria muutoksia. Aikaisemmassa versiossa käytetyt puuosat korvattiin muovikomponenteilla ja alumiinilla. Myös keräyskammion kokoa pienennettiin jälleen merkittävästi. Prototyypissä kiinnitettiin lisäksi huomiota ARTin sijoituspaikan optimointiin, jotta mittauksien luotettavuutta saatiin parannettua. Pölynirrotusmenetelmää ei sinänsä muutettu, mutta tässä prototyypissä käytettiin bassokaiutinta edellisestä prototyypistä poiketen. Kuvassa 2 on esitetty PMM A2 – prototyypin profiilikuva mittausvalmiina. (Aittamaa 2007, 23–26.)

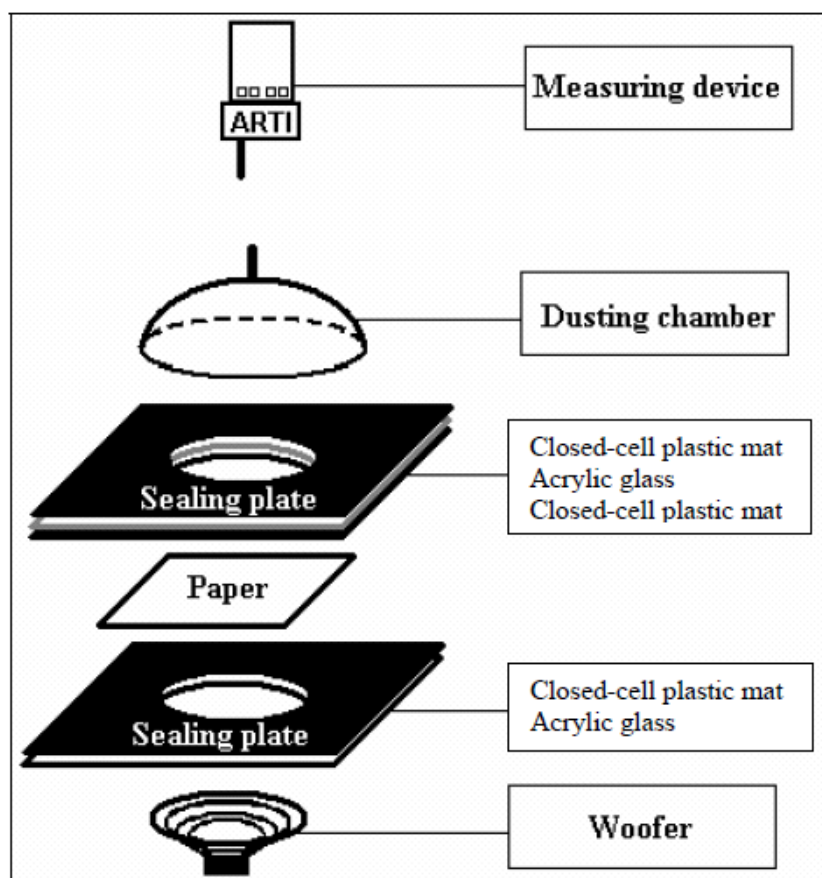


KUVA 2. Particle Measurement Method Acoustic version 2 profiilikuva. (Aittamaa 2007, 22)

PMM A2 – prototyypistä päästiin jo lähelle nollatasoa pölynmittauksissa, joka siis tarkoitti taustapölyn lähes täydellistä rajaamista ulos tuloksista. PMM A1 – prototyypissä esiintyneet ilmantiiviysongelmat saatiin uusien komponenttien myötä ratkaistua. Myös mittalaitteiston kokonaisrakenne oli huomattavasti jämäkämpi kuin edellisissä versioissa. Mittaustuloksiin vaikuttivat myös keräyskammion koon pienentäminen ja ARTIn sijoituspaikan optimointi. (Aittamaa 2007, 30.)

#### 4.3.4 Partikkelien mittausmenetelmä, akustinen versio 3

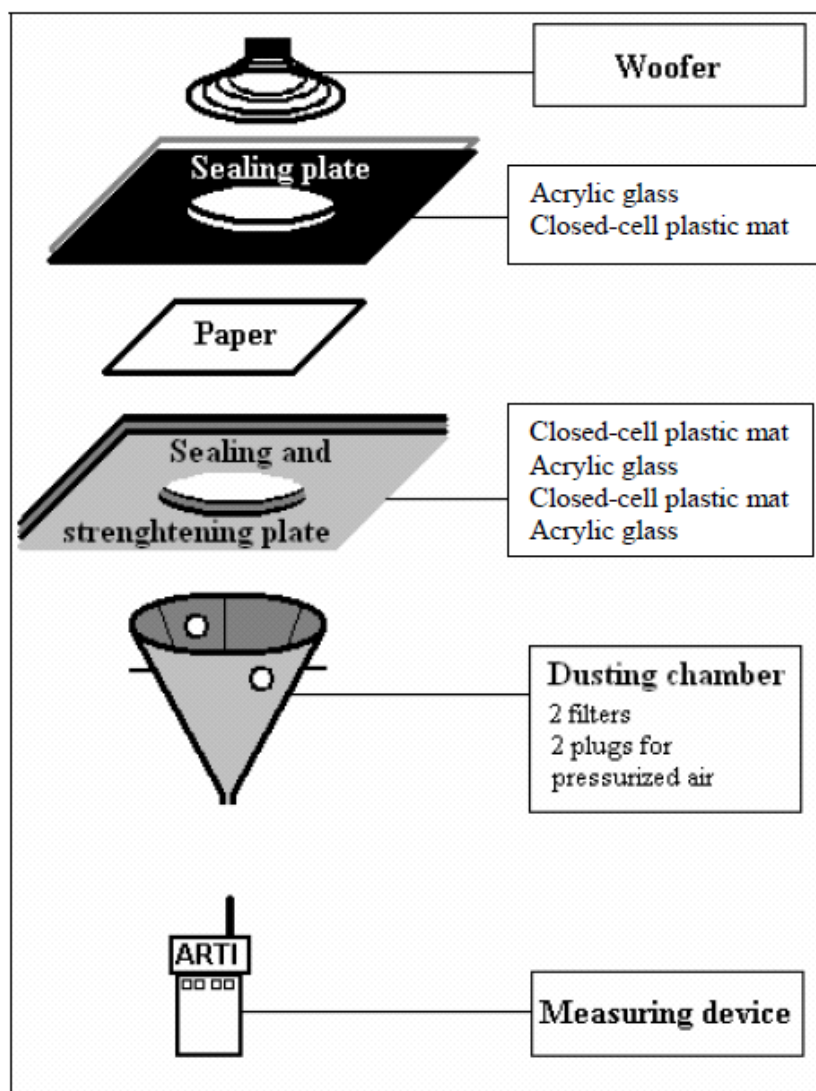
PMM A2 – prototyypin onnistunut kehitys johti lopulta samankaltaisen PMM A3 – prototyypin rakennukseen. PMM A3 versiossa huomiota kiinnitettiin erityisesti laitteiston rakenteen yksinkertaistamiseen. Suurimmat muutokset edeltävään versioon nähden koskivatkin rakenteen yksinkertaistamista ja kaiuttimen koon suurentamista. Kaiuttimen suurentaminen johti myös vahvistimen käyttöön, jotta uuden kaiuttimen suurempi tehontarve saatiin tuotettua. Kuviossa 6 on esitetty kaaviokuvana PMM A3 – prototyypin rakenne. (Aittamaa 2007, 30–32.)



KUVIO 6. Kaaviokuva Particle Measurement Method Acoustic version 3 laitteistosta (Aittamaa 2007, 31)

#### 4.3.5 Partikkelien mittaamenetelmä, akustinen versio 4

Vuoden 2007 kehitystyö laitteistojen parissa johti lopulta myös neljännen prototyypin rakentamiseen. PMM A4 – prototyyppi oli rakenneosiltaan PMM A3 versiota hyvin pitkälle noudatteleva prototyyppi. Tällä kertaa laitteisto kuitenkin rakennettiin ylösalaisin siten, että hiukkasmittalaite oli laitteiston alin komponentti. Ratkaisulla pyrittiin tutkimaan painovoiman vaikutusta aikaisemman laitteistokokoonpanon antamiin mittaus tuloksiin. Muutoksena aikaisempiin prototyyppisiin nähden PMM A4 laitteiston keräyskammio valmistettiin teräksestä, kun aikaisemmissa versioissa keräyskammio oli ollut muovinen. Kuviossa 7 on esitetty laitteiston rakenteellinen kaaviokuva. (Aittamaa 2007, 41–42.)



KUVIO 7. Kaaviokuva Particle Measurement Method Acoustic version 4 laitteistosta (Aittamaa 2007, 42)

#### 4.3.6 Pölynirrotuslaitteistojen testaus ja analysointi

Jokaisen rakennetun prototyypin toimintaa testattiin vuoden 2007 aikana, jotta menetelmä pölynirrotukseen saataisiin suunniteltua. Testaus tapahtui useiden satojen näytepaperien avulla, jotta saaduille tuloksille saatiin luotettavuutta. Näytepapereina käytettiin erilaisia paperilaatuja, jotta mittauksista saatiin analysoitua mahdollisimman monipuolisesti. (Aittamaa 2007, 15–17, 20–21, 27–29, 32–40, 43–46.)

Akustinen pölynirrotusmenetelmä signaalia käyttäen osoittautui heti ensimmäisestä prototyypistä lähtien erittäin lupaavaksi. Mittauksissa kiinnitettiin erityisesti huomiota kriittisen nollatason saavuttamiseen. Nollataso saavutettiin lopulta kehitystyön tuloksena

PMM A3 – prototyypissä. Tämän vuoksi paperin pölyävyys tuloksiin saatiin luotettavuutta, kun varsinaiset mittaukset päästiin aloittamaan nollatasolta. (Aittamaa 2007, 55.)

Mittauksissa kiinnitettiin myös huomiota taajuus-testauksiin, joilla pyrittiin löytämään optimaalisin taajuus pölynirrotukseen. Mittauksissa otettiin huomioon, että testattavien paperien tuli olla säilytettyinä ilmatiiviisti, jotta paperien pinnalle kertynyt huonepöly ei vaikuttaisi saatuihin tuloksiin. Lupaavalle PMM A3 – prototyypille tehtiin myös laser-mittauksia Metso Automationilta lainatulla laitteistolla. Muiden mittausten tulokset analysoitiin ARTI-hiukkasmittalaitteen antaman datan perusteella. (Aittamaa 2007, 33–36.)

Kehitystyön ja huolellisten mittausten jälkeen PMM A3 – prototyypin todettiin antavan luotettavimpia tuloksia paperin pölyävyysmäärille. Myös PMM A4 - prototyypin tulokset olivat lupauksia herättäviä, mutta laitteiston huomattiin kaipaavan vielä lisäkehitystä ja tutkimusta. Laajemmin vuoden 2007 aikana tehtyä laitteistokehitystä ja laitteistoista saatuja tutkimustuloksia on käsitelty Teemu Aittamaan opinnäytetyössä. (Aittamaa 2007, 55–56.)

#### **4.4 Mittausmenetelmien vertailu**

Vuoden 2007 projektissa rakennettujen prototyyppien antamia mittaustuloksia verrattiin myös muutamien muun paperin pölyävyyden mittausmenetelmien antamiin tuloksiin. Vertailussa käytettiin IGT Fluff Testiä, The Heidelberg GTO offset metodia ja Veitsiluoto-mittalaitetta. Prototyypeistä vertailussa käytettiin lähinnä PMM A4 – prototyypin antamia tuloksia. (Heinilä 2007, 39.)

IGT Fluff Test on vanha pölyävyyden analysointimenetelmä, jonka tulokset perustuvat painojäljen analysointiin. Testissä paperin pinnalta kerätään pölyhiukkasia terässylinterille. Pölyhiukkaset tarttuvat sylinteriin, koska sylinterin pinta on ennen testiä tehty tahmeaksi sopivaa öljyä käyttäen. Pölyn keräämisen jälkeen sylinterille levitetään mustetta. Näin sylinterin pinnalle tarttunut pölyaines saadaan näkyviin. Testin lopussa tulokset voidaan kuvantaa painamalla sylinterin pinta paperille. Tulosten vertailu tapahtuu silmämääräisesti vertaamalla tuloksia malliliuskoihin. (Heinilä 2007, 26–27.)

The Heidelberg GTO offset metodi perustuu pienen painokoneen toimintaan. Painokoneen kumisylinteriin kiinnitetään teippi, jonka avulla pölyainesta kerätään. Teippi punnitaan ennen ja jälkeen mittauksen, jolloin punnitusten massaero kuvaa tarttuneen pölyaineksen määrää. (Heinilä 2007, 28–29.)

Veitsiluoto-mittalaite on Stora Enson kehittämä laitteisto paperin pölyävyuden arviointiin. Menetelmä perustuu ilmavirtaan, joka johdetaan metalliseen kammioon. Kammion sisälle on sijoitettu näytepaperit, joita vaaditaan tulosten saamiseksi tavallisesti useita satoja. Ilmavirran avulla näytteiden pinnalta irrotetaan pölyainesta. Irronnut pölyaines kerääntyy lopulta kammion pohjalla olevaan suodattimeen, jonka massa punnitaan ennen ja jälkeen mittauksen. Näin saadun massaeron perusteella analysoidaan irronneen pölyaineksen määrää. (Heinilä 2007, 30–31.)

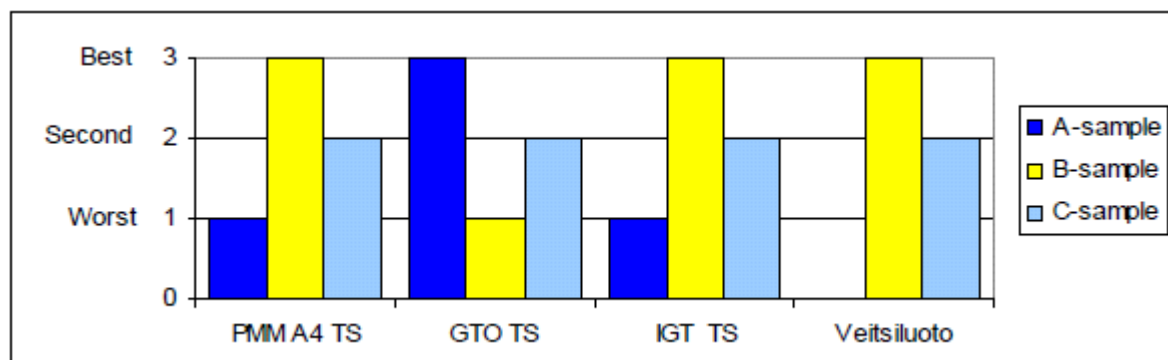
#### **4.4.1 Vertailun tulokset**

Vertailussa käytettiin erilaisia paperilaatuja, joita käytettiin jokaiselle mittausten menetelmälle laajojen tulosten saamiseksi. Tulosten vertailussa käytettiin erillistä laskentaohjelmaa Veitsiluoto-mittalaitteen ja The Heidelberg GTO offset metodin antamien tulosten saamiseksi vertailtavaan muotoon PMM A4 - prototyypin ARTI-hiukkasmittalaite tulosten kanssa. Näin jokaisen menetelmän tulokset saatiin muutettua yksikköön  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ . IGT Fluff Testin antamia tuloksia vertailtiin silmämääräisesti. (Heinilä 2007, 33–34.)

Tulosten laskupohjaisen yksikkömuunnoksen jälkeen saatuja tuloksia verrattiin keskenään toisiinsa. Menetelmien perustuminen täysin erilaisiin mittaustapoihin aiheutti ongelmia tulosten vertailulle. Myös menetelmissä huomattiin ongelmakohtia, jotka vaikuttivat lopulta lopputuloksiin. Muun muassa The Heidelberg GTO offset metodissa mittaustuloksiin vaikutti myös teippiin tarttunut muste, jolloin menetelmän antamat tulokset huomattavasti olivat suurempia kuin muiden menetelmien. Myös IGT Fluff Testin tulosten tulkitsemisen todettiin olevan riippuvainen testin tekijästä, koska varsinaisia mittaustuloksia ei tällä menetelmällä saatu. Näin ollen suoranaista vertailua tulosten kesken oli vaikea suorittaa. (Heinilä 2007, 45–46.)

Tulosten vertailun helpottamiseksi näytteitä pyrittiin lopulta tutkimaan erilaisen vertailun avulla. Jokaisen menetelmän antamien tulosten perusteella paperinäytteet listattiin

pölyävyysmäärien mukaisesti. Listaus tehtiin jokaiselle menetelmälle erikseen, jonka jälkeen listoja vertailtiin toisiinsa. Täten pyrittiin vertaamaan, listaavatko eri menetelmät käytössä olleet paperinäytteet samaan järjestykseen eli saadaanko eri menetelmillä tuloksellisia yhdenmukaisuuksia. Kuviossa 8 on esitetty listausvertailun tulokset eri paperinäytteille. (Heinilä 2007, 46.)



KUVIO 8. Paperinäytteiden vertailu eri mittausmenetelmillä (Heinilä 2007, 46)

Vaikka tulosten vertailua ei pystytty suorittamaan täysin halutulla tavalla, saatiin listapohjaisen vertailun avulla kuitenkin suuntaviivoja eri menetelmien antamista tuloksista. Listaustuloksissa IGT Fluff Test ja PMM A4 – prototyyppi antoivat täysin saman järjestyksen paperinäytteille. Korrelaatiota kuitenkin löytyi The Heidelberg GTO offset metodin ja Veitsiluoto-mittalaitteen tuloksiin verratessa. Tuloksista todettiin, että mahdollisia virhelähteitä oli useita. Menetelmien erilaisuus aiheutti lopulta suurimmat ongelmat täysin luotettavan vertailun tekemiselle. Vertailusta saadut mittaustulokset on esitetty tarkemmin Janne Heinilän opinnäytetyössä. (Heinilä 2007, 46.)

#### 4.5 Kuvantaminen

POLYTEST-projektin aikana tutustuttiin myös kuvantamiseen paperipölyn analysointimahdollisuutena. Paperista irronnutta pölyainesta kerättiin talteen ja asetettiin skannerin puhdistetulle pinnalle. Kuvakokoa rajaamalla ja resoluutiota säätämällä saatiin hienojakoisen paperipölyn koostumus selvästi näkyviin. Skannattujen kuvien analysointiin käytettiin projektin aikana Imagetool 3.0 ohjelmaa, joka tunnisti skannatusta kuvasta eri partikkelit. Ohjelmalla oli myös mahdollista rajata partikkelit eri ominaisuuksien perusteella. (Aittamaa 2007, 49–51.)

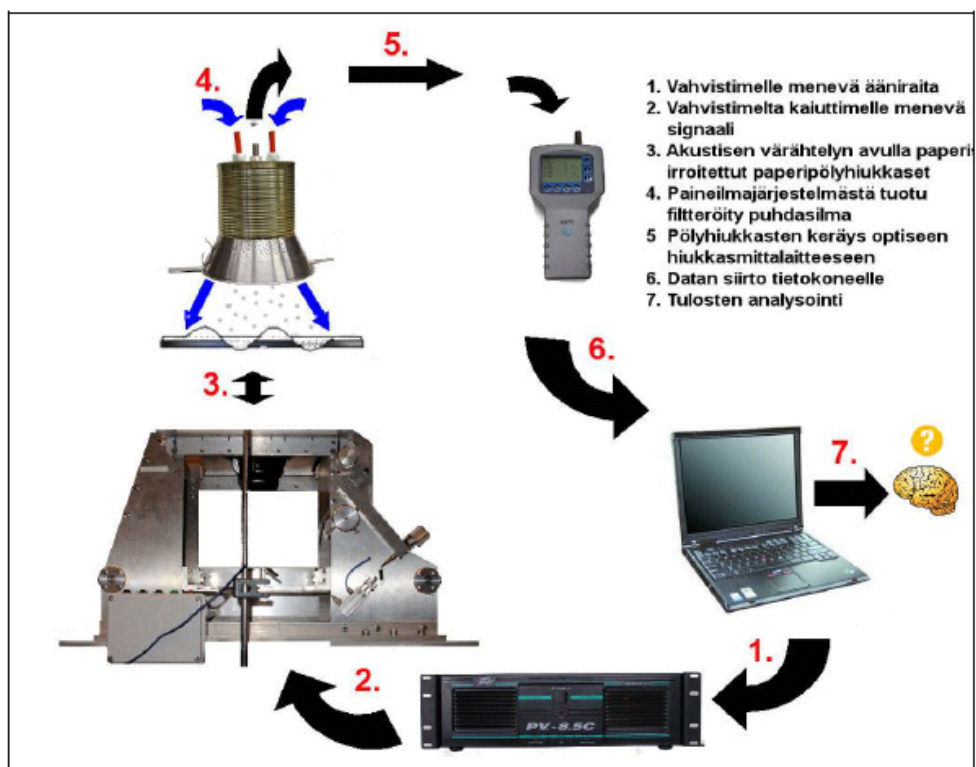


Projektin aikana kuvantamisella tehtiin muutamia mittauksia hienojakoisten hiukkasten analysoimiseksi. Analysoinnin aluksi skannattu kuva muutettiin mustavalkoiseksi. Ennen kuin Imagetool ohjelmaa voitiin käyttää kuvien analysoinnissa, ohjelmalle piti antaa tietyt mittasuhteet. Ohjelmalle syötettiin mittakaava skannatun kuvan perusteella, jonka mittasuhteet tiedettiin. Mittakaavan antamisen jälkeen Imagetool ohjelmaa voitiin käyttää kuvien partikkelianalyysin tekemiseen. (Aittamaa 2007, 51–53.)

Vertailupohjana Imagetoolista saaduille tuloksille käytettiin Kajaani Fiber Lab -laitteiston antamia tuloksia samoille näytteille. Kajaani – laitteisto on yleisesti käytetty analysointimenetelmä paperiteollisuudessa ja sen antamia tuloksia pidetään luotettavina. Mittaukset toistettiin laitteistoilla 3 kertaa. Lopputuloksissa Kajaani – laitteisto antoi hiukkasten keskiarvopituudeksi hieman suuremman arvon kuin Imagetoolin avulla saadut tulokset. Tulosta voitiin kuitenkin pitää lupaavana, sillä Kajaani – laitteiston analysoinnissa mitattavat hiukkaset sekoitettiin aluksi veteen, joka osaltaan saattoi selittää eroavaisuutta tuloksissa. (Aittamaa 2007, 54.)

#### **4.6 Online-menetelmän tutkiminen**

POLYTEST-projektin kehityksessä perehdyttiin vuoden 2007 aikana myös online-menetelmän kehitykseen. Menetelmän testauksen tavoitteena oli saada tietoa paperin pölyävyyydestä online-olosuhteissa. Työssä käytettiin Metso Automationilta lainattua simulaattoria, joka simuloi online-tilannetta, ja erikseen rakennettua pölynkeräyslaitetta sekä jo prototyypeissä tutuksi tullutta akustista pölynirrotusmenetelmää. Online-menetelmän tutkimuksen ohessa huomiota kiinnitettiin myös paperiradan käyttäytymisen tutkimiseen. Kuviossa 9 on esitetty pölynmittauskokeiden mukainen laitekoonpano ja kuviossa 10 paperiradan käyttäytymisen tutkimiseen käytetty laitekoonpano. Kuvioissa on esillä myös Metso Automationin online-simulaattori, joka koostui viidestä telasta ja yhdestä moottorista. Tarkempi kuva online-simulaattorista on esitetty kuvassa 3. (Haapaniemi 2008, 2,14.)



KUVIO 9. Pölynmittauskokeissa käytetty laitekoonpano (Haapaniemi 2008, 14)



KUVIO 10. Paperiradan käyttäytymisen tutkimiseen käytetty laitekoonpano (Lilja 2009, 12)

Pölynmittauskokeissa ja niitä edeltäneissä esikokeissa online-simulaattoriin kiinnitettiin erillisessä levyssä kiinni ollut kaiutin. Kaiuttimen avulla saatiin aikaan akustinen pölynirrotusmenetelmä käyttäen tiettyä taajuutta ja amplitudia. Pölynkeräys paperiradalta

tapahtui erikseen valmistetun, kolmesta kerroksesta koostuneen, pölynkeräyslaitteen avulla, josta analysoitavat hiukkaset imettiin ARTI - hiukkasmittalaitteeseen tulosten käsittelyä varten. Sen jälkeen dataa käsiteltiin tietokoneen avulla. Pölynkeräyslaite on esitetty kuvassa 3. (Haapaniemi 2008, 17, 20, 26.)



KUVA 3. Pölynkeräyslaite (Haapaniemi 2008, 19)

#### 4.6.1 Esikokeet

Esikokeet osoittautuivat hyödyllisiksi online-menetelmän tutkimuksissa. Kokeiden avulla saatiin paljon tietoa esiintyneistä ongelmakohdista ja pölynmittauksesta online-menetelmässä. Laitteistokokoonpano todettiin hyväksi, pieniä ongelmakohtia lukuun ottamatta. Esikokeista saatiin erityisesti tietoa pölynmittaukseen vaikuttavista muuttujista. Suurimmaksi ongelmaksi havaittiin paperin pysyminen paperiradan keskellä. Jos paperinauha eteni radalla epätasaisesti, aiheutti se hajontaa saatuihin tuloksiin. Toinen ongelmakohta oli nollatason saavuttaminen, jotta mittauks tulokset olisivat luotettavampia. Nollataso saavutettiin nopeasti pohjamittausten aikana, mutta paperiradan ollessa liikkeellä mittauksiin vaikutti pieni taustapölyn määrä. Havaittuihin ongelmakohtiin kehitettiin kuitenkin parannuksia, joiden toimintaa testattiin varsinaisissa mittauksissa. (Haapaniemi 2008, 26–30.)

Paperin käyttäytymistä tutkittiin esikokeissa myös online-laitteen paperirataa tutkimalla. Tutkimus tapahtui tutkimalla paperin käytöstä online-simulaattorin eri taajuuksilla ja

siten myös eri nopeuksilla. Samalla paperia täristettiin signaalilla, jonka taajuutena oli esimerkiksi 69 Hz ja amplitudina esimerkiksi 32 V. Paperin vaaka- ja pystysuuntaista käyttäytymistä radalla tutkittiin ottamalla kuvia paperiradasta eri kuvakulmista katsoen. Kuvaamisessa käytettiin apuna stroboskooppia, jonka avulla liike saatiin pysähtymään paikoilleen. (Haapaniemi 2008, 28–29.)

Kuvista pääteltyjen tietojen avulla paperin käyttäytymistä voitiin analysoida ajon aikana. Huomionarvoisena seikkana huomattiin, että paperi reagoi voimakkaasti kaiuttimen antamiin signaaleihin. Myös jatkuvalla signaalilla tehdyn paperin tärisyttämisen huomattiin vaikuttavan paperin liialliseen rasitukseen. Ongelmien ratkaisemiseksi päätettiin jatkossa tehdä amplitudi-mittauksia optimaalisimman amplitudin löytämiseksi. Myös paperiradan sivuttaisen liikkeen huomattiin olevan pitkien ajojen aikana liian suuri. (Haapaniemi 2008, 29–30.)

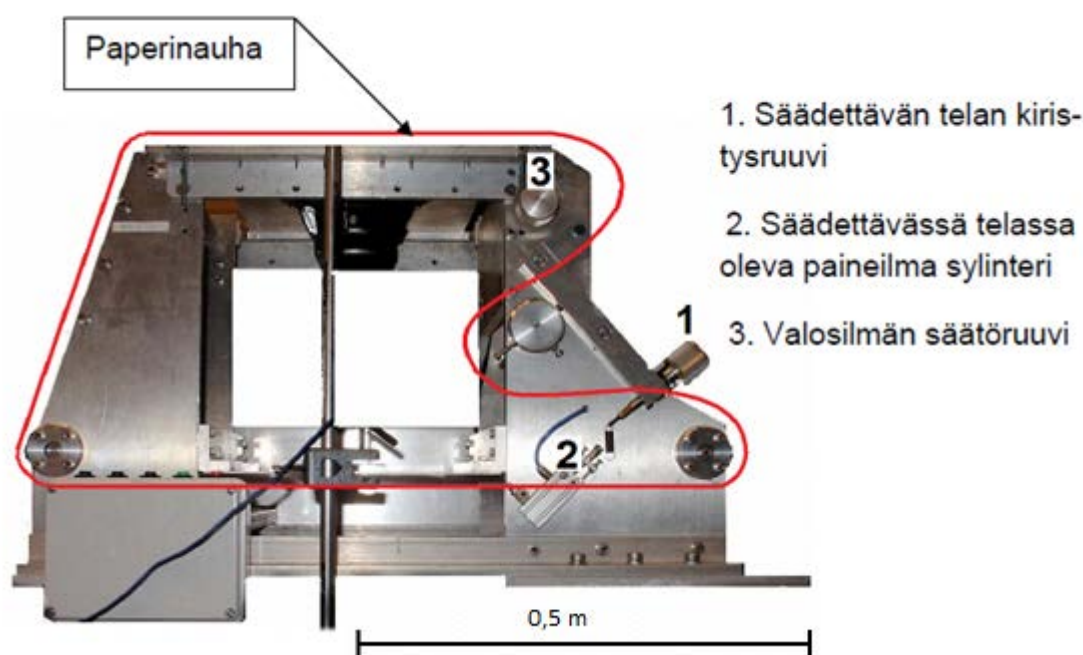
#### **4.6.2 Primäärikoe ja varsinaiset mittaukset**

Esikokeissa havaittujen ongelmakohtien korjaamisen jälkeen siirryttiin varsinaisten mittausten suoritukseen. Ennen pölymittausten aloittamista suoritettiin vielä primäärikoe. Primäärikokeella pyrittiin todistamaan paperipölyn irtoaminen ja pölynkeräyslaitteiston toimivuus. (Haapaniemi 2008, 31.)

Primäärikokeen aluksi näytepaperin pinnalle levitettiin kaoliinia tiettyyn kohtaan. Paperia täristettiin akustisesti, ja samalla paperia ajettiin hitaalla nopeudella online-simulaattorissa. Paperiluiskaa pyöritettiin radalla kolme kierrosta ja samalla tehtiin mittausjaksoja. Mittausjaksojen tuloksista havaittiin 3 selkeää huippukohtaa, jotka johtuivat paperiin sivellystä kaoliinista. Kaoliinin irtoaminen nosti pölymääriä huomattavasti. Toisaalta tulokset osoittivat myös, että jokaisella edetyllä kierroksella paperipölyä irtosi näytteestä edellistä kierrosta vähemmän. Mittausjaksojen tulosten perusteella pystyttiin päättämään, että laitekokoonpanolla pystytään luotettavasti mittaamaan irtoavia pölymääriä. Primäärikokeen jälkeen suoritettiin vielä erillinen koe, jonka avulla varmistettiin, että irronneet hiukkaset olivat peräisin paperista. (Haapaniemi 2008, 31–33.)

Varsinaisissa mittauksissa käytetty laitekokoonpano vastasi suurilta osin esikokeissa käytettyä laitteistoa. Eroavaisuutena oli, että varsinaisten mittausten aikana käytettiin

kahta laitekokoonpanoa, jossa erona olivat erilaiset kaiuttimet. Varsinaisissa mittauksissa suoritettiin amplitudimittauksia, joiden avulla etsittiin sopivat parametrit pölymittauksia varten. Amplitudimittausten jälkeen suoritettiin pölymittauksia useilla eri paperinäytteillä, jotta tehokkaimmat parametrit paperipölyn irrotukseen saatiin kartoitettua. Kuvassa 4 on esitetty mittauksissa käytetty online-simulaattori. (Haapaniemi 2008, 36–43, 51–53.)



KUVA 4. Mittauksissa käytetty Metso Automationin online-simulaattori (Helena) (Haapaniemi 2008, 16, muokattu)

Esikokeissa havaittiin, että paperin sivuttaissuuntainen liike paperiradalla oli liian voimakas. Ongelmaan pyrittiin etsimään ratkaisua amplitudimittausten avulla. Samalla huomiota kiinnitettiin kehitettävän laitteen sijoituspaikkaan paperikoneella. Amplitudimittauksissa käytettiin Metso Automationilta lainattua lasermittalaitetta, jonka mittapää asetettiin mittauksissa kaiuttimen yläpuolelle, osoittamaan kohtisuorasti kaiutinta kohti. Lasermittalaitteen tuloksia pystyttiin mittauksissa käsittelemään tietokoneella. Kalibroinnin ja oikeiden asetusten jälkeen aloitettiin varsinaiset amplitudimittaukset. Amplitudin tutkimisen ohessa kiinnitettiin huomiota myös irronneiden pölyhiukkasten kiihtyvyyteen ja paperin aaltomuotoon. (Haapaniemi 2008, 31–32.)

Ensimmäisen laitekokoonpanon amplitudimittauksista saatiin selville muun muassa, että korkeilla taajuuksilla sähköisen amplitudin vaikutus paperin amplitudiin oli pieni. Korkeiden taajuuksien käyttämisen pääteltiin kasvattavan myös pölyhiukkasten irtoamisno-

peuksia, jolloin korkeiden taajuuksien pääteltiin irrottavan paperipölyä tehokkaammin. Saatujen tulosten perusteella valittiin sopivat parametrit pölymittauksia varten.

Pölymittauskokeissa käytettiin samaa mittausperiaatetta kuin esikokeissa. Osassa mittauksia käytettiin myös jo esikokeissa käytettyä kaoliinia ylimääräisenä pölynlähteenä. Pölymittauksissa testattiin amplitudimittauksissa rajattuja parametreja taajuuksien tutkimisessa. (Haapaniemi 2008, 44–50.)

Tulosten monipuolistamiseksi samoja mittauksia suoritettiin myös toisella laitteistokoonpanolla. Tällä kertaa käytettiin erilaista kaiutinta, jotta voitiin luotettavasti tutkia myös suurempia taajuuksia pölynirrotuksessa. Muutoin mittalaitteisto vastasi ensimmäisissä mittauksissa käytettyä kokoonpanoa. (Haapaniemi 2008, 51.)

Amplitudimittauksissa noudatettiin samaa toimintaperiaatetta kuin ensimmäisen laitekokoonpanon mittauksissa. Toisen laitekokoonpanon mittauksissa keskityttiin erityisesti korkeampien taajuuksien tutkimiseen. Tällä kertaa huomattiin, että uuden kaiuttimen myötä saatiin korkeammilla taajuuksilla paperiin suurempi poikittaissuuntainen liike kuin aikaisemmissa mittauksissa. (Haapaniemi 2008, 52–53.)

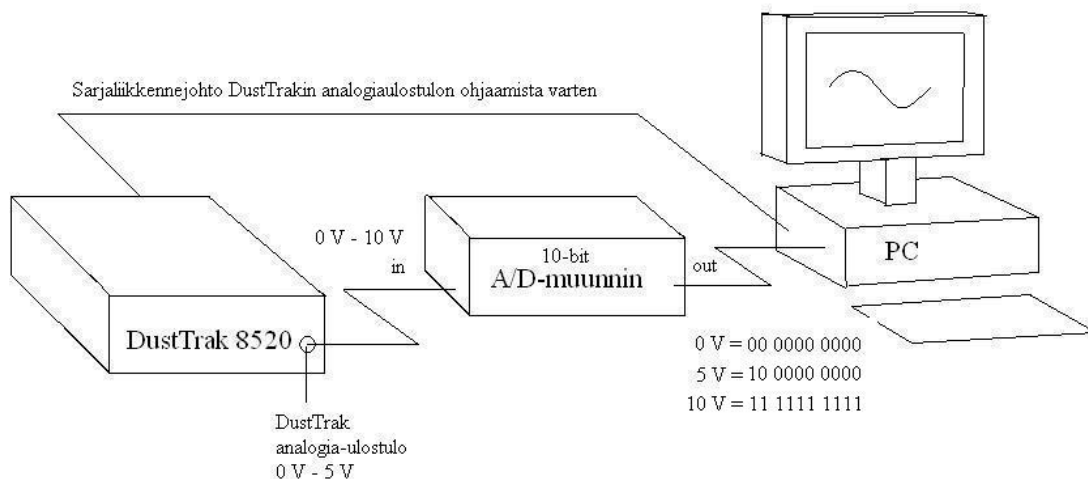
Amplitudimittausten jälkeen suoritettiin vielä pölymittauskokeita toiselle laitekokoonpanolle. Pölymittauskokeissakin käytettiin vain kahta suurinta taajuutta (250 Hz ja 500 Hz). Muutoin mittauskokeissa noudatettiin samaa toimintaperiaatetta kuin aikaisemmin suoritetuissa pölymittauksissa. (Haapaniemi 2008, 54–57.)

Online-mittalaitteen kehitystyö edistyi vuoden 2007 aikana hyvin ja mittauksia tehtiin perusteellisesti. Eri laitekokoonpanoja päästiin testaamaan eri parametreilla ja osa havaituista ongelmakohdista saatiin rajattua pois. Tulevaisuuden kehitystyölle jäi kuitenkin vielä parannettavia kohtia. Varsinkin ulkoisten pölynlähteiden rajaaminen tulevaisuuden mittauksista olisi tärkeää. Online-mittalaitteen kehitys on käsitelty kattavammin Antero Haapaniemen opinnäytetyössä.

#### 4.7 Reaaliaikainen tiedonkeruuohjelma

Vuoden 2007 aikaisen projektin viimeisenä kehityskohteena oli reaaliaikaisen tiedonkeruuohjelman luominen hiukkasmittalaitteelle. Mittalaitteena työssä käytettiin DustTrak 8520 aerosolien mittalaitetta. Työn idea sai alkunsa, kun huomattiin, että opiskelija Lauri Veistaron aikaisemmin suunnittelema 3-kanavainen A/D-muunnin sopi DustTrak-laitteiston analogiaulostuloon. Alun perin muunnin oli suunniteltu typen oksidien mittalaitteelle. (Köppä 2008, 1.)

Työn tavoitteena oli tutkia A/D-muuntimen toimivuutta pölymittauksissa. Työssä oli tarkoituksena suunnitella tietokoneelle reaaliaikainen tiedonkeruuohjelma, jolla mittalaitteen dataa saataisiin analysoitua. Ohjelmalla oli tarkoitus kerätä data sarjaliikenneportista, muuttaa se haluttuun muotoon ja laskea tuloksista massakonsentraatio ja pölyindeksi, jotka pystyttäisiin esittämään graafisesti ajan funktiona. Ohjelmistona työssä käytettiin LabView 6.1:tä, joka on graafinen ohjelmointityökalu. Työn mukainen laitteistokokoonpano kytkentöineen on esitetty kuviossa 11. (Köppä 2008, 4,6-7.)



KUVIO 11. Työssä käytetty laitteistokokoonpano (Köppä 2008, 2)

#### 4.7.1 TSI DustTrak 8520

TSI DustTrak on aerosolien mittauslaite, joka soveltaa toiminnassaan laser-fotometriaa. TSI DustTrak laite pumppaa ilmanäytteen esierottimen kautta sisäänsä ja lopulta optiseen näytekammioon. Näytekammiossa mittalaitteen lasersäde siroaa ilmanäytteessä oleviin hiukkasiin. Täten laitteisto mahdollistaa erikokoisten hiukkasten massapitoisuuden määrittämisen. Laite mahdollistaa hiukkasten analysoinnin suurella kokoalueella. Työssä käytetty mittalaite on esitetty kuvassa 5. (Lilja, 2011, 12–13.)

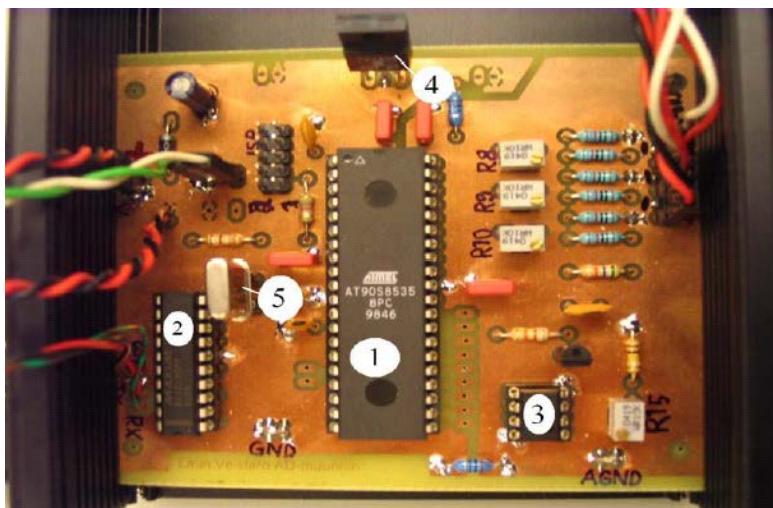


KUVA 5. TSI DustTrak 8520 (Köppä 2008, 3)

#### 4.7.2 A/D-muunnin

Työssä käytettiin Lauri Veistaron suunnittelemaa ja toteuttamaa A/D-muunninta. A/D-muuntimen tehtävänä työn suorituksessa oli muuntaa hiukkasmittalaitteelta saatu analoginen data digitaaliseen muotoon. A/D-muunnin oli työssä liitettyä hiukkasmittalaitteen analogiaulostuloon ja tietokoneen sarjaliikenneporttiin. Käytetty muunnin oli 10-bittinen ja sen muuntoalue oli 0 - 10 V. 10-bittisellä muuntimella on täten 1024 eri bittikombinaatiota ja muunnin pystyy erottamaan 0,00976 voltin muutokset. Muuntimen toiminta DustTrakin kanssa perustuu siihen, että DustTrakin analogiaulostulo muuttuu 0,05 voltin välein ja muuntimen erotuskyky on mainittua muutosarvoa parempi. Muunnin eri komponentteineen on esitetty kuvassa 6. (Köppä 2008, 4-5.)





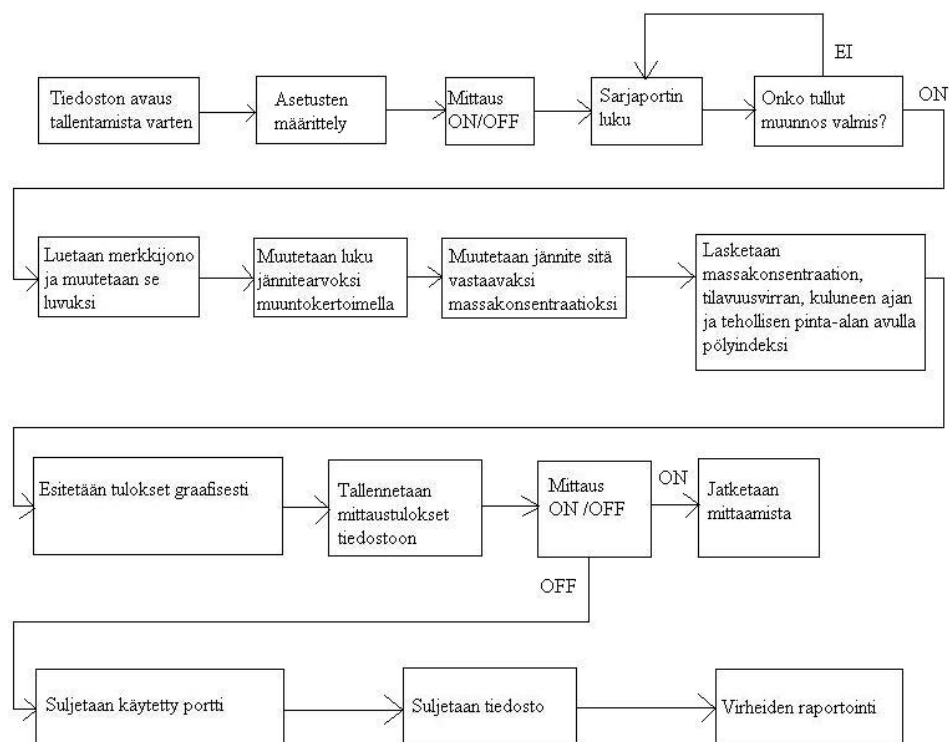
KUVA 6. A/D-muunnin (1) ATMEL AT90-S8535-8PC-mikrokontrolleri, (2) Maxim MAX233-sarjaliikennepiiri, (3) Texas Instruments TLC271-operaatiovahvistin ja (4) TSC TS7805-jännitetasaja. (Köppä 2008, 4)

#### 4.7.3 Tiedonkeruuohjelma

Työssä käytettiin kahta eri ohjelmaa työn suorituksessa. Tulokset käsiteltiin National Instrumentsin LabView 6.1 ohjelman avulla. LabView on graafinen ohjelmointityökalu, joka koostuu käyttöliittymäosasta ja toteutusosasta. Toisena ohjelmana työssä käytettiin TSI:n TrakPro-ohjelmaa, joka pystyy ohjaamaan TSI:n laitteita. Tässä työssä TrakProta käytettiin DustTrakin analogiaulostulon ohjaamiseen. (Köppä 2008, 6-8.)

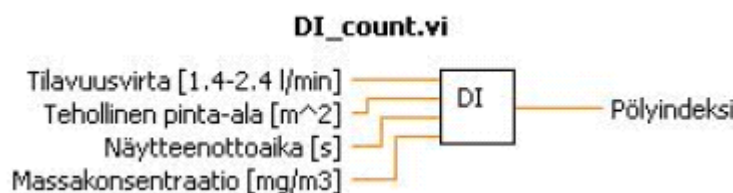
Tiedonkeruuohjelman suunnittelussa lähdettiin projektissa liikkeelle siitä, että ohjelman tulisi hakea ja esittää mittalaitteen dataa reaaliajassa ja tallentaa data myöhempää analyysiä varten. Reaaliaikaisen datan siirto mittauslaitteelta tietokoneelle oli mahdollista aikaisemmin esitellyn A/D-muuntimen avulla. A/D-muuntimen toiminnan lisäksi tiedonkeruuohjelman suunnittelussa tuli ottaa huomioon monia käytetyn laitteiston vaikutuksia itse ohjelmaan. Puutteet A/D-muuntimen dokumentoinnissa olivat yksittäisistä asioista suurin työn etenemistä hidastanut haitta. (Köppä 2008, 8-9.)

Koko tiedonkeruuohjelman suunnittelu ja toteutus oli laaja projekti, jota lähdettiin toteuttamaan suunnittelemalla lohkokaavio. Lohkokaaviosuunnitelmaa oli tosin projektille vain suuntaa antava ja varsinaisen ohjelman toimintaa muokattiin työn edetessä. Lohkokaaviosuunnitelma on esitetty kuviossa 12. (Köppä 2008, 10.)



KUVIO 12. LabView-ohjelman lohkokaavio (Köppä 2008, 7)

Tiedonkeruuohjelman toteutus aloitettiin suunnitelman pohjalta tekemällä ensimmäisenä käyttöliittymäosa, joka on näkyvillä kun ohjelmaa ajetaan. Käyttöliittymäosa toteutettiin aluksi pääpiirteittäin ja se muokattiin viimeiseen muotoonsa vasta työn edetessä kohti loppua. Itse ohjelman toteutusosan rakentaminen oli vaativampi prosessi. Toteutusosaan liitettiin yksi aliohjelma, joka oli pölyindeksin laskemista varten. Kuviossa 13 on esitetty aliohjelman tarvittavat sisäänmenot pölyindeksin määrittämiseksi. (Köppä 2008, 10,20.)



KUVIO 13. Aliohjelma pölyindeksin määrittämiseen (Köppä 2008, 20)

Tiedonkeruuohjelman ajaminen toteutettiin käytännössä kahta eri rakennetta käyttäen. Rakenteina käytettiin while-silmukkaa ja Case-rakennetta. Tarkemmin ohjelmoinnin eri vaiheet on löydettävissä Sampsa Köpän opinnäytetyöstä. Opinnäytetyössä on kerrottu ohjelmistokehityksen lisäksi myös laitteiston testauksesta ja virheenkäsittelystä. (Köppä 2008, 10–11.)

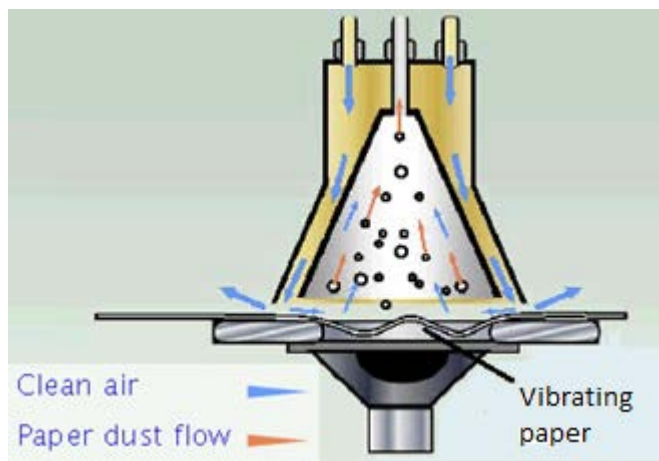
## **4.8 POLYTEST-projekti 2008**

POLYTEST-projektin kehitys jatkui vuoden 2008 aikana kahden opinnäytetyön voimin. Jani Kurran opinnäytetyössä jatkettiin edelleen hyväksi todetun akustisen pölynirrotusmenetelmän kehitystä ja soveltamista. Myös Samuli Tuhkalan opinnäytetyö liittyi akustiseen pölynirrotusmenetelmään, mutta työn painoarvo oli saatujen tulosten analysoinnissa.

Vuoden 2008 projektissa rakennettiin uusi laboratorioprototyyppi, jossa jälleen kehitystä ja pölynirrotusta testattiin. Tällä kertaa prototyypin rakentamisen perusteena olivat aikaisempien laboratorioprototyyppien akustinen pölynirrotusmenetelmä ja online-menetelmän kehityksessä testattu laitteisto. Uuden ABA 1 - prototyypin perusidea noudatti siis projektin aikaisempia vaiheita, mutta laitteiston luotettavuutta ja tehokkuutta pölynirrotuksessa pyrittiin kehittämään. Uuden laboratorioprototyypin testaus oli vuoden 2008 aikana erittäin laajamittaista ja tuloksia saatiin monista eri testausmenetelmistä. (Kurra 2008, 16.)

### **4.8.1 ABA 1 – laitteiston kehitys ja testaus**

ABA 1 – laitteiston kehityksessä noudatettiin pitkälti online-menetelmän tutkimuksesta saatuja hyviä tuloksia. Pölyä irrotettiin edelleen akustisen pulssin avulla ja uusi laboratorioprototyyppi noudatti muutenkin pitkälti online-menetelmässä käytetyn laitteiston toimintaperiaatetta. Keräyskammiona laitteistossa käytettiin jo online-menetelmässä rakennettua kolmesta osasta koostunutta pölynkerääjää. ABA 1 – laitteiston pölynkerääjän toimintaperiaate on esitetty kuviossa 14. (Kurra 2008, 16–17.)



KUVIO 14. ABA – 1 laitteiston pölynkerääjän toimintaperiaate (Lilja 2009, 8, muokattu)

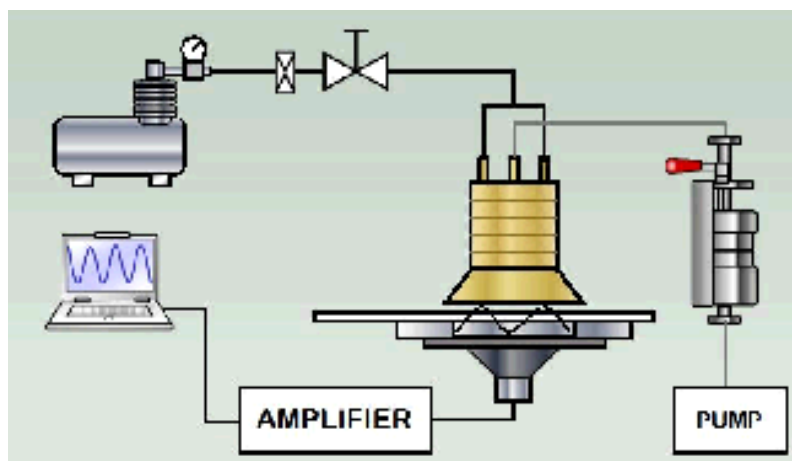
Rakennetun laboratorioprototyypin testausta suoritettiin monin tavoin sen luotettavuuden selvittämiseksi. Aikaisemmin käytössä olleet ELPI ja ARTI eivät tällä kertaa kuuluneet laitteiston testaukseen. Vuoden 2008 projektissa tuloksia analysoitiin jo aiemmin työssä esitellyn DustTrak-hiukkasmittalaitteen avulla. Uutena analysointilaitteena käytettiin lisäksi Dekati PM10-impaktoria, jonka keräämiä hiukkasia tutkittiin mikroskoopin avulla. (Kurra 2008, 21–22.)

#### 4.8.2 PM10-impaktori ja mikroskooppi tutkimukset

Vuoden 2008 aikana tutkittiin irronneen pölyaineksen koostumusta. Pölyainesta kerättiin talteen Dukatin PM10-impaktorin avulla. Impaktorin avulla saatiin lisäksi luokiteltua hiukkaset kolmeen eri kokoryhmään, joka helpotti jatkoanalysointia. Tavoitteena oli kerätä pölyä punnittava määrä eri tasoille, jotta saatiin vertailupohjaa DustTrakista saatuihin massatuloksiin. Toisena tavoitteena oli tutkia kerättyä materiaalia mikroskoopilla, jotta saatiin varmistettua, että irronneet hiukkaset ovat peräisin paperista. Samalla saatiin tietoa hiukkasten rakenteesta. (Kurra 2008, 34, 38, 43.)

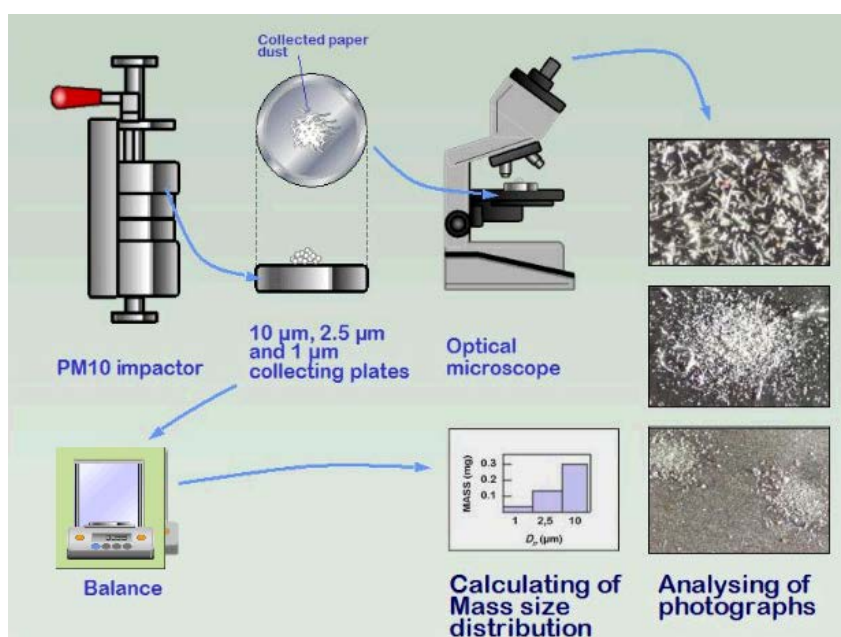
Punnitusten aluksi tuli ottaa huomioon, että PM10-impaktorin alumiiniset keräyslevyt oli rasvattu ennen mittausta, jotta hiukkaset saatiin tarttumaan niihin. Niinpä punnituksia tehtiin useita eri aikaväleillä, antaen rasvan kuivua samalla. Tällä menettelyllä pyrittiin rajaamaan rasvan liuottimen vaikutus punnitustuloksiin. (Kurra 2008, 33.)

Pölynkeräyksessä laitteiston parametrit säädettiin sopiviksi ja keräyskammioon johdetut hiukkaset johdettiin edelleen PM10-impaktoriin. Laitteistokokoonpano vastasi muutoin muita 2008 vuoden pölynirrotuskokeita, mutta DustTrakin sijaan käytettiin PM10-impaktoria. Pölynkeräyksen jälkeen tuloksia analysoitiin mikroskoopin avulla. Käytetty laitteistokokoonpano on esitetty kuviossa 15. (Kurra 2008, 34, 38.)



KUVIO 15. Kaaviokuva laitteistokokoonpanolle, jossa hiukkaset kerättiin PM10-impaktoriin (Lilja 2009, 18)

PM10-impaktorin keräysalustoille kerääntyneitä hiukkasia analysoitiin mittauksen jälkeen mikroskoopilla. Näin voitiin tutkia irronneita hiukkasia tarkemmin. Analyysiä helpotti se, että impaktori rajasi hiukkaset keräyksen aikana kokojakauman perusteella. Jatkoanalysoinnin vaiheet on esitetty kuviossa 16. (Kurra 2008, 38–43.)



KUVIO 16. Jatkoanalysointi PM10-impaktorin keräämille hiukkasille (Lilja 2009, 23)

PM10-impaktori ja mikroskooppi tutkimuksia voitiin pitää onnistuneina. Mikroskoopilla pystyttiin erottamaan irronneita kuituja, pienhiukkasia ja partikkeleita, jotka olivat tarttuneet PM10-impaktorin keräysalustoille. Myös punnitustuloksista saatiin lupaavia tuloksia, tosin punnitustulosten todettiin kaipaavan vielä lisäkokeita, jotta tulokset olisivat paremmin verrattavissa DustTrakin antamiin tuloksiin. (Kurra 2008, 43–46.)

#### 4.8.3 PM-10 impaktori

Dekati PM10-impaktori on hiukkaskeräin, jonka toiminta perustuu hiukkasten keräämiseen keräystasojille tietyllä mittausaikavälillä. Punnitsemalla keräystasojen alumiiniliuskat ennen ja jälkeen mittauksen, päästään lopputuloksiin. Dekati PM10-impaktorissa on yhden suodattimen sijasta useampia keräysasteita, joten sitä sanotaan kaskadi-impaktoriksi. Impaktorissa ilmavirtauksen suunta muuttuu jyrkästi keräyslevyjen yläpuolella. Tästä seuraa, että rajakokoa suuremmat hiukkaset eivät ehdi kääntymään virtauksen suuntaisesti vaan törmäävät keräysalustaan. Impaktori siis jakaa hiukkaset niiden aerodynaamisen koon perusteella ja eri keräysasteilla saadaan tietoa hiukkasten kokoja-kaumasta. Impaktori on esitetty kuvassa 7. (Lilja 2011, 9-11.)

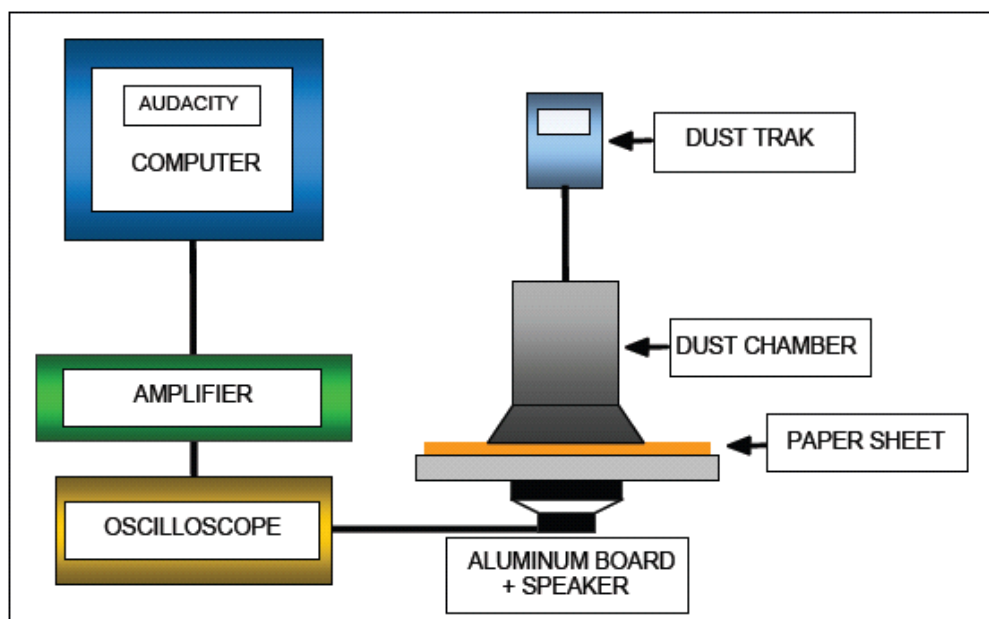


KUVA 7. Dekati PM10-impaktori

#### 4.8.4 Testausmenetelmät

Vuoden 2008 projektin aikana laitteistoa testattiin monin tavoin. Myös tuloksia analysoitiin monipuolisin keinoin. Testauksen aikana käytettiin eri paperinäytteitä, kuten aikaisemmankin kehityksen aikana. Pölynmittauksissa käytetty laitteistokokoonpano vastasi suurilta osin jo projektin aikana käytettyä mittausperiaatetta. Suurimpana erona aikaisempaan testaukseen oli DustTrak-hiukkasmittalaitteen käyttö. Myös pieniä rakennemuutoksia tehtiin online-versioon verrattuna, tämän vuoksi monet aikaisemmin tehdyt testit piti suorittaa uudestaan. (Tuhkala 2008, 12–15.)

Pölynmittauksissa käytettiin edelleen akustista pölynirrotusmenetelmää luodun signaalin avulla. Kaiuttimen muodostaman akustisen pulssin avulla pölyä irrotettiin paperin pinnalta, josta se johdettiin keräyskammion kautta analysointiin. Pölynirrotukseen ja –mittaukseen käytetyn menetelmän periaate on esitetty kuviossa 17. (Tuhkala 2008, 12–13.)



KUVIO 17. Pölynmittausmenetelmä (Tuhkala 2008, 13)

#### 4.8.5 Esimittaukset

Testien aikana kiinnitettiin huomiota lukuisiin seikkoihin paperin pölyävyydessä ja laitteiston kehityksessä. Esimittauksissa painoarvoa annettiin erityisesti mittauksen nollata-

son saavuttamiselle. Nollatasoon pyrittiin johdetun puhdasilmavirtauksen avulla, jotta huonepölyn vaikutukset tuloksiin saataisiin rajattua ulos. Nollataso mittaukset onnistuivat laitteistolla hyvin ja nollataso jäi saavuttamatta ainoastaan kun ilmavirtausta ei johdettu ollenkaan mittauksen aikana. (Tuhkala 2008, 19–21.)

Esimittausten aikana tutkittiin myös resonanssimittauksia, jotta saatiin selvitettyä resonanssitaajuuksien vaikutus paperin täristykseen. Testausta suoritettiin laitteistokokoonpanon eri muunnoksilla, muun muassa osa mittauksista suoritettiin ilman keräyskammiota. Mittauksissa käytettiin apuna myös äänitasomittaria. Resonanssimittausten aikana ääniraidalta syötettiin mittaukseen eri taajuisia äänipulsseja 50 – 300 Hz:n väliltä. Lopulta todettiin, että mittauslaitteiston resonanssilla oli vain pieni vaikutus paperin amplitudiin. (Tuhkala 2008, 21–24.)

#### **4.8.6 Taajuusmittaukset**

Taajuusmittauksilla pyrittiin tutkimaan eri taajuuksia pölynirrotuksessa ja löytämään optimaalisin taajuusalue irrotusta varten. Taajuusmittauksissa käytettiin aluksi taajuuksia 100 – 300 Hz:n väliltä käyttäen 25 Hz:n intervaleja. Seuraavassa vaiheessa siirryttiin ääniraidan käyttöön. Ääniraita kattoi taajuudet 50 – 300 Hz:n väliltä ja sen kesto oli 25 sekuntia. Näin rajattiin taajuuksia kohti mahdollista optimaalisinta taajuutta, jotta taajuusmittausten viimeisessä vaiheessa voitiin keskittyä optimaalisen taajuuden etsintään pienemmältä taajuus-alueelta. Lopulta testattiin myös muitakin taajuuksia väliltä 55 – 210 Hz. (Tuhkala 2008, 24–27.)

Taajuusmittausten aluksi koko laitteisto puhdistettiin ja luotiin tarvittava ääniraita käyttäen Audacity-ohjelmaa. Tulosten käsittelyssä käytettiin DustTrak-hiukkasmittalaitetta ja tietokonetta. Mittaukset toistettiin kolmeen kertaan luotettavuuden saamiseksi ja lopulta saatuja tuloksia tutkittiin pölynirtoamisen kannalta. (Tuhkala 2008, 25.)

Tulosten vahvistamiseksi taajuusmittauksia kokeiltiin vielä toisen paperilaadun näytteillä. Tulosten vertailussa todettiin, että jotkin taajuudet irrottavat pölyä eri näytteistä eri tehokkuudella. Silti mittaukset osoittivat, että tehokkain taajuus pölynirrotukseen oli suurin piirtein sama kuin ensimmäisissä mittauksissa. (Tuhkala 2008, 30–33.)

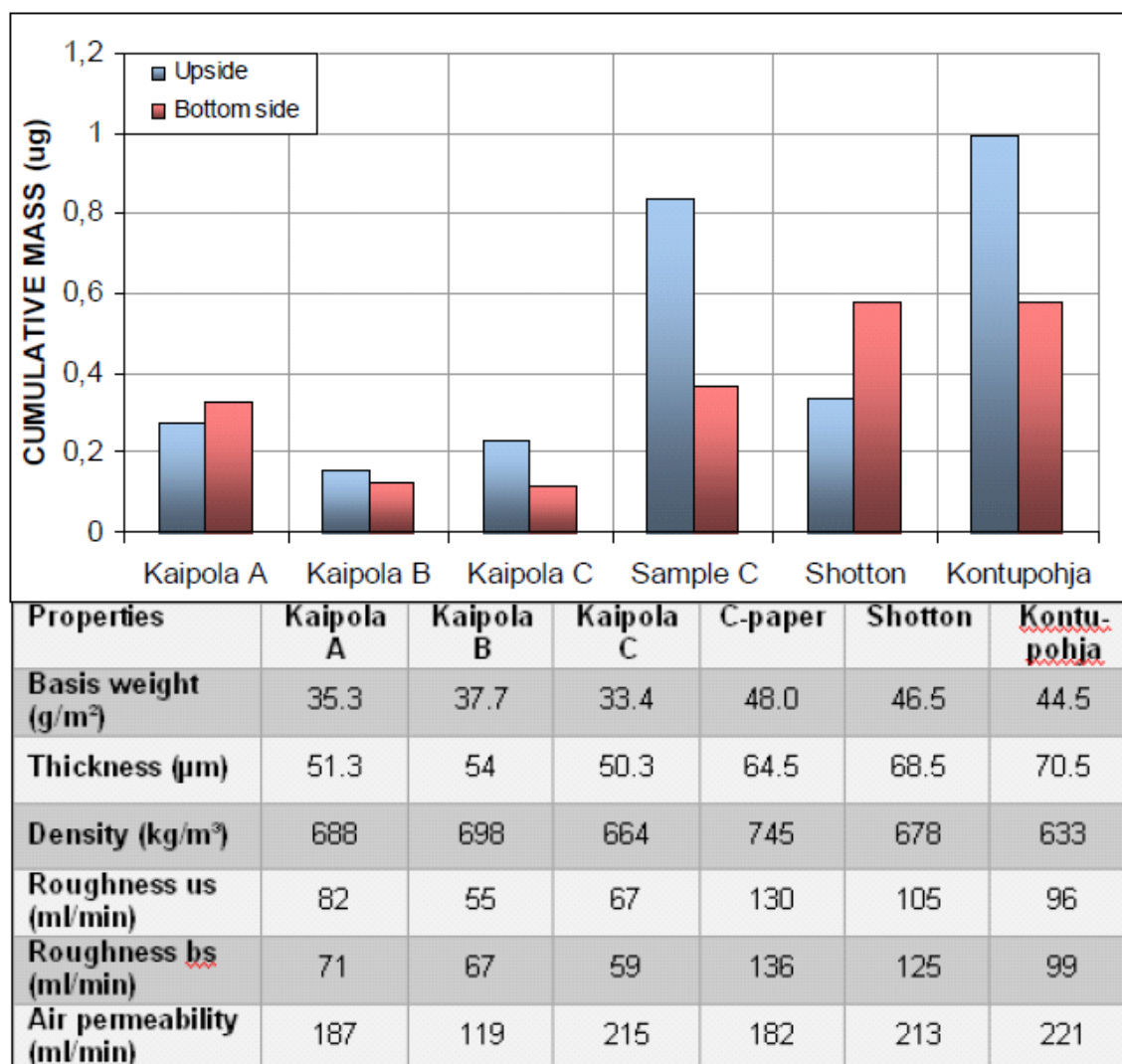


Taajuuksien tutkimisen jälkeen testattiin vielä painovoiman vaikutusta saatuihin mittatuloksiin. Mittauksissa laitteisto käännettiin ylösalaisin, mutta siitä aiheutui ongelmia, kun painovoima veti näytepaperin kauemmas kaiuttimesta. Näin ollen tulokset jäivät pienemmiksi kuin aikaisemmissa mittauksissa. Menetelmää päätettiin kuitenkin kehittää vielä jatkossa. (Tuhkala 2008, 33-35.)

#### **4.8.7 Pölyävyysmittaukset**

Taajuusmittausten jälkeen aloitettiin pölyävyysmittaukset eri paperinäytteille. Yhteensä työssä käytettiin kuutta erilaista paperia mittauksissa. Mittaukset suoritettiin laitteiston peruskokoonpanolla käyttäen taajuutta 120 Hz, joka johdettiin kaiuttimeen 5 sekuntia kestäneinä sykäyksinä. (Tuhkala 2008, 35.)

Pölyävyysmittausten tulosten analysoinnissa huomattiin, että paperilaatujen mitattu pölyävyys vaihteli suuresti toisistaan, mikä ei sinänsä ollut yllättävää. Mittauksista kuitenkin huomattiin myös, että eri paperilaatujen ominaisuudet eivät suoranaisesti liittyneet saatuihin pölyävyystuloksiin. Kuviossa 18 on esitetty pölyävyysmittausten tulokset eri paperilaaduille, sekä paperilaatujen eri ominaisuudet. (Tuhkala 2008, 36–37.)



KUVIO 18. Pölyävyystulokset ja eri paperilaatujen ominaisuudet (Tuhkala 2008, 37)

#### 4.8.8 Paperin amplitudimittaukset

Paperin amplitudimittauksilla pyrittiin projektissa tutkimaan korrelaatiota paperipölyn irtoamisen ja paperin amplitudin välillä eri taajuuksia käyttäen. Mittauksissa laitteistosta poistettiin pölynkerääjä ja kaiuttimelle syötettiin Audacity-ohjelman avulla taajuuksia laajalla vaihteluvälillä. Valmisteluissa jokaiseen paperinäytteeseen piirrettiin mustia viivoja noin yhden senttimetrin etäisyydelle toisistaan. Näin pyrittiin helpottamaan paperin amplitudin tutkimista. Analysointi perustui videokuvaan paperin käyttäytymisestä mittauksen aikana. Tallennettua videokuvaä tutkittiin mittauksen jälkeen tietokoneella. Mittauksia suoritettiin erilaisia, joissa jokaisessa mittausjärjestelyä muokattiin hieman. Ensimmäisessä mittauksessa paperinäytteen toinen pääty kiinnitettiin ja toisen päädyn annettiin olla vapaana. Toisessa mittauksessa paperinäyte sijoitettiin alumiinilevyn ja

pyöreän muovilevyn välissä olleeseen 0,3 millimetrin rakoon. Levyissä oli lisäksi keräyskammion halkaisijaa vastaava reikä. Toisessa mittauksessa paperin kumpikin pääty pidettiin paikoillaan. Kolmannessa mittauksessa näytepaperi pidettiin paikoillaan puulevyn avulla. Puulevyssä oli myös reikä, joka tällä kertaa oli hieman pienempi kuin keräyskammion halkaisija. Mittaustapa kaikissa mittauksissa oli kuitenkin sama. (Tuhkala 2008, 38–42.)

Jokaisen mittauksen tuloksista muodostettiin Excel-kuvaajia paperin amplitudin ja käytetyn taajuuden suhteen. Kuvaajia muodostettiin myös käytetyn taajuuden ja kumulatiivisesti kertyneen massan suhteelle. Näin tutkimukselle saatiin laajat tulokset. (Tuhkala 2008, 42–48.)

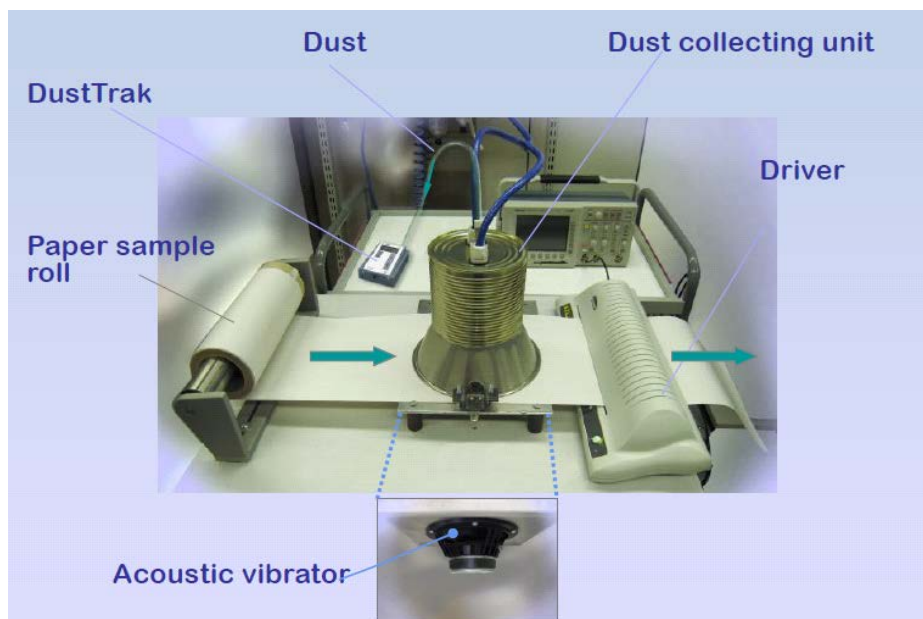
#### **4.8.9 Mustetestit**

Mustetestien avulla jatkettiin pölyävyyden tutkimista uuden laboratorioprototyypin avulla. Mustetestien tavoitteena oli saada tietoa partikkelien irtoamisesta paperin pinnasta. Lähinnä huomiota kiinnitettiin siihen, että mistä kohtaa näytepaperia partikkeleita irtoaa mittausten aikana. Mittauksissa käytettiin perus laitekoonpanoa ilman pölynkerääjää. (Tuhkala 2008, 48.)

Testeissä paperinäyte asetettiin jälleen alumiinilevyn ja pyöreän muovilevyn väliseen rakoon, jonka suuruus säädettiin 0,3 millimetriksi. Testit perustuivat paperin pinnalle levitettyyn mustejauheeseen, joka imettiin testin aikana varovasti imuriin. Näin pyrittiin imitoimaan paperipölyn irtoamista mittausten aikana. Testeissä kaiutinkomponentille johdettiin signaaleja 120 Hz:n taajuudella. Mittaukset tallennettiin videokameralla, jotta testejä voitiin tutkia myös jälkikäteen. (Tuhkala 2008, 48–50.)

#### **4.8.10 Prototyyppi paperinkuljettimesta**

Vuoden 2008 projektin yhteydessä rakennettiin myös prototyyppi paperinkuljettimesta. Tavoitteena oli simuloida paperin mittaustilannetta paperitehtaalla. Luotettavan paperinkuljettimen kehitys helpottaisi myös testausta koulun laboratoriossa. Rakennettu paperinkuljetin-prototyyppi eri komponentteineen on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Prototyyppi paperinkuljettimesta (Lilja 2009, 11)

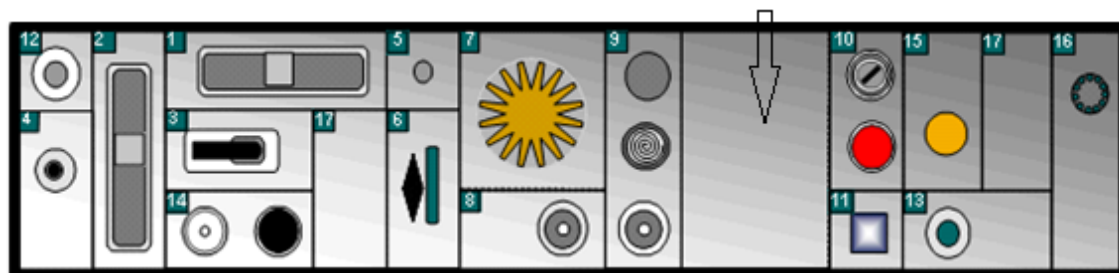
Paperinkuljetin-prototyypille tehtiin myös testauksia projektin aikana. Tuloksia verrattiin laboratorioprototyypin mittausten menetelmästä saatuihin tuloksiin, jotta paperinkuljetimen toimintaa voitiin analysoida. Mittausten tulokset osoittautuivat huomattavasti pienemmiksi kuin pelkän laboratorioprototyypin mittauksista saadut tulokset. Tuloksien erilaisuuteen saattoi vaikuttaa moni asia mutta projektin aikana todettiin, että paperinkuljettimesta rakennettu prototyyppi oli vasta ensimmäinen vedos ja aihe vaatii vielä tutkimista ja uusien prototyyppien rakentamista ennen kuin sen toiminta voidaan todeta luotettavaksi. (Tuhkala 2008, 50–52.)

#### 4.8.11 Laitteiston mahdolliset sijoituspaikat

Vuoden 2008 aikana suoritettujen mittausten jälkeen pohdittiin myös valmiin laitteiston mahdollista sijoituspaikkaa. Laitteiston sijoituspaikoista mietittiin erityisesti Metso PaperLab-laaduntestaajaa ja TAPIO-analysointilaitetta. Molemmat laitteistot on kehitetty paperin eri ominaisuuksien analysointiin ja siten myös POLYTEST-projektin aikana rakennettu prototyyppi sopii samaan kategoriaan. (Kurra 2008, 42–47.)

Metso PaperLab-laaduntestaaja on kehitetty paperin laadun testausta varten. Laitteisto on laajamittaisessa käytössä paperitehtailla ympäri maailmaa. Laitteisto mahdollistaa monien paperin tärkeiden ominaisuuksien mittauksen lyhyessä ajassa, jolloin laitteen käyttäjä saa jatkuvasti tärkeää tietoa prosessista. Paperin pölyävyyden mittalaitteisto

sopisi Metso PaperLabin moninaisten sovellusten joukkoon. Tällöin rakennetun laitteiston tulisi olla pienikokoinen, jotta se sopisi PaperLabin lisäsovellukseksi. Kuva Metso PaperLabin laitteistosta sovelluksineen on esitetty kuviossa 19. Kuvioon on myös nuolella merkitty POLYTEST-projektin valmiin laitteiston mahdollinen sijoituspaikka. Taulukossa 4 on esitetty laitteiston sisältämät paperin analysointisovellukset. (Kurra 2008, 42–45.)



KUVIO 19. Metso PaperLab-laitteiston komponentit paperin analysointiin (Lilja 2009, 36)

TAULUKKO 4. Metso PaperLabin analysointisovellukset paperille (Lilja 2009, 36)

1. Tensile-CD	7. Tensile Stiffnes Orientation	13. Porosity-G
2. Tensile-MD	8. Porosity-B	14. Smoothness -
3. Tear-CD	9. Smoothness/Porosity-Oken	15. Multi-Filler
4. Basic Weight	10. Smoothness-PPS	16. Optical Module
5. Caliper	11. Formation	17. Empty
6. Gloss	12. Burst	

Toisena mahdollisena sijoituspaikkana pohdittiin TAPIO Technologies-yhtiön kehittämää TAPIO-analysointilaitetta. Laitteisto perustuu myös paperin analysointiin ja siitä saatavista tiedoista saadaan apua paperin laatu- ja ajettavuus ongelmiin paperikoneilla. Myös TAPIO-laitteisto on käytössä monissa paperitehtaissa ympäri maailmaa. Mahdollinen laitteiston sijoituspaikka TAPIO-analysointilaitteessa on esitetty kuvassa 9. (Kurra 2008, 45–47.)



KUVA 9. Pölynkeräysyksikön mahdollinen sijoituspaikka TAPIO-laitteistossa (Lilja 2009, 38)

#### 4.9 POLYTEST-projekti 2011

Viimeisin POLYTEST-projektiin liittyvä opinnäytetyö valmistui vuonna 2011. Paperitekniiikan opiskelija Emmi Olssonin aiheena oli paperin z-suuntaisen rakenteen tutkiminen. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Tampereen ammattikorkeakoulun laboratorioon kylmälaminointi- ja palstausmenetelmä, joten aihe ei varsinaisesti kuulunut POLYTEST-projektin alaisuuteen. (Olsson 2011, 5.)

Aihe kuitenkin sivusi myös POLYTEST-projektia, sillä työn aikana tutkittiin menetelmän soveltuvuutta eri paperilaaduille. Työn aikana myös analysoitiin jonkin verran näytteitä skanneria käyttäen, mikä liittyy olennaisesti POLYTEST-projektin vaiheisiin. Kuvista tehtiin johtopäätöksiä varsinkin paperin kuitukerroksiin ja kuitusuuntiin liittyen. Paperin rakenteelliset seikat ovat olennaisia myös paperinpölyävyys-tutkimuksiin liittyen. Tarkemmat vaiheet vuoden 2011 opinnäytetyöstä on löydettävissä Emmi Olssonin kirjoittamasta opinnäytetyöstä. Työssä on esitetty myös skannattuja kuvia paperinäytteistä analyysineen. (Olsson 2011, 32–35.)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

POLYTEST-projektin kehitys eteni Tampereen ammattikorkeakoulussa vuosien 2006–2008 aikana hyvällä tahdilla. Opinnäytetöiden tekijöitä oli lähes 10, jonka johdosta myös projektia saatiin edistetyksi laajamittaisesti. Projektin aikana tehty laitteistokehitys on lukuisten prototyyppien ansiosta edennyt hyvin, ja pölynirrotukseen käytetty akustinen menetelmä voidaan todeta jo tässä vaiheessa erittäin lupaavaksi. Myös prototyyppien testaus ja mittaustulosten analysointi on ollut projektin aikana monipuolista. Tuloksia on analysoitu eri menetelmillä, minkä vuoksi on samalla saatu paljon tietoa pölynmittaukseen sopivan laitteiston käytöstä. Pienhiukkasanalysaattorit ovat osoittaneet mahdollisiksi menetelmiksi pölyn analysointiin, joskin kehitettävää projektin kannalta vielä riittää, ennen kuin menetelmät voidaan todeta riittävän luotettaviksi ja soveltuviksi pölyävyysmittauksiin.

Projektin kannalta erittäin merkittävänä voidaan pitää viimeisimmän laboratoriprototyypin onnistunutta kehitystä. Myös hiukkasten kuvantaminen ja tutkimukset PM10-impaktorin avulla osoittautuivat hyödyllisiksi. Edelleen projektin kannalta oleellinen osa-alue on reaaliaikaisen online-menetelmän kehitys. Menetelmälle on jo tehty projektin aikana kehitystyötä ja laboratoriprototyyppien kehityksen myötä myös online-menetelmän tutkiminen on edistynyt. Myös vuosien aikana kertynyt tietomäärä paperin pölyävyystä ja mittauslaitteistoista projektissa on auttanut jatkokehityksen suunnittelussa.

Projektin laitteistokehityksen onnistumisesta kertoo osaltaan ensimmäisen patentin saaminen akustiselle pölynirrotusmenetelmälle. Asiat laitteistokehityksessä ovat edenneet oikeaan suuntaan, ja parannusten avulla prototyyppien luotettavuus on parantunut. Projektin jatkokehityksestä haettu toinen patentti on edelleen käsittelyssä.

Projektin kehitys on viime vuosien aikana ollut hitaampaa kuin alkuvuosina. Osittain ongelmana on ollut resurssien vähäisyys. Lisäresursseilla projektin suunnitteluun saataisiin lisää aikaa. Myös projektin vetovoima opiskelijoita kohtaan suurenisi varmasti, mikäli tehdystä työstä voitaisiin palkita stipendein. Näin projektin kehitystä saataisiin edistettyä myös valmistuvien insinöörien voimin, ja projektin etenemisvauhti saataisiin alkuvuosien tasolle, mikä on projektin kehityksen kannalta erittäin tärkeää.

## LÄHTEET

Aittamaa, T. 2007. Development of laboratory device for linting and dusting measurement in the POLYTEST-project. Paperitekniiikan koulutusohjelma. International Pulp and Paper Technology. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Haapaniemi, A. 2007. On-line mittalaitteen kehittäminen paperin pölyävyyden mittaamiseen POLYTEST-hankkeessa. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Haaramo, A. 2010. Pölynmittalaite LPA ja sanomalehti- ja luettelopaperin pölyäminen. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Heinilä, J. 2007. A comparison of paper linting and dusting measurement methods used in the POLYTEST-project. Paperitekniiikan koulutusohjelma International Pulp and Paper Technology. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kuosmanen, A. 2006. Measuring of paper linting by IGT Fluff test. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kurra, J. 2008. Development and application of acoustic air flow paper dust measuring device in the POLYTEST-project. Paperitekniiikan koulutusohjelma. International Pulp and Paper Technology. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Köppä, S. 2008. LabView-alustalla toteutettu tiedonkeruuohjelma TSI DustTrak 8520-mittalaitteelle. Tietotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Leach, R. H. & Pierce, R. J. 1999. The Printing Ink Manual. Fifth edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Levlin, J-E. & Söderhjelm, L. 1999. Papermaking Science and Technology: Pulp and Paper Testing. Jyväskylä: Gummerus Printing.

Lilja, J. 2009. POLYTEST-projekti. Powerpoint-esitelmä projektista.

Lilja, J. 2011. Pienhiukkasten mittaus. Johdatus fysikaalisiin ympäristömittauksiin. Kurssimateriaali.

Oittinen, P. & Saarelma, H. 2009. Papermaking Science and Technology: Print Media – Principles, Processes and Quality. Second edition. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Olsson, E. 2011. Paperin z-suuntaisen rakenteen laminointimenetelmällä. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Paperitekniiikan suuntautumisvaihtoehto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Suomen Patentti- ja Rekisterihallitus. 2011. Patenttihakemus. Luettu 17.4.2012.

[http://patent.prh.fi/patinfo/public-](http://patent.prh.fi/patinfo/public-docs.jsp?HakemusParam=20085588&NroParam=X418213&NID=&offset=0&Inx=1&P=T&PN=121802&LJ=OK&PD=20091214&ki=B)

[docs.jsp?HakemusParam=20085588&NroParam=X418213&NID=&offset=0&Inx=1&P=T&PN=121802&LJ=OK&PD=20091214&ki=B](http://patent.prh.fi/patinfo/public-docs.jsp?HakemusParam=20085588&NroParam=X418213&NID=&offset=0&Inx=1&P=T&PN=121802&LJ=OK&PD=20091214&ki=B)



Tuhkala, S. 2008. Collecting and analysing paper dust by acoustic air flow measurement device in the POLYTEST-project. Paperitekniiikan koulutusohjelma. International Pulp and Paper Technology. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.