

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Henri Dyster

**VAIHTOEHTOISEN KALIBROINTIMALLIN MÄÄRITTELY MITTA-  
PALKKIEN NELIÖMASSA- JA KOSTEUSANTUREILLE**

Työn valvoja:  
Työn teettäjä:  
Tampere 2007

DI Mikko Numminen, Tampereen AMK  
UPM, Kajaani, ohjaajana DI Janne Haltamo

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka

Henri Dyster

Tutkintotyö

Työn valvoja

Työn ohjaaja

Elokuu 2007

Hakusanat

Vaihtoehtoisen kalibrointimallin määrittely mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureille

87 sivua, 16 kuvaa, 16 taulukkoa ja 14 liitesivua

DI Mikko Numminen, Tampereen AMK

DI Janne Haltamo, UPM, Kajaani

Kalibrointi, virittäminen, toistuvuus, laatumittaukset, jatkuvatoimiset mittaukset.

## TIIVISTELMÄ

Työssä keskityttiin tutkimaan UPM:n, Kajaanin paperitehtaan, kahden eri tuotantolinjan mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden kalibrointi- ja virityskäytäntöä. Työn tavoitteena oli selvittää, tehdäänkö antureiden kalibroinnissa tai virittämisessä päällekkäisiä toimenpiteitä, joita voitaisiin jättää pois.

Työn teoriaosassa esitettiin mittapalkkien ja niiden neliömassa- ja kosteusantureiden toimintaperiaatteet sekä kalibrointi- ja viritysmenetelmät. Lisäksi teoriaosassa esitettiin online-antureiden ja kalibrointimenetelmien mittausepävarmuuksiin ja edustavuuteen liittyviä käsitteitä.

Kokeellisessa osassa selvitettiin laskennallisesti vakionäyteseurannan ja laboratorion tekemän kalibroinnin suorituskyvyt sekä tutkittiin tilastollisesti, miten hyvin pakattua neliömassaa voidaan hyödyntää neliömassa-anturin kalibroinnissa. Jotta kalibrointimenetelmien tarkastelu saatiin mahdollisimman kattavaksi, tehtiin tilastollisten tarkastelun jälkeen jokaisesta menetelmästä SWOT-analyysi, jonka avulla tarkastelu tehtiin käytännön kannalta katsottuna.

Tulokset osoittivat, että nykymallin kalibrointikäytäntöä voidaan kehittää niin, että antureiden kalibrointia voidaan tehdä entistä pienemmällä työmäärällä kalibroinnin mittausepävarmuuden kasvamatta. Tulosten perusteella tehtiin esitys kolmen eritilanteen kalibrointikäytännöstä, joista selviää tehtävät työt.

# TAMPERE POLYTECHNIC

Electrical Engineering

Henri Dyster

Alternative calibration model's definition for basis weight and humidity sensors of measurement frames

Engineering Thesis

87 pages, 16 pictures, 16 tabels and 14 appendices

Thesis Supervisor

DI Mikko Numminen, Tampereen AMK

Instructor

DI Janne Haltamo, UPM, Kajaani

August 2007

Keywords

Calibration, adjustment, repeatedly, quality measurements, online-measurements.

## ABSTRACT

The work concentrated to research UPM's, Kajaani paper factory's, two different production line's measurement frames. It researched calibration and adjustment practices of the measurement frames basis weight and humidity sensors. The aim of the work was to clarify if there is some overlapped actions done in the calibration or adjustment that can be left out.

In the theory part of the work the basis weight and humidity sensor's operational principles and calibration and adjustment methods of the measurement frames were introduced. The concepts related to the online-measuring beam's inaccuracy of measurements and representativeness were also introduced in the theory part.

In the experimental part of the work constant sample follow-up and the laboratory's produced calibration efficiency were introduced calculatorily. It was also researched statistically how well can packed basis weight be used in the calibration of the basis weight sensor. For the contemplation to be as extensive as possible, there was a SWOT-analysis done after every statistical contemplation, which let the contemplation to be done from the practical point of view.

As a consequence can be find that the present-day calibrating practise can be developed so that the measurement frames calibration can be done in a smaller amount of work with out the uncertainty of measuring growing. Based on the consequence there was made a presentation of three different situations of calibration practices, were the work to be done is shown.

## ALKUSANAT

Tutkintotyön aiheen sain automaatioinsinööri Janne Haltamolta. Hän toimi työni ohjaajana ja ansaitsee kiitokset työn rajaamisesta ja neuvoista. Suuren kiitoksen ansaitsevat automaatiopuolen päällikkö Jyrki Auvinen sekä automaatiopuolen työjohto ja asentajat, jotka auttoivat työn loppuun saattamisessa. Haluan kiittää laboratoriontyöntekijöitä. Kiitokset ansaitsevat tehtaan kehityspuolelta Tapani Kangas ja JMK Instruments Oy:n Juha Kangasrääsiö, jotka antoivat hyviä neuvoja työhön.

Suuren kiitoksen ansaitsevat myös työn valvojana toiminut Mikko Numminen ja äidinkielenopettaja Markku Nyman Tampereen Ammattikorkeakoulusta.

Haluan kiittää vanhempiani ja Johanna, jotka jaksoivat kannustaa lopputyön tekemisessä ja opintojen suorittamisessa. Näin yksi vaihe on avullanne saatu päätökseen.

Tampere 8.8.2007

Henri Dyster

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

<b>SISÄLLYSLUETTELO .....</b>	<b>5</b>
<b>SYMBOLI JA LYHENNELUETTELO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 JOHDANTO .....</b>	<b>9</b>
2.1 Työn taustatietoa.....	9
2.2 Työn rajaaminen ja asetetut tavoitteet.....	9
2.3 UPM, Kajaanin paperitehdas.....	11
<b>3 LAATUSUUREIDEN MITTAAMINEN PAPERISTA .....</b>	<b>11</b>
3.1 Online-mittaukset.....	12
3.1.1 Neliömassa-anturit .....	14
3.1.2 Neliömassa-anturin standardointi.....	15
3.1.3 Kosteusanturit .....	16
3.1.4 Kosteusanturin standardointi.....	17
3.2 Offline-mittaukset.....	18
<b>4 KALIBROINTI.....</b>	<b>19</b>
4.1 Kenttäkalibrointi .....	20
4.1.1 PRECICAL-neliömassareferenssit .....	21
4.1.2 PRECICAL-kosteusreferenssit.....	22
4.1.3 Neliömassa-anturin peruskalibrointi.....	22
4.1.4 Neliömassa-anturin tuotteittainen kalibrointi .....	23
4.1.5 Kosteusanturin kalibrointi .....	24
4.1.6 Antureiden toistuvuuskoe.....	24
4.1.7 Kenttäkalibroinnista saatavat dokumentit.....	24
4.2 Antureiden vakionäyteseuranta .....	25
4.2.1 Vakionäytteiden seurantamenetelmät.....	26
4.2.2 Vakionäyteseurannan tekeminen.....	26
4.3 Laboratorion kalibrointikäytäntö.....	28
4.3.1 Laboratorion näytteenotto kalibrointia varten.....	29
4.3.2 Paperin kuivamassan määrittäminen .....	30
4.3.3 Paperin kosteusprosentin määrittäminen .....	31
4.3.4 Paperin neliömassan määrittäminen .....	32

4.4	Kalibrointi pakatun neliömassan avulla .....	32
4.4.1	Pakatun neliömassan muodostuminen TIPS-järjestelmään.....	33
4.4.2	Kosteuskompensointi paperikoneen asetusarvon avulla.....	34
4.4.3	Kuitukorjaus.....	35
4.4.4	Kosteuskorjaus.....	35
<b>5</b>	<b>ANTUREIDEN VIRITTÄMINEN.....</b>	<b>35</b>
5.1	Antureiden perusvirittäminen.....	36
5.2	Lajivirittäminen.....	38
5.2.1	Lajivirittäminen kenttäkalibroinnin tulosten perusteella.....	39
5.2.2	Lajivirittäminen laboratorion tekemän kalibroinnin tulosten perusteella.....	39
<b>6</b>	<b>KALIBROINNIN MITTAUSEPÄVARMUUDEN MÄÄRITTÄMINEN.....</b>	<b>40</b>
6.1	Seurantamenetelmän luonnetta kuvaavat tunnusluvut.....	40
6.2	Online-mittauksen epävarmuus ja edustavuus.....	42
6.3	Kenttäkalibroinnin epävarmuus ja edustavuus .....	43
6.4	Vakionäyteseurannan epävarmuus ja edustavuus.....	45
6.5	Laboratorion tekemän kalibroinnin epävarmuus ja edustavuus.....	45
6.6	Pakatun neliömassan avulla kalibroinnin epävarmuus ja edustavuus .....	46
<b>7</b>	<b>KALIBROINTIMENETELMIEN TILASTOLLINEN TARKASTELU.....</b>	<b>47</b>
7.1	Vakionäyteseurannan ja laboratorion tekemän kalibroinnin suorituskyvyt .....	47
7.1.1	Kalibrointimenetelmien mittaushistoriat .....	48
7.1.2	Tunnuslukujen laskenta.....	50
7.1.3	Laboratorion tekemän kalibroinnin tulosten analysointi.....	52
7.1.4	Vakionäyteseurannan tulosten analysointi.....	54
7.2	Pakatun ja online-neliömassan yhtäpitävyyden tarkastelu tilastollisesti.....	56
7.2.1	Tilastollisten tunnuslukujen laskenta.....	56
7.2.2	Pakatun ja online-neliömassan yhtäpitävyyden analysointi .....	59
<b>8</b>	<b>KALIBROINTIMENETELMIEN TARKASTELU KÄYTÄNNÖSSÄ.....</b>	<b>60</b>
8.1	Kenttäkalibroinnin käytännön tarkastelu.....	61
8.1.1	Vahvuudet.....	62
8.1.2	Heikkoudet.....	63
8.1.3	Mahdollisuudet.....	63
8.1.4	Uhat.....	64
8.2	Vakionäyteseurannan käytännön tarkastelu .....	64
8.2.1	Vahvuudet.....	65

8.2.2	Heikkoudet.....	66
8.2.3	Mahdollisuudet.....	66
8.2.4	Uhat.....	67
8.3	Laboratorion tekemän kalibroinnin käytännön tarkastelu.....	68
8.3.1	Vahvuudet.....	68
8.3.2	Heikkoudet.....	69
8.3.3	Mahdollisuudet.....	71
8.3.4	Uhat.....	71
8.4	Pakatun neliömassan hyödyntäminen neliömassa-anturin kalibroinnissa.....	72
8.4.1	Vahvuudet.....	72
8.4.2	Heikkoudet.....	73
8.4.3	Mahdollisuudet.....	73
8.4.4	Uhat.....	74
<b>9</b>	<b>VAIHTOETOINEN KALIBROINTIKÄYTÄNTÖ.....</b>	<b>74</b>
9.1	Normaalitilanteessa tehtävät työt .....	74
9.2	Häiriötilanteessa tehtävät työt .....	77
9.3	Uuden lajin tilanteessa tehtävät työt.....	78
<b>10</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>80</b>
<b>11</b>	<b>EHDOTUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI.....</b>	<b>81</b>
	<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>83</b>

**SYMBOLI JA LYHENNELUETTELO**

AVR	alavaroitusraja
CD	poikkisuuntainen (Cross Direction)
EA	yhteistyöjärjestö (European co-operation for Accreditation)
GW	kivihionnalla valmistettu massa
IR	infrapunavalo
MD	koneensuuntainen (Machine Direction)
MFS	erikoissanomalehtipaperi (Machine Finished Speciality)
NEWS	sanomalehtipaperi
OSKU	osto- ja kunnossapitojärjestelmä
PGW	painehionnalla valmistettu massa (Pressure Groundwood Pulp)
PK	paperikone
PL	pituusleikkuri
RPL	rullapakkauslinja
SC	päällystämätön aikakausilehtipaperi
SC1	superkalanteri 1
SC2	superkalanteri 2
SPC	tilastollinen prosessinohjaus (Statistical Process Control)
STAB	vakionäyteseurainta varten tehty laji
TD	luettelopaperi (Telephone Directory)
TMP	kuumahierre (Thermomechanical pulp)
TIPS	Tiedonkeruujärjestelmä (TietoEnator Integrated Paper Solution)
URK	uudelleenrullauskone
VIB	välikostutin
YVR	ylävaroitusraja

## **1 JOHDANTO**

### **1.1 Työn taustatietoa**

Nykyaikaisessa paperinvalmistuksessa tuotteen laatua pyritään valvomaan ja säätämään prosessin käynnin aikana jatkuvatoimisten mittausten avulla. Paperin laatuureiden mittaukset ja säädöt ovat yhtenä tärkeänä osana laatujärjestelmää. Kun paperilajien laatuvaatimuksia jatkuvasti lisätään, nousee paperikoneen laadunsäätöjärjestelmä entistä tärkeämpään asemaan. Koska online-laatumittauksia käytetään usein paperikoneen säätöjärjestelmän ohjaustietoina, näkyy mittausepävarmuus myös säädön vastaavana epämääräisyytenä. Paperikoneen säädön epämääräisyys taas aiheuttaa epämääräisyyttä raaka-aineiden ja energiankäytössä tuotantolinjalla. Tehokas säätö vaatii tarkat mittaukset ja mittausten oikeellisuutta on siten kyettävä seuraamaan luotettavasti ja tehokkaasti, koska todellista arvoa mittauksella on vasta silloin, kun siihen voidaan todistettavasti luottaa.

### **1.2 Työn rajaaminen ja asetetut tavoitteet**

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan UPM:n, Kajaanin paperitehtaan kahden paperikoneen, PK2:n ja PK3:n, Honeywell Oy:n toimittamien mittapalkkien jatkuvatoimisten antureiden kalibrointimenetelmiä ja virityskäytäntöä. Molemmilla paperikoneilla käytetään paperin online-laatumittauksissa Da Vinci-mittaraameja. Koska PK2:lla valmistetaan päällystämätöntä aikakauslehtipaperia (SC), käytetään mittauksissa Da Vincin lisäksi Lippke-mittapalkkia ja kahta Metson toimittamaa mittaraamia. Työ rajattiin koskemaan Honeywellin toimittamien mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureita.

Nykymallin mukaan PK2:n ja PK3:n mittaraamien neliömassa- ja kosteusantureiden mittausten pysyvyyttä seurataan säännöllisin väliajoin vakionäyteseurannan, laboratorion tekemän kalibroinnin ja anturin koko mittausalueen kattavan kalibroinnin avulla. Lisäksi PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin kalibrointia tehdään pakkaamossa sijaitsevan rullavaa'an avulla, jonka mittaustuloksia käytetään apuna, kun konerullalle lasketaan pakkauksen jälkeen neliömassa. Pakkauksen jälkeen laskutusta neliömassasta käytetään nimitystä pakattu neliömassa.

Antureiden vakionäyteseurantaa tekevät tehtaan automaatiokunnossapidon asentajat PRECICAL-referenssinäytelevyjien avulla. Laboratorion henkilökunnan tekemällä kalibroinnilla tarkoitetaan online-mittaustuloksien vertailua samasta kohden paperirataa tehdyn laboratorioanalyysin mittaustuloksien kanssa. Antureiden koko mittausalueen kattavan kenttäkalibroinnin tekee Kuopiolainen JMK Instruments Oy, joka on kehittänyt ja toimittanut Kajaanin tehtaalle PRECICAL-referenssinäytesarjat. Pakkaamon vaa'an mittaustietoa hyödyntävät mm. automaatiokunnossapidon asentajat PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin mittauksen seurannassa. Jos kalibrintituloksissa havaitaan suuria poikkeamia edellisiin tuloksiin nähden, selvitetään eron syy ja anturin mittapäätt voidaan tarpeen vaatiessa puhdistaa, anturia voidaan virittää tai vaihtaa. Automaatiokunnossapito suorittaa tarvittaessa kalibrintitulosten perusteella antureiden virittämisen sekä vastaa niiden puhdistamisesta ja mittapalkkien huolloista.

Tämän työn tavoitteena on määrittää vaihtoehtoinen kalibrintimalli mittaraamien neliömassa- ja kosteusantureille. Vaihtoehtoisen kalibrintimallin määrittämisen tavoitteena oli tutkia antureiden nykyistä kalibrointi- ja virityskäytäntöä ja miettiä samalla, miten nykyistä kalibrointikäytäntöä voitaisiin kehittää niin, että online-anturit saataisiin pysymään tarkkoina mahdollisimman vähäisellä työmäärällä. Työn teoriaosassa käydään läpi kalibrointiin, virittämiseen ja mittausepävarmuuteen liittyviä käsitteitä sekä esitellään tarkasteltavien mittapalkkien antureiden nykyiset kalibrointi- ja viritysmenetelmät.

Kokeellisessa osassa laboratorion tekemän kalibroinnin, vakionäyteseurannan ja pakatun neliömassan mittaushistoriasta piirrettiin kuvaajia ja laskettiin tilastollisia tunnuslukuja. Tilastollisen tarkastelun jälkeen, tehtiin jokaiselle kalibrintimenetelmälle SWOT-analyysi, jossa mietittiin kalibrintimenetelmien kannalta oleellisia vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia. Tutkimustulosten perusteella tehtiin esitys vaihtoehtoisesta kalibrointikäytännöstä.

### 1.3 UPM, Kajaanin paperitehdas

UPM:n, Kajaanin paperitehtaalla tuotetaan paperia kolmella eri paperikoneella. PK2 on rakennettu vuonna 1963 ja sillä valmistetaan päällystämätöntä aikakausi-lehtipaperia (SC). Rainan leveys PK2:lla on 6,65 m, koneen nopeus noin 1150 m/min ja valmistettavien paperilajien neliömassat vaihtelevat välillä 51–70 g/m<sup>2</sup>. PK3 on sanomalehtipaperikone, joka on rakennettu vuonna 1971. Koneella valmistetaan erikoissanomalehtipaperia (MFS) ja jonkin verran kirjapaperia. Koneen rainan leveys on 7,65 m, nopeus noin 1350 m/min ja valmistettavien paperilajien neliömassat vaihtelevat välillä 45–60 g/m<sup>2</sup>. PK4 on rakennettu vuonna 1982 ja sillä valmistetaan sanomalehtipaperia (NEWS) ja luettelopaperia (TD). Koneen rainan leveys on 8,53 m, nopeus noin 1350 m/min ja paperilajien neliömassat vaihtelevat välillä 39–49 g/m<sup>2</sup>. /51; 50/

Paperin valmistuksen raaka-aineena käytetään kuusipuusta valmistettua mekaanista massaa. PK2:lla käytetään raaka-aineena kivihionnalla valmistettua massaa (GW). PK3:lla ja joissakin tapauksissa myös PK4:llä käytetään painehionnalla valmistettua massaa (PGW). PK3:lla ja PK4:llä käytetään myös kuumahierrettä (TMP). Mekaanisen massan lisäksi raaka-aineena voidaan käyttää selluloosaa ja täyteainetta, kuten kaoliinia ja kalsiumkarbonaattia. /52/

## 2 LAATUSUUREIDEN MITTAAMINEN PAPERISTA

Paperin laatua voidaan kuvata monilla eri ominaisuuksilla. Paperin loppukäyttäjillä on toisistaan poikkeavia vaatimuksia ostetulle paperille. Lisäksi paperikoneen ajettavuus asettaa omat vaatimuksensa valmistettavalle paperille. /22, s. 152-153/ Paperikoneen ajettavuuden kannalta merkittäviä paperin ominaisuuksia ovat neliömassa, kosteus ja paksuus. Muita laatusuureita ovat esimerkiksi täyteainepitoisuus, väri ja vaaleus. /30, s. 12/ Näitä ominaisuuksia voidaan mitata sekä online- että offline-mittauksin. /61/ Tässä kappaleessa esitetään tämän työn kannalta oleellisten laatusuureiden mittausmenetelmät.

## 2.1 Online-mittaukset

Paperin laatusuureiden mittaus tehdään reaaliaikaisesti mittapalkin avulla. Mittapalkki on olennainen osa laadunsäätöjärjestelmää ja se on asennettu yleensä juuri ennen paperikoneen loppurullainta. Kuvassa 1 on esitetty paperin laatusuureiden mittauksiin tarkoitettu mittaraami, joka koostuu mittaraamin kehyksestä ja kahdesta mittavaunusta, joihin mittausanturit on asennettu. Anturit on sijoitettu mittapalkin ylä- ja alamittavaunuihin siten, että niiden mittapäät ovat kohdakkain toisiinsa nähden ja paperi kulkee niiden välistä. /46/

Mittakelkka liikkuu normaalitilanteessa paperin kulkusuuntaan nähden poikisuunnassa radan laidasta laitaa määritellyllä nopeudella, jolloin anturit saavat näytteen omaista mittaustietoa diagonaaliselta linjalta. Mittaustulokset esitetään laskennallisina poikkittais- ja pitkittäisprofiileina. /30, s. 17/ Näin saadaan tietoa sekä konesuuntaisista että poikkisuuntaisista laatusuureiden vaihteluista. Kokonaisuudessa mittapalkilta edellytetään hyvää suorituskykyä ja antureiden mittauksien tulee pysyä mahdollisimman tarkkana paperiradan reunoihin saakka. /46/



**Kuva 1** Honeywell-Measurex mittapalkki /46/

Osa online-mittauksista perustuu epäsuoriin mittausmenetelmiin, jotka kuvaavat laatusuureita toisten suureiden välityksellä. Online-antureiden mittaustuloksia käytetään prosessissa tarvittavien säätötoimenpiteiden tekemiseen pääautomaatiojärjestelmässä. /30, s. 16/ PK2:lla ja PK3:lla pääautomaatiojärjestelmä on TotalPlant Alcont 3000x. PK2:lla muodostetaan ja toteutetaan tarvittavat säätötoimenpiteet suoraan Alcontissa. PK3:lla on käytössä Experion PKS -laatumittausten ohjausjärjestelmä. Experion PKS -järjestelmässä lasketaan tarvittavat ohjausarvot tässä työssä

käsiteltäville laatusuureille, joiden säätö toteutetaan Alcontissa. /63/ Molemmat järjestelmät on Honeywellin kehittämiä ja toimittamia.

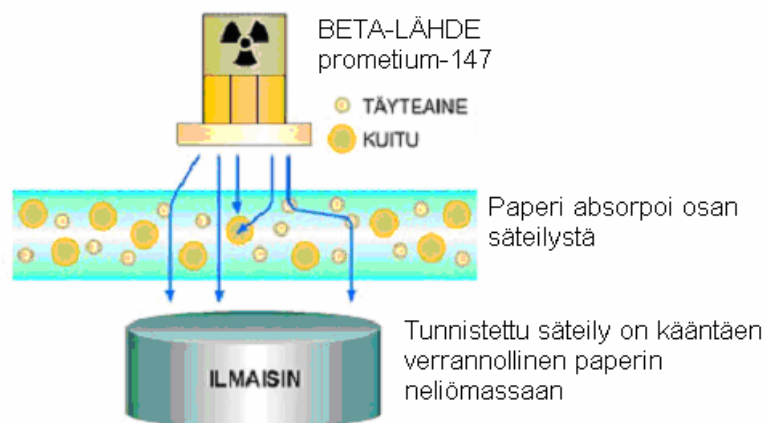
UPM:n, Kajaanin tehtaan PK2:n tuotantolinjalla käytetään paperin online-laatumittauksissa Honeywellin Da Vinci ja Lippke-mittaraameja. Da Vinci toimii runkomittalaitteena paperikoneen kuivassa päässä ennen paperin välikostutinta (VIB). Lippke toimii rullain-mittalaitteena välikostuttimen ja loppurullaimen välissä. Liitteessä 1 on havainnollistettu prosessikuvan avulla, miten Da Vinci ja Lippke on sijoitettu tuotantolinjalle. Lisäksi PK2:n tuotantolinjalla on kaksi superkalanteria (SC1 ja SC2), joiden välissä on kaksi Metson toimittamaa mittaraamia. Niiden antureilla mitataan paperista kosteutta, kiiltoa ja paksuutta. PK3:lla on käytössä Da Vinci -mittaraami, joka on asennettu paperikoneen kuivaan päähän konekalanterin ja loppurullaimen väliin.

Da Vincin mittakelkan nopeus voidaan asetella välille 0–600 mm/s. Käytännössä PK2:lla ja PK3:lla mittakelkan radan ylitysaika on noin 30 sekuntia. PK2:lla Da Vincilla mitataan tai määritetään paperista neliömassa, kuivamassa, vesimassa, kokonaistäyteaine, kaoliini, väri ja vaaleus. PK3:lla mitataan paksuuden lisäksi muuten samat laatusuuret kuin PK2:n Da Vincilla. Lippkellä mitataan välikostutuksen jälkeen paperista neliömassa sekä ylä- ja alapuolinen kosteus. Lippken mittakelkan nopeus voidaan asetella välille 0–300 mm. /61; 7; 8/ Käytännössä mittakelkan radan ylitysaika on tällä hetkellä noin 60 sekuntia. Molemmilla paperikoneilla Da Vincin mittaustuloksia käytetään paperiradan sekä konesuuntaisiin, että poikisuuntaisiin säätöihin. Lippken mittaustietoa käytetään esimerkiksi välikostutinyksikön ohjaamiseen, jolla säädetään paperin loppukosteutta.

Koska tuotanto-olosuhteissa anturin mittauksen suorituskykyä pyrkivät heikentämään monet eri tekijät, menee mittakelkka säännöllisin väliajoin paperiradan sivuun standardoimaan anturit. Tällöin paperirata ei kulje mittapäiden välissä, jolloin anturit määrittävät ohjelmallisesti sisäiset korjauskertoimet mittauservoille. Korjauksen avulla kompensoidaan esimerkiksi neliömassa-anturin säteilylähteen vanheminen. Seuraavissa kappaleissa esitetään yleisellä tasolla mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden toimintaperiaatteet ja antureiden standardointi.

### 2.1.1 Neliömassa-anturit

Paperin neliömassalla tarkoitetaan paperin massaa pinta-ala yksikköä kohden, yksikkönä käytetään  $\text{g}/\text{m}^2$ . Da Vincin ja Lippken neliömassa-anturin toiminta perustuu radioaktiivisen  $\beta^-$ -säteilyn absorptioon mittaamiseen. Molemmissa antureissa käytetään säteilylähteenä prometiumin ( $\text{Pm}^{147}$ ) radioaktiivista isotooppia, jonka säteilyvoimakkuus on  $3,7 \text{ GBq}$  ( $100 \text{ mCi}$ ) ja puoliintumisaika  $2,65$  vuotta. Puoliintumisajan vuoksi joudutaan säteilylähde vaihtamaan uuteen noin  $2,5$  vuoden välein. Mitta-anturi koostuu paperiradan yläpuolella olevasta säteilylähteestä ja alapuolen ilmaisimena toimivasta ionisaatiokammioista. /9; 11/ Kuvassa 2 on esitetty neliömassa-anturin toimintaperiaate.



**Kuva 2** Neliömassa-anturin mittausperiaate /46/

Rainaan kohdistetusta säteilystä osa läpäisee paperin ja osa absorboituu kuituihin ja täyteaineisiin. Paperin paksuus ja tiheys määräävät siihen imeytyvien hiukkasten määrän. Paperin läpi mennyt jäännössiäteily mitataan ilmaisimella (kuva 2). Jäännössiäteilyn ilmaisimena on ionisaatiokammio, jonka sisällä mittauselektrodi ja erittäin puhdasta argonkaasua ( $\text{Ar}$ ). Ionisaatiokammion kuoreen tuodaan negatiivinen jännite, jonka seurauksena ilmaisimelle joutuneet  $\beta$ -hiukkaset eli elektronit aiheuttavat kammiossa ionisoitumisen. Tämän vuoksi ionisaatiokammioon syntyy sähkökenttä, jolloin ionisoitumiseen verrannollinen sähkövirta kulkee elektrodille. Ionisaatiokammion sisältämä vahvistin vahvistaa nanoampeerialueella alueella olevan virtaviestin, jonka jälkeen se muutetaan jännitteeksi ja välitetään laatumittausjärjestelmään. /9; 11/ Säteilyn absorboitunut osuus on verrannollinen paperin neliömas-

saan. Paksuus kerrottuna tiheydellä on massa per yksikköalue, jota yleisesti kutsutaan neliömassaksi. /31, s. 144/

Antureiden säteilyaukon edessä on sulkija, jonka tehtävänä on estää säteilyn pääseminen mittalaitteen ulkopuolelle esimerkiksi huollon aikana. Molemmissa mittapalkeissa on merkkivalot, joilla näytetään tieto, onko sulkija auki vai kiinni. Mittapäiden väliin puhalletaan ilma, jonka tehtävänä on estää paperin osuminen mittapäihin ja sillä pienentää myös mittapäiden likaantumista. /9; 11/

### 2.1.2 Neliömassa-anturin standardointi

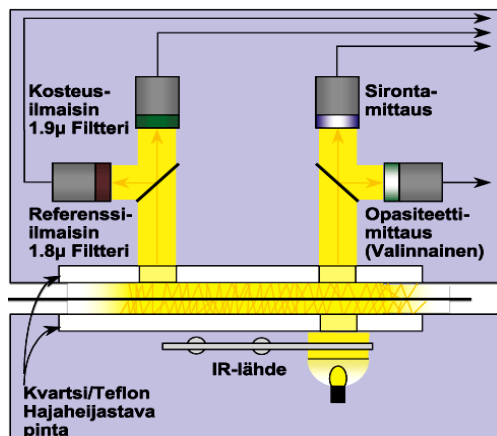
Neliömassa-anturin standardoinnissa muodostetaan neliömassamittaukselle korjaus ohjelmallisesti. Koska Da Vincin neliömassa-anturissa on mittapäiden likaisuuden kompensointi, tuodaan säteilylähteen eteen anturin sisällä oleva muovista valmistettu kiinteä näyte (flag), josta muodostetaan mittausarvo. Sisäisen näytteen avulla neliömassa-anturi tunnistaa standardoinnissa mittapäiden likaisuuden. Lisäksi mitataan anturin Z-riippuvuus eli anturin herkkyys radan paikan muutoksille mittavälissä. Lippken neliömassa-anturilla ei likakompensointia ole, mutta standardoinnin yhteydessä mitataan mm. mittapäiden välinen lämpötila ja taustasäteily, joka saadaan huomioitua sulkemalla säteilylähde rungon suojaan. Samat mittausarvot mitataan myös Da Vincilla. /7; 8/

Da Vincin antureille on mittapalkin ohjausjärjestelmässä omat standardointilokit, joiden avulla voidaan seurata antureiden standardointihistoriaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Lippken ohjausjärjestelmässä ei standardointilokia ole. Liitteessä 2 on esitetty PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin standardointiloki, joka on otettu Experion PKS -järjestelmästä. Standardointilokista nähdään neliömassa-anturin eri standardointikerroilla muodostamat jännitearvot (background volts, air volts ja flag volts). Jotta standardointi onnistuisi hyvin, ei jännitelukemissa saa tapahtua suuria muutoksia edellisiin verrattuna. /63/

### 2.1.3 Kosteusanturit

Kosteudella tarkoitetaan paperin vesimolekyylien suhteellista massaprosenttiosuutta (%) kokonaismassasta. /30/ Da Vincin kosteusanturin toiminta perustuu infrapunavalon absorptioon mittaamiseen ja Lippken kosteusantureiden toiminta paperin pinnasta takaisin heijastuvan valon intensiteetin mittaamiseen. /10; 12/

Da Vincin kosteusanturi mittaa paperin vesimassaa. Vesimassan määrittämiseen käytetään kahta infrapunavalon aallonpituutta. Vesi absorboi voimakkaasti valoa, jonka aallonpituus on  $1,9 \mu\text{m}$ . Vesi ja muut paperissa olevat aineet eivät absorboi valoa, jonka aallonpituus on  $1,8 \mu\text{m}$ , joten sitä käytetään vertailuaallonpituutena, kun lasketaan säteiden voimakkuuksien suhdetta. /10/ Kuvassa 3 on esitetty Da Vincin kosteusanturin toimintaperiaate.



**Kuva 3** Da Vincin kosteusanturin toimintaperiaate /46/

Radan alapuolella oleva lamppu synnyttää infrapunavalon, joka heijastetaan kulkemaan kahden pinnan välissä siten, että valo läpäisee paperin useita kertoja (kuva 3). Tämän tarkoituksena on lisätä mitattavan aallonpituuden absorptioita ja parantaa herkkyyttä. Seuraavaksi valo suodatetaan kahden suodattimen läpi, jotka päästävät läpi vertailu- ja kosteusmittausaallonpituuden. Näin molemmat aallonpituudet saadaan eroteltua. Paperin läpäisseiden eri taajuudet omaavien infrapunasäteiden intensiteetit suhteutetaan toisiinsa, jolloin saadaan selville paperin vesimassa. /10/ Paperin vesimassan lisäksi käyttäjälle näytään paperin kosteus, joka saadaan laskettua neliömassamittausta hyväksikäyttäen kaavan 1 avulla.

$$\varphi = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{water}} + m_{\text{dry}}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

missä	$\varphi$	on paperin kosteusprosentti (%) ,
	$m_{\text{water}}$	on paperin vesimassa (g/m <sup>2</sup> ) ja
	$m_{\text{dry}}$	on paperin kuivaneliömassa (g/m <sup>2</sup> ). /2/

Lippkellä mitataan paperista ala- ja yläpuolinen kosteus. Molempien kosteusantureiden toiminta perustuu paperin pinnasta heijastuvan IR-valon intensiteetin mittaamiseen. Heijastavassa mallissa sekä IR-lähde että tunnistin ovat samassa anturissa. Jatkuva infrapunavalo synnytetään halogeenilampun avulla. Sen tuottama valo kohdistetaan peilin ja linssin avulla paperirataan. Paperiradasta takaisin heijastunut valo pilkkotaan suodinkiekon avulla useaan aallonpituuteen. Suodinkiekko pyörii noin 3000 kierrosta minuutissa ja se sisältää neljä eri aallonpituussuodatinta. Suodinten läpi päässeestä valosta saadaan haluttujen spektriviivojen intensiteettitasot. Intensiteetit vahvistetaan ja muutetaan tunnistimen avulla jännitesignaaleiksi, joista voidaan laskennallisesti määrittää paperin kosteusprosentti. /12/

Lippke antaa mittaustietona pelkästään kosteusprosentin vesimassan sijaan. /12/ Lippke käyttää kosteusprosentin laskennassa Da Vincin määrittämää kuivamassaa, koska se on luotettavampi kuin Lippken määrittämä kuivamassa, joka on määritetty paperiin lisätyn veden jälkeen. Paperin kokonaiskosteus muodostuu ylä- ja alapuolen kosteusantureiden mittaustuloksien keskiarvosta. /59/

#### 2.1.4 Kosteusanturin standardointi

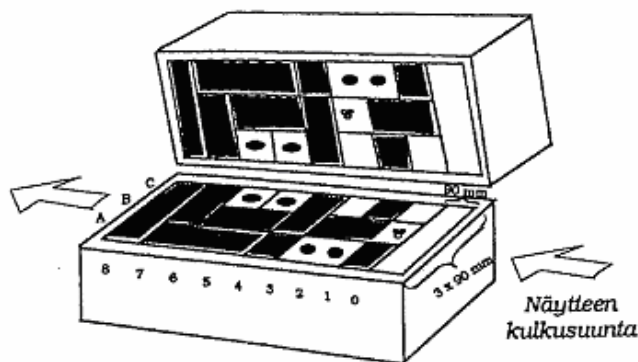
Kosteusanturin standardoinnissa anturi suorittaa samat toimenpiteet kuin paperiradan ollessa mittapäiden välissä (kosteusantureilla ei ole anturin sisäistä kosteusnäytettä). Saaduista referenssi- ja mitta-arvoista muodostetaan ohjelmallisesti referenssi- ja mittaussuhde, joka toimii vertailu tasona todelliselle mittaukselle. /7; 8/ Liitteessä 3 on esitetty PK3:n Da Vincin kosteusanturin standardointiloki, josta nähdään eri standardointikertojen Net Open -jännitearvot (reference ja measurement). Standardointilokista voidaan havaita, että edellä esitetyt jännitteet ovat noin

seitsemän voltia. Jos jännitteiden keskinäinen suhde on liian suuri (yli 1 voltin), ei kosteusanturi suostu enää mittaamaan. /63/

## 2.2 Offline-mittaukset

Offline-mittaukset perustuvat laboratorioanalyysiin. Laboratorion henkilökunnan tekemien mittausten perusteella muutetaan parametriarvoja sellaisten suureiden osalta, joita voidaan mitata vain laboratorio-olosuhteissa. /30/ Laboratorioanalyysien tuloksia käytetään myös online-mittausten tarkistukseen.

Osa paperin laatuominaisuuksien mittaamisesta tehdään PaperLab-analysaattorin avulla. Tämän työn aikana PaperLab oli aluksi tehtaan laboratoriossa, josta se myöhemmässä vaiheessa siirrettiin tuotannon yhteyteen. Valmiista konerullasta otetaan paperinäyte koko poikkiradasta. Sama tehdään pituusleikkurilla valmiista asiakasrullasta. Leikkaamisen jälkeen paperi rullataan näytehylsulle. Hylsyn sisältävä kasetti asetetaan PaperLab-analysaattoriin, joka mittaa automaattisesti halutut laatuominaisuudet, sekä siirtää analyysitiedot tehtaan tietojärjestelmään. /30; 25/



**Kuva 4** PaperLab-moduulikehikko /25/

PaperLab-laitteisto sisältää moduulikehikkoon asetetut testausmoduulit (kuva 4). Mittausmoduulit ovat kaksipuoleisia ja ne asennetaan ylä- ja alakehikkoon vastakkain. Osa mittausmoduuleista on näytettä rikkomattomia ja ne sijoitetaan aina ensimmäiseksi. Koska neliömassan mittausyksikkö on näytteen rikkova, on se sijoitettu näytteen kuljetussuunnassa viimeiseksi. Neliömassamittauksessa näytteestä leikataan halkaisijaltaan 60 mm:n mittausnäyte, minkä jälkeen näyte punnitaan.

PaperLab mittaa paperin neliömassan noin minuutissa ja saatua tulosta verrataan mittapalkin neliömassa-anturin mittaustulokseen, joka on konerullan neliömassan keskiarvo. /25/

### 3 KALIBROINTI

Kalibrointi tarkoittaa SFS 3700 -standardimääritelmän mukaan toimenpiteitä, joiden avulla tunnetuissa olosuhteissa saadaan mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien ja mittanormaaleilla toteutettujen arvojen välinen yhteys. /35/

Käytännössä kalibrointi merkitsee sitä, että anturin virhe on tunnettu tietyllä hetkellä ja tietyissä olosuhteissa. Tämän vuoksi yksi kalibrointi ei anna tietoa anturin pysyvyydestä. Kun kalibrointeja on tehty useita ja mittauslaitetta on käytetty jonkin aikaa, voidaan sanoa jotain pysyvyydestä. Anturin kalibroinnilla ja virittämisellä ei tarkoiteta samaa asiaa. Mikäli kalibrointitulosten perusteella anturi ei näytä oikein, se viritetään. Virittämisen jälkeen kalibrointi on toistettava uudelleen. Näin nähdään toimenpiteen vaikutus anturiin. /4/

SFS-EN ISO 9001 -standardimääritelmän mukaan yrityksen tulee määritellä mittauslaitteiden kalibroinnit sekä kalibrointilaitteet, joita tarvitaan osoittamaan tuotteen täyttävän määrättyt vaatimukset. Kun kelpolisten tulosten varmistaminen on välttämätöntä, tuotteen laatuun vaikuttavat tarkastus-, mittaus- ja testauslaitteet on kalibroitava määräjain jäljitettävissä oleviin kansainvälisiin tai kansallisiin mittanormaaleihin verraten. /34/ Jäljitettävyydellä tarkoitetaan mittaustuloksen tai mittanormaanin yhteyttä ilmoitettuihin referensseihin, jotka ovat yleensä kansallisia tai kansainvälisiä mittanormaaleja. Aukottomassa vertailuketjussa on ilmoitettu kaikkien vertailujen epävarmuudet. /35/

Mittauslaitteiden mittausepävarmuudet ja kalibrointi tulee arvioida tapausittain laitteilla tehtävistä mittauksista ja niille asetetuista tarkkuusvaatimuksista. /34/ Mittapalkkien antureiden tarkkuusvaatimukseen vaikuttaa mittauslaitteen ja kalibrointimenetelmän suorituskyky, koska anturille ei voida asettaa tiukempia tarkkuusvaatimuksia, joihin sillä käytännössä pystytään. /59/ Antureiden kalibroinnissa on tär-

keää ottaa huomioon koko mittaustapahtuma ja kaikki epävarmuuteen vaikuttavat tekijät. /37/

Jäljitettäviä kalibrointeja tekevät kansalliset ja akkreditoituidut mittauspaiikat. /37/ UPM:n, Kajaanin tehtaalla mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden kalibrointi tehdään normaalitilanteessa vuoden välein kuopiolaisen JMK Instruments Oy:n toimesta. JMK on akkreditoitu kalibrointilaboratorio, joka on erikoistunut mittaraamien online-antureiden kalibrointiin. /59/ Akkreditointi on kansainvälisiin kriteereihin perustuva menettely, jonka avulla kalibrointilaboratorion pätevyys ja sen antamien todistusten uskottavuus voidaan todeta. Suomessa akkreditoiteja käsittelee Mittatekniikan keskuksen FINAS-yksikkö. /3/

JMK:n tekemän kalibroinnin jälkeen antureiden pysyvyyttä seurataan vakionäyte-seurannan ja tehtaan laboratorion tekemän kalibroinnin avulla. Lisäksi PK3:lla mittaraamin neliömassa-anturin pysyvyyttä seurataan pakatun neliömassan avulla. /59/ Tässä kappaleessa esitetään neliömassa- ja kosteusantureiden nykymallin kalibrointitavat menetelmittäin.

### **3.1 Kenttäkalibrointi**

JMK Instruments Oy tekee kenttäkalibroinnin paperikoneen seisokin aikana mittakelkan ollessa tallissa eli radan ulkopuolella. /45/ Kalibrointi tehdään PRECICAL-referenssinäytesarjoilla, jotka on valmistanut JMK ja jonka rekisteröimä merkki PRECICAL on. /58/

Kenttäkalibrointiin kuuluu anturin koko mittausalueen kattava kalibrointi ja toistuvuuskoe. Mittausalueen kattavalla kalibroinnilla nähdään anturin mittausrvirheet suhteessa referenssinäytteisiin eri kalibrointipisteissä. /58/ Toistuvuuskokeen avulla nähdään, miten anturi reagoi toistuvilla mittauskerroilla. Jos kenttäkalibroinnin mittaustuloksissa havaitut virheet ovat suuremmat kuin ennalta asetettu hyväksymistoleranssi, tehdään anturille viritys. /45/ Jokaisesta tehdystä kenttäkalibroinnista kirjoitetaan kattavat kalibrointitodistukset, joiden avulla voidaan seurata anturin pysyvyydessä tapahtuvia muutoksia. Kalibroinnin jälkeen annetaan toimenpi-

desuositukset, joiden avulla kartoitetaan anturin mittauksen ongelmakohdat ja esitetään niiden korjaamiseen tarvittavia toimenpide-ehdotuksia. /13; 14; 60/

### 3.1.1 PRECICAL-neliömassareferenssit

Neliömassa-anturin seurannassa käytetään kahdentyyppisiä neliömassan mittanormaaleja. Kenttäkalibroinnissa ja vakionäyteseurannassa käytetään polyesterityyppisestä muovista valmistettuja näytteitä (Mylar-kalvoja). Kyseisiä näytteitä käytetään, koska niiden neliömassat voidaan määrittää tarkasti ja koska niiden pysyvyys on hyvä. /44/ Koska kalibrointilaboratoriolla on neliömassan mittaukselle kansainvälisesti pätevä FINAS-akkreditoitu laatu järjestelmä (EN ISO/IEC 170025), kalibroidaan muovikalvot jäljitettävästi FINAS-akkreditoidulla menettelyllä. /58/ Kuvassa 5 on esitetty neliömassareferenssi (Mylar-kalvo).



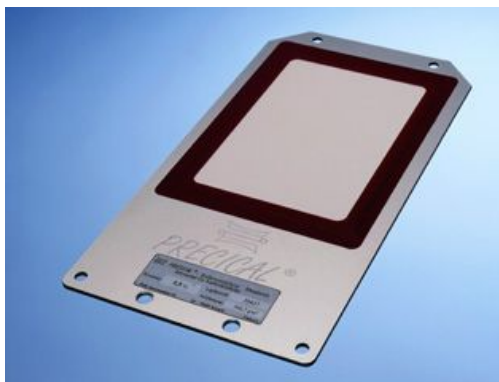
**Kuva 5** PRECICAL-neliömassareferenssi /58/

Mylar-kalvojen lisäksi käytetään tuotteittaisia näytteitä. Tuotteittaisessa kalibroinnissa käytetään saman linjan valmistamaa paperia, jonka tuotantolinjan mittapalkille kalibrointi tehdään. Tuotteittaiset näytteet valmistetaan leikkaamalla paperista ympyrän muotoisia paperikiekkkoja, joiden pinta-ala mitataan. Seuraavaksi näytteet punnitaan ja suljetaan ilmatiiviiseen säilytyspussiin. Mylar-kalvot ja tuotteittaiset näytteet valmistetaan antureittaisesti käytettävän mitta-alueen mukaan, joka määräytyy paperikoneella valmistettavien paperilajien neliömassojen perusteella. JMK kalbroi vuosittain vakionäyteseurannassa käytettävän neliömassareferenssin. /45/

### 3.1.2 PRECICAL-kosteusreferenssit

Kosteusanturin kenttäkalibroinnissa ja vakionäyteseurannassa käytetään kosteuden mittanormaaleja, jotka ovat samalla tavalla tuotantolinjoittaisia kuin neliömassan tuotteittaiset näytteet. Valmistusvaiheessa paperista leikatut tuotenäytteet kuivataan näytteiden kuivausuunissa. Kun näytteistä on kosteus täysin haihtunut, niiden kuivamassat määritetään punnituksen avulla. Tämän jälkeen näytteet kostutetaan haluttuun kosteuteen ja suljetaan lasilevyjen väliin. /45/

Mittanormaalien kosteuspitoisuus määräytyy kalibroitavan kosteusanturin mittausalueen mukaan. Tuotenäytteiden kuivamassa kalibroidaan soveltaen standardia SFS-EN 20287 ja kosteustaso kostutetun ja kuivan paperin massaeroon perustuen. /58/ Normaalitilanteessa vakionäyteseurannassa käytettävä kosteusreferenssi uusitaan kerran vuodessa. /45/ Kuvassa 6 on esitetty kosteusreferenssi.



**Kuva 6** PRECICAL-kosteusreferenssi /58/

PK2:lla Da Vincin ja Lippken kosteusantureiden näytelevyissä ei voida käyttää superkalanteroitua paperia, koska anturit eivät mittaa superkalanteroitua paperia samalla tavalla kuin aikakausilehden pohjapaperia. Tämän vuoksi näytteet valmistetaan pohjapaperista. /60/

### 3.1.3 Neliömassa-anturin peruskalibrointi

JMK:n toimesta antureille tehdään koko mittausalueen kattava ja jäljitettävä peruskalibrointi (jäljitettävä SI-järjestelmään). Jäljitettävyyttä ylläpidetään toistamalla jäljitettävä peruskalibrointi vuosittain. Näiden kalibrointien avulla voidaan seurata

mittauslaitteiston suorituskyvyn pitkäaikaisia muutoksia. /60/ Kenttäkalibroinnin ajaksi mittapalkin alamittavaunuun kiinnitetään näytelevyjen ohjainkehikko, koska muuten toistuvilla mittauskerroilla näytelevyjen laittaminen mittavälissä samaan kohtaan olisi vaikeaa. /60/ Kuvassa 7 on esitetty näytelevyjen mekaaninen ohjainkehikko, johon on asennettu referenssinäytteet.



Kuva 7 Esimerkki referenssinäytteiden mekaanisesta ohjainrakenteesta. /58/

Ennen mittauksien aloittamista antureiden mittapäät puhdistetaan huolellisesti. Koska Da Vincin neliömassa-anturissa on mittapäiden likaisuuden kompensointi, tehdään peruskalibrointi kaksi kertaa. Ensin anturille tehdään koko mittausalueen kattava kalibrointi Mylar-näytteiden avulla. Kalibrointi toistetaan mittausalueen samoissa tarkastuspisteissä, mutta referenssinäytteen lisäksi mittapäiden väliin laitetaan erillinen muovikalvo kuvastamaan likaa. Näin nähdään, miten anturin likakompensointi toimii ja kalibrointituloksien perusteella saadaan määritettyä anturille likainen ja puhdas kalibrointikäyrä. /44/ Koska Lippken neliömassa-anturissa ei ole likakompensointia, tehdään peruskalibrointi kerran. /60/

### 3.1.4 Neliömassa-anturin tuoteittainen kalibrointi

Tuoteittaisella neliömassa-anturin kenttäkalibroinnilla selvitetään anturin mittausvirheet eri paperilajeista valmistettujen näytteiden avulla. Käytännössä tuoteittaista kalibrointia ei tehdä samalla kerralla peruskalibroinnin kanssa, koska ensin pyritään saamaan anturi mittaamaan oikein Mylar-neliömassareferenssejä. /60/ Kalibrointi tehdään mittausalueen muutamassa tarkastuspisteessä, koska anturin koko mittausalueen kattava kalibrointi edellyttäisi tuotenäytteiden tekemistä melkein

kaikista valmistettavista paperilajeista. Kalibroinnilla nähdään, miten eri paperilajien mittaus poikkeaa Mylar-näytteiden mittauksesta. /45/

### **3.1.5 Kosteusanturin kalibrointi**

Kosteusanturin koko mittausalueen kattava kalibrointi tehdään kosteusreferenssien avulla. Jos paperikoneella ajetaan paljon sellaisia lajeja, jotka vaikuttavat kosteusanturin mittaukseen eri tavalla, tehdään kalibrointi kyseisistä lajeista valmistettujen näytteiden avulla. Näin nähdään koko mittausalueen leveydeltä, miten eri paperilajit vaikuttavat anturin mittaukseen. /44; 45/

### **3.1.6 Antureiden toistuvuuskoe**

Kenttäkalibroinnin yhteydessä jokaiselle anturille tehdään yksitellen toistuvuuskoe. SFS 3700 -standardimääritelmän mukaan toistuvuudella tarkoitetaan saman mittausuureen peräkkäisten mittaustulosten yhtäpitävyyttä, kun mittaukset suoritetaan samoissa olosuhteissa, lyhyin aikavälein, samalla menetelmällä ja saman havainnoitsijan toimesta. /35/

Referenssinäytteen avulla anturille tehdään toistuvuuskoe mittaamalla samaa näytettä kymmenen kertaa peräkkäin. Jokaisen mittaukserän jälkeen anturi standardoidaan, jonka ajaksi näytelevy poistetaan mittapäiden välistä. Toistuvuuskoe on osoittautunut hyväksi vianpaikannusmenetelmäksi, jos anturin mittauksessa epäillään virhettä. /45/

### **3.1.7 Kenttäkalibroinnista saatavat dokumentit**

Jokaisesta tehdystä kenttäkalibroinnista kirjoitetaan kalibrointitodistus. Neliömasa-anturin peruskalibroinnista kirjoitetaan FINAS-akkreditoitu kalibrointitodistus, joka takaa seurannan jäljitettävyyden. /15; 16/ Tuotteittaisessa kalibroinnissa ja kosteusanturin kalibroinnissa ei käytetä jäljitettäviä referenssinäytteitä, mutta molemmista kirjoitetaan kattavat todistukset.

Kalibroitodistukseen dokumentoidaan kenttäkalibroinnin aikana mitattu mittapäiden välinen lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus. Todistukseen kirjataan myös käytettyjen näytelevyjen arvot, niiden epävarmuudet ja koko kenttäkalibroinnin mittausepävarmuus eri kalibrintipisteissä. Toistuvuuskokeesta dokumentoidaan, millä referenssinäytteen arvolla toistuvuuskoe on tehty. Lisäksi todistuksessa ilmoitetaan anturin toistuvuus, kohina ja Z-riippuvuus eli anturin herkkyys radan paikan muutoksille mittavälissä. Kaikki epävarmuudet ilmoitetaan laskennallisena kahden sigman epävarmuutena. /15; 16; 44/

### 3.2 Antureiden vakionäyteseuranta

Automaatiokunnossapidon työntekijät seuraavat antureiden mittauksien pysyvyyttä normaalitilanteessa noin kahden viikon välein vakionäyteseurannan avulla. /63/ Vakionäyteseurannalla tarkoitetaan anturin pitkän ajan pysyvyyden seuranta tuotanto-olosuhteissa PRECICAL-seurantanäytteiden avulla. /58/ Fyysisesti seurantanäytteet on tehty sarjoiksi eli yksittäiset näytelevyt on asennettu samaan ohjainkehikkoon. Ohjainkehikko ohjaa seurantareferenssit aina tarkalleen samaan paikkaan mittapäiden välissä. Näin saadaan pienennettyä virheen mahdollisuus, joka aiheutuu näytelevyn asettamisesta väärään kohtaan mittavälissä. Lisäksi näytelevyjen kiinnittämisellä ohjainkehikkoon on pyritty pienentämään riskiä, joka aiheutuu näytelevyjen sekoittumisella keskenään. /45/ Koska tässä työssä tarkasteltavien mittapalkkien mittavaunujen fyysiset mitat ja antureiden paikat eroavat toisistaan, on jokaiselle vaunulle suunniteltu omat vakionäyteseurannan työkalut. /41; 42; 43/

Kalibroinnissa käytettävät seurantatyökalut (ohjainkehikko ja seurantanäytteet) on toimittanut JMK, joka huoltaa ja kalibroi referenssinäytteet vuosittain sekä hoitaa vakionäyteseurannan työohjeiden päivittämisen. Jos mittavaunuihin tehdään mekaanisia muutoksia, muuttaa JMK seurantatyökaluja niin, että niitä voidaan käyttää edelleen luotettavasti. Referenssinäytteiden käsittelyssä tulee olla huolellinen, koska pienelläkin mekaanisella vialla voi olla vaikutus näytteellä tehtävän kalibroinnin tulokseen. Näytesarjaa säilytetään suojalaukussa, millä pienennetään näytteiden vikaantumisriskiä kalibroinnin välillä. /45/

### 3.2.1 Vakionäytteiden seurantamenetelmät

Antureiden vakionäytteseurantaa voidaan tehdä pitkän tai lyhyen menetelmän mukaan. Käytännössä menetelmien ero tulee esille kalibrointituloksissa ja seurannan tekemisen nopeudessa. Pitkän vakionäytteseurannan ajaksi mittapalkin järjestelmässä olevasta paperikoneen lajikirjastosta valitaan STAB-laji, joka on tehty vakionäytteseurantaa varten. /41; 42; 43/ STAB-lajissa ei ole käytössä anturin tuotteittaisia viritysparametreja ja perusviritysparametreina ovat taso nolla ja kulmakerroin yksi. /44; 45/ Lyhyen kalibroinnin ajaksi STAB-lajia ei vaihdeta, jolloin vakionäytteseurannan aikana ovat käytössä lajiparametrit. /60/

Molemmille kalibrointimenetelmille on tehty antureittaiset ennakkohuoltotyönumerot UPM:n, Kajaanin käyttämään osto- ja kunnossapitotehdastietojärjestelmään (Osku), jonne kalibrointituloksia kerätään. Koska Lippken ohjausjärjestelmässä ei ole erillistä huoltotilaa (maintenance), tehdään antureille paperikoneen käynnin aikana pelkästään vakionäytteseurantaa lyhyen mallin mukaan. Kun mittapalkki on huoltotilassa, ei antureiden mittaustietoa käytetä paperikoneen laatusäätöjen ohjaamiseen. Jos Lippkelle halutaan tehdä seurantaa pidemmän menetelmän mukaan, täytyy paperikoneen ajomiesten asettaa säädöt käsiajolle, mikä hidastaa kalibroinnin tekemistä. /62/

Nykyisin Da Vincin antureille tehdään vakionäytteseurantaa pelkästään pidemmän menetelmän mukaan. Näin kalibrointituloksiin ei tule mukaan tuotteittaisia viritysparametreja ja mittaraameilla on yhdenmukainen seurantamenetelmä. /59/

### 3.2.2 Vakionäytteseurannan tekeminen

Vakionäytteseurannan työohjeiden /41; 42; 43/ mukaan kalibroinnin tekeminen aloitetaan ajamalla mittakelkka talliin. Mittavaunut erotetaan toisistaan poistamalla lukitus ja työntämällä ylämittavaunu pois alamittavaunun päältä (kuva 8). Seuraavaksi antureiden mittapäät puhdistetaan huolellisesti, ja referenssinäytteet asetetaan hyvin alamittavaunun päälle, minkä jälkeen mittavaunut yhdistetään. Näytelevyt ovat ensin standardointiasennossa eli vedettyinä pois mittapäiden välistä (kuva 8).

Da Vincille vakionäyteseuranta tehdään anturi kerrallaan. Ensin anturi standardoidaan, minkä jälkeen referenssinäytelevy työnnetään mittapäiden väliin. Seuraavaksi käynnistetään mittaus. Mittauksen aikana anturi mittaa näytelevyä kymmenen kertaa ja mittapalkin järjestelmä ilmoittaa mittaustuloksien laskennallisen keskiarvon ja kahden sigman hajonnan ( $2\sigma$ -hajonta). Mittaustulos kirjataan kalibrintilomakkeeseen ja sen jälkeen Oskuun. Samat toimenpiteet toistetaan myös muille kalibroituville antureille. Lopuksi näytelevyt poistetaan mittavälistä, anturit standardoidaan ja mittakelkka pannaan takaisin radalle. /41; 43/ Liitteessä 4 on esitetty PK2:n Da Vincin vakionäyteseurannan kalibrintilomake.



**Kuva 8** Esimerkki PK2:n Da Vincin alamittavaunun päälle asetetusta näytetelineestä, jossa vakionäyteseurannan referenssilevyt on asetettu standardointiasentoon

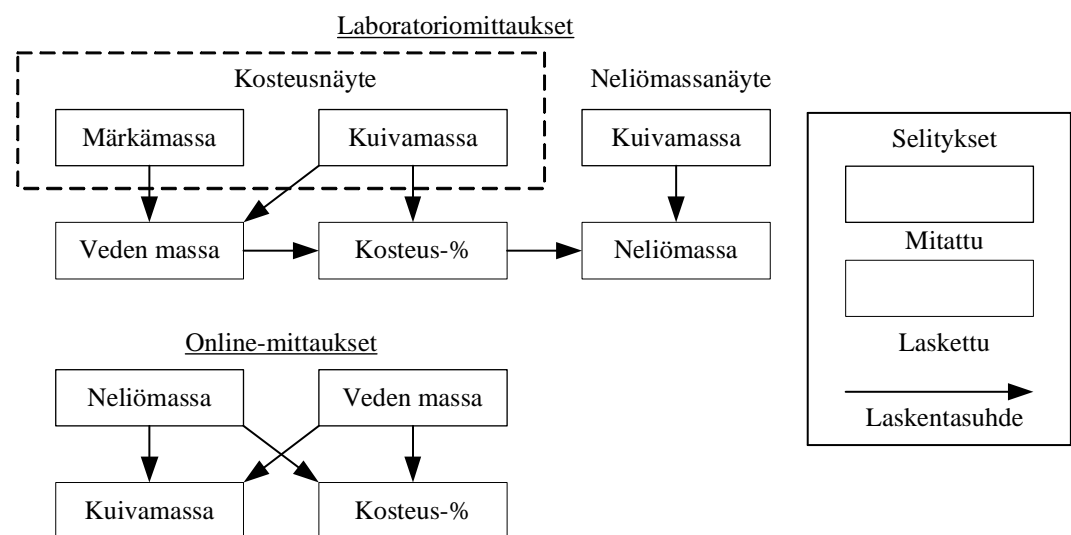
Lippken vakionäyteseuranta eroaa jonkin verran Da Vincin vakionäyteseurannasta. Ensin anturit standardoidaan samanaikaisesti, jonka jälkeen jokainen näytelevy työnnetään mittapäiden väliin. Seuraavaksi käynnistetään mittaus, jolloin kaikki anturit mittaavat referenssinäytteitä. Kalibrintilomakkeeseen kirjataan Lippken järjestelmästä antureittain kymmenen mittaustulosta. Mittauksen aikana mittaustulokset päivittyvät järjestelmään koko ajan. Kun seuranta tehdään lyhyen kaavan mukaan, kirjataan kalibrintilomakkeeseen myös antureiden perusviritysparametrit sekä tuotteittaiset viritysparametrit ja kalibroinnin aikana ajossa olevan paperilajin lajikoodi. /42/ Kalibrintilomakkeeseen lasketaan antureittain kymmenen mittaustuloksen keskiarvot. Keskiarvojen laskennan jälkeen täytyy kalibrintituloksista poistaa lajiparametrien vaikutus. Parametrien vaikutus mittaustuloksiin poistetaan kaavan 2 avulla. Lopuksi tulokset kirjataan Oskuun. /62/

$$\text{Korjaamaton mittaustulos} = \frac{K_a - \text{GradeZero}}{\text{GradeSpan}}, \quad (2)$$

missä  $K_a$  on mittaustuloksista laskettu keskiarvo,  
 GradeZero on lajeittainen tasokorjain ja  
 GradeSpan on lajeittainen kulmakerroin. /8/

### 3.3 Laboratorion kalibrointikäytäntö

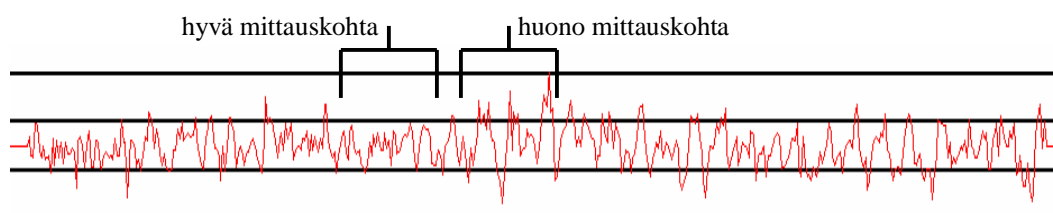
Laboratorion henkilökunta tekee normaalitilanteessa 2–3 viikon välein mittapalkkien antureiden kalibroinnin. Laboratorion tekemällä kalibroinnilla tarkoitetaan online-laatumittaustuloksen vertailua samasta kohden paperirullaa tehtyyn laboratorioanalyysiin. /30; 61/ Kun antureiden kalibrointi tehdään laboratoriomenetelmällä, tulee esille yksi oleellinen ongelmakohta siinä, että mittaukset tehdään toisistaan eroavilla tavoilla. Esimerkiksi neliömassa-anturi mittaa neliömassan suoraan paperista, mutta laboratorion tekemässä kalibroinnissa paperin neliömassa saadaan laskemalla lasketun kosteusprosentin ja mitatun kuivamassan mukaan. /2; 56; 57/ Näin ollen neliömassa-anturin seurannan tulos sisältää kahden eri laboratorioanalyysin virheet. Kuvassa 9 havainnollistetaan tämän työn kannalta oleellisten paperista mittavien laatusuureiden keskinäisiä suhteita.



**Kuva 9** Paperin laatumuuttujien keskinäiset laskentasuhteet. /2/

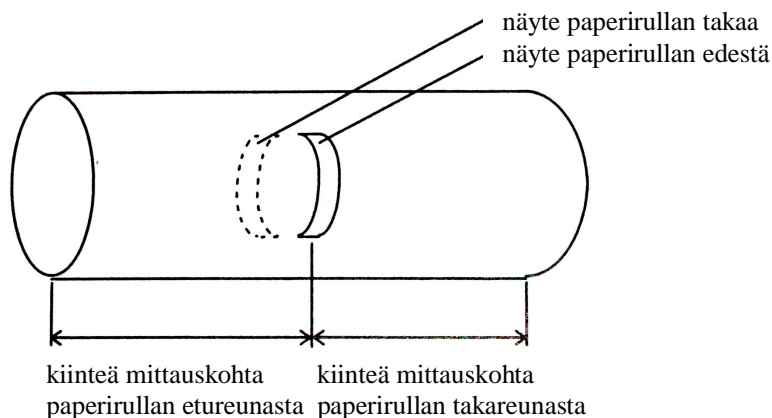
### 3.3.1 Laboratorion näytteenotto kalibrointia varten

Kalibrointi aloitetaan varmistamalla paperikoneen käyttöhenkilökunnalta, että näytteenottoon valitussa konerullassa ei ole katkoja tai muita poikkeavia häiriöitä. Ennen näytteenottokohdan valintaa tarkistetaan paperiradan poikkisuuntaisen profiilin suoruus paperikoneen kuivan pään valvomossa sijaitsevalta profiilinäytöltä. Näytteenottokohdaksi valitaan mahdollisimman tasainen kohta profiililta. Näin saadaan pienenennettyä paperiradan poikittaiskonesuunnassa tapahtuvien laatuosuuksien vaihteluiden vaikutus paperinäytteistä tehtäviin laboratorioanalyysiin. /54; 55/ Kuva 10 havainnollistaa paperiradan poikittaissuunnassa tapahtuvia vaihteluja.



**Kuva 10** Paperiradan poikkisuuntainen vaihtelu /47/

Otettavat näytteet saadaan konesuunnassa vertailukelpoisiksi jatkuvatoimisen mittalaitteen arvojen kanssa PK2:lla pistemittausmetodilla (single point), jossa mitta-vaunu pysäytetään mittaamaan yhteen kohtaan paperirataa. Pistemittauksen avulla ei voida kuitenkaan ottaa huomioon koneen poikittaissuunnassa ilmenevää vaihtelua, joka on yleensä suurempaa kuin konesuuntainen vaihtelu. /32/ PK3:lla käytetään ns. miniskannausta, jossa anturi mittaa kapeaa aluetta edestakaisin. Näin paperiradan poikkisuuntainen vaihtelu voidaan huomioida. /24/ Laboratorion henkilökunta käyttää yleensä näytteenoton aikana miniskannausalueen leveydenä 10 cm. /61/ Kun näytteenottokohta on valittu, ajetaan konerullaan paksuudelta noin 1 cm verran ylimääräistä paperia.



**Kuva 11** Konesuuntainen näytteenottokohta

Laboratoriomäärittystä varten leikataan konerullan molemmilta puolin kymmenen näytteen niput (kuva 11). Näyteniput on leikattava tarkasti koneensuuntaisesti samasta kohdasta konerullaa, mistä online-mittaus on tehty, jotta saataisiin mahdollisimman edustavia näytteitä. Rinnakkaisilla näytteillä saadaan varmistettua, etteivät näytenipuista lasketut keskiarvot suuresti poikkea toisistaan ja pienennettyä näytteiden etäisyyttä konesuunnassa toisiinsa nähden. Jos näytteiden tulokset eroavat paljon toisistaan, ne hylätään ja mittaukset uusitaan. /61/ Lopullinen ilmoitettava anturin kalibrointitulostulos muodostuu kahden näytenipun keskiarvosta ja tiedot vertailua varten otetaan paperikoneen profiilinäytöltä, josta nähdään antureiden mittauksien laatusuureiden tulokset ja niiden kahden sigman mittausepävarmuudet. /24/ Jokaiselle kalibroitavalle anturille on Osku-tietojärjestelmään tehty yksilölliset ennakkohuoltotyönumerot, joiden alle kalibroinnin tulokset kerätään. /61/

### 3.3.2 Paperin kuivamassan määrittäminen

Paperin kuivamassalla tarkoitetaan paperin neliömassaa ilman vettä. /36/ Ennen kuivamassan määrittäystä on tietyltä alueelta konerullan molemmilta puolilta otettu paksuudeltaan noin 10 arkin näyteniput. Näyteniput leikataan laboratoriossa metallista valmistetun sapluunan avulla tunnettuun 25 x 50 cm kokoon. /61/ Leikkauksen jälkeen näytteet laitetaan kuivausuuniin, jonka lämpötila on  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . /56; 57/ Näytteiden suositeltu kuivausaika on vähintään viisi tuntia, jolloin näytteistä on kosteus haihtunut, eikä niiden paino muutu enää merkittävästi. Seuraavaksi näytteet punnitaan nopeasti, ennen kuin niihin ehtii imeytyä uudestaan kosteutta ilmasta.

/61/ Kun tunnetaan näytteen paino (g) ja pinta-ala (m<sup>2</sup>), lasketaan paperin kuivamassa suhteessa paperineliöön kaavan 3 avulla. /24/

$$\text{Kuivaneliömassa} = \frac{\text{paino}}{\text{pinta - ala}} \quad (3)$$

### 3.3.3 Paperin kosteusprosentin määrittäminen

Kosteuspitoisuuden määrittämistä varten on tietyltä alueelta konerullan molemmilta puolilta leikattu noin 20 x 40 cm ja paksuudeltaan kymmenen arkin näytenippu. Näytenipun välistä on leikkauksen jälkeen otettu nopeasti viiden arkin paperinippu, joka välittömästi suljetaan muoviseen säilytuspussiin. Laboratoriossa pussiin suljettu näytenippu punnitaan digitaalisella vaa'alla. Punnituksen jälkeen näytenippu otetaan pussista ja laitetaan kuivausuuniin. Seuraavaksi punnitaan pelkän säilytuspussin massa, jonka vaaka vähentää suoraan kokonaisuudesta. Näin saadaan selville näytenipun märkämassa, joka kirjataan ylös. Samat toimenpiteet tehdään rinnakkaisnäytteelle. Näyteniput otetaan kuivausuunista pois reilun viiden tunnin kuluttua, jonka jälkeen näytteet punnitaan ennen kuin niihin pääsee imeytymään uudelleen kosteutta ilmasta. /57/ Kun tiedetään näytteen punnittu märkämassa (g) ja kuivamassa (g) voidaan kaavan 4 avulla laskea näytenipun vesimassa. /24/

$$\text{vesimassa} = \text{märkämassa} - \text{kuivamassa} \quad (4)$$

Paperin kosteudenmittaus on mittauksen kannalta vaikein tässä yhteydessä käsiteltävistä mittauksista, koska paperin kosteuteen vaikuttaa hyvin helposti ympäröivän ilman kosteus. Tämän vuoksi konerullasta otetut näyteniput kääritään rullalle ja suljetaan muovipussiin mahdollisimman nopeasti näytteenoton yhteydessä. /57; 61/ Jotta päästäisiin mahdollisimman pieneen mittausepävarmuuteen, näytenipun massa täytyy olla vähintään 50 g. /57/ Käytännössä määrä on kuitenkin 100 g. /61/ Kyseinen paino vastaa noin viiden paperiarkin paksuista ja 20 x 40 cm kokoista näytenippua. /24/ Kosteudenmittaus perustuu ISO 287-1985-standardiin. Paperin kosteusprosentti lasketaan kaavan 5 mukaan.

$$\varphi = \frac{(m_{\text{wet}} - m_{\text{dry}}) \cdot 100}{m_{\text{wet}}}, \quad (5)$$

missä	$m_{\text{wet}}$	on kosteusnäytteen märkämässä (g),
	$m_{\text{dry}}$	on kosteusnäytteen kuivamassa (g) ja
	$\varphi$	on paperin kosteusprosentti (%). /57/

### 3.3.4 Paperin neliömassan määrittäminen

Neliömassan määrittäminen perustuu ISO 536:1995 -standardiin. Laboratorioanalyysissä paperin neliömassa on laskennallinen suure, se lasketaan paperinäytteestä lasketun kosteusprosentin ja punnitun kuivamassan mukaan kaavan 6 avulla. /56/

$$BW = \frac{DW}{1 - \frac{\varphi}{100\%}}, \quad (6)$$

missä	BW	on paperin neliömassa (g/m <sup>2</sup> ),
	DW	on kuivamassanäytteen kuivaneliömassa (g/m <sup>2</sup> ) ja
	$\varphi$	on kosteusnäytteen kosteusprosentti (%). /56/

Liitteessä 5 on esitetty sivu PK3:n mittapalkin laboratoriomenetelmän kalibrointi-raportista, jossa näkyy laboratorioanalyysien tulokset.

### 3.4 Kalibrointi pakatun neliömassan avulla

PK3:lla mittaraamin neliömassa-anturin pysyvyyttä seurataan myös konerullan pakatun neliömassan avulla. /39/ PK3:lla neliömassa-anturin pysyvyyden seuranta pakatun neliömassan avulla on mahdollista, koska paperiin ei tehdä määrätietoisesti toimenpiteitä, mitkä vaikuttavat paperin neliömassaan mittapalkin ja pakkaamon vaa'an välillä. Koska PK2:lla paperiin lisätään vettä välikostuttimella ennen superkalanterointia, ei Da Vincin ja Lippken neliömassa-anturin pysyvyyttä voida seura-

ta pakatun neliömassan avulla niin hyvin kuin PK3:lla. Superkalanteroinnin aikana paperista haihtuu vettä, joka vaikuttaa suoraan paperin neliömassaan. /59/

Konerullasta leikattujen asiakasrullien pakkaustapahtuman yhteydessä muodostetaan TIPS (TietoEnator Integrated Paper Solution) -järjestelmään konerullittainen pakattu neliömassa. /48/ TIPS lähettää saman neliömassa-arvon TotalPlant Alcont-tehdasautomaatiojärjestelmään. Liitteessä 6 on esitetty Alcontista otettu PK3:n neliömassaraportti. Alcontissa näytetään yhdellä kerralla kahdenkymmenen konerullan neliömassan mittaustiedot. Mittauksen seuranta tehdään vertaamalla keskenään Alconttiin muodostettua pakattua neliömassaa ja mittaraamin mittaamaa neliömassaa.

Koska online-neliömassan ja pakatun neliömassan välisen eron suuruuteen vaikuttaa asiakasrullien kuivuminen eri tavalla eri vuodenaikoina, on käyttöön otettu paperikoneen konehuoneen ilmankosteuden kompensointikertoimet. /39/ Seuraavissa kappaleissa keskitytään käsittelemään pakatun neliömassan muodostumista TIPS -järjestelmään ja konesalin kosteuden kompensointimahdollisuuksia.

### **3.4.1 Pakatun neliömassan muodostuminen TIPS-järjestelmään**

Jokaisen asiakasrullan pakkaustapahtuman yhteydessä lasketaan rullalle laskennallinen neliömassa. Neliömassan laskenta asiakasrullalle tehdään vähentämällä pakkaamon vaa'an punnitusta massasta paperirullan hylsyn massa, minkä jälkeen saatu massa jaetaan rullan pinta-alalla. Rullan pinta-ala lasketaan asiakasrullan nimellisellä leveydellä (trimmileveydellä) ja pituusleikkurin (PL) antamalla pituustiedolla tai käyttäjän antamalla pituustiedolla. /48/

Osasta PK3:lla valmistetuista konerullista leikataan asiakasrullia sen oman tuotolinjan Valmet Windcontrol -pituusleikkurilla (PL31). Sen kapasiteetti ei yksin riitä leikkaamaan kaikkea PK3:n tuotantoa, joten lisänä käytetään toista Windcontrol-pituusleikkuria (PL42) PK4:n puolelta. Leikkureiden perässä on URK eli uudelleenrullauskone yksittäisille asiakasrullille. Asiakasrullien pakkausta varten on kaksi pakkauslinjaa, joista toinen on täysautomaattinen pakkauslinja (RPL3) ja toi-

nen käsinpakkauslinja. Normaalitylanteessa PK3:n asiakasrullat punnitaan ennen pakkausta RPL3:n Mettler Lynx rullavaa'alla. /59/

TIPS-järjestelmä laskee konerullan keskimääräisen neliömassan, jonka se lähettää Alcontille. Lähetetty arvo on keskiarvo konerullasta pakattujen ”priimarullien” laskennallisesta neliömassasta painotettuna rullien pinta-alalla. Laskennassa käytettävä asiakasrulla kohdistetaan yhteen ”pääkonerullaan”. Seuraavissa tilanteissa asiakasrulla lasketaan yhden konerullan keskiarvoon: rulla on leikattu PL:lla kahdesta konerullasta tai rullia leikataan ja yhdistellään uudelleenrullauskoneella. /48/

### **3.4.2 Kosteuskompensointi paperikoneen asetusarvon avulla**

Paperi on kosteutta imevä, absorpoiva ja kosteutta menettävä aine. Nämä paperin kosteuden muutokset aiheutuvat ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutoksista. Talvella ongelmana on paperin liika kuivuminen, joka aiheuttaa sähköisyyttä. Kesällä taas paperin kosteusprosentti voi nousta korkeaksi. Koska konesalin ilman suhteellinen kosteus vaihtelee vuodenaikojen mukaan, on käyttöön otettu laskennalliset korjauskertoimet. /39/

Kosteuskompensointi voidaan tehdä kahdella eri tavalla: muuttamalla paperin kuivamassan tai vesimassan asetusta. Molemmilla kompensointimenetelmillä on tarkoitus korjata paperille järjestelmässä olevan reseptin asettamaa kuivamassan tai vesimassan asetusta niin, että eri vuodenaikoina muuttuvasta salin kosteudesta aiheutuvat poikkeamat pakatun neliömassan ja mittapalkilla mitatun neliömassan välillä saadaan korjattua. /39/ Molemmat kosteuden kompensointivaihtoehdot on toteutettu PK3:n Honeywell Experion PKS -järjestelmään. Koneenajomies syöttää halutun korjausarvon neliömassalle ja valitsee käytetäänkö kosteudella vai kuidulla kompensointia. Liitteessä 7 on esitetty Experion PKS-järjestelmään toteutettu kompensoinnin asettelusivu.

### 3.4.3 Kuitukorjaus

PK3:lla tehdään tällä hetkellä kosteuskompensointi kuitukorjauksen avulla. Tällöin paperin neliömassa-asetuksen korjaaminen niin, että pakattu neliömassa on haluttu, johtaa siihen, että talvella ajetaan paperitonniin enemmän kuitua kuin kesällä. Laadunmittausjärjestelmä tekee kuitukorjauksen lisäämällä paperilajin reseptissä olevaan tavoiteneliömassan asetusarvoon operoijan asetteleman korjauksen. Kun tästä lasketaan reseptissä annetun tavoitekosteusprosentin avulla haluttu kuivamassa ja vesimassa, nousee molempien asetusarvot kuin ajettaisiin raskaampaa tai kevyempää paperia, riippuen onko korjaus positiivinen vai negatiivinen. Näin paperin kosteusprosentti pysyy ennallaan (9 kosteus-%). Korjauksella vaikutetaan neliömassan asetusarvoon, joka muuttaa paperiin ajettavan kuidun määrää. /39; 59/

### 3.4.4 Kosteuskorjaus

Kosteuskorjauksessa nostetaan paperin vesimassaa niin, että se kompensoi mahdollisen eron pakatun ja mitatun neliömassan välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että paperin tavoitekosteutta ja neliömassaa muutetaan niin, että kuitumäärä paperissa säilyy ennallaan. Haluttu neliömassan muutos tehdään siis muuttamalla paperin kosteutta. Käytettäessä kosteudella kompensointia on vain positiivinen kompensointialue sallittu. /39/

## 4 ANTUREIDEN VIRITTÄMINEN

Virittämisellä tarkoitetaan mittalaitteen arvojen korjausta kalibrointitulosten perusteella laskettujen korjausarvojen avulla. Virityksen avulla poistettavissa olevien mittausvirheiden eliminointi parantaa mittaustarkkuutta ja mittaustuloksien luotettavuutta. /58/ Mittalaitetta ei saa virittää satunnaisen vaihtelun perusteella, koska se johtaa vain mittaasepävarmuuden kasvamiseen. Tästä syystä on kyettävä erottamaan satunnainen vaihtelu todellisesta vaihtelusta. Kalibrointituloksiin voi vaikuttaa esimerkiksi ympäristölliset vaikutukset kuten ilman kosteus ja lämpötila. /2/

Yleensä virittäminen tehdään käyttämällä taso (intercept) tai kulmakerroin (slope) viritysparametreja. Näiden parametrien avulla voidaan tehdä Da Vincin ja Lippken kosteusantureiden sekä Lippken neliömassa-anturin virittäminen. Koska Da Vincin neliömassa-anturissa on mittapäiden likaisuuden kompensointi, tehdään anturin virittäminen eritavalla. Mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden virittäminen jakaantuu kahteen osaan: perus- ja lajivirittämiseen. Molemmille viritysmenetelmille on määritelty mittaraamien ohjausjärjestelmiin omat viritysparametrit, joita muutetaan tarvittaessa mittapalkkien serveriasemilta. /7; 8; 45/

Antureiden virittämisessä tulee esille usein käsitteet anturin kiinnittäminen ja lajiryhmät. Kun virityksen yhteydessä puhutaan anturin kiinnittämisestä, tarkoitetaan sillä kalibrointimenetelmää, jonka tulosten perusteella anturi on viritetty. /59/ Jos virittäminen tehdään jäljitettävän kalibrointimenetelmän mittaustuloksien perusteella, saadaan anturin mittaustulokset jäljitettäväksi näiltä osin. /58/ Mikäli anturin tarkkuus vaihtelee paljon eri paperilajeilla, parempi mittaustarkkuus voidaan saavuttaa määrittämällä viritysparametrit eri lajeille tai eri lajeista koostuville ryhmille. Tässä työssä tarkasteltavien mittapalkkien neliömassa- ja kosteusanturit soveltuvat hyvin UPM:n, Kajaanin tehtaalla valmistettavien paperilajien mittaamiseen. Näin ollen anturit on viritetty yhteen lajiryhmään. /59/

Jos anturia joudutaan virittämään toistetaan kalibrointi, jotta voidaan todeta tilanteen korjaantuminen. Koska viritysparametrien muuttamisella vaikutetaan anturin mittaukseen, on tärkeää tietää, minkä perusteella mitäkin parametria muutetaan. Tässä kappaleessa keskitytään käsittelemään mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden virityskäytäntöä.

#### **4.1 Antureiden perusvirittäminen**

Mittapalkkien antureiden perusvirittäminen tehdään peruskalibroinnin tuloksien perusteella. Peruskalibroinnin ajaksi anturin lajiviritysparametrit otetaan käytöstä pois, minkä vuoksi kalibroinnin aikana on käytössä vain perusviritysparametrit. Jos havaitut virheet ovat suuremmat kuin ennalta asetettu hyväksymistoleranssi, laskeaan kalibrointituloksien perusteella uudet viritysparametrit, minkä jälkeen anturia

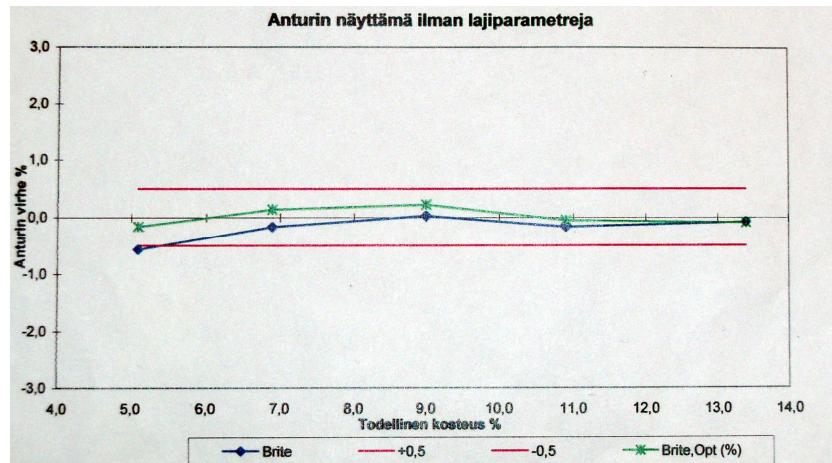
viritetään. /45/ Taulukossa 1 on esitetty, miten antureiden perusviritysparametrit on nimetty mittaraamin ohjausjärjestelmään. /7; 8; 44/

**Taulukko 1** Neliömassa- ja kosteusantureiden perusviritysparametrit.

Virittämisen kohde	Taso	Kulmakerroin
PK2		
Da Vinci, neliömassa-anturi	BA0, BA1, BA2, BA3,	DA0, DA1, DA2, DA3
Da Vinci, kosteusanturi	DDD	AAA
Lippke, neliömassa-anturi	HEAD ZERO	HEAD SPAN
Lippke, alamittavaunun kosteusanturi	HEAD ZERO	HEAD SPAN
Lippke, ylämittavaunun kosteusanturi	HEAD ZERO	HEAD SPAN
PK3		
Da Vinci, neliömassa-anturi	BA0, BA1, BA2, BA3,	DA0, DA1, DA2, DA3
Da Vinci, kosteusanturi	DDD	AAA

Koska Da Vincin neliömassa-anturissa on mittapäiden likakompensointi, tehdään virittäminen taulukossa 1 esitettyjen kahdeksan parametrin avulla. Neljä parametrista on puhtaalle käyrälle (BA) ja neljä likakäyrälle (DA). Jotta puhdas ja likainen kalibrointikäyrä saadaan sovitettua keskenään, täytyy molemmille käyrille laskea samanaikaisesti kulmakertoimet oikein. Tämän vuoksi parametrien laskennasta tulee monimutkaisempaa verrattuna muiden antureiden viritysparametrien laskentaan. Neliömassa-anturin mittausta voidaan parametrien avulla korjata seuraavissa tilanteissa: likakompensointi ei toimi kunnolla tai likakompensointi toimii, mutta anturi ei muuten mittaa oikein referenssinäytteitä. Kosteusantureissa ja Lippken neliömassa-anturissa ei likakompensointia ole, minkä vuoksi antureilla tehdään virittäminen taso- ja kulmakerroinparametrien avulla. Taso ja kulmakerroin lasketaan yleensä regressioanalyysin perusteella. /44/

Kuvassa 12 on esitetty PK3:n mittaraamin kosteusanturin kenttäkalibroinnissa havaitut mittausvirheet mittausalueen eri tarkastuspisteissä. Lasilevyjen välissä kosteusnäytteiden referenssimateriaalina on käytetty UPM Brite paperia, joka on kostutettu haluttuun kosteuteen. JMK laskee referenssinäytteiden lasilevyjen vaikutuksen pois kalibrointituloksista, minkä jälkeen viritysparametrit lasketaan.



**Kuva 12** PK3:n mittapalkin kosteusanturin peruskalibroinnissa havaitut virheet mitta-alueen eri tarkastuspisteissä. /14/

Kuvan 12 sininen käyrä kuvaa anturin mittausvirhettä ennen virittämistä. Vihreä käyrä kuvaa tilannetta johon voidaan päästä, jos anturi viritetään uusien parametrien perusteella. Hyväksymistoleranssin rajat on merkitty punaisella. JMK käyttää kosteusanturin kalibroinnissa hyväksymistoleranssin rajoina  $\pm 0,5$  % ja neliömassa-anturin  $\pm 0,5$  g/m<sup>2</sup>. /14/ Neliömassa-anturin perusvirittämisen tavoitteena on saada anturi mittaamaan oikein Mylar-referenssejä mitta-alueen eri tarkastuspisteissä. Jos kosteusanturin mittaukseen ei vaikuta tuotantolinjalla valmistettavat eri paperilajit, tehdään anturille viritys perusparametrien avulla. Neliömassa- ja kosteusantureiden kulmakertoimet on kiinnitetty JMK peruskalibroinnissa käyttämiin näytteisiin. /60/

## 4.2 Lajivirittäminen

Antureiden lajivirittäminen voidaan tehdä JMK:n tekemän kenttäkalibroinnin tai laboratorion tekemän kalibroinnin tuloksien perusteella. Molempien kalibrointimenetelmien tekemisen aikana ovat antureiden perus- ja lajiviritysparametrit käytössä. Tällöin tarkoituksena on varmistaa, että anturin mittaus toimii luotettavasti kaikille tuotantolinjalla valmistettaville paperilajeille /45; 58/. Taulukossa 2 on esitetty, miten antureiden lajiviritysparametrit on nimetty mittaraamin ohjausjärjestelmään. /7; 8; 44/ Liitteessä 8 esitetty PK3:n Da Vincin antureiden viritys sivu, josta antureille voidaan tehdä lajivirittäminen.

**Taulukko 2** Neliömassa- ja kosteusantureiden tuotekohtaiset viritysparametrit

Virittämisen kohde	Taso	Kulmakerroin
PK2		
Da Vinci, neliömassa-anturi	BWDO	KCM
Da Vinci, kosteusanturi	DMBE	DMAE
Lippke, neliömassa-anturi	GRADE ZERO	GRADE SPAN
Lippke, alamittavaunun kosteusanturi	GRADE ZERO	GRADE SPAN
Lippke, ylämittavaunun kosteusanturi	GRADE ZERO	GRADE SPAN
PK3		
Da Vinci, neliömassa-anturi	DYNA OFFSET	KCM
Da Vinci, kosteusanturi	DMBE	DMAE

#### 4.2.1 Lajivirittäminen kenttäkalibroinnin tulosten perusteella

Kenttäkalibrointia varten JMK voi valmistaa näytteet tuotantolinjalla valmistettavista eri paperilajeista. Näin nähdään, miten anturit mittaavat eri paperilajeja. Jos anturin mittaus reagoi eri tavalla eri paperilajeille, lasketaan kalibrointituloksien perusteella uudet lajiviritysparametrit, minkä jälkeen tehdään virittäminen. Mikäli antureille jouduttaisiin tekemään useampi lajiryhmä, joille täytyy määrittää erilliset kulmakertoimet ja tasot, voidaan ne tehdä kenttäkalibrointien tulosten perusteella. Yleensä lajivirityksessä muutetaan vain tasoparametria. /60/

#### 4.2.2 Lajivirittäminen laboratorion tekemän kalibroinnin tulosten perusteella

Välillä anturin pysyvyydessä voi tapahtua muutos, joka havaitaan säännöllisin väliajoin tehtävällä anturin pysyvyyden seurannalla. Kun laboratorion henkilökunta tekee kalibrointia, katsoo se kalibrointiajankohdan ajettavan lajin mukaan. Jos kalibroinnin tuloksessa on havaittavissa selvä ero edellisiin kalibrointituloksiin verrattuna, selvitetään eron aiheuttajan syy. /61/ Ennen anturin virityspäätöstä tarkistetaan vakionäyteseurannan tulokset, joita käytetään apuna tulkittaessa laboratorion tekemän kalibroinnin tuloksia. Lisäksi PK3:lla käytetään apuna pakatun neliömassan mittaustietoa. Jos anturia viritetään laboratorion menetelmän kalibrointitulosten perusteella, muutetaan yleensä vain tasoparametria. /63/

Oskuun on määritetty tilastollisen prosessin hallinnan (Statistical Process Control, SPC) perusteella laboratorion tekemälle kalibroinnille ja vakionäyteseurannalle valvontarajat, jotka helpottavat omalta osaltaan kalibrointituloksien tulkintaa. Varoitusrajoina käytetään kahden sigman ja hälytysrajoina kolmen sigman valvontarajoja. SPC:n mukaan normaalijakauman kyseessä ollen noin 99 % kalibrointituloksista sijoittuvat keskiarvon ympärille kolmen sigman hälytysrajojen sisäpuolelle ja noin 95 % kahden sigman varoitusrajojen sisäpuolelle /33, s. 177/. Kalibrointitulosten valvontakorttien tulkitsemiseen on esitetty sääntöjä, joiden avulla anturin pysyvyydessä tapahtuvia muutoksia voidaan tulkita. /33, s. 294/ Kun jokin seuraavista tapauksista ilmenee, voidaan epäillä anturin pysyvyydessä olevan vikaa.

1. Yksittäinen arvo valvontarajojen ulkopuolella
2. Vähintään kaksi kolmesta peräkkäisestä arvosta ovat samalla puolella keskiviivaa ja nämä arvot ovat enemmän kuin varoitusrajan etäisyydellä keskiviivasta.
3. Vähintään neljä viidestä peräkkäisestä arvosta ovat samalla puolella keskiviivan ja varoitusrajan välissä.
4. Kuusi kalibrointitulosta nousee tai laskee peräkkäin. /53/

## **5 KALIBROINNIN MITTAUSEPÄVARMUUDEN MÄÄRITTÄMINEN**

Kalibrointimenetelmien mittausepävarmuutta ja edustavuutta voidaan kuvata erilaisten laskettujen tilastollisten tunnuslukujen avulla. Ennen tunnuslukujen vertaamista keskenään on tärkeää tietää, miten tunnusluku on laskettu, koska muuten lukujen vertaaminen voi olla harhaan johtavaa. Tässä kappaleessa on esitetty kalibrointimenetelmien mittausepävarmuutta ja edustavuutta kuvaavia tunnuslukuja ja niiden laskentaa.

### **5.1 Seurantamenetelmän luonnetta kuvaavat tunnusluvut**

Yhdellä anturin kalibrointikerralla saadaan yksittäisiä mittausarvoja näytteistä. Näyte voi olla paperia tai jokin muu anturilla mitattavaa laatusuuretta hyvin kuvaava referenssi. Näistä yksittäisistä mittausarvoista määritetään erilaisia tunnuslukuja kuvaamaan näytteen ominaisuuksia. Laskettava tunnusluku voi olla esimerkiksi

keskiarvo. Koska mitattavasta suuresta on vain äärellinen määrä mittaustuloksia joudutaan keskiarvo määrittämään kokeellisesti eli estimoimaan kaavan 7 avulla. /1, s. 165; 23, s. 85/

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (7)$$

missä

$n$  on mittaustulosten lukumäärä ja

$x_i$  on mittausarvo. /23, s. 81/

Toinen tärkeä tunnus suure on keskihajonta. Se kuvaa sitä, kuinka hajallaan yksittäiset mittausarvot ovat niiden keskiarvon ympärillä. Suuri keskihajonta merkitsee, että kalibrointitulokset hajaantuvat suurelle alueelle. /6, s. 84/ Koko perusjoukosta laskettua keskihajontaa merkitään tavallisesti symbolilla  $\sigma$  ja näyte-erästä laskettua keskihajontaa merkitään yleensä symbolilla  $s$ . Keskihajonnan mittayksikkö on kulloisenkin mitattavan suureen yksikkö ja se saadaan estimoitua kaavan 8 avulla. /23, s. 84/

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (8)$$

missä

$n$  on mittaustulosten lukumäärä,

$x_i$  on mittausarvo ja

$\bar{x}$  on mittaustuloksien keskiarvo.

Yleensä tilastotieteen teoreettisissa tarkasteluissa käytetään varianssia, joka on keskihajonnan neliö. Se ei ole yhtä havainnollinen kuin keskihajonta, koska sen yksikkö on muuttujan arvojen yksiköiden neliö. /6, s. 85/ Varianssi saadaan estimoitua kaavan 9 avulla.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (9)$$

missä

$n$  on mittaustulosten lukumäärä,

$x_i$  on mittaustulos ja

$\bar{x}$  on mittaustulosten keskiarvo. /26/

Kalibrointimenetelmien hajontalaskennoissa käytetään tunnuslukuna yleisesti kahden sigman keskihajontaa, joka saadaan laskettua kertomalla keskihajonta kahdella.  $2\sigma$ -luku kertoo, kuinka havaintoarvot sijoittuvat keskiarvoon nähden ja sen, että noin 95 % mitatuista arvoista on vaihtelurajojen  $\pm 2\sigma$  sisällä. /38/

## 5.2 Online-mittauksen epävarmuus ja edustavuus

Online-mittaukset mahdollistavat koko konerullan matkalta mittaustiedon saamisen. Mittakelkan poikkiliikkeestä eli traversoinnista johtuen paperista mitataan vain hyvin vähäinen osuus. /46/ Jos paperiradan nopeus on 1200 m/min, mittakelkan radan ylitysaika 20 s ja radan leveys 8 m, ehtii paperirata liikkua yhden mittakelkan radanylityksen aikana noin 400 m. /30, s. 23/

Honeywell on ilmoittanut tarkkuuden, jolla anturit toimivat. Yleensä nämä rajat ilmoitetaan  $2\sigma$ -arvoilla. Taulukossa 3 on esitetty esimerkkinä Da Vincin neliömassa- ja kosteusanturille luvatut toistuvuusepävarmuudet. /40/ Toimittajan ilmoittamat arvot on tarkastettu aikaisemmin, joten tarkkuuksia voidaan pitää luotettavina.

**Taulukko 3** Online-mittausantureiden toistuvuus.

Anturi	Epävarmuus, $2\sigma$ -hajonta
Neliömassa	0,20 g/m <sup>2</sup>
Kosteus	0,19 %

### 5.3 Kenttäkalibroinnin epävarmuus ja edustavuus

Kenttäkalibroinnin epävarmuuteen vaikuttavat esimerkiksi seuraavat tekijät: näytteen epävarmuus, anturin toistuvuus, kohina ja radan paikan ja olosuhteiden muuttuminen mittavälissä. JMK tekee kenttäkalibroinnin mittaasepävarmuuden määrittämisen EA:n (European co-operation for Accreditation) julkaisun EA-4/02 mukaisesti. /60/ Julkaisussa annetaan kalibrintilaboratoriolle peruseriaatteet ja ohjeita kalibrintitodistuksissa ilmoitettujen standardimittaasepävarmuuksien arviointia ja esittämistä varten. Kun eri kalibrintimenetelmien mittaasepävarmuuksien määrittäminen tehdään samalla tavalla, voidaan tuloksia myös verrata keskenään luotettavasti. /38/

EA-4/02-julkaisussa epävarmuuskomponentit ryhmitellään kahteen luokkaan sen perusteella, miten niiden arvot estimoidaan. Komponentit jakautuvat satunaisiin ja systemaattisiin virheisiin. Jos virheen luone ei ole selvä, käsitellään se satunaisena virheenä. Systemaattiset virheet korjataan. Virheiden korjauksen jälkeen loppuja virheitä voidaan pitää satunnaisina. Tyypin A epävarmuuskomponentit ovat sisäisen epävarmuuden komponentteja, joiden suuruus arvioidaan samoissa olosuhteissa toistetuista mittaustuloksista itsestään.

Tyypin B epävarmuuskomponentit ovat ulkoisen epävarmuuden komponentteja, joiden arvioinnissa käytetään muita tietoja kuin mittaustuloksia. Näiden epävarmuuskomponenttien arviointi perustuu laitteiston tuntemukseen ja aikaisempaan kokemukseen kalibroinnin mittaasepävarmuuden määrittämisessä. /38/ Esimerkiksi Mylar-näytteiden keskellä on halkaisijaltaan 22 mm ympyränmuotoinen kohta, joka on kalibroitu jäljitettävästi. Kalibroinnin aikana neliömassa-anturin säteilykeila osuu näytelevylle noin 15 x 60 mm alueelle, joka on suurempi kuin kalibroitu kohta. Tästä aiheutuvan virheen suuruus täytyy arvioida. /60/ Tyypin B mittaasepävarmuuden arviointi voi olla yhtä luotettava kuin tyypin A, jos tyypin A epävarmuudet on arvioitu tilastollisesti pienestä määrästä mittaustuloksia. /38/ Taulukossa 4 on esitetty neliömassa- ja kosteusantureiden kenttäkalibroinnit ja mittaasepävarmuudet yhdessä tarkastuspisteessä. /15; 17; 60/

**Taulukko 4** Yhden kalibrointipisteen mittausepävarmuus.

Kenttäkalibrointimenetelmä	Epävarmuus, $2\sigma$ -hajonta
Neliömassa-anturi, peruskalibrointi	0,3 g/m <sup>2</sup>
Neliömassa-anturi, tuotekohtainen kalibrointi	0,5 g/m <sup>2</sup>
Kosteusanturi, peruskalibrointi	0,5 %

Akkreditoidun kalibrointilaboratorion akkreditointipäätöksessä ilmoitetaan kalibrointilaboratorion pienin mahdollinen mittausepävarmuusarvo. Tämän mittausepävarmuuden suuruuteen vaikuttavat mittanormaalien ja mittauslaitteiden ominaisuudet ja kalibrointivälit sekä mittausmenetelmät että -olosuhteet. Kalibrointitodistuksissa ilmoitettu epävarmuus ei saa koskaan olla akkreditointipäätöksessä ilmoitettua pienempi. Sen sijaan yleensä ilmoitetaan suurempi epävarmuus, jos mittauksen suoritus tapa poikkeaa arvioinnin perustana olevasta. /28; 29; 18; 19/

Taulukosta 4 voidaan havaita, että neliömassa-anturin peruskalibroinnin mittausepävarmuus on hyvä. 0,3 g/m<sup>2</sup> on Mylar-näytteillä tehtävän kalibroinnin pienin mittausepävarmuusarvo, jonka JMK saa kalibrointitodistuksessa yhdelle mittauspisteelle antaa. Tuotekohtaisessa kalibroinnissa ei paperinäytteen vuoksi päästä yhtä pieneen mittausepävarmuuteen kuin muovinäytteillä. Kosteusanturin kenttäkalibroinnin mittausepävarmuuteen vaikuttaa esimerkiksi, miten ohutta paperia näytteissä käytetään. Jos käytetään ohutta paperia, on mittausepävarmuuskin vähän suurempi. /60/

Kalibrointitodistuksessa ilmoitetaan koko kalibrointitapahtuman mittausepävarmuus. Esimerkiksi neliömassa-anturin kenttäkalibroinnin mittausepävarmuus koostuu näytteiden epävarmuudesta, jonka lisäksi arvioidaan yli kymmenen eri virhetehtävien vaikutukset kalibrointitulokseen. Tällöin otetaan huomioon anturin toistuvuus, radan paikan ja olosuhteiden muuttuminen mittavälissä. /60/

#### 5.4 Vakionäyteseurannan epävarmuus ja edustavuus

Vakionäyteseurannan mittausepävarmuuteen vaikuttavat samat epävarmuustekijät kuin kenttäkalibroinnin epävarmuuteen. Taulukossa 5 on esitetty Da Vincin ja Lippken neliömassa- ja kosteusantureiden vakionäyteseurannan kahden sigman mittausepävarmuudet. /20; 21/

**Taulukko 5** Vakionäyteseurannan mittausepävarmuus.

Vakionäyteseurannan kohde	Epävarmuus, $2\sigma$ -hajonta
Neliömassa-anturi	0,3 g/m <sup>2</sup>
Kosteusanturi	0,5 %

Vakionäyteseurannan tekijä voi vaikuttaa tuloksiin seuraavasti: puhdistamalla antureiden mittapäätt huolellisesti, käsittelemällä näytelevyjä varoen, laittamalla näytelevyt sisältävä ohjainkehikko hyvin alamittavaunun päälle, kirjaamalla kalibrointitulokset huolellisesti kalibrointilomakkeeseen ja Oskuun.

#### 5.5 Laboratorion tekemän kalibroinnin epävarmuus ja edustavuus

Laboratorion tekemän kalibroinnin epävarmuustekijät voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: online-anturin, laboratorioanalyysin ja näytteenoton epävarmuuteen. /2/ Kalibroinnin edustavuus perustuu stabiilin ajon paperin mittaamiseen, näytteenoton ja laboratorioanalyysin huolellisuuteen. Mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden kalibrointia varten otettavien näytteiden pinta-alat ovat pieniä. Koska paperi on tasalaatuisempaa konerullan keskiosasta, ei näytteitä leikata täysin konerullan reunoilta. /61/ Taulukossa 6 on esitetty laboratorion toistuvuuskokeen tulokset eri laatusuureille. /40; 2/

**Taulukko 6** Laboratorioanalyysin ja näytteenoton toistuvuus.

Laatusuure	Epävarmuus, $2\sigma$ -hajonta
Neliömassa	0,28 g/m <sup>2</sup>
Kosteus	0,16 %
Kuivamassa	0,20 g/m <sup>2</sup>

Laboratorion tekemän kalibroinnin toistuvuuskoe on tehty niin, että konerullasta on leikattu eri kohdista, mutta paperiradan konesuunnassa samalta linjalta kymmenen kosteusnäytenippua. Näistä näytenipuista on tehty erilliset laboratorioanalyysit. /61/ Kun analyysien tuloksista lasketaan keskihajonta saadaan paperin kosteuspi-toisuuden määrittämiseksi toistuvuus, joka sisältää laboratorioanalyysin ja näytteenoton mittausepävarmuuden. /40/ Taulukon 6 epävarmuuksia voidaan pitää luotettavina, koska online-antureiden kalibrointia tekevät laboratoriossa samat henki-löt, samoilla laitteilla ja tehtävät analyysit ovat helppoja.

## **5.6 Pakatun neliömassan avulla kalibroinnin epävarmuus ja edustavuus**

Konerullan pakatun neliömassan mittausepävarmuuteen vaikuttaa esimerkiksi pi-tuusleikkurin, uudelleenrullauskoneen ja pakkaamon vaa'an mittausepävarmuus. Normaalitilanteessa PK3:n konerullat leikataan asiakasrulliksi pituusleikkuri 42:lla. Pituusleikkurin metrimäärämittarin kalibrointitodistuksen mukaan leikkurin pyöri-essä 1500 m/min, on sen metrimäärämittauksen keskimääräinen poikkeama +0,03 % mittausalueella 9149 – 10 031 m. Uudelleenrullauskoneen (URK4) pyöriessä 600 m/min, on sen metrimäärämittauksen keskimääräinen poikkeama -0,05 % mittausalueella 10 335 – 10 952 m. /5/ Pakkaamon vaa'an keskimääräinen poik-keama on 0,3 kg mittausalueella 1000 – 4000 kg. /27/ Kyseisten mittausepävarmuuksien perusteella pakattua neliömassaa voidaan pitää luotettavana.

## 6 KALIBROINTIMENETELMIEN TILASTOLLINEN TARKASTELU

Kalibrointimenetelmien tilastollisen tarkastelun tavoitteena oli selvittää laskennallisesti menetelmien suorituskyvyt. Tarkastelu toteutettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa laskettiin vakionäyteseurannalle ja laboratorion tekemälle kalibroinnille tilastolliset tunnusluvut ja analysoitiin laskennasta saatuja tuloksia. Toisessa osassa tutkittiin, miten hyvin pakattua neliömassaa voidaan hyödyntää PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin pysyvyyden seurannassa.

Kalibrointimenetelmien suorituskykyä parhaiten kuvaaviksi tunnusluvuksi osoittautui keskiarvo ja keskihajonta. Jos kalibrointimenetelmän ja online-mittaustuloksen välillä ilmeni tasoeroa, saatiin tasoeron suuruus hyvin esille keskiarvon avulla. Kalibrointituloksien mittausepävarmuudet ilmoitettiin  $2\sigma$ -lukuna, koska  $2\sigma$ -lukua käytetään yleisesti mittausepävarmuuden ilmoittamisessa. Jotta laskennassa saadut tulokset olisivat mahdollisimman havainnollisia ja selkeitä, käytettiin laskennassa pelkästään absoluuttisia arvoja suhteellisten prosenttiarvojen sijasta. Koska tilastollisen tarkastelun luotettavuuteen vaikuttaa suoraan, miten kalibrointituloksia on valittu ja mitä toimenpiteitä tuloksille on tehty ennen laskentaa, esitetään tässä kappaleessa myös tarkastelun vaiheet.

### 6.1 Vakionäyteseurannan ja laboratorion tekemän kalibroinnin suorituskyvyt

Vakionäyteseurannan ja laboratorion tekemän kalibroinnin tilastollinen tarkastelu aloitettiin tutustumalla Osku-tietojärjestelmän avulla mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden kalibrointihistoriaan. Mittaraamien kaikki ennakkohuoltotyöt löytyivät Oskun prosessihierarkian alta. Prosessihierarkiaan on molemmille kalibrointimenetelmille tehty anturittaiset ennakkohuoltotyönumerot, joiden alle on menetelmittäin kerätty kalibrointituloksia.

Kalibrointihistorioiden pituudet ovat vaihdelleet hyvin paljon paperikoneittain ja kalibrointimenetelmittäin. Laboratorion tekemän kalibroinnin mittaushistoriat ovat kattavat jokaisen mittaraamin kohdalla. Vakionäyteseurannassa PK3:n mittapalkin kalibrointihistoria on hyvä, mutta PK2:n kohdalla kalibrointitulosten syöttämisessä

Oskuun ilmeni pitkiä taukoja, minkä vuoksi suurinta osaa vanhoista kalibrointituloksista ei voitu hyödyntää tarkastelussa.

Uusia kalibrointituloksia kerättiin tarkasteluun elokuun 2006 loppuun asti. Laboratorion tekemää kalibrointia ja PK3:n vakionäyteseurantaa tehtiin normaalintilanteen mukaisesti eli noin kahden viikon välein. Koska PK2:lla vanhoja vakionäyteseurannan tuloksia ei voitu hyödyntää tarkastelussa, tehtiin kalibrointia 22.5.–18.8.2006 välisenä aikana normaalitilannetta tiheämmällä aikavälillä.

Ensin kalibrointia tehtiin viikon välein. Heinäkuun alussa rytmiä tihennettiin siten, että kalibrointia tehtiin kolmena päivänä viikossa eri viikonpäivien aikana. Kalibrointijakson aikana jokaiselle anturille tehtiin kalibrointia noin 20 kertaa, minkä jälkeen siirryttiin takaisin normaalitilanteen mukaiseen rytmiin. Jos seurantajakson aikana kalibrointituloksissa ilmeni selviä muutoksia, pyrittiin muutoksen aiheuttaja saamaan selville. Mikäli syy saatiin selvitettyä kirjattiin siitä muistutus Excelin taulukkoon. Kun kalibrointituloksia oli saatu riittävästi laskentaan, kopioitiin tulokset Oskusta Excelin taulukkoihin. Excelin sarakkeisiin merkittiin seuraavat tiedot, joita tarvittiin tarkastelussa:

- ennakkohuoltotyön nimi
- kalibrointipäivämäärä
- online-mittauksen lukema
- näytelevyn arvo tai laboratorion tekemän kalibroinnin tulos
- online-mittauslukeman ja kalibrointituloksen välinen ero ja
- kalibroinnin tekijä.

### **6.1.1 Kalibrointimenetelmien mittaushistoriat**

Ennen kalibrointimenetelmien mittaushistorioiden pituuksien päättämistä tehtiin Excelissä tarkastus kalibrointitulosten käytettävyyden osalta. Tarkastuksessa käytettiin apuna antureiden historiatapahtumia, jotka löytyivät Oskun prosessihierarkian alta. Kun anturille tehdään ennakkohuolto- tai korjaustyö, kirjataan tehty työ anturin historiatapahtumaan. Sopivan kalibrointihistorian pituus päätettiin jokaiselle anturille erikseen. Koska normaalitilanteessa kalibrointeja tehdään harvoin, pyrit-

tiin menetelmien anturittaisia kalibrointituloksia saamaan laskentaan mukaan vähintään 20 kappaletta. Kalibrointijakson enimmäispituutena pidettiin vuotta.

Jos historiatapahtumasta löytyi merkintä anturille tehdystä korjaustoimenpiteestä, joka on selvästi vaikuttanut mittaukseen, otettiin huomioon vain näiden toimenpiteiden jälkeiset kalibrointitulokset. Jos kalibrointituloksien syöttämisessä Oskuun ilmeni pitkiä taukoja tai anturi oli vaihdettu, otettiin huomioon tauon ja anturin vaihdon jälkeiset tulokset. Kun yksittäinen kalibrointitulokseksi poikkesi selvästi muista kalibrointituloksista, ei poikkeavaa tulosta otettu huomioon. Poikkeaman syy katsottiin aiheutuneen huonosti tehdystä kalibroinnista, näytteen väärästä mittaustuloksesta tai muusta kalibroinnin tekemiseen liittyvästä inhimillisestä virheestä. Taulukossa 7 on esitetty laboratorion tekemän kalibroinnin kalibrointijaksojen pituudet. Liitteessä 9 on esitetty laboratorion menetelmän kalibrointitulokset.

Taulukko 7 Laboratorion tekemän kalibroinnin mittausjaksot, ennakkohuoltotyönumerot ja kalibrointitulosten lukumäärä.

Kalibroinnin kohde	Kalibrointijakso	Osku	Lkm.
PK2			
Da Vinci, neliömassa-anturi	24.8.2005–21.8.2006	2447	22
Da Vinci, kosteusanturi	24.8.2005–21.8.2006	2445	22
Da Vinci, kuivamassa	24.8.2005–21.8.2006	4111	22
Lippke, neliömassa-anturi	7.12.2005.–21.8.2006	2861	18
Lippken, kosteusanturit	9.3.2006.–21.8.2006	2446	11
PK3			
Da Vinci, neliömassa-anturi	11.10.2005.–17.7.2006	8277	27
Da Vinci, kosteusanturi	11.10.2005.–28.8.2006	8281	30
Da Vinci, kuivamassa	11.10.2005.–17.7.2006	8289	25

Lippken historiatapahtumasta ilmeni uuden säteilylähteen vaihto, joka on tehty 2.12.2005. Lisäksi alamittavaunuun on vaihdettu uusi kosteusanturi 3.3.2006. Syyksi historiatapahtumaan on kirjattu kosteusanturin vastaanottimen olevan epästabili (anturin B kanavan jännite vaihtelee liikaa). Koska Lippken osalta kalibrointitulosten lukumäärä jäi tavoitteesta, merkittiin Excelin sarakkeisiin huomautus tulosten vähäisestä määrästä, jotta tuloksia osattiin tarkastella varauksella. Taulukossa 8 on esitetty vakionäyteseurannan kalibrointijaksojen pituudet.

Taulukko 8 Vakionäyteseurannan mittausjaksot, ennakkohuoltotyönumerot ja kalibrointitulosten lukumäärä.

Kalibroinnin kohde	Kalibrointijakso	Osku	Lkm.
PK2			
Da Vinci, neliömassa-anturi	4.5.–18.8.2006	9096	22
Da Vinci, kosteusanturi	6.6.–18.8.2006	9097	22
PK3			
Lippke, neliömassa-anturi	22.5.–14.8.2006	9142	22
Lippke, alamittavaunun kosteusanturi	22.5.–18.8.2006	9144	23
Lippke, ylämittavaunun kosteusanturi	22.5.–18.8.2006	9145	23
PK3			
Da Vinci, neliömassa-anturi	31.10.2005.–28.8.2006	8278	26
Da Vinci, kosteusanturi	31.10.2005.–30.6.2006	8282	25

PK3:n Da Vincin kosteusanturin vakionäyteseurannan näytelevy on vaihdettu 10.4.2006. Vanhan näytelevyn kosteuspitoisuus oli 9,1 %:a ja uuden 11,5 %:a. Koska näytelevyn vaihdon vaikutus voitiin poistaa laskennallisesti, otettiin laskentaan mukaan kalibrointituloksia ennen ja jälkeen näytelevyn vaihdon. Koska PK2:lla tehtiin vakionäyteseuranta tiheämmällä aikavälillä, merkittiin Excelin sarakkeisiin jokaisen anturin kohdalle huomautus erilaisesta kalibrointirytmistä. Liitteessä 10 on esitetty vakionäyteseurannan kalibrointitulokset.

### 6.1.2 Tunnuslukujen laskenta

Laskennat aloitettiin poistamalla PK3:n mittaraamin kosteusanturin vakionäyteseurannan kalibrointituloksista systemaattinen virhe, jonka on aiheuttanut näytelevyn vaihto. Systemaattisella virheellä tarkoitetaan mittaustulosten keskiarvon poikkeamaa mitattavan suureen todellisesta arvosta, joka on tässä tapauksessa kosteusnäytelevyn arvo. Kalibrointituloksissa virhe tulee esille näytelevyn vaihdon jälkeisellä tason muuttumiselle. Koska systemaattisen virheen aiheuttaja tunnetaan, voidaan sen vaikutus poistaa tuloksista. Virheen poistaminen tehtiin näytelevy kerrallaan. Ensin laskettiin kosteusreferenssin ja online-mittausarvon välinen absoluuttinen ero kaavan 10 avulla.

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{online}} - \varphi_{\text{näyte}}, \quad (10)$$

missä

$\Delta\varphi$  on absoluuttinen ero,

$\varphi_{\text{online}}$  on online-mittauksen kosteusprosentti ja

$\varphi_{\text{näyte}}$  on kosteusreferenssin arvo.

Seuraavaksi laskettiin absoluuttisten erojen keskiarvo kaavan 11 mukaisesti.

$$\overline{\Delta\varphi} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i, \quad (11)$$

missä

$\overline{\Delta\varphi}$  on absoluuttisten erojen keskiarvo,

$\Delta\varphi_i$  on yksittäisen kalibrointituloksen absoluuttinen ero ja

$n$  on kalibrointitulosten lukumäärä.

Laskettu keskiarvo lisättiin näytelevyn kosteusarvoon. Summa vähennettiin yksitel-  
len jokaisesta online-mittaustuloksesta, jotka oli mitattu samasta näytelevystä eri  
kalibrointikerroilla. Samat toimenpiteet toistettiin toisen näytelevyn kohdalla. Kun  
näytelevyn vaihdon vaikutus oli poistettu, laskettiin molempien kalibrointimene-  
telmien tuloksille keskihajonta,  $2\sigma$ -luku ja keskiarvo. Lasketut tilastolliset tunnus-  
luvut on esitetty liitteissä 9 ja 10.

### 6.1.3 Laboratorion tekemän kalibroinnin tulosten analysointi

Taulukossa 9 on esitetty mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden laboratorion kalibroinnin tuloksista lasketut  $2\sigma$ -luvut ja keskiarvot.

Taulukko 9 Laboratorion tekemän kalibroinnin tuloksista lasketut  $2\sigma$ -luvut ja keskiarvot.

Seurantakohde	$2\sigma$ -luvut	Keskiarvo	Yksikkö
PK2			
Da Vinci, neliömassa	0,90	-1,77	g/m <sup>2</sup>
Da Vinci, kosteus	0,40	0	%
Da Vinci, kuivamassa	0,70	-1,60	g/m <sup>2</sup>
Lippke, neliömassa	0,86	-1,59	g/m <sup>2</sup>
Lippke, kosteus	0,90	0,54	%
PK3			
Da Vinci, neliömassa	0,44	-0,22	g/m <sup>2</sup>
Da Vinci, kosteus	0,42	0,14	%
Da Vinci, kuivamassa	0,40	-0,27	g/m <sup>2</sup>

Kun verrataan keskenään taulukossa 9 esitettyjen kalibrointituloksien  $2\sigma$ -lukuja, voidaan tuloksissa havaita selviä eroja. PK2:n mittapalkkien kalibrointituloksien hajonnat ovat huomattavasti suuremmat kuin PK3:n mittapalkin. Vaikka kosteusanturin kalibrointi on näytteenottoteknisesti haastavin toimenpide tässä työssä käsiteltävistä laatusuureista, on PK2:n Da Vincin kosteusanturin kalibrointi onnistunut hyvin käytössä olevaan online-kalibrointimittausmenetelmään nähden. Vaikka Lippken alamittavaunuun on vaihdettu kosteusanturi, on kalibrointituloksien perusteella havaittavissa ”uuden” anturin toiminnassa mittausepävarmuuden vaihtelua.

Taulukon 9  $2\sigma$ -luvuista nähdään hyvin, minkälaiseen mittausepävarmuuteen käytännössä päästään, kun laboratorion tekemä kalibrointi tehdään nykyisellä tavalla. Kalibrointijaksojen aikana kalibrointia on tehnyt samoilla laboratorion laitteilla ja samoissa olosuhteissa kolme laboratorion työntekijää, joilla on aikaisempaa kokemusta kalibroinnin tekemisestä. Tätä voidaan pitää yhtenä syynä siihen, ettei kalibrointituloksista ole havaittavissa eri kalibroinnin tekijästä aiheutuvia poikkeamia.

Käytännössä suurin mittausepävarmuus kalibroinnissa aiheutuu näytteenoton ongelmallisuudesta, koska online-anturit mittaavat hyvin kapeaa aluetta suhteessa laboratorioanalyysiä varten leikattavien näytteiden pinta-aloihin. Erityisesti ongelma tulee esille PK2:lla, koska kummankaan mittapalkin järjestelmään ei ole asennettu miniskannaustoimintoa. PK2:lla käytössä olevalla pistemittausmenetelmällä ei oteta huomioon kuin paperin konesuuntainen vaihtelu, kun taas konerullasta leikattavissa näytteissä huomioidaan myös radan poikkisuuntainen vaihtelu, joka on yleensä suurempaa kuin konesuuntainen vaihtelu.

Esimerkiksi neliömassa-anturi mittaa pistemittauksessa radan poikkisuunnassa hyvin kapeaa aluetta (noin 15 mm). Jos online-mittauskohdaksi valitaan neliömassan poikkiprofiililta sellainen kohta missä on ”monttu”, mittaa anturi paperin todellista kevyemmäksi. PK3:lla käytettävän miniskannaustoiminnon avulla saadaan otettua huomioon sekä kone- että poikkisuuntainen vaihtelu. Kun näytteet leikataan eri kalibrintikerroilla samasta kohti konerullaa, mistä anturit ovat mitanneet, saadaan antureiden mittaustuloksien keskiarvot lähemmäksi laboratorioanalyysien tuloksia, joka näkyy myös taulukon 9 PK3:n mittapalkin kalibrintituloksien hajontojen pienenä.

Taulukossa 9 esitettyjen keskiarvojen perusteella voidaan havaita, että melkein kaikkien antureiden kalibrintituloksilla on tasoeroa online-mittaustuloksiin verrattuna. Esimerkiksi PK2:lla Da Vincin neliömassa-anturi mittaa paperin kevyempänä, kuin mitä se laboratorioanalyysin mukaan on. Eron suuruuteen vaikuttaa, minkä kalibrintimenetelmän perusteella anturia on lajiviritetty. Lisäksi kalibroinnin tuloksiin vaikuttaa valmistettavan paperin runkokosteus ja konesalin kosteus. PK2:lla runkokosteuden asetusarvo on yleensä 4,5 % ja PK3:lla 9 %. Kun paperin runkokosteus on pienempi tai suurempi kuin konesalin ilman kosteus, pyrkii paperi pääsemään mahdollisimman nopeasti tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. Koska paperi on ohutta ja huokoista materiaalia, voi kosteuden muuttuminen tapahtua nopeasti kuivausosan (huuvan) ja loppurullaimen välillä.

### 6.1.4 Vakionäyteseurannan tulosten analysointi

Taulukossa 10 on esitetty mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden vakionäyteseurannan tuloksista lasketut  $2\sigma$ -luvut ja keskiarvot.

Taulukko 10 Vakionäyteseurannan kalibrointituloksista lasketut  $2\sigma$ -luvut ja keskiarvot.

Seurantakohde	$2\sigma$ -luvut	Keskiarvo	Yksikkö
PK2			
Da Vinci, neliömassa	0,16	-0,40	g/m <sup>2</sup>
Da Vinci, kosteus	0,16	0,75	%
Lippke, neliömassa	0,12	-0,29	g/m <sup>2</sup>
Lippke, kosteus, alamittavaunun anturi	0,48	1,62	%
Lippke, kosteus, ylämittavaunun anturi	0,24	1,71	%
PK3			
Da Vinci, neliömassa	0,18	0,33	g/m <sup>2</sup>
Da Vinci, kosteus	0,18	0	%

Taulukossa 10 esitettyjen  $2\sigma$ -lukujen perusteella voidaan havaita, että vakionäyteseurannan kalibrointituloksien hajonnat ovat pienemmät kuin laboratorion tekemän kalibroinnin. Kalibrointijaksojen aikana PK3:lla on tehnyt vakionäyteseurantaa kuusi ja PK2:lla kolme automaatiokunnossapidon työntekijää. Vaikka kalibrointia on tehnyt moni työntekijä ja osa tekijöistä on tehnyt vakionäyteseurantaa ensimmäistä kertaa, ei kalibrointituloksista ole havaittavissa eri työntekijöistä aiheutuvia poikkeamia. Koska kalibrointi tehdään vakionäytteiden avulla, eikä kalibroinnin tekemisessä ole montaa työvaihetta, missä kalibroinnin tekijä tai kalibrointi ympäristö voi vaikuttaa tuloksiin, voidaan näitä pitää syynä kalibrointituloksien hajontojen pienuuteen. Vaikka PK2:lla vakionäyteseurantaa tehtiin tiheämmällä aikavälillä, antaa kalibrointituloksista lasketut tunnusluvut suuntaa antavan kuvan kalibrointimenetelmän mittausepävarmuudesta.

Kun verrataan taulukossa 10 esitettyjen kalibrointituloksien  $2\sigma$ -lukuja keskenään, on tuloksissa havaittavissa eroja. Molemmissa Da Vinci -mittapalkeissa vakionäytteiden online-mittaustulokset saadaan ”jäädetyinä” lukuina, mutta Lippken-ohjausjärjestelmään näytelevyjen mittaustulokset päivittyvät koko ajan. Koska välillä vakionäytteiden mittauksen aikana Lippken kosteusantureiden päivittyvien

mittauslukemien hajonnat saattavat olla suuria, täytyy kalibroinnin tekijän olla tarkkana, mitkä kymmenen mittaustulosta kalibrointilomakkeeseen kirjaa. Jos lomakkeeseen kirjataan suurimmat mittaustulokset, mitä näytelevyn mittauksesta on saatu, voi lopullinen kalibrointitulokseksi poiketa reilusti edellisistä kalibrointituloksista. Lisäksi molemmissa Lippken kosteusantureissa on välillä havaittu toistuvuuteen viittaavia ongelmia, joita voidaan pitää yhtenä selvittävänä tekijänä antureiden kalibrointituloksien hajontojen suuruuteen.

Vakionäyteseurannan kalibrointituloksissa on havaittavissa tasoeroja samalla tavalla kuin laboratorion tekemän kalibroinnin tuloksissa (taulukko 10). Antureiden kalibrointituloksissa ei ole mukana lajiviritysparametreja. Koska kosteusanturin vakionäyteseurannan tuloksista ei kompensoida näytteen lasilevyjen vaikutusta, mittaa anturi kosteusreferenssin kosteudeksi enemmän kuin mitä se todellisuudessa on. Tämä aiheuttaa kalibrointituloksiin myös tasoeroa.

PK3:n mittapalkin kosteusanturin uudessa kosteusnäytteessä on havaittavissa kalibrointitulosten perusteella kosteuden haihtumista, joka näkyy kalibrointituloksien suuntauksena alaspäin (liite 11 A). Koska PK3:n kosteusanturin kalibrointituloksista on poistettu systemaattinen virhe, on tuloksien keskiarvo nolla. Kalibrointituloksien perusteella ei muiden mittapalkkien kosteusnäytelevyissä ole havaittavissa samanlaista kosteuden haihtumista. PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin vakionäyteseurannan tuloksista on havaittavissa anturin säteilylähteen vanheneminen (liite 11 B). Koska vakionäyteseurannalla seurataan anturin mittausvirhettä, ei kalibrointituloksien tasoerolla ole käytännössä merkitystä.

## 6.2 Pakatun ja online-neliömassan yhtäpitävyyden tarkastelu tilastollisesti

Pakatun neliömassan ja online-neliömassan yhtäpitävyyttä tutkittiin PK3:lla. Tavoitteena oli selvittää tilastollisesti, miten hyvin konerullien pakattua neliömassaa voidaan hyödyntää mittapalkin neliömassa-anturin kalibroinnissa. Tarkastelu aloitettiin tutustumalla TIPS-järjestelmän avulla online-neliömassan ja pakatun neliömassan mittaustuloksiin. Mittaustulokset löytyivät laatupäiväkirjan alla olevasta PK3:n vaakaraportista. Vaakaraporttiin valittiin seuraavat konerullan tiedot, joita tarvittiin tarkastelussa:

- valmistumisaika
- konerullan numero
- pakattu neliömassa
- mittapalkin online-kuivaneliömassa ja
- mittapalkin online-kosteusprosentti.

Jokainen raporttiin valittu mittaustulos on konerullan keskiarvo. Raporttiin kerättiin kaikki mittaustulokset 1.1.2005–30.9.2006 väliseltä ajalta. Tiedot kopioitiin kolmen kuukauden jaksoissa Exceliin siten, että jokaiselle erälle muodostettiin oma sivu. Sivut nimettiin niiden kuukausien ja vuosien mukaan, miltä ajalta mittaustuloksia oli kerätty. Lisäksi Excelin taulukon sarakkeet nimettiin vaakaraporttiin valittujen tietojen mukaan. Näillä toimenpiteillä helpotettiin tulosten käsittelyä ja pienennettiin sekaannusten syntymisen mahdollisuutta mittaustulosten käsittelyn yhteydessä.

### 6.2.1 Tilastollisten tunnuslukujen laskenta

Kopioinnin jälkeen tehtiin Excelissä tarkastus mittaustuloksien käytettävyyden osalta. Suurin häiritsevä tekijä oli lajin vaihtojen aiheuttamat suuret erot online-neliömassan ja pakatun neliömassan välillä. Koska TIPS-järjestelmässä ei ollut mahdollista poistaa lajinvaihtoja, täytyi niiden poistaminen tehdä Excelissä. Toimenpide tehtiin, koska muuten lajinvaihtoista aiheutuneet häiriötekijät olisivat vääristäneet mittaustuloksien keskihajontaa ja hankaloittaneet tulosten tarkastelua.

Koska Exceliin kopioitiin konerullien online-kuivaneliömassa ja -kosteusprosentti, laskettiin mittaustulosten perusteella konerullille online-neliömassa. Laskenta tehtiin kappaleessa 3.3.4 esitetyn kaavan 6 avulla. Pakatun neliömassan ja online-neliömassan ero laskettiin jokaiselle konerullalle kaavan 12 mukaisesti.

$$\Delta BW = BW_{\text{pakattu}} - BW_{\text{online}}, \quad (12)$$

missä

- $\Delta BW$  on absoluuttinen ero,  
 $BW_{\text{pakattu}}$  on pakattuneliömassa ja  
 $BW_{\text{online}}$  on online-neliömassa.

Lajinvaihdot paikannettiin laskennallisesti kaavan 13 avulla. /59/

$$\Delta BW_{\text{lajinvaihto}} = BW_i - BW_{i-1}, \quad (13)$$

missä

- $\Delta BW_{\text{lajinvaihto}}$  konerullien välisen neliömassan absoluuttinen ero,  
 $BW_i$  on konerullan online-neliömassa ja  
 $BW_{i-1}$  on edellisen konerullan online-neliömassa.

Taulukossa 11 on havainnollistettu, miten lajinvaihtokonerullat paikannettiin muiden konerullien joukosta.

**Taulukko 11** Lajinvaihtokonerullan paikantaminen muiden konerullien joukosta.

Konerullan valmistumisaika	$BW_{\text{pakattu}}$	$DW_{\text{online}}$	Moisture-%	$BW_{\text{online}}$	$\Delta BW$	$\Delta BW_{\text{lajinvaihto}}$
7.2.2005 0:15	55,00	50,00	9,20	55,07	-0,07	0,00
7.2.2005 0:46	55,00	50,00	9,20	55,07	-0,07	0,00
7.2.2005 1:19	55,00	50,00	9,20	55,07	-0,07	0,11
7.2.2005 1:50	55,00	50,10	9,20	55,18	-0,18	-2,09
7.2.2005 2:25	52,10	48,20	9,20	53,08	-0,98	-0,93
7.2.2005 3:00	52,00	47,30	9,30	52,15	-0,15	-0,06
7.2.2005 3:34	51,90	47,30	9,20	52,09	-0,19	0,00
7.2.2005 4:08	52,00	47,30	9,20	52,09	-0,09	0,00

Taulukon 11 mittaustulosten perusteella lajinvaihto on tehty 55 g/m<sup>2</sup>:sta 52 g/m<sup>2</sup>:aan. 7.2.2005 kello 1:50 valmistunut konerulla on tässä tapauksessa lajinvaihtokonerulla. Kun lajinvaihto oli paikannettu, poistettiin mittaustuloksista lajinvaihtokonerulla ja sen molemmilta puolilta yhdet konerullat. Lajinvaihtojen vaikutuksen poistaminen tehtiin käsin käymällä kaikkien konerullien mittaustulokset yksitellen läpi. Näin poistaminen voitiin tehdä tarkasti, poistamatta muuta mittaustuloksille tyypillistä vaihtelua. /59/

Lajinvaihtojen poistamisen jälkeen mittaustuloksista tehtiin kaksi tarkastelujaksoa. Ensimmäiseen tarkastelujaksoon valittiin konerullien mittaustiedot 1.1.–31.12.2005 väliseltä ajalta, jolloin tarkasteluun saatiin mukaan 9401 konerullan mittaustiedot. Koska 14.5.–8.7.2005 välisenä aikana on ollut tuotannonseisaus ja 15.11.–15.12.2005 ei TIPS-järjestelmään ole tullut mittapalkin online-mittaustietoja, ei tarkastelujakso sisällä mittaustietoja kyseisiltä aikaväleiltä. Toiseen tarkastelujaksoon valittiin mittaustiedot 1.1.–30.9.2006, jolloin tarkasteluun saatiin mukaan 8574 konerullan mittaustiedot. Toisen jakson aikana ei ollut kuin lyhyitä seisokkeja.

Molemmille tarkastelujakson mittaustuloksille laskettiin 2σ-luvut. Koska tarkastelussa haluttiin tutkia pakatun neliömassan ja online-neliömassan välisen eron muuttumista, piirrettiin mittaushistoriasta kuvaajat. Ennen kuvaajien piirtämistä suodatettiin mittaustuloksia liukuvan keskiarvon avulla, jotta kuvaajien muodot saatiin paremmin esille. Liukuvan keskiarvon laskenta tehtiin kaavan 14 mukaisesti. /49/

$$MA_t = \frac{1}{W} \cdot \sum_{j=-s}^r x_{t+j}, t = s+1, s+2, \dots, n-r-1, n-r, \quad (14)$$

missä

W liukuvan keskiarvon jänteen pituus ja

$x_{t-s}, x_{t-s+1}, \dots, x_{t-1}, x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+r-1}, x_{t+r}$  ovat havaintoja.

Havaintojen lukumäärää  $r+s+1$  kutsutaan liukuvan keskiarvon jänteen pituudeksi. Liukuva keskiarvo suodattaa aikasarjasta sellaiset vaihtelukomponentit, joiden kesto on lyhyempi kuin liukuvan keskiarvon jänteen pituus. /49/ Suodatuksessa käytettiin jänteen pituutena 21 ( $r=s=10$ , jolloin jänteen pituudeksi tulee  $r+s+1=21$ ).

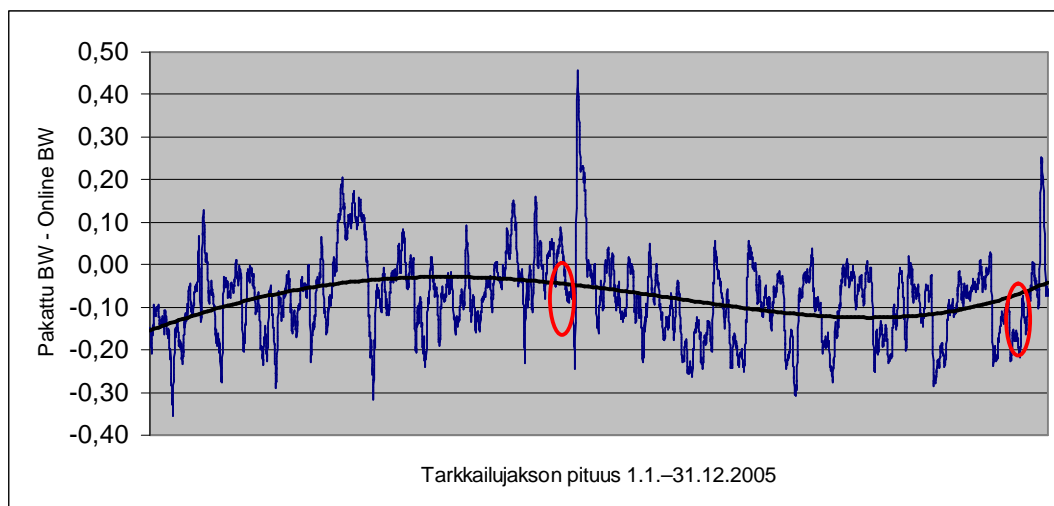
## 6.2.2 Pakatun ja online-neliömassan yhtäpitävyyden analysointi

Taulukossa 12 on esitetty tarkastelujaksojen mittaustuloksille lasketut  $2\sigma$ -luvut. Jotta lasketut luvut antaisivat mahdollisimman selkeän kuvan online-neliömassan ja pakatun neliömassan yhtäpitävyydestä, on laskenta tehty ennen mittaustulosten suodattamista.

**Taulukko 12** Tarkastelujaksojen mittaustuloksille lasketut  $2\sigma$ -luvut.

Tarkastelujakso	$2\sigma$ -luvut	Yksikkö
1.1.–31.12.2005	0,28	$\text{g/m}^2$
1.1.–30.9.2006	0,31	$\text{g/m}^2$

Kuvassa 13 on esitetty, miten pakatun neliömassan ja online-neliömassan välinen ero muuttuu vuodenaikana.

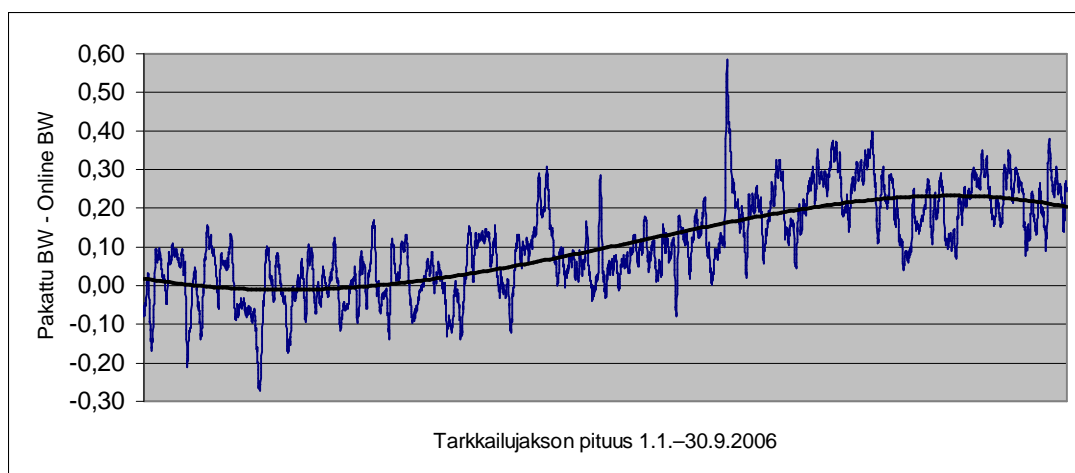


**Kuva 13** Pakatun neliömassan ja online-neliömassan yhtäpitävyys

Kuvaan 13 ympyröidyt kohdat havainnollistavat, mihin kohtaan tuotannon seisaus ja katkos sijoittuvat kuvaajassa. Heti tuotannon seisauksen jälkeen (8.7.2005) kuvaajasta voidaan havaita piikki, jossa pakattu neliömassa näyttää noin  $0,47 \text{ g/m}^2$  enemmän kuin mittapalkin online-neliömassa. Yksi syy eron aiheuttajaksi voi olla, ettei kuitukorjausta ole tehty riittävästi.

Kuvaajasta voidaan havaita, että alkuvuodesta online-neliömassa näyttää enemmän kuin pakattuneliömassa. Koska kuitukorjauksessa pidetään paperin runkokosteus vakiona (9 %), ajetaan paperiin talvella kuitua enemmän kuin kesällä. Näin pak-

kaamossa päästään tavoiteneliömassa-arvoon. Koska talvella konesalin kosteus on matalampi kuin kesällä, pääsee paperi kesällä nopeammin tasapainokosteuteen salin ilman kanssa. Elokuun lopusta vuoden loppuun asti pakatun neliömassan ja online-neliömassan välinen ero vaihtelee paljon (kuva 13). Syynä tähän voi olla, että kuitukorjausta on muutettu aktiivisemmin. Kuvassa 14 on esitetty, miten pakatun ja online-neliömassan välinen ero on muuttunut 1.1.–30.9.2006 välisenä aikana. Kuvasta voidaan havaita, että neliömassojen välinen ero on kasvanut kesää kohti. Huhtikuun alusta syyskuun loppuun saakka pakattu neliömassa näyttää enemmän kuin online-neliömassa, koska paperiin ajetaan vähemmän kuitua kuin alkuvuodesta.



Kuva 14 Pakatun neliömassan ja online-neliömassan yhtäpitävyys

## 7 KALIBROINTIMENETELMIEN TARKASTELU KÄYTÄNNÖSSÄ

Kalibrointimenetelmiä voidaan käytännössä tarkastella monelta eri näkökannalta. Tässä kappaleessa tarkastelu on tehty SWOT-analyysin avulla. SWOT-analyysi on lyhenne seuraavien englanninkielisten sanojen alkukirjaimista: S sanasta strength (vahvuus), W sanasta weakness (heikkous), O sanasta opportunity (mahdollisuus) ja T sanasta threat (uhka). SWOT-analyysi on ruudukon muotoinen ja analyysin ylemmät ruudut (vahvuudet ja heikkoudet) kertovat kalibrointimenetelmän nykytilan asioista ja alemmat ruudut (mahdollisuudet ja uhat) menetelmän tulevaisuuden asioista.

Kalibroitimenetelmien vertailu SWOT-analyysin avulla tehtiin siten, että kenttäkalibroitinta ja vakionäyteseurantaa verrattiin tehtaan laboratorion tekemään kalibrointiin. Vertailu tehtiin näin, koska esimerkiksi vakionäyteseurannalla ja laboratorion tekemällä kalibroinnilla tehdään antureiden pysyvyyden seurantaa tehtaan työntekijöiden toimesta. Ruudukot täytettiin siten, että esimerkiksi vahvuudet-ruutuun kirjattiin vakionäyteseurannan vahvuudet, jotka ovat vahvuuksia laboratoriomeneelmään verrattuna. PK3:lla mittapalkin neliömassa-anturin kalibrointi pakatun neliömassan avulla tulee sivutuotteena, koska asiakasrullia punnitaan muutenkin anturin kalibroinnista huolimatta. Tämän vuoksi pakatun neliömassan avulla kalibroitinta verrattiin yleisesti antureiden muihin kalibroitimenetelmiin. Kalibroitimenetelmien tarkastelussa kiinnitettiin huomiota vain oleellisiin asioihin. SWOT-analyysien avulla alustetaan myös vaihtoehtoisia kalibrointikäytäntöä.

## 7.1 Kenttäkalibroinnin käytännön tarkastelu

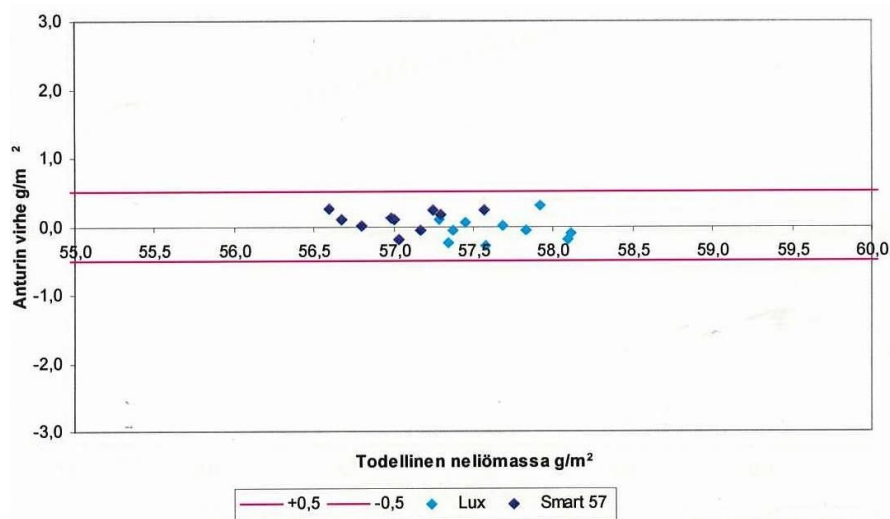
**Taulukko 13** Mittapalkin neliömassa- ja kosteusantureiden kenttäkalibroinnista laadittu SWOT-analyysi.

<b>Vahvuudet (S)</b>	<b>Heikkoudet (W)</b>
Peruskalibrointi ja perusviritysparametrit.	Kosteusreferenssin lasien vaikutus kosteusanturin mittaukseen.
Tuotteittaisen kalibroinnin nopeus.	
Neliömassan jäljitettävyys tuotantolinjalle.	
Pieni mittausepävarmuus ja mittausepävarmuuksien määrittäminen.	
Antureiden toistuvuuskoe vakionäytteiden avulla.	
Kalibrointitodistukset ja toimenpidesuosittukset.	
<b>Mahdollisuudet (O)</b>	<b>Uhat (T)</b>
Parantaa lajivirittämisen tarkkuutta.	Miten nopeasti JMK saadaan tekemään antureille kenttäkalibrointi?
Antureille yhtenäinen virityskäytäntö.	
Vähentää tuotteittaisen kalibroinnin vaatimaa työmäärää.	

Taulukossa 13 on esitetty kenttäkalibroinnin SWOT-analyysi. Seuraavissa kappaleissa selvitetään, minkä perusteella taulukon ruudukot on täytetty.

### 7.1.1 Vahvuudet

Nykyisessä kalibrointikäytännössä kenttäkalibrointi on ainut kalibrointimenetelmä, jonka avulla voidaan antureille tehdä koko mittausalueen kattava peruskalibrointi ja kalibrointitulosten perusteella perusvirittäminen. Antureille voidaan tehdä tarvittaessa samalla kalibrointikerralla tuotteittainen kalibrointi kaikkien tuotantolinjalla valmistettavien paperilajien avulla. Tämän vuoksi tuotteittaisen kalibroinnin tekeminen on huomattavasti nopeampaa kuin laboratorionäytteenotolla tehtävän kalibroinnin. Kenttäkalibroinnin avulla voidaan molemmille Lippken kosteusantureille tehdä tuotteittainen kalibrointi erikseen, jota ei voida tehdä laboratoriomenetelmällä. Kuvassa 15 on esitetty Lippken neliömassa-anturin tuotteittaisen kenttäkalibroinnin tulokset.



**Kuva 15** Lippken neliömassa-anturin tuotteittaisen kenttäkalibroinnin tulokset /13/

Kuvasta 15 havaitaan, että tuotteittainen kalibrointi on tehty kahdesta paperilajista (Lux ja Smart 57) valmistettujen 20 näytteen avulla, joilla on eri neliömassat ja kalibrointitulokset ovat  $\pm 0,5 \text{ g/m}^2$  valvontarajojen sisällä. Koska laboratorionäytteenoton epävarmuuteen vaikuttaa mm. näytteenoton epävarmuus ja paperin valmistusprosessista aiheutuvat virhetekijät, ei laboratoriomenetelmällä välttämättä päästä yhtä pieneen mittausepävarmuuteen.

Kenttäkalibroinnissa käytettävien jäljitettävien Mylar-näytteiden avulla saadaan neliömassamittaukselle tuotua jäljitettävyyttä tuotantolinjalle saakka. Pitkäaikainen jäljitettävyyttä on yksi laadun valvonnan tukipilareista. Jäljitettävyyttä toteutuu, kun jäl-

jitettävä peruskalibrointi toistetaan vuosittain. Koska JMK Instruments Oy on akkreditoitu kalibrointilaboratorio, takaa se omalta osaltaan kalibroinnin luotettavuuden. Akkreditoinnin edellytyksenä on riippumattomuus ja puolueettomuus ja se takaa toiminnan pätevyyden. Tämän vuoksi kalibrointitapahtuman mittausepävarmuuksien määrittäminen ja niiden ilmoittaminen tehdään kattavasti.

Kenttäkalibroinnin vahvuutena voidaan mainita myös vakionäytteen avulla tehtävä anturin toistuvuuskoe, jonka aikana anturi standardoidaan jokaisen näytelevyn mittauskerran välissä. Kalibroinnin jälkeen annettavat toimenpidesuosittukset auttavat automaatiokunnossapitoa paikantamaan kenttäkalibroinnin yhteydessä havaitut ongelmakohdat. Näin ongelmista voidaan tehdä työtilaukset, jotta tilanne saadaan palautettua normaaliksi. Lisäksi kalibrointitodistusten avulla voidaan seurata antureiden suorituskyvyssä tapahtuvia muutoksia pitkällä aikavälillä.

### **7.1.2 Heikkoudet**

Kenttäkalibroinnin heikkoutena voidaan mainita kosteusreferenssin lasilevyjen vaikuttaminen kosteusanturin mittaukseen. Koska referenssi on valmistettu sulkeamalla kostutettu paperi lasilevyjen väliin, mittaa kosteusanturi näytelevyn kosteudeksi enemmän kuin mitä se todellisuudessa on. Tämän vuoksi lasilevyjen vaikutus joudutaan poistamaan laskennallisesti ja vaikka sinällään päästäänkin oikeanlaisiin tuloksiin, on laskennallinen kompensointi omiaan lisäämään menetelmän epävarmuutta.

### **7.1.3 Mahdollisuudet**

Kenttäkalibroinnin avulla on mahdollista parantaa antureiden lajivirittämisen tarkkuutta ja vähentää kalibroinnin vaatimaa laboratorionäytteenottotyön määrää. PK2:lla mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden lajivirittäminen on tehty kenttäkalibroinnin tulosten perusteella, mutta PK3:lla antureiden tasoa on korjattu myös tehtaassa laboratorion tekemän kalibroinnin perusteella. Jos antureille tehtäisiin samalla tavalla lajivirittäminen kuin PK2:lla, voitaisiin uudella virityskäytännöllä parantaa antureiden lajivirittämisen tarkkuutta ja samalla tuotantolinjojen välille

saataisiin yhtenäinen virityskäytäntö. Tällöin lajivirittämisen epävarmuuteen ei vaikuta laboratorionäytteenotolle tyypilliset epävarmuustekijät.

#### 7.1.4 Uhat

Välillä paperikoneelle voi tulla valmistettavaksi lajiksi normaalitilanteesta poikkeava laji, jonka ominaisuuksia on muutettu anturin mittaukseen vaikuttavasti tai anturin toiminnassa voi ilmetä vikaa, jonka korjaaminen edellyttää anturin vaihtamista. Jos paperin ominaisuuksia muutetaan merkittävästi, vaikuttavat muutokset todennäköisemmin kosteusantureiden toimintaan kuin neliömassa-antureiden. Mikäli antureiden lajivirittäminen tehtäisiin pelkästään kenttäkalibroinnin tulosten perusteella, tulee edellä mainituissa tilanteissa esille kysymys siitä, miten nopeasti JMK saadaan tekemään kenttäkalibrointi, jotta tilanne saadaan palautettua mahdollisimman nopeasti normaaliksi.

#### 7.2 Vakionäyteseurannan käytännön tarkastelu

**Taulukko 14** Mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden vakionäyteseurannasta laadittu SWOT-analyysi.

Vahvuudet (S)	Heikkoudet (W)
Kalibroinnin nopeus ja tekemiseen vaadittava vähäinen työmäärä.	Kosteusreferenssin herkkyys kolhuille.
Antureiden pysyvyyden seurannan pieni mittausepävarmuus.	Lasien vaikutus kosteusanturin mittaukseen.
Tekemiseen vaadittava vähäinen kokemus ja osaaminen.	Ei tehdä anturin koko mittausalueen kattavasti.
Vähän työvaiheita, joissa kalibroinnin tekijä voi vaikuttaa kalibrointituloksiin.	
Mahdollisuudet (O)	Uhat (T)
Vähentää antureiden pysyvyyden seurannan vaatimaa työmäärää.	Ei tehdä tuotteittaista kalibrointia.
Antureille voidaan tehdä toistuvuuskoe vakionäytteiden avulla.	Ei ole anturin koko mittausalueen kattava.
Huoltojen yhteydessä antureiden pysyvyyden seuranta.	

Taulukossa 14 on esitetty vakionäyteseurannan SWOT-analyysi. Seuraavissa kappaleissa selvitetään, minkä perusteiden taulukon ruudut on täytetty.

### 7.2.1 Vahvuudet

Antureiden pysyvyyden seuranta on vakionäyteseurannalla huomattavasti nopeampaa kuin laboratoriomenetelmällä. Vakionäyteseurannan avulla voidaan molemmille Lippken kosteusantureille tehdä pysyvyyden seuranta erikseen. Kokonaisuudessaan kalibroinnin tekemiseen kuluu aikaa mittapalkista riippumatta noin 15 minuuttia, jonka jälkeen kalibroitulokset ovat hyödynnettävissä. Vakionäyteseurannan tuloksia hyödyntävät tällä hetkellä pääasiassa automaatiokunnossapidon työntekijät antureiden pysyvyyden seurannassa kenttäkalibrointien välillä. Lisäksi seurannan tuloksia käytetään apuna häiriötilanteessa, kun tulkitaan laboratorion tekemän kalibroinnin tai pakatun neliömassan mittaustuloksia.

Erityisesti kalibroinnin tekemisen nopeudesta on hyötyä antureiden toimintaan liittyvissä vikatilanteissa. Tällöin vakionäyteseuranta voidaan tarvittaessa toistaa nopeasti, mistä voi olla hyötyä, kun vikaa korjataan. Vakionäyteseurannan vahvuutena on pieni mittausepävarmuus verrattuna laboratoriomenetelmällä tehtävään kalibrointiin. Mitä pienempi on kalibroitulosten hajonta sitä paremmin havaitaan anturin toiminnassa tapahtuvat muutokset. Näin voidaan ajoissa puuttua anturin pysyvyydessä tapahtuviin muutoksiin. Lisäksi neliömassa-anturin pysyvyyttä seurataan jäljitettävällä Mylar-näytteellä.

Vakionäyteseuranta voi tehdä tehokkaasti yksi työntekijä, koska sen vaatima työ määrä on vähäinen, eikä kalibroinnin tekemisessä ole sellaisia työvaiheita, missä toista työntekijää tarvitaan avuksi. Näin muut työntekijät voivat keskittyä muihin työtehtäviin. Seurannan tekeminen ei vaadi erityistä kokemusta tai osaamista. Yksi syy tähän on, ettei kalibroinnin tekemisessä ole montaa sellaista työvaihetta, jossa kalibroinnin tekijästä voi aiheutua lopulliseen kalibroitulokseen virhettä. Jokaiselle mittapalkille on tehty lyhyet ja kuvilla havainnollistetut vakionäyteseurannan työohjeet, joiden perusteella kalibrointia on tehnyt useampi työntekijä. Näin ollen kalibroinnin tekeminen ei ole tehtaalla sidoksissa tiettyihin työntekijöihin, jotka ainoastaan vakionäyteseuranta osaisivat tehdä.

### 7.2.2 Heikkoudet

Kosteusanturin vakionäyteseurannan ongelmana on ollut kosteusreferenssin kosteuspitoisuuden pysyvyys. Erityisesti ongelma on tullut esille PK3:lla, jonka mittapalkin kosteusanturin näytelevy on jouduttu vaihtamaan uuteen lyhyen ajan sisällä kaksi kertaa. Pienikin liimapinnan irtoaminen voi aiheuttaa näytelevyssä kosteuden haihtumista, joka näkyy suoraan samalla näytelevyllä tehdyissä kalibrointituloksissa. Koska vakionäyteseurannassa käytettävä neliömassareferenssi on valmistettu Mylar-kalvosta, ei näytelevyn pysyvyydessä ole samanlaisia ongelmia kuin kosteusnäytelevyllä. Käytännössä Mylar-näyte on herkkä vain likaantumiselle ja naarmuuntumiselle.

Kosteusanturin vakionäyteseurannan tuloksissa on mukana lasilevyjen vaikutukset, joiden vaikutusta ei kompensoida näytelevyn online-mittaustuloksista. Tämä on yksi syy aiheuttamaan tasoeroa kalibrointituloksen ja näytteen todellisen kosteuspitoisuuden välillä. Vakionäyteseuranta on nykyisessä kalibrointikäytännössä ainut kalibrointimenetelmä, jonka avulla tehdään anturin pysyvyyden seuranta vain mittausalueen yhdessä tarkastuspisteessä. Tämän vuoksi vakionäyteseurannan tulosten perusteella voidaan muuttaa vain anturin tasoviritysparametria. Esimerkiksi laboratorion tekemässä kalibroinnissa katsotaan kalibrointiaika ajossa olevan lajin mukaan, minkä vuoksi kalibrointeja tehdään useammassa kohdassa mittausaluetta.

### 7.2.3 Mahdollisuudet

Vakionäyteseurannan avulla on mahdollista vähentää kenttäkalibrointien välillä antureiden pysyvyyden seurannan vaatimaa työmäärää kuitenkin niin, että antureiden kalibrointia tehdään entistä tiiviimmällä välillä. Käytännössä vakionäyteseuranta ja kenttäkalibrointi mahdollistavat sen, ettei neliömassa- ja kosteusantureiden kalibrointia tarvitse tehdä enää laboratorionäytteenottomenetelmällä. Näin ollen anturin pysyvyydessä tapahtuneet tasomuutokset korjataan vakionäyteseurannan tuloksien perusteella. Jos anturin mittauksessa ilmenee jotain vakavaa, kutsutaan JMK paikalle tekemään kenttäkalibrointi.

Vakionäyteseurannassa käytettävät vakionäytteet mahdollistavat antureille toistuvuuskokeen tekemisen automaatiokunnossapidon toimesta. Toistuvuuskoetta voidaan käyttää apuna, kun selvitetään anturin toimintaan liittyvää vikatilannetta ja sen tekeminen voidaan liittää tietyn ajan välein tehtävään ennakkohuoltotyöhön.

Jokaiselle mittapalkille tehdään vuosittain määräaikaishuollot. Osaan määräaikaishuoltoon kuuluu antureiden vakionäyteseuranta. Välillä mittapalkeille tehdään myös muita ennakkohuoltotoimenpiteitä. Jos tehtävä ennakkohuolto on laaja, voidaan vakionäyteseuranta tehdä ennen ja jälkeen huoltotoimenpiteiden. Näin nähdään, miten huoltotoimenpiteet ovat vaikuttaneet anturin mittaukseen ja voidaan samalla kartoittaa turhia huoltotoimenpiteitä pois.

#### **7.2.4 Uhat**

Vakionäyteseurannan uhkana on, ettei antureiden kalibrointia voida tehdä täysin tuotanto-olosuhteita vastaavassa tilanteessa. Ongelma tulee esille lähinnä silloin, kun valmistettavan paperin ominaisuuksiin tulee muutoksia, joiden vaikutusta antureiden toimintaan ei välttämättä heti tiedetä. Esimerkiksi täyteaineen valmistaja on voinut kertomatta muuttaa täyteaineen koostumusta siten, että muutos vaikuttaa antureiden mittaukseen heikentävästi. Kyseinen tilanne on harvinainen, mutta mahdollinen. Yleensä toimittajat ilmoittavat isoimmista muutoksista.

Väillä ajettavaksi lajiksi voi tulla uusi laji, jonka ominaisuuksia on muutettu merkittävästi lisäaineiden avulla. Paperimassaan on voitu lisätä esimerkiksi titaanioksidia tai optista kirkastetta. Näissä tilanteissa ei Mylar-näytteen tai yhdestä paperilajista valmistetun kosteusnäytteen avulla nähdä, miten tehty muutos vaikuttaa antureiden mittaukseen. Koska vakionäyteseurannan avulla tehdään anturin kalibrointia vain mitta-alueen yhdessä tarkastuspisteessä, ei kalibroinnin avulla voida seurata anturin kulmakertoimen oikeellisuutta. Tämän vuoksi anturille ei voida tehdä kalibrointituloksien perusteella kulmakertoimen virittämistä.

### 7.3 Laboratorion tekemän kalibroinnin käytännön tarkastelu

**Taulukko 15** Mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden kalibroinnista laboratorion menetelmällä laadittu SWOT-analyysi.

Vahvuudet (S)	Heikkoudet (W)
Kenttäkalibrointien välillä tuotteittainen kalibrointi.	Kalibroinnin hitaus ja tekemiseen vaadittava kokemus.
Kalibrointi voidaan tehdä heti, kun uusi laji tulee ajettavaksi.	Lippken kosteusantureille ei voida tehdä erillistä kalibrointia.
Kalibrointituloksien kattava raportointi vakionäytteseurantaan verrattuna.	Välillä tuloksia ei hyödynnetä.
	Tuloksiin vaikuttaa prosessista aiheutuvat häiriötekijät.
	Neliömassa-anturin kalibrointi ei ole jäljitettävä.
Mahdollisuudet (O)	Uhat (T)
Antureiden kalibrointi, kun ajettavaksi lajiksi tulee normaalitilanteesta poikkeava laji.	Kalibrointimenetelmän mittausepävarmuus.
	Kalibroinnin hitaus.
	Paljon työvaiheita, joissa kalibroinnin tekijä voi vaikuttaa tuloksiin.

Taulukossa 15 on esitetty SWOT-analyysi laboratorion tekemästä kalibroinnista. Seuraavissa kappaleissa selvitetään, minkä perusteella taulukon ruudukot on täytetty.

#### 7.3.1 Vahvuudet

Vakionäytteseurantaan verrattuna laboratorion menetelmän vahvuutena on antureiden tuotteittainen kalibrointi. Jos valmistettavaksi paperilajiksi tulee normaalitilanteesta poikkeava laji, jonka ominaisuuksia on muutettu merkittävästi, voidaan laboratorionäytteenotolla tehdä kalibrointi heti, kun uusi laji tulee ajettavaksi. Näin näytteenotolla voidaan tarkistaa nopeammin kuin kenttäkalibroinnilla, miten uusi laji vaikuttaa antureiden mittaukseen. Näytteenoton vahvuutena voidaan pitää myös kattavampaa raportointia kalibrointituloksista kuin vakionäytteseurannalla. Kalibrointituloksista raportoidaan esimerkiksi tuotantopuolen työntekijöitä.

### 7.3.2 Heikkoudet

Jos laboratoriomenetelmällä halutaan tehdä antureille kalibrointi kaikkien tuotantolinjalla valmistettavien paperilajien avulla, määräytyy kalibroinnin nopeus sen perusteella, miten usein lajeja valmistetaan. Mikäli valmistettavia lajeja on paljon tulee kalibroinnin vaatimasta työmäärästä entistä suurempi.

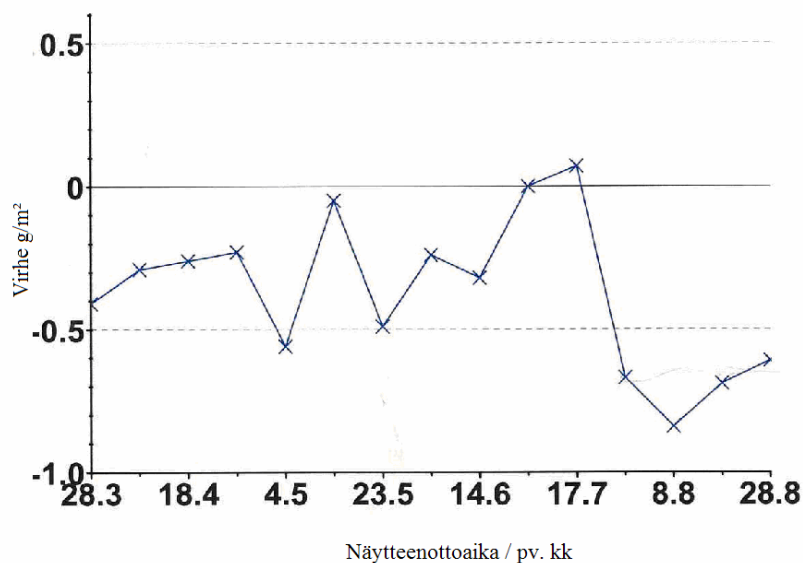
Kun antureiden pysyvyyttä seurataan kenttäkalibrointien välillä, teettää laboratorionäytteenotolla tehtävä kalibrointi huomattavasti enemmän töitä kuin vakionäytteseuranta. Käytännössä neliömassa- ja kosteusantureiden kalibroinnista tekee hitaan laboratorioanalyysia varten otettujen paperinäytteiden kuivaus. Normaalitilanteessa näytteitä kuivataan lämpökaapissa noin viisi tuntia. Häiriötilanteessa kuivausaikaa lyhennetään, jotta tulokset saadaan mahdollisimman nopeasti hyödynnettäviksi. Jos näytteet eivät ole kuivaneet kunnolla, aiheuttaa se eroa laboratorioanalyysin ja online-mittaustuloksen välille.

Jotta laboratoriomenetelmän kalibrointitulokset olisivat edustavia, edellyttää se kalibroinnin tekijältä enemmän kokemusta kuin vakionäytteseurannan tekijältä. Näytteenottomenetelmän haasteena voidaan pitää näytteenottotilannetta, jossa inhimillisillä tekijöillä on suuri vaikutus, koska näyte otetaan käsin. Osaamista vaatii näytteenotto, näytteen valmistus, analyysi, mittaustulosten käsittely ja tulosten tulkinta. Erityisesti kosteusnäytteenotossa vaaditaan huolellisuutta, koska näytteeseen vaikuttaa helposti ympäröivän ilman kosteus. Jos kosteusnäytteestä ehtii haihtua kosteutta, vaikuttaa se suoraan kosteusanturin ja neliömassa-anturin kalibrointituloksiin.

Vaikka kalibroinnille on tehty työohjeet, on sen tekeminen ensikertalaiselle hieman hankalaa. Jotta laboratorioanalyysia varten saataisiin mahdollisimman edustavia näytteitä, on tärkeää tietää, mistä konerullan kohdista näytteet kannattaa ottaa. Näytteen leikkauskohtaan vaikuttaa esimerkiksi se, miten anturit on asennettu mittavaunuihin. PK2:n Da Vincin mittavaunuihin neliömassa- ja kosteusanturi on asennettu samaan linjaan toisiinsa nähden, mutta esimerkiksi PK4:n Da Vincin antureiden järjestys on erilainen. Kun online-antureiden mittauskohdat tiedetään, saadaan näytteet kohdistettua siten, että jokaiselta anturilta otettava näyte kohdistuu oikein.

Vaikka kalibrointi osattaisiin tehdä oikein, ei mittausprosessin aikana tapahtuville prosessin muutoksille voida tehdä mitään. Kalibrointituloksiin voi vaikuttaa esimerkiksi paperin laatuominaisuuksien hetkellinen muuttuminen anturin mittauskohdalla. Paperikoneen laadunsäätöjärjestelmä pyrkii tasaamaan näitä muutoksia. Prosessista aiheutuvat häiriötekijät ovat omiaan lisäämään menetelmän epävarmuutta. Oleellisena heikkoutena voidaan mainita myös se, ettei kalibrointia voida tehdä molemmille Lippken kosteusantureille erikseen, eikä neliömassa-antureiden kalibrointi ole jäljitettävä. Jos Lippken ylä- tai alamittavaunun kosteusanturin pysyvyydessä tapahtuu jotain muutosta, ei kalibroinnilla saada selville kummassa anturissa vika on.

Välillä laboratoriomenetelmän ongelmana on ollut kalibrointitulosten hyödyntäminen, vaikka tuloksissa on havaittavissa selviä poikkeamia. Kuvassa 16 on esitetty PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin kalibrointituloksissa ilmenevä poikkeama 27.7.–28.8.2006 välisenä aikana. Poikkeaman aikana kosteusanturin kalibrointituloksissa ei ollut havaittavissa eroja aikaisempiin tuloksiin verrattuna. Näin ollen eron aiheutti kuivamassan poikkeama, joka näkyy suoraan neliömassan laboratorioanalyysin tuloksessa.



**Kuva 16** PK3:n mittapalkin neliömassa-anturin laboratoriomenetelmän kalibrointituloksen poikkeama /47/

Kuvassa 16 esitetyn poikkeaman aikana neliömassa-anturille ei ole tehty tasokorjausta, koska vakionäyteseurannan ja online-mittaustuloksen ja pakatun neliömassan välillä ei ollut havaittavissa merkittävää poikkeamaa. /59/

### 7.3.3 Mahdollisuudet

Laboratorionäytteenotolla tehtävä kalibrointi mahdollistaa antureiden kalibroinnin, kun ajettavaksi lajiksi tulee normaalitilanteesta poikkeava laji, jonka ominaisuuksia on muutettu merkittävästi. Koska kalibrointi tehdään tehtaan työntekijöiden toimesta, voidaan kalibrointi tehdä heti, kun poikkeava laji tulee valmistettavaksi. Käytännössä kosteusnäytteenotto kannattaa tehdä ainakin PK2:lla Honeywellin suosittelemalla tarkkuusnäytteenottomenetelmällä, koska aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että sen avulla päästään pienempään epävarmuuteen kuin pistemittausmenetelmällä. /2/

### 7.3.4 Uhat

Laboratoriomenetelmän uhkana voidaan pitää suurempaa mittausepävarmuutta kuin kenttäkalibroinnilla ja vakionäyteseurannalla. Tämän vuoksi kalibrointituloksista ei havaita niin helposti anturin toiminnassa tapahtuvia muutoksia. Toisaalta kalibroinnin tarkkuus ei välttämättä riitä havaitsemaan uuden paperilajin ominaisuuksien muuttumista. Ongelman aiheuttaa lähinnä näytteenoton suuri mittausepävarmuus, joka vaikuttaa suoraan kalibrointituloksiin. Erityisesti laboratorioanalyysin ja online-mittauskohdan kohdistus ongelma tulee esille PK2:lla, koska kummankaan mittaraamin järjestelmään ei ole asennettu miniskannaustoimintoa. Pistemittauksessa otetaan huomioon vain paperin konesuuntainen vaihtelu, kun laboratorionäytteessä on mukana myös poikkisuuntainen vaihtelu. Esimerkiksi neliömassa-anturi mittaa radan poikkisuunnassa hyvin kapeaa aluetta (noin 15 mm). Kun näytteistä tehdään laboratorioanalyysi, otetaan siinä huomioon molemmat vaihtelut. Jos online-mittauskohdaksi valitaan paperin poikkiprofiililta sellainen kohta, missä ilmenee paljon laatusuureiden vaihtelua, voidaan laboratorioanalyysin ja online-mittaustuloksen välillä havaita merkittäviä eroja.

Koska kalibrointi tehdään täysin tuotanto-olosuhteissa, vaikuttaa kalibroinnin mit-tausepävarmuuteen paperin valmistusprosessissa tapahtuvat muutokset. Jos proses-siin tulee häiriö, kun anturit mittaavat paperia tietystä kohti paperirataa, voi häiriö vaikuttaa lopulliseen online-mittaustuloksen keskiarvoon. Tämän vuoksi kalibroi-nista saatu tulos voi olla virheellinen. Uhkana voidaan pitää myös paperin runko-kosteuden ja konosalin kosteuden vaikuttamista kosteusnäytteeseen. PK2:lla run-kokosteuden asetusarvo on noin 4,5 % ja PK3:lla noin 9 %. Jos kosteusnäytteitä ei leikata ja suljeta muovipussiin nopeasti, ehtii paperi imeä tai luovuttaa kosteutta, riippuen siitä, miten kosteaa paperi on kuivausosasta tullessaan verrattuna konesa-lin kosteuteen.

#### 7.4 Pakatun neliömassan hyödyntäminen neliömassa-anturin kalibroinnissa

**Taulukko 16** SWOT-analyysi pakatun neliömassan hyödyntämisestä PK3:n mitta-palkin neliömassa-anturin kalibroinnissa.

<b>Vahvuudet (S)</b>	<b>Heikkoudet (W)</b>
Tehdään tuotannon aikana koko ajan.	Viipymäaika.
Kalibrointi sivutuotteena.	Salin kosteuden vaikutus tuloksiin.
	Välillä tulee huonoja tuloksia.
<b>Mahdollisuudet (O)</b>	<b>Uhat (T)</b>
Voidaan käyttää tukena, kun tulkitaan mui-den kalibrointimenetelmien tuloksia.	Miten mittaustuloksia tulkitaan ja käsitel-lään?
	Viipymäaika.

Taulukossa 16 on esitetty SWOT-analyysi pakatun neliömassan hyödyntämisestä neliömassa-anturin kalibroinnissa. Seuraavissa kappaleissa selvitetään, minkä pe-rustein taulukon ruudukot on täytetty.

##### 7.4.1 Vahvuudet

Pakatun neliömassan vahvuutena neliömassa-anturin kalibroinnissa on se, että ka-librointi tulee sivutuotteena, koska rullia punnitaan muutenkin ilman mittaustulok-sien hyödyntämistä anturin kalibroinnissa. Tämän vuoksi PK3:n mittapalkin neliö-massa-anturin kalibrointi pakatun neliömassan avulla ei vaadi erillistä työpanosta kalibroinnin tekemiseen.

### 7.4.2 Heikkoudet

Pakatun neliömassan hyödyntämisen heikkoutena neliömassa-anturin kalibroinnissa on viipymäaika ja konosalin kosteuden vaikutus paperin neliömassaan, jotka vaikuttavat pakatun ja online-neliömassan yhtäpitävyyteen. Ennen kuin konerullan pakattu neliömassa on Alcontissa, voi sen viipymäaikaan vaikuttaa useampi eri tekijä. Kun konerulla on valmistunut, siirretään se pituusleikkurille. Jos pituusleikkurilla on ruuhkaa, kestää jonkin aikaa ennen kuin konerulla saadaan leikattua asiakasrulliksi. Pituusleikkurin jälkeen asiakasrullat menevät yleensä suoraan punnittaviksi. Välillä viipymäaika pidentää lajinvaihtojen yhteydessä syntyvät ”rullakassat”, joiden purkaminen voi kestää useamman tunnin ennen kuin pakatun neliömassan mittaustieto saadaan hyödynnettäväksi.

Koska sanomalehtipaperi on ohutta ja huokoista materiaalia, vaikuttaa siihen nopeasti ympäröivän ilman kosteus. Koska PK3:lla paperin runkokosteus on konosalin kosteuteen verrattuna korkeampi, pyrkii paperi pääsemään tasapainokosteuteen konosalin kosteuden kanssa luovuttamalla kosteutta. Kosteutta haihtuu, kun rullia avataan ja uudelleen rullataan matkalla pakkaamoon. Esimerkiksi lajinvaihtojen yhteydessä asiakasrullat saattavat seistä lattialla tavallista pidempään, jonka aikana paperin kosteus muuttuu ensin rullan pinnasta ja sen jälkeen keskemältä. Vaikka konosalin kosteuden kompensointia tehtäisiin tarkalla seurannalla, vaikuttaa online- ja pakatun neliömassan yhtäpitävyyteen välillä huonot mittaustulokset. Yksi eron aiheuttaja on lajin vaihdot. Jos ajettavasta lajista siirrytään huomattavasti kevyempään tai raskaampaan lajiin, voi lajin vaihto aiheuttaa huomattavan eron pakatun neliömassan ja online-neliömassan välille (lajinvaihtokonerullat).

### 7.4.3 Mahdollisuudet

Tilastollisen tarkastelun tuloksien perusteella pakattua neliömassaa voidaan hyödyntää, kun vikatilanteessa tulkitaan muiden kalibroitimenetelmien tuloksia. Koska pakatun neliömassan ja online-neliömassan yhtäpitävyyteen vaikuttaa mm. konosalin ilmankosteus, täytyy mittaustuloksia osata käsitellä ja tulkita oikein, jotta ei mennä epävarmojen asioiden perässä. Tämän vuoksi neliömassa-anturia ei kannata virittää pakatun neliömassan perusteella.

#### **7.4.4 Uhat**

Pakatun neliömassan uhkana voidaan pitää mittaustulosten käsittelyä ja tulkintaa. Kun pakatun neliömassan ja online-neliömassan yhtäpitävyyttä tutkitaan, täytyy tulkinnassa huomioida esimerkiksi, miten paljon kosteuskompensointia on tehty. Uhkana voidaan pitää myös pakatun neliömassan viipymäaika, koska anturin viikatilanteessa on tärkeää, että kalibrointitulokset ovat mahdollisimman nopeasti hyödynnettävissä.

### **8 VAIHTOETOINEN KALIBROINTIKÄYTÄNTÖ**

Vaihtoehtoinen kalibrointikäytäntö määriteltiin normaali-, häiriö-, ja uuden lajin tilanteeseen. Normaalitilanteen kalibrointikäytännöllä tarkoitetaan rutiiniseurantamallia, jonka mukaan antureiden pysyvyyttä pääasiassa seurataan. Jos anturin toiminnassa tapahtuu muutos, joka vaikuttaa anturin mittaukseen, siirrytään normaalitilanteen kalibrointikäytännöstä häiriötilanteen kalibrointikäytäntöön. Koska välillä valmistettavaksi lajiksi voi tulla normaalitilanteesta poikkeava laji, jonka ominaisuuksia on muutettu antureiden mittaukseen vaikuttavasti, laadittiin kalibrointikäytäntö myös uuden lajin tilanteeseen. Jotta eri tilanteissa tehtävät työt saataisiin esitettyä mahdollisimman havainnollisesti, laadittiin toimenpiteistä kulkukaaviot. Normaali- ja häiriötilanteessa tehtävät työt esitettiin samassa kulkukaaviossa ja uuden lajin kohdalla tehtävät työt omassa kulkukaaviossa. Tekstiosassa kerrotaan, miksi kulkukaaviossa esitetyt työt kannattaa tehdä.

#### **8.1 Normaalitilanteessa tehtävät työt**

Vaihtoehtoisessa kalibrointikäytännössä mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureille tehdään entiseen tapaan koko mittausalueen kattava kenttäkalibrointi. Tätä ei ollut syytä muuttaa, koska akkreditoitun kalibrointilaboratorion avulla saadaan kalibrointi tehtyä tarkasti mittausalueen eri tarkastuspisteissä ja kalibrointituloksien perusteella voidaan tehdä perus- ja lajivirittäminen.

Liitteessä 12 on esitetty kulkukaavio, josta selviää tehtävät työt normaali- ja häiriötilanteessa. Tilastollisen ja käytännön tarkastelun tuloksien perusteella rutiiniseurantamenetelmäksi valittiin vakionäyteseuranta, jonka ympärille kalibrointikäytäntö määriteltiin. Kulkukaaviossa kuvatut työt mahdollistavat sen, ettei kalibrointia tarvitse tehdä enää normaali- tai häiriötilanteessa laboratoriomenetelmällä. Näin kalibrointia voidaan tehdä entistä pienemmällä työmäärällä, kuitenkin niin ettei antureiden tarkkuus huonone.

Koska online-kuivamassa muodostetaan laskennallisena suurena neliömassa- ja kosteusanturin mittaustuloksista, oli kulkukaavion ensimmäisessä versioissa mukana myös laboratorion tekemä kuivamassanäytteenotto. Kuivamassamäärityksen tarkoituksena oli varmistaa, että paperin ominaisuudet pysyvät ennallaan ja pienentää näytteenottotyön määrää. Paperin kosteus- ja neliömassamääritys olisi tehty vasta, kun online-kuivamassan kalibrointituloksessa havaittaisiin selvä poikkeama edellisiin kalibrointituloksiin verrattuna. Näin todennäköisesti saataisiin selville, onko vika neliömassa- vai kosteusanturissa.

Vaikka pelkällä paperin kuivamassamäärityksellä voitaisiin pienentää kalibroinnin vaatimaa näytteenottotyön määrää, päätettiin siitä luopua, koska on epätodennäköistä, että paperin ominaisuuksiin tulee muutoksia, joista ei tiedetä (esimerkiksi täyteaineen toimittajan tekemät muutokset). Lisäksi pelkän kuivamassan avulla ei voida seurata Lippken antureiden mittausta, koska Lippke käyttää Da Vincin määrittämää kuivamassaa, joka on luotettavampi. Toisaalta, jos laboratoriomenetelmällä halutaan kalibrointia tehdä, on sama ottaa kerralla molemmat näytteet, koska säästyvä työmäärä ei pelkällä kuivamassanäytteenotolla ole suuri.

Mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden pysyvyyttä seurataan normaalitilanteessa vakionäyteseurannan avulla viikon välein, koska kalibroinnin tekeminen on nopeaa, eikä se vaadi suurta työpanosta (Liite 12). Näin antureille saadaan tehtyä mahdollisimman tarkkaa pysyvyyden seuranta. Tietyn ajan välein tehtävä kalibrointi on tärkeää, koska muuten antureiden pysyvyyttä ei voida seurata.

Kosteusantureille tehdään ennakkohuoltotyönä kuukauden välein vakionäyteseuranta ristikkäisnäytteiden avulla. Kun ristikkäisnäytteenä voidaan käyttää toisen kosteusanturin vakionäytettä, on näytelevy koko ajan käytössä vakionäyteseurannassa. Ristikkäisnäytteen avulla voidaan häiriötilanteessa nopeasti tarkistaa, onko anturin oma kosteusnäytelevy kunnossa. Kun kalibrointi toistetaan säännöllisesti toisen kosteusanturin vakionäytteellä, tiedetään häiriötilanteessa, miten anturi on mitannut kosteusreferenssiä. Koska neliömassa-anturin vakionäyteseurannassa käytetään muovista valmistettua näytettä, on sen pysyvyys hyvä. Näin ollen neliömassa-anturille ei tehdä kalibrointia toisen anturin näytelevyllä.

Antureiden ennakkohuoltotyönä tehdään myös toistuvuuskoe, jota automaatiokunnossapidon asentajat eivät ole tehneet aikaisemmin vakionäytteiden avulla. Liitteessä 13 on esitetty Da Vincin neliömassa- ja kosteusanturin toistuvuuskokeen ohjeet. Toistuvuuskokeen ohjeita ei laadittu Lippken antureille, koska antureiden mittaustuloksia ei saada jäädytettynä lukuina. Kun antureille tehdään säännöllisin väliajoin toistuvuuskoe, tiedetään häiriötilanteessa, mikä anturin toistuvuus on ollut aikaisemmin. Mikäli anturin toiminnassa epäillään vikaa, saadaan se yleensä selville toistuvuuskokeen avulla.

Koska Da Vincin ohjausjärjestelmässä on antureille omat standardointilokit, voidaan niitä hyödyntää vakionäyteseurannan yhteydessä. Standardointilokit kannattaa tarkistaa ennen vakionäytteiden mittausta tehtävän standardoinnin jälkeen, koska välillä anturin kalibrointituloksessa voi aikaisempiin tuloksiin verrattuna ilmetä eroa, jonka aiheuttajana voi olla huonosti onnistunut standardointi. Koska Lippken ohjausjärjestelmässä ei ole standardointilokia, josta voisi seurata antureiden standardointihistoriaa, kannattaa vakionäytteen mittauksen aikana seurata anturin mittaustuloksia. Jos mittauslukemat vaihtelevat paljon, on syytä epäillä anturin toiminnassa vikaa.

Anturin suorituskykyä pyrkivät tuotannon aikana heikentämään monet eri tekijät. Yksi heikentävä tekijä on paperista irtoava ”lika”, joka tarttuu mittapäihin antureiden sisältämistä ilmapuhaltimista huolimatta. Tämän vuoksi antureiden mittapäätt kannattaa puhdistaa huolellisesti ennen vakionäyteseurannan aloittamista. Kun mittapäätt puhdistetaan, voidaan samalla tarkistaa niiden kunto. Koska neliömassa-

anturin mittapäissä on ohuet kalvot, täytyy puhdistamisessa olla huolellinen. Jos kalvo vioittuu, voi se vaikuttaa anturin mittaukseen. Likaantumisen vuoksi välillä kannattaa puhdistaa myös vakionäytteet. Jos vakionäytteissä tai ohjainkehikossa ilmenee vikaa, otetaan yhteyttä JMK:hon, jonka avulla tilanne saadaan palautettua normaaliksi.

## 8.2 Häiriötilanteessa tehtävät työt

Välillä vakionäytteseurannan kalibrointituloksessa voidaan havaita selvä poikkeama edellisiin tuloksiin verrattuna. Syynä voi olla huonosti onnistunut kalibrointi, jonka vuoksi kalibrointi on toistettava. Ennen uudestaan tehtävää kalibrointia kannattaa näytelevy puhdistaa huolellisesti ja tarkastaa samalla silmämääräisesti, onko vakionäytteessä havaittavissa vikaa. Jos kalibrointituloksen poikkeama aiheutuu huonosti onnistuneesta kalibroinnista, ei tulosta tule syöttää Oskuun. Näin kalibrointitulokset ei aiheuta myöhemmin turhia jatkotoimenpiteitä.

Kalibrointituloksien tarkastelua helpottavat kalibrointihistoriasta lasketut valvontarajat. Koska antureille on Oskuun aikaisemmin laskettu valvontarajat, ei tässä työssä valvontarajoja laskettu. Tämän vuoksi kulkukaavioihin on valvontarajat merkitty kirjainlyhenteillä AVR ja YVR, joilla tarkoitetaan ala- ja ylävaroitusrajoja. Jos esimerkiksi kolmen peräkkäisen kalibrointikerran tulokset ylittävät ylemmän tai alemman varoitusrajan, on anturin mittauksessa syytä epäillä vikaa. Valvontarajan ylityksen syynä voi olla esimerkiksi neliömassa-anturin säteilylähteen vanheneminen tai kosteusanturin vakionäytteen kosteuspitoisuuden muuttuminen. Jos kyseessä on kosteusanturi, tehdään sille vakionäytteseuranta ristikkäisnäytteen avulla. Käytännössä kalibrointi voidaan toistaa ristikkäisnäytteen avulla muutaman kerran peräkkäin. Näin saadaan varmistettua, onko anturin omassa vakionäytteessä vikaa. Jos vika kohdistuu näytelevyyn, täytyy JMK:lta tilata uusi kosteusreferenssi.

Jos kosteusanturi ei mittaa ristikkäisnäytelevyä oikein tai neliömassa-anturin kalibrointituloksessa on havaittavissa edelleen poikkeama uudestaan tehdystä kalibroinnista huolimatta, tehdään antureille toistuvuuskoe ja mekaaninen tarkistus. Jos kyseessä on PK3:n mittapalkin neliömassa-anturi, kannattaa ennen toistuvuuskokeen tekemistä tarkistaa pakattu neliömassa. Toistuvuuskokeen tarkoituksena on varmis-

taa, ettei kalibrointituloksissa havaittu poikkeama aiheudu anturin toistuvuusongelmista. Jos toistuvuus on hyvä eikä anturissa ole havaittavissa mekaanista vikaa, joka edellyttää korjaamista, tehdään anturille viritys. Virittämisen tavoitteena on poistaa vakionäyteseurannan tuloksien perusteella anturin tasossa tapahtunut muutos. Tällöin poistetaan esimerkiksi neliömassa-anturin säteilylähteen vanhenemisen vaikutus anturin mittaustuloksiin.

Välillä anturin toistuvuudessa tai toiminnassa voi ilmetä vika, jonka korjaaminen edellyttää anturin vaihtamista. Jos anturin mittauksessa ilmenee jotain vakavaa tai anturi joudutaan muuten vaihtamaan, kutsutaan JMK pakalle tekemään kenttäkalibrointi. Näin anturille saadaan tarvittaessa tehtyä perus- ja lajivirittäminen. Toisaalta välillä voi tulla myös vikatilanteita, joissa joudutaan ottamaan yhteyttä mittapalkin toimittajaan. Jos anturi joudutaan vaihtamaan, lähetetään viallinen anturi Honeywellille huoltoon.

### **8.3 Uuden lajin tilanteessa tehtävät työt**

Nykyisin neliömassa-anturit eivät ole kovin herkkiä paperin ominaisuuksien muuttumiselle, kun taas kosteusantureiden mittaukseen voi vaikuttaa esimerkiksi riittävä optisen kirkasteen lisääminen paperimassaan. Vaikka UPM:n, Kajaanin tehtaalla tulee harvoin tilanteita, jossa uuden lajin kalibrointikäytäntöön täytyisi mennä, haluttiin sen määrittäminen ottaa työhön mukaan. Vaatimuksena oli esittää tehtävät toimenpiteet, kun uusi laji tulee valmistettavaksi.

Uuden lajin kalibrointikäytännön kulkukaavio on esitetty liitteessä 14. Kun normaalitilanteesta poikkeava laji tulee valmistettavaksi, tehdään laboratoriomenetelmällä paperin kosteus-, kuivamassa- ja neliömassamääritykset, jotta nähdään miten uusi laji vaikuttaa antureiden mittaukseen. Laboratoriomenetelmällä kalibrointi voidaan tehdä heti, kun uusi laji tulee valmistettavaksi.

PK2:lla näytteenotto kannattaa tehdä mittapalkin toimittajan suosittelemalla tavalla, koska aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, ettei pistemittausmenetelmän avulla voida riittävällä tarkkuudella määrittää online-mittauksien oikeellisuutta. Honeywell suosittelee viiden näytteen ottamista eri kohdista poikkirataa ja näistä

saatuja laboratorioanalyysin tuloksia verrataan normaalista skannauksesta kerättyyn online-poikkeaprofiilin arvoihin. Toisaalta lajiin tehty muutos voi olla niin pieni ettei laboratoriomenetelmän tarkkuus riitä havaitsemaan sitä.

Jos online-mittaustuloksen ja laboratorioanalyysin yhtäpitävyydessä on havaittavissa selvä poikkeama, täytyy anturia virittää. Käytännössä uudelle lajille voidaan tehdä oma lajivirityksryhmä, johon anturi viritetään. Näin virittäminen ei muuta muiden lajien viritysparametreja. Virityksen jälkeen kalibrointi täytyy tehdä uudelleen, jotta nähdään, miten tehty toimenpide on vaikuttanut anturin mittaukseen.

Jos online-mittaustuloksen ja laboratorioanalyysin välinen ero ei mahdu hyväksymistoleranssin sisään, täytyy viritys ja kalibrointi toistaa. Jos viritysparametrien muuttaminen ei vaikuta millään tavalla anturin mittaukseen, täytyy mittapalkin toimittajaan ottaa yhteyttä, jotta vika saadaan korjattua. Tämä tilanne on harvinaisen, mutta mahdollinen.

Jos uusi laji ei ole pysyvä, seurataan laboratoriomenetelmällä lajin valmistus loppuun saakka. Muussa tapauksessa kutsutaan JMK paikalle tekemään tuotteittainen kenttäkalibrointi uudesta lajista valmistetun näytteen avulla, jonka perusteella anturia tarvittaessa viritetään.

## 9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli vaihtoehtoisen kalibrointikäytännön määrittäminen kahden eri tuotantolinjan mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureille. Työ aloitettiin perehtymällä antureiden kalibrointimenetelmiin teoriassa ja käytännössä. Teoreettinen tarkastelu tehtiin haastattelujen, työohjeiden, kirjallisen materiaalin sekä laskennallisesti. Käytännön tarkastelu toteutettiin tekemällä vakionäyteseurantaa neljän kuukauden ajan sekä seuraamalla laboratoriomenetelmän ja kenttäkalibroinnin tekemistä.

Tutkimustulokset osoittivat, että nykymallin kalibrointikäytännössä neliömassa- ja kosteusantureiden kalibrointiin käytetään paljon aikaa, vaikka vikatilanteessa ei kaikkien kalibrointimenetelmien tuloksia välillä hyödynnetä. Tämän vuoksi kalibrointikäytännön tutkiminen ja vaihtoehtoisen kalibrointikäytännön esittäminen oli tärkeää.

Vakionäyteseurannan laskennallinen suorituskyky oli hyvä molemmilla tuotantolinjoilla. Ainoastaan Lippken antureiden vakionäyteseurannan tuloksien hajonta oli suurempi kuin muilla mittapalkeilla. Syynä hajontojen suuruuteen pidettiin sitä, ettei Lippken antureiden mittaustuloksia saada jäädytettynä lukuina. PK3:lla esille tuli kosteusanturin vakionäytteen kosteuspitoisuuden muuttuminen, minkä vuoksi vaihtoehtoiseen kalibrointikäytäntöön otettiin mukaan kosteusanturin vakionäyteseurannan tekeminen ristikkäisnäytteen avulla, jota ei aikaisemmin ole tehty. Koska antureiden toistuvuuskokeen avulla voidaan helposti tarkistaa, johtuuko anturin toimintahäiriö toistuvuusongelmista, otettiin toistuvuuskokeen tekeminen vakionäytteiden avulla vaihtoehtoiseen kalibrointikäytäntöön mukaan.

PK2:lla laboratoriomenetelmän laskennallinen suorituskyky oli huonompi kuin PK3:lla. Koska laboratoriossa paperin kuivamassan, kosteuden ja neliömassan määrittäminen tehdään samalla tavalla, ei eron syy voi aiheutua laboratoriossa tehtävistä töistä. Syynä suorituskykyjen eroon pidettiin erilaisia antureiden kalibrointimittausmenetelmiä. PK3:lla käytössä olevan miniskannausmenetelmän avulla päästään lähemmäksi laboratorioanalyysin tulosta, koska molemmissa otetaan huomioon paperin kone- ja poikkisuuntainen vaihtelu, jota ei huomioida PK2:lla pistemittausmenetelmällä.

PK3:lla pakattu neliömassa soveltuu yllättävän hyvin online-neliömassan seurantaan, kun tuloksia osataan tulkita oikein. Anturin vikatilanteessa ongelmana voi olla viipymäaika, ennen kuin konerullan pakattuneliömassa saadaan hyödynnettäväksi. Koska tilastollinen tutkimus tehtiin yksinkertaisten tunnuslukujen avulla, sujui tarkastelu vaivattomasti.

Teoreettisen ja käytännön tarkastelun tuloksien perusteella tehtiin esitys vaihtoehdoisesta kalibrointikäytännöstä. Koska kalibrointimenetelmiin tutustuttiin käytännössä, oli siitä paljon hyötyä tämän työn tekemisessä. Koska nykyisessä kilpailutilanteessa paperitehtaalla pyritään tehostamaan työmenetelmiä, pyrittiin vaihtoehdoisessa kalibrointikäytännössä saamaan antureiden kalibrointiin käytettävä työ määrä mahdollisimman pieneksi, kuitenkin niin ettei antureiden tarkkuus huonone.

## 10 EHDOTUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

Vakionäyteseurannan ja laboratoriomenetelmän tilastollisen tarkastelun yhteydessä esille tuli kalibrointituloksien valvontarajat, joiden oikeellisuus on syytä tarkistaa. Valvontarajat tulisi merkitä Oskuun absoluuttisina arvoina suhteellisten prosenttiarvojen sijasta. Näin rajat olisivat havainnollisemmat. Jos esimerkiksi kosteusanturin vakionäytelevy joudutaan vaihtamaan uuteen, on valvontarajat hyvä tarkistaa, kun kalibrointia on tehty jonkin aikaa uudella näytelevyllä. Jos valvontarajoja tai niiden tasoa täytyy muuttaa, tulee muutos tehdä aikaisessa vaiheessa Oskuun.

Jotta antureiden kalibroinnista on hyötyä, täytyy kalibrointia tehdä säännöllisin väliajoin. Jos kalibrointi epäonnistuu, ei virheellistä tulosta tule syöttää Oskuun, vaan kalibrointi on toistettava ja poikkeaman syy selvitettävä. Jos vakionäyteseurannan tulokset laitettaisiin menemään suoraan mittapalkin ohjausjärjestelmästä Oskuun, jää kalibroinnin tekemisestä yksi työvaihe pois.

Koska vaihtoehdoisen kalibrointikäytännön toimivuutta ei tämän työn aikana ehditty kokeilla, kannattaa sitä testata käytännössä. Vakionäyteseurannan tekeminen riskikäisnäytteen avulla kannattaa liittää ennakkohuoltotyöhön, koska sen avulla voidaan helposti tarkistaa, onko kosteusanturin oma vakionäytelevy rikki. Käytännös-

sä PK2:n Da Vincin kosteusanturin ristikkäisnäytelevynä voidaan käyttää PK3:n mittapalkin kosteusanturin vakionäytettä ja päinvastoin. Lippken kosteusantureiden näytelevyjä voidaan vaihtaa keskenään. Kalibroinnin tekeminen ristikkäisnäytelevyn avulla voidaan liittää myös PK4:n Da Vincille tehtäviin ennakkohuoltotöihin. PK4:lla voidaan käyttää esimerkiksi PK3:n vakionäytettä. Jos vakionäyteseurannan tekeminen ristikkäisnäytelevyn avulla otetaan käyttöön, täytyy näytelevyjen ohjainkehikkoa muuttaa, siten että toisen mittapalkin vakionäyte sopii siihen.

Antureiden toistuvuuskokeen tekeminen vakionäytteiden avulla kannattaa ottaa ennakkohuoltotöihin mukaan, koska siitä on hyötyä anturin vikatilanteessa. Lisäksi toistuvuuskokeelle ja ristikkäisnäytteelle täytyisi tehdä Oskuun yksilölliset ennakkohuoltotyönumerot, joiden alle mittaustuloksia kerätään. Kun mittauksia on tehty riittävä määrä, kannattaa mittaustuloksille laskea valvontarajat. Jos antureille tehdään viritys tai jokin muu korjaava toimenpide, tulee siitä tehdä merkintä Oskuun.

Eri tuotantolinjojen mittapalkkien neliömassa- ja kosteusantureiden lajivirittämistä kenttäkalibroinnin tulosten perusteella tulisi harkita. Näin parannettaisiin lajivirittämisen tarkkuutta ja saataisiin yhtenevä virityskäytäntö eri tuotantolinjojen välille. Jos antureiden lajivirittäminen tehdään kenttäkalibroinnin tulosten perusteella ja halutaan pakatun neliömassan säilyvän ennallaan, täytyy neliömassan ja kosteuden asetusravot tarkistaa. Aiheesta kannattaa tehdä tutkimus. Lisäksi tutkimus kannattaa tehdä siitä, miten hyvin PaperLabin neliömassamittausta voidaan hyödyntää online-neliömassan seurannassa.

PK3:lla kuitukorjauksen käyttämistä kosteuskorjaukseen tulisi harkita. Periaatteessa taloudellisempi tapa korjata pakatun neliömassan ja online-neliömassan välistä eroa, on ajaa talvella paperiin hieman korkeampaa kosteutta, jolloin voimakkaampi kuivuminen jälkikäsitelyssä kompensoituu korkeammalla runkokosteuden asetusravolla. Korjaus voitaisiin tehdä esimerkiksi kerran kuukaudessa. Tällä huomioitaisiin vuodenajasta aiheutuva kuivuminen tarkasti.

## LÄHDELUETTELO

## Painetut lähteet

- [1] Aumala, Olli, *Mittaustekniikan perusteet*. 9 korjattu painos. Yliopistokustannus. Hakapaino Oy. Helsinki 2000. 223 s. ISBN 951-672-294-6.
- [2] Blumberg, Robert, *Uncertainties in dynamic calibration of on-line quality measurements on a paper machine*. Diplomityö. Åbo Akademi. Kemisk-Tekniska Fakulteten. 2000. 96 s. + 5 liitesivua.
- [3] Ehder, Tapio, Kuva, Jenni, *Metrologiasta lyhyesti*. 3 painos. Mittatekniikan keskus. Otamedia. Espoo 2005. 79 s. ISBN 952-5610-07-1.
- [4] Fonselius, Jaakko – Pekkola, Kari – Selosmaa, Seppo – Ström, Markku – Väli-maa, Taisto, *Automaatiolaitteet*. Oy Edita Ab. Helsinki 1996. 199 s. ISBN 951-37-1984-4.
- [5] Hanski, Seppo, *PL42 ja URK4 metrimäärämittarin kalibrointitodistus*. Sedamic Oy. 6 s. 2004. UKJRAP12.
- [6] Heikkilä, Tarja, *Tilastollinen tutkimus*. 2 uudistettu painos. Tarja Heikkilä ja Oy Edita Ab. Oy Edita Ab. Helsinki 1999. 320 s. ISBN 951-37-2896-X.
- [7] Honeywell-Measurex. *Da Vinci System Course Material*. Kajaani. 1999.
- [8] Honeywell-Measurex. *Lippke System Course Material*. Kajaani. 2003.
- [9] Honeywell-Measurex QCS Precision Basic Weight Measurement. *Tekninen esite*. Honeywell 1999. 4202.
- [10] Honeywell-Measurex QCS PrecisionPLUS TRIP Moisture. *Tekninen esite*. Honeywell 1999. 2235.
- [11] Honeywell-Measurex Lippke 6101 QCS Basis Weight Sensor Pm<sup>147</sup>. *Tekni-nen esite*. Honeywell. U.S.A 1992. SL-53-315.
- [12] Honeywell-Measurex Lippke 6104 QCS Moisture Sensor UR. *Tekninen esite*. Honeywell. U.S.A 1992. SL-53-318.
- [13] Kangasrääsiö, Juha, *PK2, SC21 ja SC 22 kalibrointien tilanneraportti*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2006. 15 s. KAJRAP18-5-2006 PK2.
- [14] Kangasrääsiö, Juha, *PK3 kalibrointien tilanneraportti*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2006. 4 s. KAJRAP11-01-2006 PK3.
- [15] Kangasrääsiö, Juha, *PK3:n Da Vincin neliömassa-anturin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2005. 9 s. K033-KE05018N.

- [16] Kangasrääsiö, Juha, *PK2:n Lippken neliömassa-anturin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2006. 11 s. K033-KE06001N.
- [17] Kangasrääsiö, Juha, *PK3:n Da Vincin kosteusanturin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2005. 13 s. JMK-KE05015K.
- [18] Kangasrääsiö, Juha, *PK2:n Lippken alamittavaunun kosteusanturin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2005. 6 s. JMK-KE05006K.
- [19] Kangasrääsiö, Juha, *PK2:n Lippken ylämittavaunun kosteusanturin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2005. 11 s. JMK-KE05005K.
- [20] Kangasrääsiö, Juha, *PK3:n mittapalkin kosteusreferenssin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2005. 2 s.
- [21] Kangasrääsiö, Juha, *PK3:n mittapalkin neliömassareferenssin kalibrointitodistus*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2005. 2 s.
- [22] Karhuketo, Hannu – Seppälä, Markku J – Törn, Tage – Viluksela, Pentti, *Paperin ja kartongin jalostus*. 2. uudistettu painos. Opetushallitus. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 2004. 219 s. ISBN 952-13-1999-2.
- [23] Karjalainen, Leila, *Tilastomatematiikka*. 8 uudistettu painos. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 2004. 223 s. ISBN 952-9776-23-3.
- [24] Kettunen, Manu, *Jatkuvatoimisten mittalaitteiden kalibrointitoiminnan suoritus kyky*. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Paperiteknikanosasto. Tampere 2005. 74 s. + 34 liitesivua.
- [25] Laaksonen, Matti, *Mittausepävarmuuksien selvittäminen laboratorion mittauksissa*. Insinööriyö. Jyväskylän teknillinen oppilaitos. Koneosasto. Jyväskylä 1999. 50 s. + 37 liitesivua.
- [26] Laininen, Pertti, *On-line ja laboratoriomittausten edustavuus*. Julkaisu 198-90. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Copy-Set Oy. Helsinki 1990.
- [27] Leskinen, Simo, *Pakkaamon vaa'an vakaustodistus*. Mittaus Oulu. 2 s. 2004. V0485-004.
- [28] Mittatekniikan keskus, *Suositus kalibroinnin mittausepävarmuuden määrittämisestä*. FINAS S12/1992. Mittatekniikan keskus. Valtion painatuskeskus Kampin VALTIMO. Helsinki 1992. 23 s. ISBN 952-9647-16-6.
- [29] Mittauspalvelu, *Kalibroinnin mittausepävarmuuden määrittäminen*. Julkaisu CAL 1-3. Teknillinen tarkastuskeskus. Helsinki 1990. 23 s. ISBN 952-9588-04-6.
- [30] Mäkelä, Merja, *Paperin laatusuureiden mittaus ja säätö*. 2. painos. Suomen Automaatioseura ry. Copyset Oy. Helsinki 2003. 111 s. ISBN 952-5183-20-3.

[31] Puumalainen, Pertti, *Paperin laadun ja siihen valmistusprosessissa vaikuttavien tekijöiden online-mittaukset*. Tieteellisiä julkaisuja 29. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Lappeenranta 1993. ISBN 951-763-774-8.

[32] Ritala, Risto, Niemi, Kari, Valtonen, Erkkä. *Paperin laatuominaisuuksien mittaus*. Loppuraportti 11. Kauppa ja teollisuusministeriö. Oy Keskuslaboratorio. Espoo 1993. 39 s. ISSN 0786-3136.

[33] Salomäki, Rauno, *Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC*. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 1999. 400 s. ISBN 951-817-707-4.

[34] SFS-EN ISO 9001, *Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset*. Suomen standardoimisliitto ry 2001. 60 s

[35] SFS 3700, *Metrologia. Perus- ja yleistermien sanasto*. Suomen standardoimisliitto ry 1998. 31 s.

[36] SFS-EN 20287, *Paper and board. Determination of moisture content. Oven-drying method*. 1994. 7 s.

[37] Vitikainen, Esa, *Mittauslaitteiden kalibrointi ja ohjeita järjestelmän rakentamiseen*. Tekninen tiedotus 12/93. Metalliteollisuuden Keskusliitto. Tammer-Paino Oy. Tampere 1993. 46 s. ISBN 951-817-577-2.

#### Sähköiset lähteet

[38] European co-operation for Accreditation EA-4/02, *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*. 79 s. 1999.

[39] Haltamo, Janne, *Kuiva, vesi- ja tuhkapainon säätö ja kosteuskorjaus*. UPM-Kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Muistio. Luettu 1.7.2006

[40] Janhunen, Pertti, *PK3:n mittapalkin ja laboratoriomenetelmän suorituskyky*. Hankintasopimus. Honeywell Oy. 2004.

[41] JMK Instruments Oy, *PK2:n Da Vincin vakionäyteseurannan työohje*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2006. 15 s.

[42] JMK Instruments Oy, *PK2:n Lippken vakionäyteseurannan työohje*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2006. 18 s.

[43] JMK Instruments Oy, *PK3:n Da Vincin vakionäyteseurannan työohje*. JMK Instruments Oy. Kuopio 2006. 17 s.

[44] Kangasrääsio, Juha, *Kenttäkalibrointi ja antureiden perus- ja lajivirittäminen*. [sähköpostiviesti.] 11.10.2006.

- [45] Kangasrääsio, Juha, *Kenttäkalibrointi ja vakionäyteseuranta*. [sähköpostiviesti.] 4.7.2006.
- [46] KnowPap 6.0, *Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö*. VTT 2004.
- [47] Koponen, Matti, *PK3 mittapalkkitarkastus*. [sähköpostiviesti.] 23.5.2006.
- [48] Laininen, Arto, *Pakatun neliömassan muodostuminen TIPS-järjestelmään*. [sähköpostiviesti.] 22.8.2006
- [49] Mellin, Ilkka, *Aikasarja-analyysi*. Luentomateriaali. TKK. 73 s. 2006.
- [50] PowerPoint-esitys, *Kajaanin tehdas esittely 2006*. UPM-Kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 1.9.2006
- [51] PowerPoint-esitys, *Kajaanin tehdas tuotteet ja tuotanto 2006*. UPM-Kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 1.9.2006.
- [52] PowerPoint-esitys, *Massan ja paperin valmistus 2006*. UPM-Kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 1.9.2006
- [53] Salonen, Kari, *Mittauksen rooli tuotteen laadunohjauksessa-luentodiasarja*. [sähköpostiviesti.] 11.8.2006.
- [54] Toimintajärjestelmä, *Honeywellin mittapalkkien antureiden kalibrointi laboratorion menetelmällä*. UPM-kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 5.8.2006.
- [55] Toimintajärjestelmä, *TYÖ-630-032 Paperinäytteiden otto*. UPM-kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 5.8.2006.
- [56] Toimintajärjestelmä, *TYÖ-630-035 Paperin neliömassan määrittäminen*. UPM-kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 5.8.2006.
- [57] Toimintajärjestelmä, *TYÖ-630-040 Paperin kosteuden määrittäminen*. UPM-kymmene Oyj Kajaanin tehdas. Intranet. Luettu 5.8.2006.
- [58] Precical. [www-sivu]. [viitattu useita kohtia] Saatavissa: <http://www.precical.fi>

#### Muut lähteet

- [59] Haltamo, Janne, automaation insinööri. *Haastattelut 23.5.–20.10.2006 välisenä aikana*. UPM, Kajaani.
- [60] Kangasrääsio, Juha, laboratorion vastuhenkilö. *Puhelinhaastattelut 20.5.–20.8.2006 välisenä aikana*.
- [61] Koponen, Matti, laboratorion työntekijä. *Haastattelut 23.5.–1.8.2006 välisenä aikana*. UPM, Kajaani.

[62] Toiviainen, Mikko, automaationinsinööri. *Haastattelu* 25.8.2006. UPM, Kajaani.

[63] Wohlrab, Klaus, instrumenttiasentaja. *Haastattelu* 15.8.2006. UPM, Kajaani.