



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# MONIKERROSLAMINAATTIEN

## KOSTEUSMITTAUS

Antero Hakala

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Koneautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Koneautomaatio

HAKALA, ANTERO:  
Monikerroslaminaattien kosteusmittaus

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 11 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Tämä Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Walki Oy:n kanssa, ja sen on tarkoitus antaa yritykselle lisää tietoa monikerroslaminaattien kosteusmittauksista ja niissä esiintyvistä ongelmista.

Walki Oy:n Valkeakosken tehtaalla valmistetaan paljon monikerroslaminaatteja, joille laminaatin kosteuspitoisuus on yksi kriittisistä tekijöistä loppukäytössä. Liika kosteus saattaa aiheuttaa muovin irtoamisen paperista, mikä voi ilmetä vasta valmiissa tuotteessa. Tällä hetkellä ajon aikana tapahtuva laminaatin kosteuden seuranta tehdään laboratoriossa niin sanotulla pikatestauksella halogeenikuivaimella tai infrapunakuivaimella. Mittalaitteiden mittaustuloksille monikerroslaminaateilla ei aiemmin ole tehty vertailevaa tutkimusta yrityksessä, ja sen takia yritys halusi selvittää mahdollisia eroavaisuuksia eri mittalaitteiden välillä sekä niiden paikkansa pitävyydestä.

Tässä opinnäytetyössä tehtiin mittaukset viidelle eri laminaattilaadulle viidellä eri mittalaitteella. Vertailukohtana käytettiin uunikosteutta, jonka tiedetään antavan kaikista todellisimman mittaustuloksen. Kaikilla laitteilla havaittiin tietty trendi verrattuna uunikosteuden mittaustuloksiin. Toiset laitteet antoivat tulokset pääsääntöisesti suurempana ja toiset pienempänä. Tämän perusteella voidaan antaa selkeämmät ohjeavot päivittäisiin mittauksiin kullakin laitteella. Kaikki laitteet myös havaitsivat mittauserään osuneen huomattavan kostean näytteen.

Tuloksena voidaan todeta, että monikerroslaminaattien rakenteen takia ei tällä näytemäärällä ole mahdollista saada täysin luotettavia toleransseja eri laminaattilaatujen kosteusmittauksiin. Vaikka tulokset toisissa mittapisteissä eroavat paljonkin vertailupisteistä, mittauksissa saatiin todennettua nykyisten mittalaitteiden soveltuvan kyseisten laatujen ajon aikana tapahtuvaan seurantaan.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical Engineering  
Machine Automation

HAKALA, ANTERO:  
Moisture Measuring of Multi-layer Laminates

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 11 pages  
April 2018

---

This Thesis is carried out in cooperation with Walki Oy and is intended to provide the company more information on moisture measurement and problems associated with in multilayer laminates.

Walki Oy's Valkeakoski mill produces a lot of multilayer laminates for which the moisture content of the laminate is one of the critical factors finished product. Excess moisture may cause the polymer to detach from the paper that may only be present in finished product. Currently, moisture monitoring of the laminate during the run is carried out in laboratory by so-called quick test using halogen- or an infrared drier. The measurement results of multilayer laminates have not been comparatively studied in the company and therefore the company wanted to find out possible differences between different measuring devices and their accuracy.

In this thesis, measurements were performed on five different laminate grades using five different measuring devices. The reference point used is the oven dryer moisture measurement result, which is known to provide the most accurate measurement result. All devices found a certain trend compared to the measurements with the oven dryer. Other devices gave the results as a rule larger and others smaller. This gives clear guidelines for daily measurements on each device. All devices were also able to detect that very wet sample that was detected in the measuring batch.

As a result, it can be stated that due to the structure of the multilayer laminates, this test sample does not have the ability to obtain fully reliable tolerances for the moisture measurements of different laminate grades. Although the results at other measuring points differ significantly from the reference points, such measurements were verified by existing measuring devices were suitable for tracking those laminate grades during the run.

---

Key words: multi-layer laminate, moisture measurement

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MITTALAITTEET JA TEORIA .....	6
2.1	Paperin kosteusmittausstandardi SFS-EN ISO 287:2009.....	6
2.2	Monikerroslaminaatin kosteuden mittaaminen.....	6
2.3	Halogeenikuivain METTLER-TOLEDO HX204 .....	7
2.4	Infrapunakuivain METTLER LJ16 .....	10
2.5	Lämpökaappi HERAEUS UT 5050.....	12
2.6	PIR-kosteusmittalaite.....	13
3	KOSTEUSMITTAUKSET .....	14
3.1	Kosteusmittausten toteutus .....	14
3.1.1	Monikerroslaminaatin kosteus Halogeeni-kuivaajalla.....	14
3.1.2	Monikerroslaminaatin kosteus IR-kuivaajalla .....	15
3.1.3	Monikerroslaminaatin kosteus Uunilla .....	16
3.1.4	PIR-kosteus .....	16
3.1.5	Näytteen käsittelyn vaikutus mittaustulokseen .....	17
3.2	Mittausepävarmuus .....	18
3.2.1	Toteutus.....	18
3.2.2	R&R-tulokset .....	19
3.3	PIR-kosteusmittausten tulokset.....	20
4	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	25
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET .....	29
	Liite 1. Mittauspöytäkirja monikerroslaminaatit.....	29
	Liite 2. Mittaustulokset 40 g/m <sup>2</sup> .....	30
	Liite 3. Mittaustulokset 60 g/m <sup>2</sup> .....	31
	Liite 4. Mittaustulokset 90 g/m <sup>2</sup> .....	32
	Liite 5. Mittaustulokset 120 g/m <sup>2</sup> .....	33
	Liite 6. Mittaustulokset 150 g/m <sup>2</sup> .....	34
	Liite 7. Näytetyypin vaikutus kosteusmittaukseen.....	35
	Liite 8. R&R mittaustulokset mittaja 1 .....	36
	Liite 9. R&R mittaustulokset mittaja 2.....	37
	Liite 10. R&R mittaustulokset mittaja 3.....	38
	Liite 11. R&R laskennan kaavat.....	39

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Walki Oy:n kanssa. Walki Oy:n Valkeakosken tehtaalla valmistetaan paljon 7-kerroslaminaatteja joille laminaatin kosteuspitoisuus on yksi kriittisistä tekijöistä loppukäytössä. Liiallinen kosteus aiheuttaa yleensä muovikerroksen irtoamisen paperista jolloin tuote on käyttökelvoton. Mikäli polyuretaanilevy on jo ehditty loppukäyttäjän toimesta asentamaan esimerkiksi rakennuksen seinään, tulee se kalliiksi vaihtaa ja näin ollen korvausvaateet kasvavat moninkertaisiksi verrattuna tuotteen valmistuskustannuksiin.

Tässä opinnäytetyössä on pyritty selvittämään Valkeakoskella käytössä olevien mittalaitteiden toistettavuutta 7-kerroslaminaattien mittauksissa, sekä yleisesti niiden toimintaa. Näytteiden määrä on pidetty rajallisena ja se on kohdistettu usealle eri grammapainoiselle paperilaadulle. Näin saadaan suuntaa antavia tuloksia laminaattien laadun ja mittausten paikkansapitävyyden osalta. Opinnäytetyön on tarkoitus tulla suuntaa-antavaksi tutkimukseksi mahdollisille jatkotutkimuksille.

Opinnäytetyö toteutetaan Valkeakosken tehtaalla tekemällä näytesarjoja eri 7-kerroslaminaatti laaduilla ja eri mittalaitteilla. Mittaustulosten perusteella pyritään antamaan riittävän kattava selvitys nykyisten mittalaitteiden käytöstä 7-kerroslaminaattien kosteusmittauksissa, sekä mahdolliset vaikeudet niiden mittaamisessa niin sanotuilla pikamittareilla. Lisäksi toteutetaan Walki Oy:n pyynnöstä R&R-mittausepävarmuus selvitys, jotta Valkeakosken tehtaalla voidaan varmistua riittävästä mittaustarkkuudesta.

## 2 MITTALAITTEET JA TEORIA

### 2.1 Paperin kosteusmittausstandardi SFS-EN ISO 287:2009

Paperin kosteusmittaukseen on laadittu standardi ISO 287:2009. Tämä standardi sisältää ohjeet paperin luotettavaan kosteusmittaukseen. Standardissa määritellään muun muassa minimi vaatimukset käytettävien laitteiden osalta sekä näytteiden koko eri neliöpainoisilla papereilla ja kartongeilla.

Standardin mukaiset mittaukset on määritelty tehtäväksi Uunissa jonka lämpötilaksi on määritelty  $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Näytettä pidetään uunissa niin kauan, että sen paino ei enää muutu enempää kuin 0,1 % kahden kuivausjakson välissä. Vaa'alle vähimmäisvaatimuksiksi standardissa on määritelty tarkkuus jonka on oltava vähintään 0,05 % näytteen painosta.

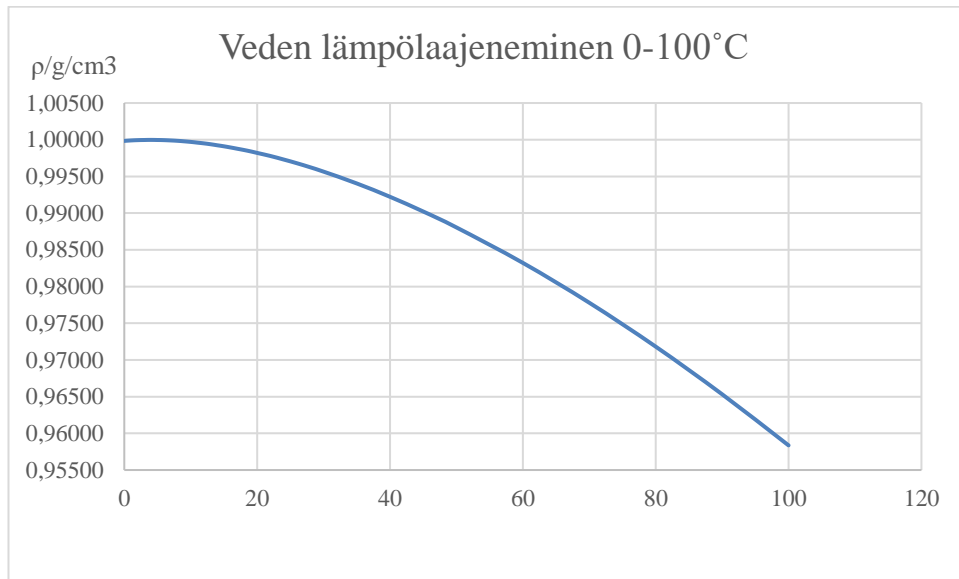
### 2.2 Monikerroslaminaatin kosteuden mittaaminen

Toisin kuin pelkällä paperilla, monikerroslaminaateille ei ole laadittu lainkaan omaa standardia kosteusmittaukselle. Tämä johtuu osittain siitä, että ne ovat verrattain uusia tuotteita ja niissä käytetään useimmiten paperikerroksen molemmilla puolilla vesihöyryä läpäisemättömiä kerroksia, kuten esimerkiksi alumiinia.

Walki Oy on ollut alusta alkaen kehittämässä monikerroslaminaatteja erilaisiin rakennusteollisuuden tarpeisiin. Yhteistyössä asiakkaiden vaateiden ja oman tuotekehitys osaamisen johdosta on myös monikerroslaminaateille saatu kehitettyä luotettava kosteusmittaus tekniikka joka perustuu osittain paperin kosteusmittausstandardiin.

Monikerroslaminaattien kosteutta voidaan mitata lisäämällä näytteen lämpötilaa ja/tai painetta. Lämpötilaa lisättäessä, vesi joka on sitoutunut välikerroksessa sijaitsevaan paperiin alkaa lämpölaajenemaan ja työntymään ulos paperista. Myös painetta lisättäessä veden kokoonpuristumattomuudesta johtuen vesimolekyylit pyrkivät levittäytymään samaa tilavuutta vastaavalle alalle. Veden lämpölaajeneminen on epälineaarista, sillä se puristuu hieman kokoon  $0-4^{\circ}\text{C}$  välillä, mutta välillä  $4-100^{\circ}\text{C}$  se laajenee lineaarisesti (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Veden lämpölaajeneminen (M.Arthur &amp; D.Saffer 2016)



Veden saavuttaessa lämpötilan 100°C muuttuu se kaasuksi. Tällöin veden kaasumolekyylit alkavat liikkumaan ja riippuen lämpötilasta, niiden nopeus ja liike-energia kasvavat. Kaasuille tyypillistä on, että ne pyrkivät laajenemaan ja toisin kuin neste, ovat kaasut helpommin kokoonpuristettavissa (Lehtonen & Lehtonen, 2008.) Tämä aiheuttaa eron paperin ja monikerroslaminaattien kosteusmittauksissa. Paperin kosteusmittauksessa vesihöyry pääsee laajenemaan ja poistumaan koko näytteen alueelta, kun taas monikerroslaminaateissa esimerkiksi alumiinikerros estää vesihöyryn poistumisen suoraan ylöspäin. Tästä johtuen vesihöyry pääsee poistumaan vain näytteen reunoilta ja johtuen kaasujen kokoonpuristuvuudesta, vaaditaan paineen lisäys poistamaan vesimolekyylejä näytteestä lyhemmän mittausajanjakson aikana.

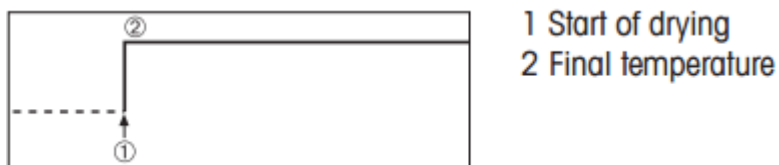
### 2.3 Halogeenikuivain METTLER-TOLEDO HX204

Mettler-Toledon HX204 (kuva 1) on monipuolinen ja tarkka halogeeni kosteus analysaattori. Se pystyy mittaamaan aina 200 gramman painoisista näytteistä 0,1 grammaan ja sen tarkkuus on jopa 0,01 % näytteen massasta. HX204 toimii 40-230°C lämpötila-alueella ja sen kuivaustapahtuma voidaan valita neljästä eri vaihtoehdosta, normaali, nopea, hellä tai portaittainen. Laitteessa on lisäksi näyttö johon saadaan näkyviin reaaliaikainen kuivauskäyrä (HX204 Moisture Analyzer 2013.)



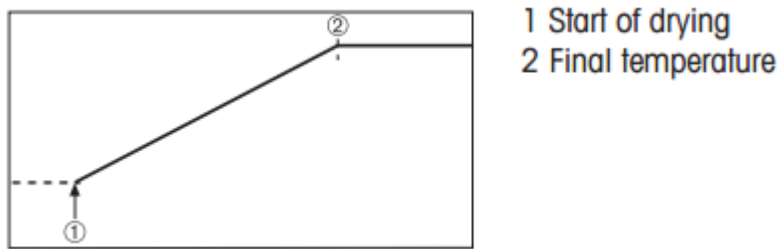
KUVA 1. Mettler-Toledo HX204 (Kuva: Antero Hakala 2017)

Työssä käytetään halogeenikuivaimen kahta laitteen eri lämmitys ohjelmaa standard-drying (kuvio 1) ja gentle-drying (kuvio 2). Tällä tavalla pyritään selvittämään, kumpi lämmitystapa olisi sopivampi monikerroslaminaatin pikakosteusmittaukseen. Aiempien mittaustulosten perusteella sähköpostikeskustelussa GWB:n Matti Paitulan kanssa tuli ilmi, että olisi hyvä testata myös hitaammalla lämmitysohjelmalla, jonka avulla mahdollisesti saataisiin tasattua kosteusmittausten vaihteluita ja joka voisi sopia paremmin testattaville tuotteille. Tämän tiedon vuoksi toteutetaan mittaukset halogeenikuivaimella kahdella eri lämmitystavalla yhden sijaan.



KUVIO 1. Standard-drying lämpötilakuvaaja (Mettler-Toledo AG 2012)



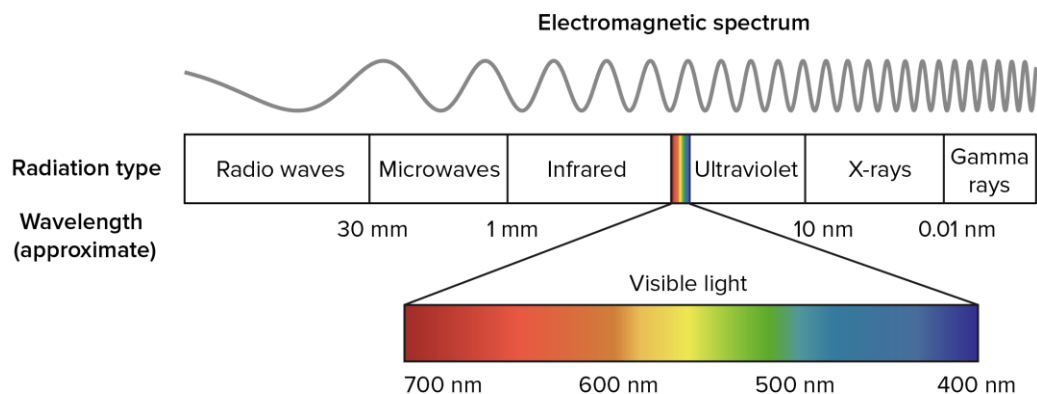


KUVIO 2. Gentle-drying lämpötilakuvaaja (Mettler-Toledo AG 2012)

Halogeenikuivaimen toiminta perustuu laitteeseen integroituun Halogeenimoduuliin joka tuottaa lämpöä haihduttaen näin vettä näytteestä.

Halogeenilamppu on hehkulamppu, jonka suojakupu on täytetty jodi- tai bromi-kaasulla, joka mahdollistaa hehkulangan polttamisen kuumempaa ja kirkkaampaa tavalliseen hehkulamppuun nähden. Kuumasta hehkulangasta haihtunut volframi reagoi kaasuuntuneen halogeenin kanssa ja kiinnittyy takaisin langan kuumimpiin osiin. Tällä mahdollistetaan hehkulangan lämpötilan nostaminen kuumemmaksi, kuin tavallisella hehkulampulla (Honkanen, n.d.)

Halogeenikuivain toimii 95-prosenttisesti infrapuna-aallonpituudella (kuvio 3). Halogeenikuivainta käytetään vähemmän lämpöherkkien materiaalien kosteuspitoisuuksien mittaustauksissa, sillä halogeenilampun lämpeneminen ja jäähtyminen ovat hieman epästabiilimpia kuin IR-lampuilla. Tätä ominaisuutta voidaan kuitenkin uudemmilla laitteilla hallita erilaisilla lämmitysprofiileilla.



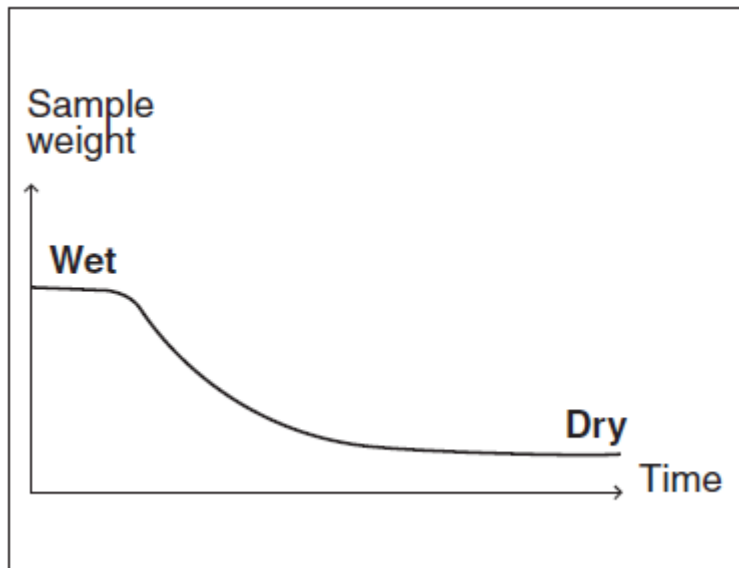
KUVIO 3. Elektromagneettinen spektri (P.Ronan 2015)

## 2.4 Infrapunakuivain METTLER LJ16

Mettler-Toledon LJ16 (kuva 2) on infrapunakuivain joka on suunniteltu ruoka- ja kemianteollisuuden käyttöön. LJ16 on helppokäyttöinen ja kompakti mittalaite jokapäiväiseen laboratorio käyttöön. Laitteen lämpötila on säädettävissä 50-160°C välillä ja se pystyy mittaamaan näytteitä 0,1 grammasta aina 300 grammaan. Resoluutio laitteessa on 0,01 % yli 10 gramman näytteillä ja 0,1 % alle 10 gramman näytteillä. Mittalaitteessa on myös automaattinen kuivauksen lopetustoiminto, joka lopettaa kuivauksen, kun näytteen painon muutos on alle 2 mg/30 sekuntia (kuvio 4.)



KUVA 2. Mettler LJ16 (Kuva: Antero Hakala 2017)



KUVIO 4. Näytteen painon muutos suhteessa kuivaus aikaan (Mettler-Toledo GmbH 1999)

Infrapunakuivaimen toiminta perustuu IR-säteilyn absorboitumiseen aineeseen, joka aiheuttaa lämpöliikkeen kasvamisen. Tästä seuraa aineen lämpeneminen. IR-säteilyn taajuusalue on noin  $10^{11}$  ...  $4,3 \cdot 10^{14}$  Hz ja aallonpituusalue noin 1 mm...700 nm (Inkinen, Manninen & Tuohi, 2002.)

Myös IR-kuivaimessa säteily yleensä tuotetaan hehkulampulla jossa on wolfram-hehkulanka. Lämpösäteily ohjataan näytekappaleeseen lampun takana sijaitsevan reflektorin avulla. Lämpösäteily vaikuttaa vaihtelevasti näytteeseen riippuen sen säteilyominaisuuksista. Lämpösäteily voi vaikuttaa näytteeseen absorboitumalla, heijastamalla tai läpäisemällä (Koskinen, 2013.)

Infrapunakuivaimet ovat suuremmissa mittakaavassa tehokkaampia kuin muut perinteiset kuivaintyytit paremman lämmönsiirtokykynsä ansiosta. Tämä usein tarkoittaa myös sitä, että ne ovat kokoluokaltaan pienempiä kuin esimerkiksi vastaavat ilmaa lämmittävät kuivaimet (Radiantenergy: what is an infrared (IR) dryer? 2017.)

Koko ei kuitenkaan ole merkittävä tekijä laboratoriomittauksissa käytettävissä kuivaimissa ja halogeenikuivaimet ovat nopeampia mittalaitteina kuin vastaavat IR-kuivaimet. Tästä syystä muun muassa Mettler-Toledo on lopettanut infrapunakuivainten valmistamisen vuonna 2016.

## 2.5 Lämpökaappi HERAEUS UT 5050

Lämpökaapin Heraeus UT 5050 (kuva 3) toiminta perustuu kiertoilmalla avustettuun lämmön johtumiseen lämmitettävistä vastuksista kaapin sisällä. Lämpökaapissa sisällä oleva vastuksia lämmitetään sähkövirralla joka saa aikaan niiden lämpenemisen. Näistä vastuksista johtuu lämpöä happimolekyyleihin jotka lämmitessään pyrkivät nousemaan uunin yläosaan ja samalla työntämään kylmempää ilmaa alaspäin (Energy transfer by heating, 2014.) Kiertoilmauunin tuuletin mahdollistaa tasaisemman lämpötilajakauman joka puolelle uunia. Kieroilmauunissa voidaan käyttää vastuksia uunin ylä- ja alaosassa sekä perällä. Tämä mahdollistaa uunin tarkemman lämmönsäätelyn ja tehokkaamman lämmityksen (kuva 4). Käyttämällä kiertoilmauunia normaalin vastuksilla toimivan uunin sijaan, pystytään välttämään mittausten suuret vaihtelut riippumatta siitä missä osassa uunia näytteet on kuivattu.



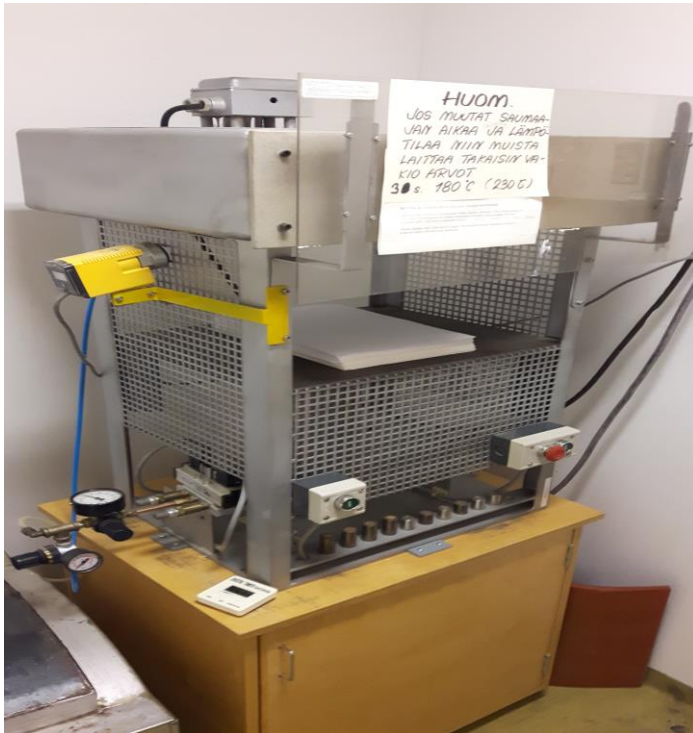
KUVA 3. Heraeus UT 5050 (Kuva: Antero Hakala 2017)



KUVA 4. Kiertoilmauunin toiminta ( T.Johnston 2014.)

## 2.6 PIR-kosteusmittalaite

PIR-kosteusmittalaite (kuva 5) on Walki Oy:n oma kehittämä mittalaite jota käytetään kuumasaumautuvuuden testaukseen sekä PIR- ja PUR-laminaattien kosteusmittaukseen. Laitteen toiminta perustuu 180°C lämpötilaan lämmitettävän teräslevyn puristamiseen A4-kokoista näytettä vasten 4 barin paineella kolmenkymmenen sekunnin ajan. Lämmön ja paineen vaikutuksesta vesimolekyylit kaasuuntuvat ja niiden liike-energia kasvaa samoin kuin halogeeni- ja infrapunakuivaimessa. PIR-kosteusmittalaitteessa lämpövaikutusta tehostetaan 4 barin puristuspaineella joka saa vesimolekyylit pyrkimään ulos näytteen reunoilta. PIR-kosteusmittalaitteesta ei ole Walkilla tehty vielä luotettavaa mittaustilastoa kosteusmittauksista muihin laitteisiin verrattuna, joten se on toistaiseksi jouduttu jättämään vain sisäisiin mittauksiin.



KUVA 5. PIR-kosteusmittalaite (Kuva: Antero Hakala 2017)

### 3 KOSTEUSMITTAUKSET

#### 3.1 Kosteusmittausten toteutus

Kosteusmittaukset toteutetaan laboratorio-olosuhteissa opinnäytetyön tekijän toimesta. Mittaukset suoritetaan 7-kerroslaminaateilla joiden papereiden painot vaihtelevat aina 40 grammasta 150 grammaan. mittaukset toteutetaan neljällä tässä työssä mainitulla laitteella, joista HX-204 -kosteusmittauslaitteella suoritetaan kaksi erillistä mittausta. Näytteet kerätään viikon aikana ajetuista ajosuorista koneelta laboratorioon, joista otetaan tarvittava määrä mittausten suorittamiseksi. Näytteet leikataan laboratorion näyteleikkurilla 3mm levyisiksi suikaleiksi jotka kääritään rullalle ja asetetaan kosteusmittalaitteeseen. PIR-kosteusmittausta varten leikataan A4-kokoinen näyte mittausta varten. PE-4 –linjan päivämestarin pyynnöstä otetaan myös pieni erä 100mm x 200mm näytteitä PIR –kosteusmittauslaitteella tehtäväksi mahdollisten eroavaisuuksien suhteen A4 –kokoiseen näytteeseen. Raakapaperirullista ei oteta erillistä paperin kosteutta, sillä paperin kosteus saattaa vaihdella hyvinkin paljon rullan sisällä eikä rullasta ole mahdollista ottaa kosteusnäytettä monesta eri kohdasta.

Näytteiden painot vaihtelevat 3 ja 5 gramman välillä pois lukien PIR-kosteusmittauksen A4-kokoiset näytteet, joiden paino vaihtelee 6,5 ja 13,9 gramman välillä, johtuen laminaattien neliöpainoeroista. Näytte-erät ovat suurempia kuin laboratoriossa tavanomaisesti otettavat näytteet, jotka yleensä vaihtelevat 2 ja 3 gramman välillä, johtuen halogeenimitarin pienestä näyteastiasta. Mittauksissa pyritään käyttämään suurempia näytemassoja, jotta saataisiin selville myös mahdollinen ero tuloksissa näytteen koosta johtuen.

##### 3.1.1 Monikerroslaminaatin kosteus Halogeeni-kuivaajalla

Ensimmäinen mittaus halogeenikuivaimella Mettler-Toledo HX204 toteutetaan käyttämällä kuivaimen Standard-asetusta. Toinen mittaus toteutetaan käyttämällä laitteen Gentle-asetusta.

Suoritus:

- Asetetaan laitteesta haluttu ohjelma (Standard tai Gentle)
- Aseta lämpötilaksi 140°C
- Taaraa laite 0 %:iin ilman näytettä

- Leikataan näyte nopeasti 3mm levyisiksi suikaleiksi (yksi pokkirata riittää), ettei kosteus haihdu (laita toinen näyte takaisin kosteuspussiin odottamaan jälkimmäistä mittausta)
- Kääritään leikattu näyte nopeasti löyhälle rullalle ja asetetaan se laitteeseen
- Paina weigh-in, jolloin laite punnitsee näytteen
- Paina start drying, laite alkaa piirtämään dataa näytölle
- Ohjelman loputtua kirjaa laitteen antama kosteusprosentti ylös 0,1 % tarkkuudella mittauspöytäkirjaan
- Toista sama toisella edellä mainituista ohjelmista

Kosteuspitoisuus lasketaan kaavasta:

$$X = \frac{a * b}{c} \quad (1)$$

jossa

a = koko näytteen kosteusprosentti %

b = 7-kerroslaminaatin neliöpaino  $g/m^2$

c = paperin neliöpaino  $g/m^2$

X = kosteuspitoisuus, %

### 3.1.2 Monikerroslaminaatin kosteus IR-kuivaajalla

Suoritus:

- Asetetaan laitteesta sammutuskriteeri 2mg/30sec
- Asetus lämpötilaksi 130°C
- Leikataan näyte nopeasti 3mm levyisiksi suikaleiksi (yksi pokkirata riittää), ettei kosteus haihdu
- Kääritään leikattu näyte nopeasti löyhälle rullalle ja asetetaan se laitteeseen
- Taaraa näyte 0 %:iin ja sulje laitteen kansi
- Paina start ja aseta laite ilmoittamaan kosteus prosentteina
- Ohjelman loputtua kirjaa laitteen antama kosteusprosentti ylös 0,1 % tarkkuudella mittauspöytäkirjaan

Kosteuspitoisuus lasketaan samalla kaavalla (kaava 1) kuin halogeeni-kuivaajalla.

### 3.1.3 Monikerroslaminaatin kosteus Uunilla

Kosteusmittaus uunissa suoritetaan mukailleen ISO standardia 287:2009. Vaikka kyseinen standardi on tehty papereille ja kartongeille, antaa se luotettavan vertailutuloksen pika-kosteusmittareille.

Suoritus:

- Aseta uuni lämpötilaan 105°C
- Leikataan näyte nopeasti 3mm levyisiksi suikaleiksi (yksi poikkirata riittää), ettei kosteus haihdu
- Kääritään leikattu näyte nopeasti löyhälle rullalle ja asetetaan se analyysivaa'alle
- Näyte punnitaan ja kirjataan tulos mittauspöytäkirjaan
- Näyte asetetaan uuniin jossa sitä kuivataan 1,5 tuntia
- Kuivauksen jälkeen näyte laitetaan nopeasti eksikkaattoriin, jossa sitä pidetään 30 minuuttia (tasoita ilmanpaine eksikkaattorissa avaamalla se hetkiseksi ja sulke-malla se uudelleen)
- Jäähdytysajan loputtua punnitse näyte analyysivaa'alla ja kirjaa paino ylös 0,01g tarkkuudella mittauspöytäkirjaan

Kosteuspitoisuus lasketaan kaavasta:

$$X = \frac{a - b}{a} * \frac{c}{d} * 100 \quad (2)$$

jossa

a = näytteen alkupaino  $g/m^2$

b = näytteen loppupaino  $g/m^2$

c = 7-kerroslaminaatin neliöpaino  $g/m^2$

d = paperin neliöpaino  $g/m^2$

X = kosteuspitoisuus, %

### 3.1.4 PIR-kosteus

Suoritus:

- Poikkiratanäytteen keskeltä leikataan A4-kokoinen arkki



- Punnitaan näyte analyysivaa'alla ja kirjataan tulos mittauspöytäkirjaan
- Arkille annetaan lämpökäsittely PIR-mittalaitteella paperipinon päällä 180°C, 30 sekunnin ajan
- Punnitaan kuivattu arkki analyysivaa'alla
- Kirjaa analyysivaa'an tulos 0,01g tarkkuudella ylös mittauspöytäkirjaan

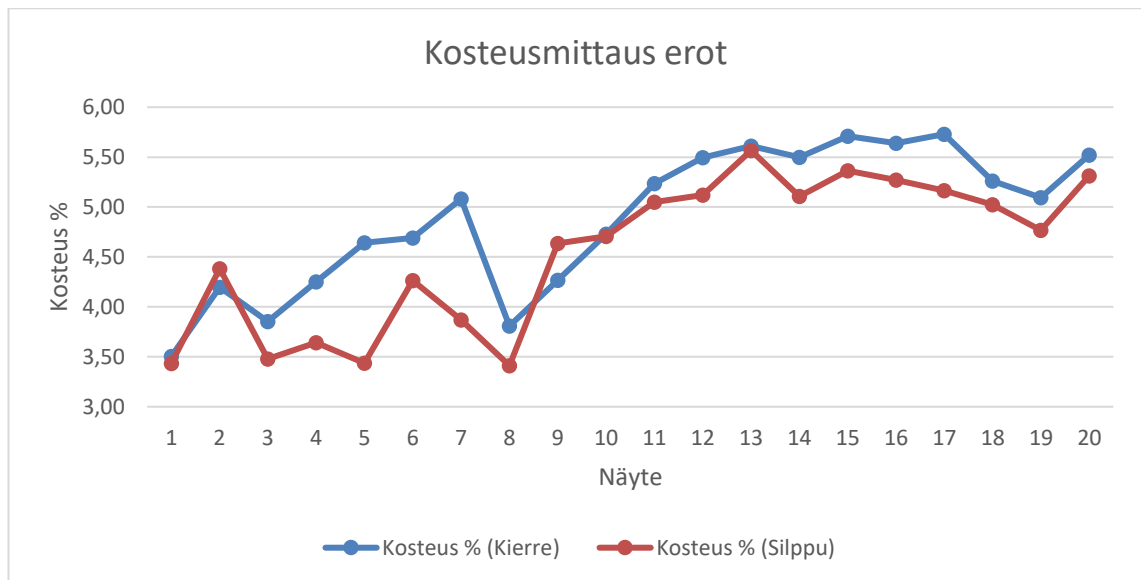
Kosteuspitoisuus lasketaan samalla kaavalla (kaava 2) kuin uunikosteus.

### **3.1.5 Näytteen käsittelyn vaikutus mittaustulokseen**

Tutkimusta tehdessä päädyttiin tekemään testimittaukset myös kahdella eri tavalla käsitellyille näytteille. Tutkimuksessa otettiin 20 näytteen erä joka käsiteltiin ja mitattiin käärimällä näytesuikaleet rullalle ja toinen 20 kappaleen näyte-erä joka silputtiin saksilla noin 3 senttimetrin pituisiksi suikaleiksi. Näillä mittauksilla haluttiin testata kuinka suuri ero näytteen silppuamisella pienemmiksi paloiksi olisi monikerroslaminaattien kosteusmittauksissa.

Näytteet otettiin 7-kerroslaminaatista, jossa paperin grammapaino oli  $60g/m^2$  (Liite 7). Näytteet otettiin aina samasta testipalasta, jotta näytteen sisäiset erot olisivat mahdollisimman pienet. Näytteet testattiin aina vuoronperään jotta ilmankosteus ei pääse vaikuttamaan näytteisiin.

Näytteiden kosteuspitoisuuksissa ei havaittu suuria eroja toisiinsa nähden. Eroavaisuudet näytteiden otto tapojen välillä olivat pääsääntöisesti maksimissaan noin 0,4-0,5 -prosentin luokkaa (kuvio 5). Muutamassa näytteessä silputtu näyte antoi noin reilun prosentin alhaisemman kosteusarvon kuin rullalle kääritty näyte.



KUVIO 5. Näytetyypin vaikutus kosteusmittaukseen

Kuvio 5:n perusteella voidaan todeta, että merkitys näytteen käsittelytavalla ei ole merkittävää vaikutusta mittaustulokseen. Näytteitä ottaessa huomattiin huomattava ero näytteen käsittelyajoissa joka saattaa vaikuttaa myös näytteen antamaan mittaustulokseen varsinkin paksummilla paperilaaduilla. Silputun näytteen tekemiseen meni huomattavasti suurempi aika, sillä saksilla piti katkoa näytteet pienemmissä erissä joten ne viipyivät huomattavasti pidemmän aikaa käsissä ja huoneilmassa ennen varsinaiseen mittaukseen pääsyä. Myös näytesilpun asetteleminen mitta-astiaan oli haasteellista vaikka laboratorioon tilattiin suuremmat näyteastiat tätä koetta varten.

## 3.2 Mittausepävarmuus

### 3.2.1 Toteutus

Mittausepävarmuuden mittaamiseksi toteutetaan mittaukset laboratorio-olosuhteissa kolmen kokeneen laborantin toimesta, mittaajasta johtuvan virheen minimoimiseksi. R&R – menetelmän mukaisesti otetaan kymmenen näytettä per mittaajaa ja jokainen tekee kaksi sarjaa.

Laite: LA0037 (uuni).

Uunin lämpötila: 105°C.

Kuivausaika: 4 h.

Eksikaattoriaika: 2 h.

Näytteen koko: n. 50 g.

Materiaali: kopiopaperi.

Mittauspisteet ilmastoidaan kosteushuoneessa. Jokainen henkilö kuivaa uunissa 2 x 10 mittauspistettä (arkkeina) ja punnitsee alku- ja loppupainon grammoina (kaikki kerralla uuniin).

Laskennassa käytetään Walkin laboratoriosta löytyvää laboratorion mittausmenetelmien mittausepävarmuus aineistoa, josta löytyvät kaavat R&R –laskennalle. Aineistoa on kerätty vuosien saatossa ja tässä laskennassa käytettävä aineisto on peräisin Insko-seminaarista.

### 3.2.2 R&R-tulokset

R&R –mittaukset suoritettiin kopiopaperilla näytteiden tasalaatuisuuden varmistamiseksi. Jokainen laborantti teki kaksi 10 näytteen sarjaa, jotta saatiin riittävä otanta epävarmuus laskentaa varten. Vaikeuksia laskennassa tuotti sallitun vaihteluvälin määrittäminen, sillä kopiopaperille ei tehtäällä ole mitään annettuja arvoja, joten päädyttiin tekemään laskenta kolmella eri vaihteluvälillä. Vaihteluväleinä käytettiin 10-prosenttia, 5-prosenttia ja 4-prosenttia. Kaikilla näillä vaihteluväleillä saatiin R&R-tulokseksi vähintään hyväksyttävä, joka on alle 30-prosenttia (kuvio 6).

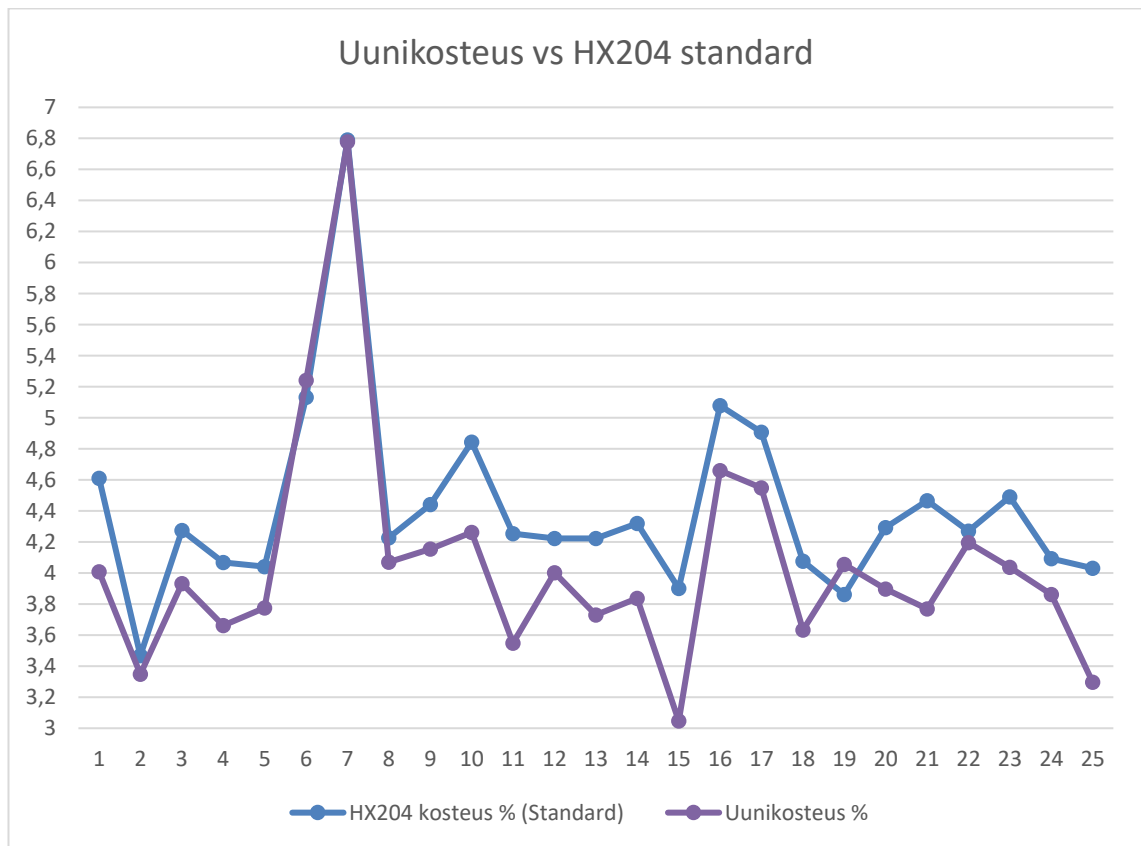
Mittausepävarmuus R&R %	Sallittu vaihteluväli näytteen painosta
9,8	10 %
19,6	5 %
24,5	4 %

KUVIO 6. Mittausepävarmuus R&R, kolmella eri sallitulla vaihteluvälillä ( Antero Hakala 2018 )

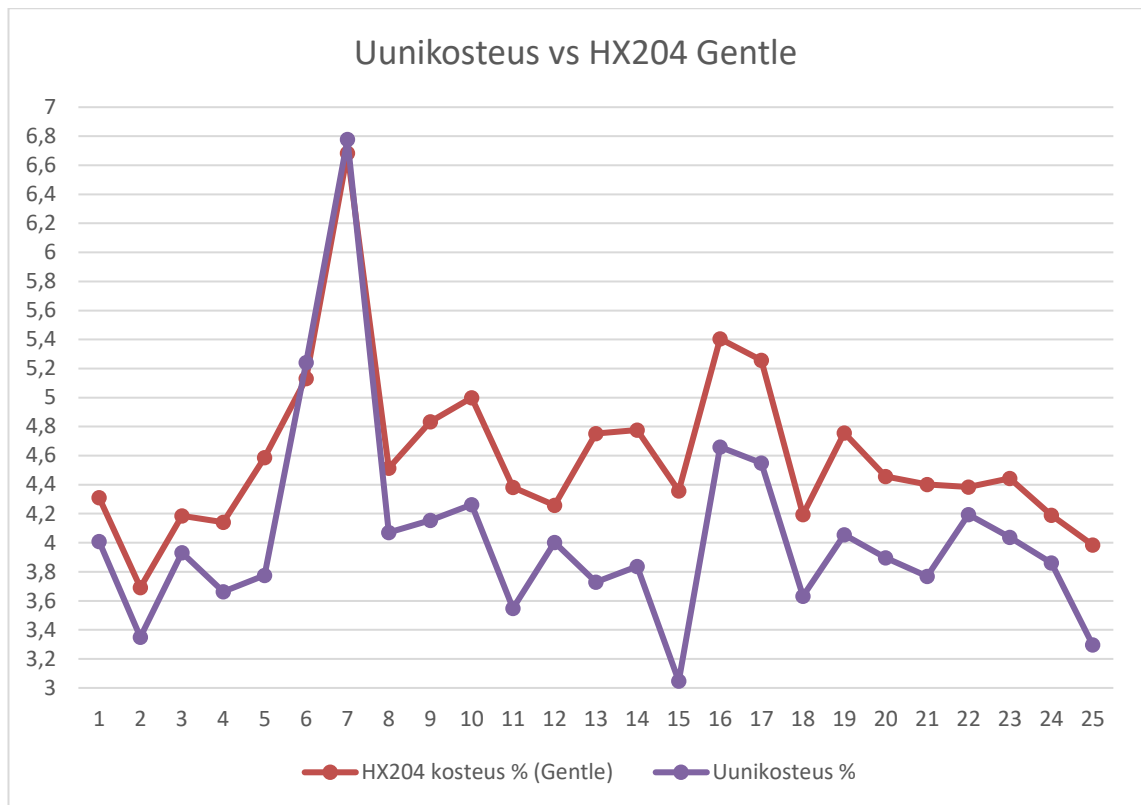
Mittaustulosten keskiarvoksi saatiin  $2,722\text{g} \pm 0,21\text{g}$ , joka on noin 7,7 %. Tulosta voidaan pitää hyvänä, sillä siinä on otettava huomioon näytteen pieni vesimäärä sekä mahdolliset vaihtelut arkkien välillä. Näin pienissä mittaustuloksissa vaikutusta on myös papereiden sijainnilla arkkipinossa ja niiden imemä kosteusmäärä huoneilmasta ennen uuniin asettamista.

### 3.3 PIR-kosteusmittausten tulokset

Tulokset mittauksista olivat hyvin vaihtelevia, kuten oli odotettavissakin. Mittauksissa toteutui monikerroslaminaatin kyky toimia kosteussulkuna myös silloin, kun kyse on sen eristekerrosten välisestä paperista. Tutkittaessa kaikkien eri 7-kerroslaminaattilaatujen mittauspoikkeamia uunikosteuden suhteen voidaan nopeasti todeta halogeenimittarin antavan lähes kaikissa mittauspisteissä korkeampia, maksimissaan noin +0,85 % kosteusluomia standard -kuivausmoodilla (kuvio 7). Gentle -kuivausmoodilla vaihtelu oli maksimissaan +1,3 % (kuvio 8).

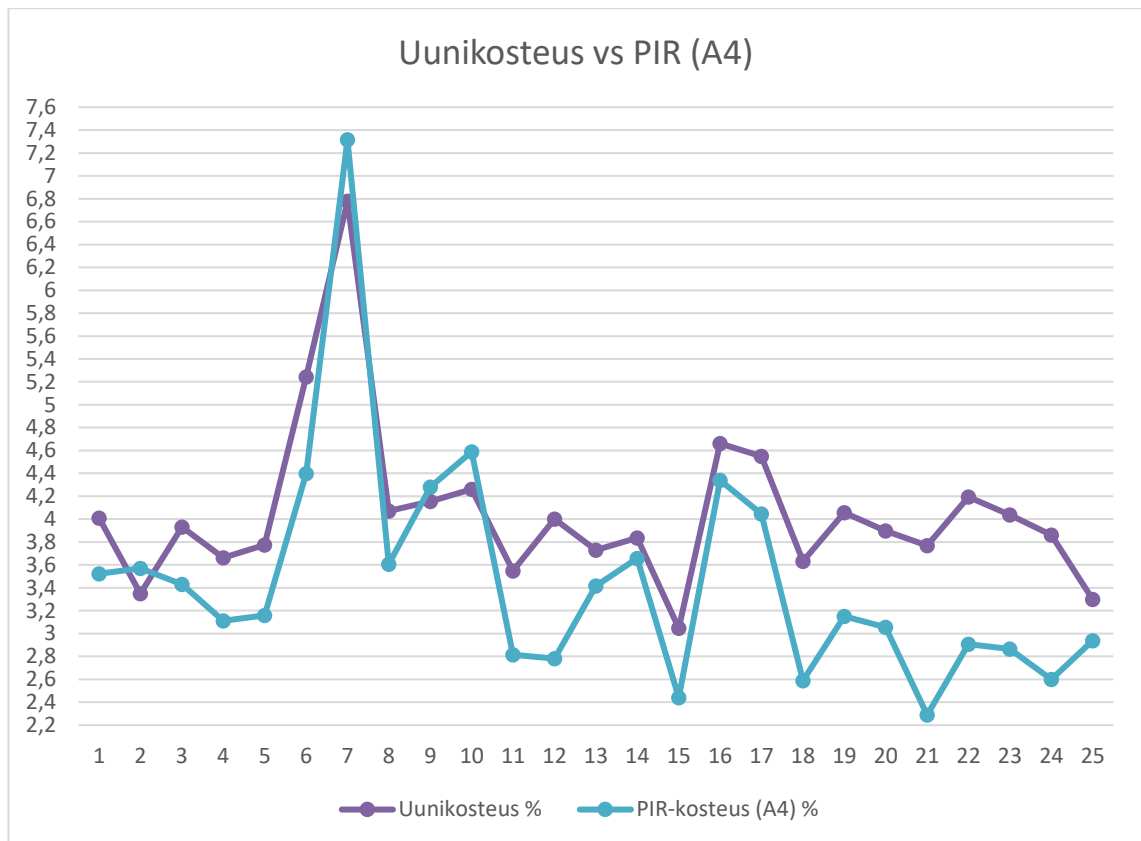


KUVIO 7. Kosteusmittausvertailu Heraeus UT 5050 ja HX204 standard



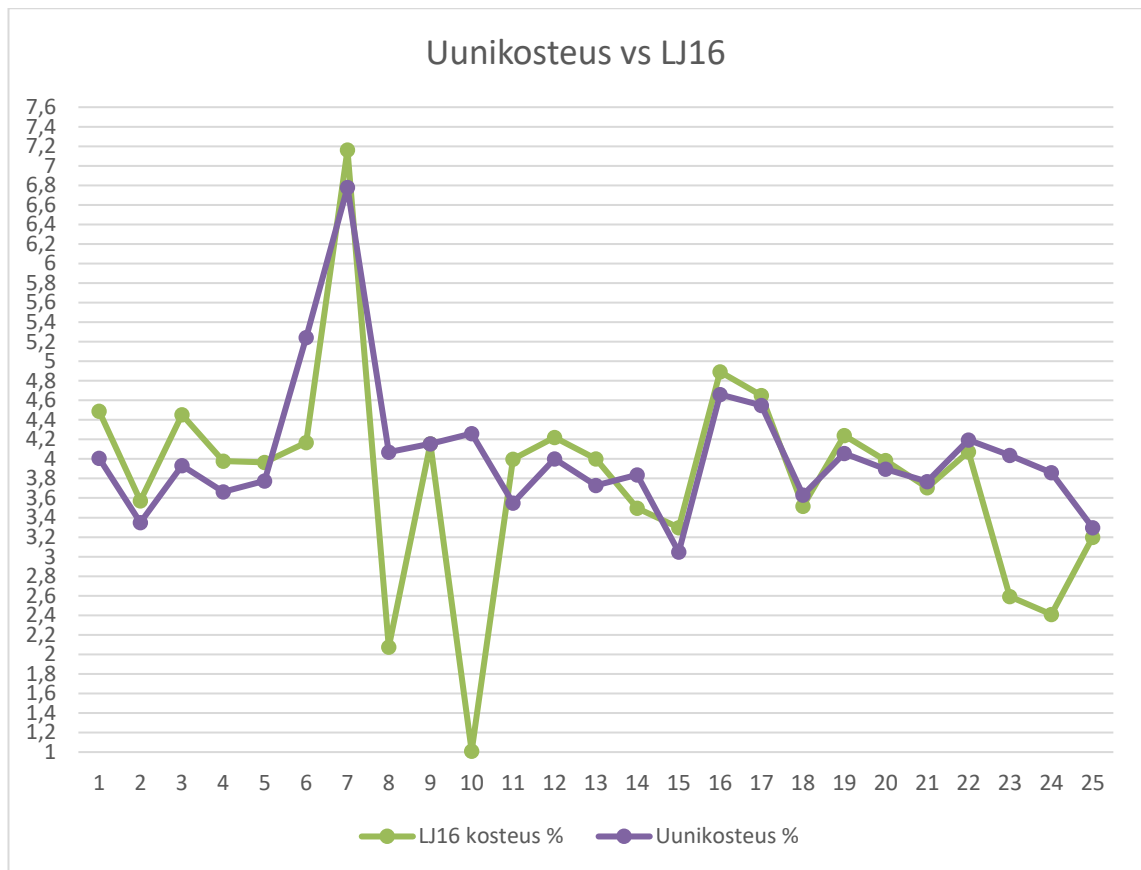
KUVIO 8. Kosteusmittausvertailu Heraeus UT 5050 ja HX204 gentle

Huomattavaa on myös PIR-kosteusmittausten tulos, joka toisin kuin halogeenimittari, kuviossa 9 näyttää pääsääntöisesti pienempää kosteusprosenttia kuin uuni, maksimissaan noin -1,5 %. Tämä on odotuksiin nähden hieman outoa, sillä PIR -mittalaitteessa korkeamman lämpötilan lisäksi vaikuttaa myös ylimääräinen paine näytteeseen. Tosin näytteen koon ollessa muissa mittalaitteissa 3mm levyistä suikaletta, on PIR -mittauksessa näytteen koko A4, joka saattaa mahdollistaa vesimolekyylien jäämisen ”jumiin” keskelle näytettä.



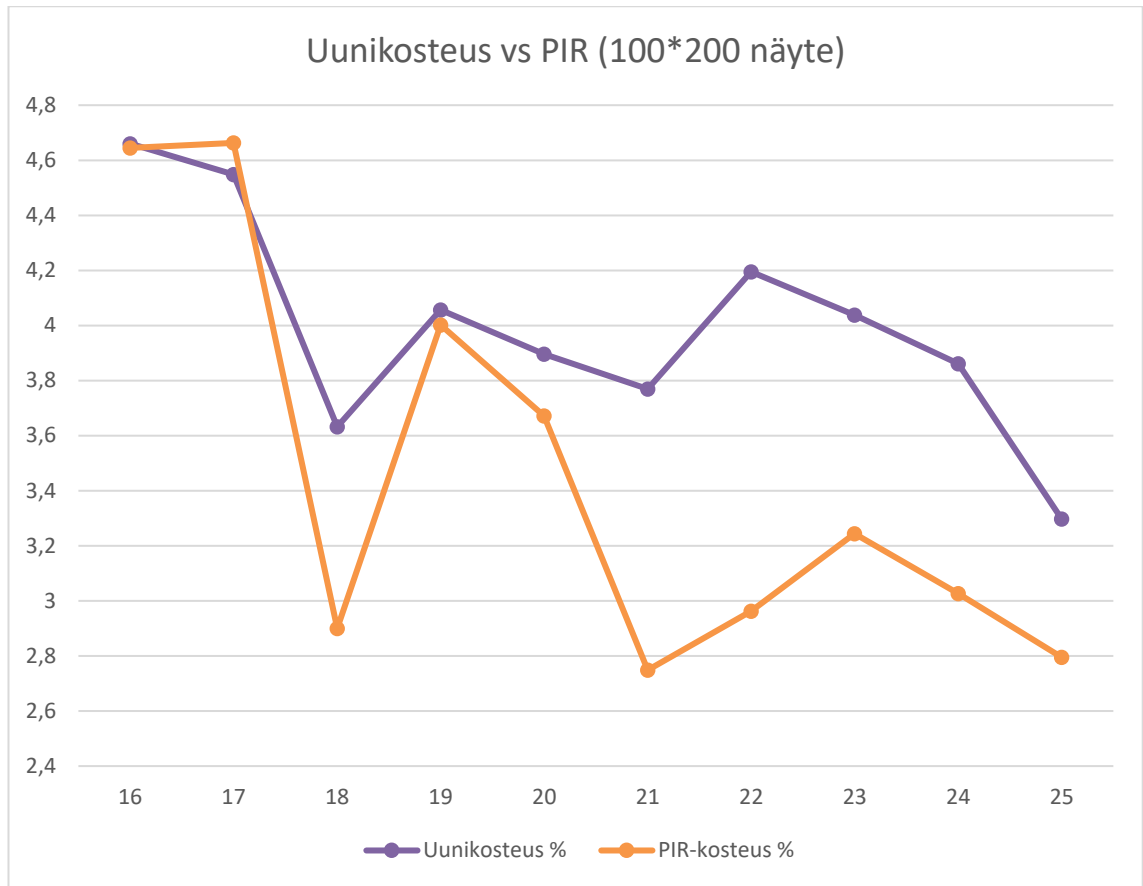
KUVIO 9. Kosteusmittausvertailu Heraeus UT 5050 ja PIR A4

Infrapunamittari LJ16 antoi selvästikin tarkimmin samoja lukemia kuin uuni. Kyseisessä mittarissa on viime aikoina ollut hieman vikaa ja voidaan olettaa mittauksissa esiintyneiden 4 eri mittauspisteen suurien vaihteluiden johtuvan mittarin tämän hetkisestä epäluotettavuudesta. Mittausten eroavaisuus uuniin, nämä neljä mittauspistettä pois lukien oli vain  $\pm 0,5$  % ja se olikin selvästi tarkin mittalaite uunikosteuteen verrattuna. Infrapunamittarin antamia suuria vaihteluita noissa neljässä mittapisteessä ei kuitenkaan voida todentaa mittarin virheestä johtuvaksi, joten sen tulokset kuviossa 10 ovatkin nähtävissä suurimmiksi vaihteluiksi verrattessa uunimittakusiin.



KUVIO 10. Kosteusmittausvertailu Heraeus UT 5050 ja LJ16

PIR-kosteus pienemmällä näytekoolla kymmenen näytteen sarjalla, noudatti suhteellisen paljon samaa kaavaa kuin A4 -kokoisella näytteelläkin. Pienemmällä näytteellä kosteudeksi saatiin samalla tavalla lähes kaikissa mittauksissa pienempiä arvoja kuin uunilla, tosin maksimi eroksi uunikosteuteen  $120 \text{ g/m}^2$  -paperilla tuli ”vain” noin 1 %. Huomattavaa on kuviosta 11, että kosteusero A4 -kokoiseen näytteeseen on jopa 0,5 %, joka on huomattava ero kun liikutaan  $\pm 2 \%$ :n sallituissa kosteuslukemissa.



KUVIO 11. Kosteusmittausvertailu Heraeus UT 5050 ja PIR 100\*200



#### 4 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta Walki Oy Valkeakosken tehtaalla tällä hetkellä olevan mittauskäytännön olevan pikakosteusmittauksissa riittävän lähellä todellista kosteuspitoisuutta, joka paperista on havaittava ennen kuin prosessi on edennyt liian pitkälle tai jopa asiakkaalle asti. R&R-mittausten perusteella Walki Oy Valkeakosken tehtaan mittausepävarmuus on hyvällä tasolla ja nykyinen pikakosteusmittaus HX204 standard-tavalla sekä infrapunamittari LJ16:sta antavat riittävän tarkan tuloksen, jotta voidaan huomata kriittiset poikkeamat paperin kosteudessa. Huomattavaa mittauksissa myös oli se, että kaikki mittalaitteet rekisteröivät huomattavan suuren, yli 7 -prosentin poikkeaman paperin kosteudessa joka sattumalta osui mitattaviin näytteisiin. Tehtaan nykyisten käytäntöjen mukaan laborantit pyytävät koneelta uusintanäytteen mikäli mittaustuloksissa havaitaan liian suurta vaihtelua normaaleihin arvoihin nähden. Tämä käytäntö on mittaustulostenkin mukaan paras mahdollinen tapa välttää mittalaitteen antaman väärän tuloksen aiheuttama mahdollinen väärä korjaava toimenpide ajon aikana.

PIR-kosteusmittauslaite oli myös tämän tutkimuksen mielenkiinnon kohteena ja tulokset osoittavat, että sillä luotettavaan mittaamiseen vaaditaan vielä lisää tutkimusta ja lisämittauksia. Näytekokoja pienentämällä saatiin tiputettua eroavaisuutta uunikosteuteen, mutta noin prosentin ero saattaa olla vielä liian suuri, jotta sitä voitaisiin luotettavasti käyttää ainoana laitteena pikakosteusmittauksessa. Laitteella olisi hyvä ajaa suurempi ja pidempi kestoinen näyte-erä, jossa pienempään näytteeseen viilletäisiin 5-10 viiltoa poikkisuunnassa, kuitenkin halkaisematta näytettä. Näinollen voitaisiin avustaa vesimolekyylien poistumista laminaatin keskikerroksessa sijaitsevasta paperista. Toinen vaihtoehto olisi lisätä painetta ja/ tai lämpötilaa puristumistapahtumassa, mutta varsinkin lämpötilan lisäyksessä ongelmaksi saattaa muodostua pintamuovikerroksen liika lämpeneminen ja tarttuminen silikonipaperiin.

Näytteenottotapojen vertailu tuli viime hetkellä mukaan opinnäytetyön tutkimuksiin, sillä se on ollut kiinnostuksen kohteena tehtaan laboratoriossa jo aiemmin. Sen vaikutus kosteusmittausten tuloksiin oli kuitenkin olematon tämän tutkimuksen näytemäärien perusteella. Näytteiden silppuamisen vaikeuden takia onkin parempi vaihtoehto pysyä nykyisessä näytteiden rullalle käärimisessä jo sen käsittely nopeuden takia. Näyte vertailuja

varten hankitut suuremmat näyteastiat parantavat kosteusmittausten tarkkuutta, sillä niihin saadaan kerralla suurempi määrä näytettä ja näinollen mahdollinen laitteen poiskytkytyminen liian aikaisin pienenee. Huonona puolena on vastaavasti pidempi näytteiden käsittelyaika mittauksessa ja mahdollisen hyllyn lisääntyminen tätä kautta.

## LÄHTEET

7 reasons to choose an infrared ir dryer for process heating 2017. what is an infrared (IR) dryer? Radiant energy systems, inc. Luettu 30.1.2017. <http://www.radiantenergy.com/7-reasons-to-choose-an-infrared-ir-dryer-for-process-heating/>

Convection ovens, T.Johnston 2013. What´s the difference: Electric ovens. Taunton press Inc. Luettu 10.2.2017. <http://www.finehomebuilding.com/2013/10/10/whats-the-difference-electric-ovens>

Electromagnetic spectrum, P.Ronan 2015. Light and photosynthetic pigments. Khan academy. Luettu 30.1.2017. <https://www.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>

Energy transfer by heating. 2014. Iso-Britannia. BBC. Luettu 10.2.2017. <http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/aqa/heatingandcooling/heating-rev4.shtml>

Honkanen, H. n.d. Valaistustekniikka. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Luettu 4.1.2017. [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK\\_Valaistustekniikka.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf)

HX204 Moisture Analyzer. 2013. Sveitsi: Mettler-Toledo AG. Luettu 30.1.2017. [http://www.mt.com/dam/P5/labtec/05\\_Moisture\\_Analyzer/01\\_Professional\\_Line/03\\_Documents/04\\_Datasheets/DS\\_HX204\\_EN.pdf](http://www.mt.com/dam/P5/labtec/05_Moisture_Analyzer/01_Professional_Line/03_Documents/04_Datasheets/DS_HX204_EN.pdf)

Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. 2002. Momentti 2 insinöörifysiikka. 2.-5. painos. Helsinki: Otava.

Installation and operating instructions, Mettler Toledo infrared dryers LJ16, LP16.1999. Sveitsi: Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies. Luettu 16.3.2017. [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiG2qCQ89vSAhXCkSwKHxfMCmoQFggZ-MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mt.com%2Fdam%2Fmt\\_ext\\_files%2FEditorial%2FGeneric%2F8%2FLJ16-LP16\\_MA\\_BA\\_0x00001008400661d2400117ab\\_files%2Flj16-lp16-ba-e-704719.pdf&usg=AFQjCNHWx-9tgAzlCr7v64kskM-Qb4kYTg&sig2=rHwvOyAFZbnrLDzDLhoGjQ&cad=rja](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiG2qCQ89vSAhXCkSwKHxfMCmoQFggZ-MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mt.com%2Fdam%2Fmt_ext_files%2FEditorial%2FGeneric%2F8%2FLJ16-LP16_MA_BA_0x00001008400661d2400117ab_files%2Flj16-lp16-ba-e-704719.pdf&usg=AFQjCNHWx-9tgAzlCr7v64kskM-Qb4kYTg&sig2=rHwvOyAFZbnrLDzDLhoGjQ&cad=rja)

Koskinen, O. 2013. Kirjallisuusselvitys kierrätyskartonkilistan kuivatustekniikoista. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan laitos. Energiatekniikan kandityö ja seminaari.

Lehtonen, P. & Lehtonen, P. 2008. Teknisten alojen kemia. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Moisture Analyzer Excellence Plus HX204. 2012. Sveitsi: Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies. Luettu 9.2.2017. [http://uk.mt.com/dam/product\\_organizations/laboratory\\_weighing/moisture/products/fi-refox/documentation/en/HX204\\_OI\\_en\\_30019565A.pdf](http://uk.mt.com/dam/product_organizations/laboratory_weighing/moisture/products/fi-refox/documentation/en/HX204_OI_en_30019565A.pdf)

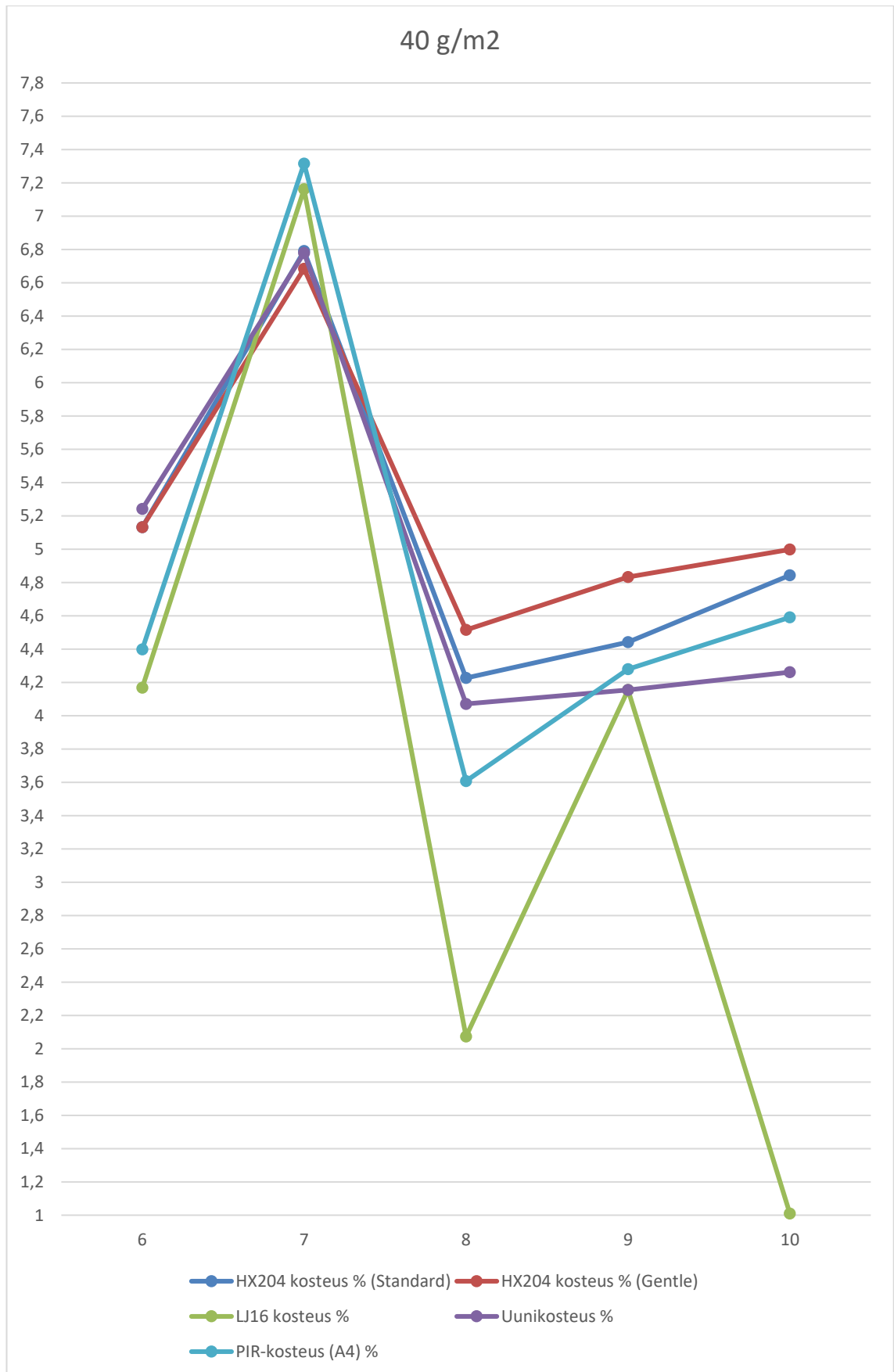
Paper and board. Determination of moisture content of a lot. Oven-drying method (ISO 287:2009)

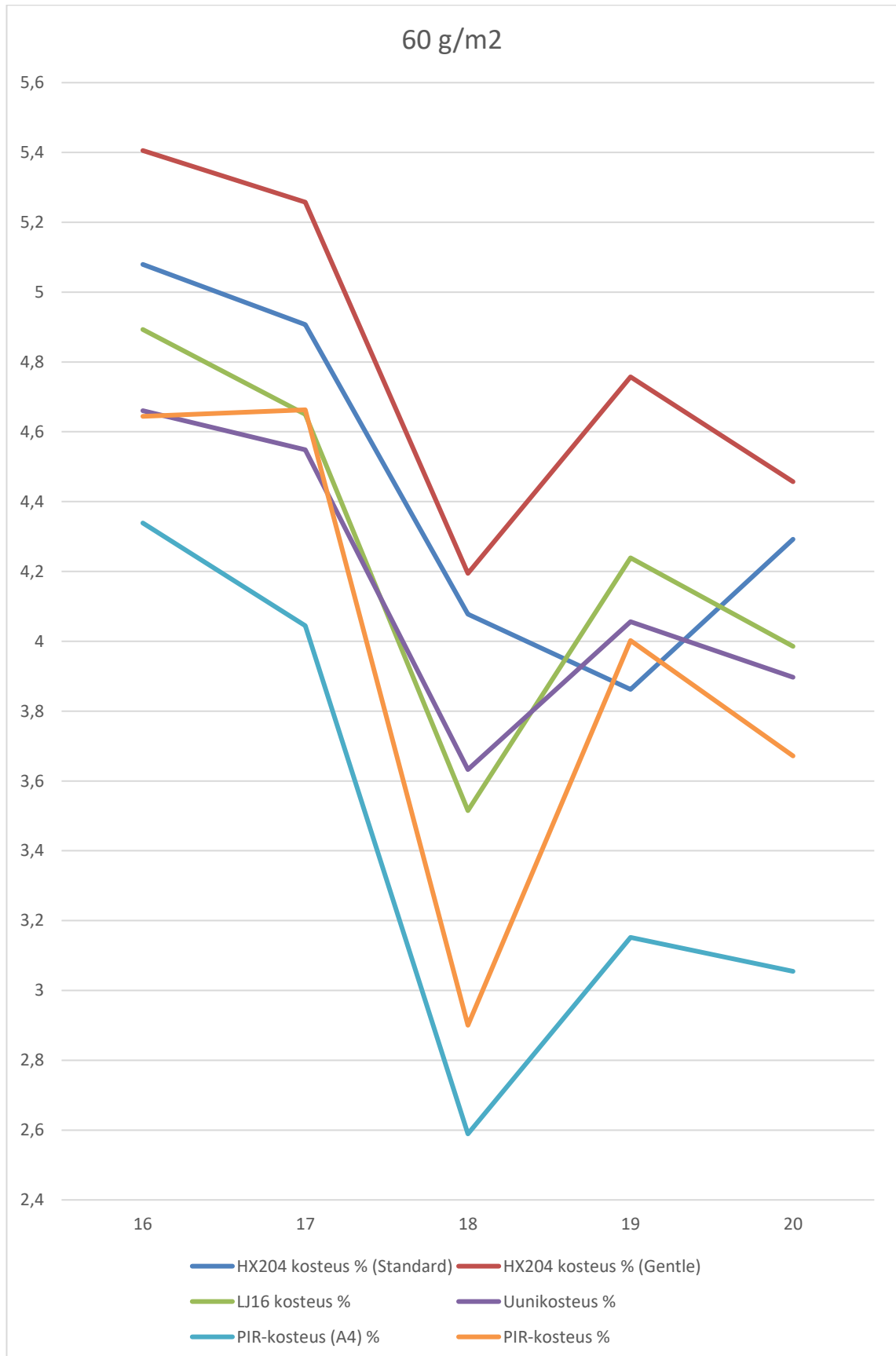
Water: Science and society, M.Arthur & D.Saffer 2016. Thermal expansion and density. Penn State's College of Earth and Mineral Sciences. Luettu 10.2.2017. <https://www.e-education.psu.edu/earth111/node/842>

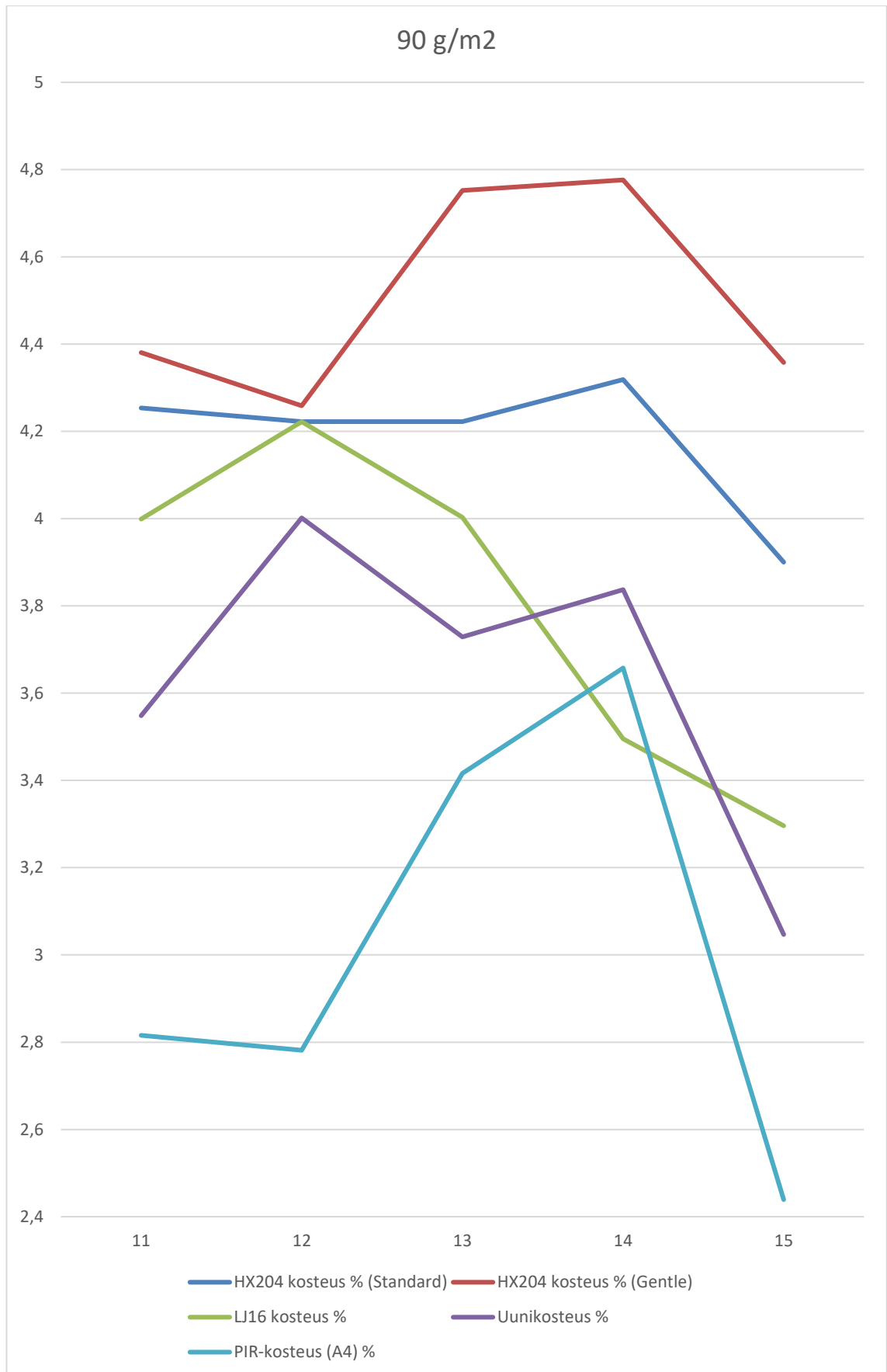
## LIITTEET

Liite 1. Mittauspöytäkirja monikerroslaminaatit

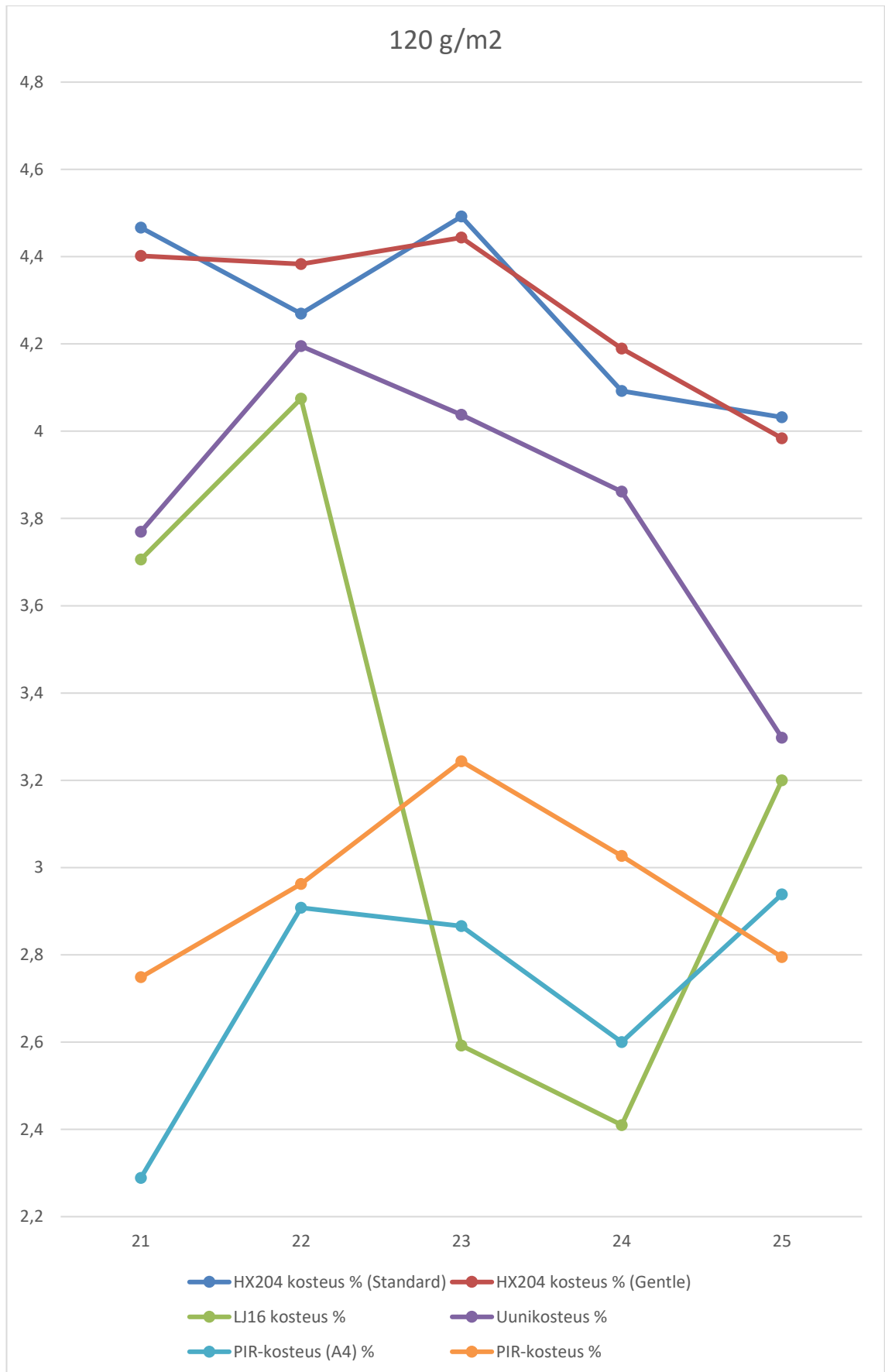
Mittauspöytäkirja	g/m <sup>2</sup> , k.a.	Paperin g/m <sup>2</sup>	Monikerroslaminaattien kosteusmittaukset										Näytteen koko			
			Näytteenpaino	HX204 Standard	Näytteenpaino	HX204 Gentle	Näytteenpaino	U116	Uuni allupaino	Uuni loppupaino	PR allupaino	PIR loppupaino	A4	A4	100*200	PIR loppupaino
1	223,8	150	3,484	3,09	3,145	2,88	3,259	3,01	3,7629	3,618	13,766	13,412	-	-	-	
2	223,3	150	4,545	2,33	3,185	2,48	4,253	2,4	3,1069	3,137	13,704	13,44	-	-	-	
3	223,4	150	3,167	2,87	3,351	2,81	3,918	2,99	3,4888	3,3675	13,851	13,532	-	-	-	
4	221,9	150	4,22	2,75	3,394	2,8	4,016	2,69	5,1052	4,892	13,604	13,312	-	-	-	
5	221,2	150	3,084	2,74	4,275	3,11	3,383	2,69	4,8883	4,7437	13,741	13,466	-	-	-	
6	104,2	40	4,27	1,97	3,963	1,97	4,463	1,6	4,6116	4,5188	6,5323	6,422	-	-	-	
7	106,1	40	4,383	2,56	4,369	2,52	4,148	2,7	4,2732	4,164	6,671	6,487	-	-	-	
8	105	40	3,901	1,61	3,839	1,72	4,311	0,79	4,5074	4,4375	6,5489	6,4589	-	-	-	
9	104,5	40	3,992	1,7	4,06	1,85	3,894	1,59	4,7885	4,6333	6,5193	6,425	-	-	-	
10	103,6	40	4,16	1,87	4,83	1,93	4,37	0,39	4,2774	4,2021	6,5006	6,384	-	-	-	
11	163,6	90	4,084	2,34	4,61	2,41	4,222	2,2	4,0725	3,993	10,2073	10,0492	-	-	-	
12	164,5	90	3,9	2,31	4,155	2,33	4,337	2,31	4,3529	4,2516	10,2574	10,1013	-	-	-	
13	164,5	90	4,242	2,31	4,138	2,6	3,923	2,19	4,6712	4,5759	10,2831	10,0919	-	-	-	
14	164,7	90	3,942	2,36	4,74	2,61	4,145	1,91	4,4734	4,3796	10,2715	10,0662	-	-	-	
15	164,8	90	4,405	2,13	4,25	2,38	4,511	1,8	4,5015	4,4066	10,2848	10,1478	-	-	-	
16	139,8	60	4,13	2,18	4,18	2,32	4,294	2,1	4,1546	4,0715	8,7802	8,6167	-	-	2,7142	
17	140,2	60	4,381	2,1	4,356	2,25	4,167	1,99	4,079	3,9956	8,7172	8,5663	-	-	2,7511	
18	140,6	60	4,24	1,74	4,915	1,79	4,871	1,5	4,393	4,3218	8,709	8,6107	-	-	2,7633	
19	141,3	60	4,623	1,64	4,711	2,02	4,846	1,8	4,2904	4,2165	8,7338	8,6169	-	-	2,7599	
20	141,5	60	4,167	1,82	4,689	1,89	4,013	1,69	4,6544	4,3808	8,7516	8,6185	-	-	2,7557	
21	194,2	120	4,38	2,76	4,888	2,72	4,844	2,29	4,244	4,16	12,041	11,8707	-	-	3,8094	
22	194,8	120	4,67	2,63	4,131	2,7	4,749	2,51	4,6783	4,5574	12,068	11,8644	-	-	3,81	
23	193,2	120	4,316	2,79	4,68	2,76	4,667	1,61	4,7848	4,6548	12,141	11,9749	-	-	3,812	
24	194,1	120	4,345	2,53	4,243	2,59	4,894	1,49	4,75	4,656	12,088	11,8937	-	-	3,816	
25	192	120	4,288	2,52	4,819	2,49	4,838	2	4,8373	4,7376	11,8865	11,6623	-	-	3,815	

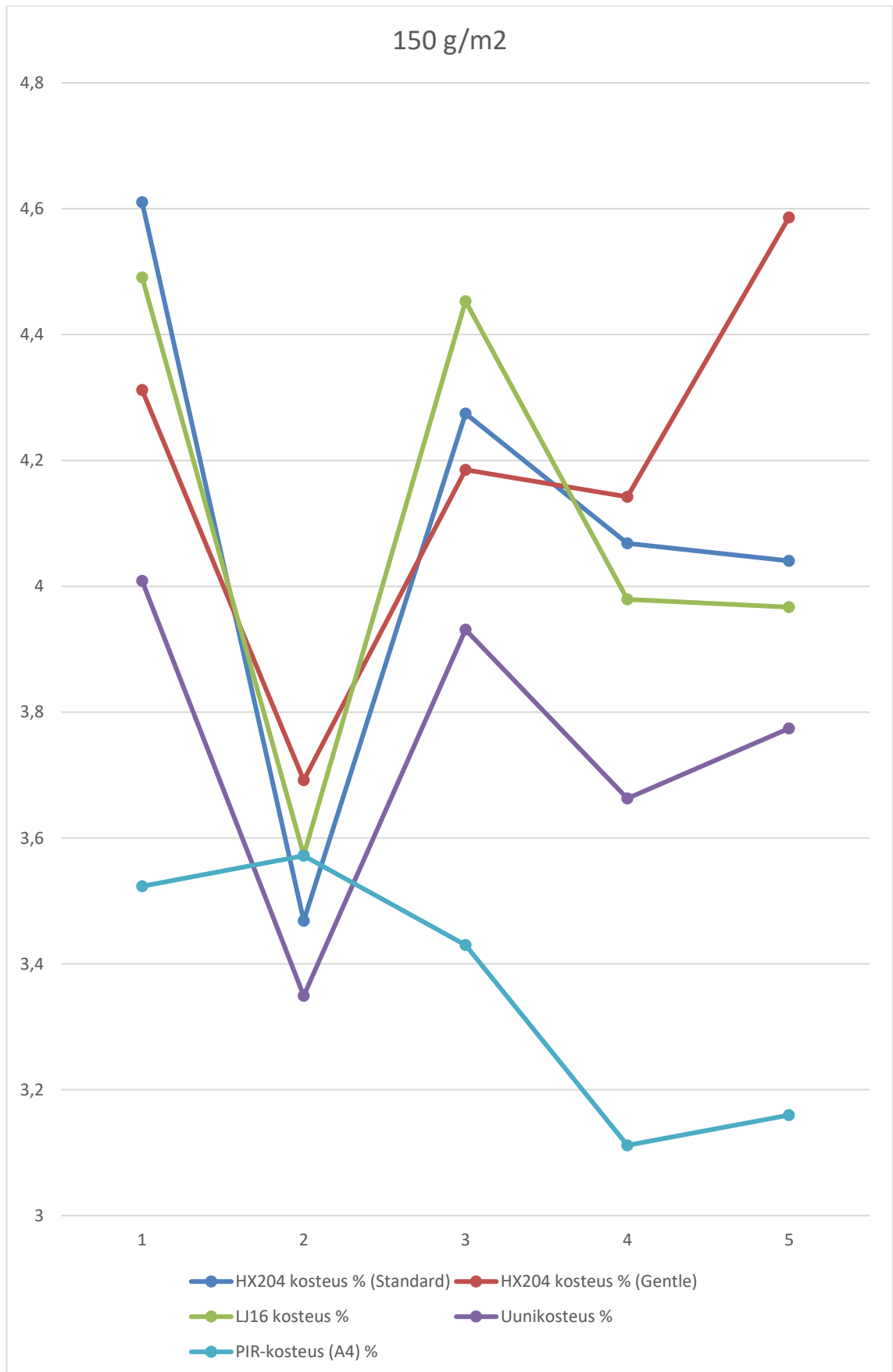
Liite 2. Mittaustulokset 40 g/m<sup>2</sup>

Liite 3. Mittaustulokset 60 g/m<sup>2</sup>

Liite 4. Mittaustulokset 90 g/m<sup>2</sup>



Liite 5. Mittaustulokset  $120 \text{ g/m}^2$ 

Liite 6. Mittaustulokset  $150 \text{ g/m}^2$ 

## Liite 7. Näytetyypin vaikutus kosteusmittaukseen

	Paperin g/m <sup>2</sup>	Neliöpaino	Näytteen paino	Kierrenäyte	Kosteus % (Kierre)	Näytteen paino	Silputtu	Kosteus % (Silppu)	Ero %
1	60	141,1	1,75	1,49	3,50	4,315	1,46	3,43	0,07
2	60	139,9	1,664	1,8	4,20	3,248	1,88	4,38	0,19
3	60	140,1	1,575	1,65	3,85	3,285	1,49	3,48	0,37
4	60	140,1	1,262	1,82	4,25	3,844	1,56	3,64	0,61
5	60	139,3	1,3	2	4,64	3,318	1,48	3,44	1,21
6	60	141,4	1,904	1,99	4,69	3,969	1,81	4,27	0,42
7	60	139,9	1,24	2,18	5,08	3,259	1,66	3,87	1,21
8	60	140,2	1,595	1,63	3,81	3,216	1,46	3,41	0,40
9	60	139,1	1,253	1,84	4,27	3,208	2	4,64	0,37
10	60	139,1	1,619	2,04	4,73	2,959	2,03	4,71	0,02
11	60	140,9	1,076	2,23	5,24	3,115	2,15	5,05	0,19
12	60	140,9	1,623	2,34	5,50	3,535	2,18	5,12	0,38
13	60	138	1,762	2,44	5,61	3,301	2,42	5,57	0,05
14	60	138	2,258	2,39	5,50	3,145	2,22	5,11	0,39
15	60	138,7	1,821	2,47	5,71	3,011	2,32	5,36	0,35
16	60	138,7	1,395	2,44	5,64	3,382	2,28	5,27	0,37
17	60	140,9	1,842	2,44	5,73	3,362	2,2	5,17	0,56
18	60	140,9	1,959	2,24	5,26	3,275	2,14	5,03	0,23
19	60	140,9	1,706	2,17	5,10	3,299	2,03	4,77	0,33
20	60	138	1,823	2,4	5,52	3,355	2,31	5,31	0,21
								KA	0,40

## Liite 8. R&amp;R mittaustulokset mittaaja 1

## Mittausepävarmuus R&amp;R

Kosteuspitoisuus

Suorittaja: Sari HeikkinenPvm: 27.5.17

Laite: LA0037.

Uunin lämpötila: 105°C.

Kuivausaika: 4 h.

Eksikaattoriaika: 2 h.

Näytteen koko: n. 50 g.

Materiaali: kopiopaperi.

Mittauspisteet ilmastoidaan kosteushuoneessa. Jokainen henkilö kuivaa uunissa 2 x 10 mittauspistettä (arkkeina) ja punnitsee alku- ja loppupainon grammoina (kaikki kerralla uuniin).

Näyte nro	Sarja 1		Sarja 2	
	Alkupaino	Loppupaino	Alkupaino	Loppupaino
1	50,03	47,30	50,17	47,50
2	50,26	47,50	50,09	47,40
3	50,09	47,34	50,04	47,38
4	49,88	47,16	50,11	47,55
5	49,86	47,17	50,12	47,43
6	49,93	47,25	49,98	47,24
7	49,71	47,02	49,96	47,20
8	49,85	47,18	49,93	47,36
9	49,88	47,22	50,18	47,44
10	49,70	47,05	50,11	47,31

## Liite 9. R&amp;R mittaustulokset mittaaja 2

## Mittausepävarmuus R&amp;R

## Kosteuspitoisuus

Suorittaja: JAANA PENTTIPvm: 18.5.2017

Laitte: LA0037.

Uunin lämpötila: 105°C.

Kuivausaika: 4 h.

Eksikaattoriaika: 2 h.

Näytteen koko: n. 50 g.

Materiaali: kopiopaperi.

Mittauspisteet ilmastoidaan kosteushuoneessa. Jokainen henkilö kuivaa uunissa 2 x 10 mittauspistettä (arkkeina) ja punnitsee alku- ja loppupainon grammoina (kaikki kerralla uuniin).

Näyte nro	Sarja 1		Sarja 2	
	Alkupaino	Loppupaino	Alkupaino	Loppupaino
1	49,91	47,16	49,74	47,05
2	50,16	47,39	49,89	47,18
3	49,96	47,20	49,89	47,19
4	49,91	47,18	50,09	47,35
5	49,98	47,25	49,93	47,20
6	49,91	47,19	49,92	47,23
7	49,88	47,15	49,80	47,12
8	50,15	47,43	50,15	47,43
9	49,95	47,20	49,97	47,26
10	50,15	47,40	49,93	47,33

## Liite 10. R&amp;R mittaustulokset mittaaja 3

## Mittausepävarmuus R&amp;R

## Kosteuspitoisuus

Suorittaja: Katja VietaPvm: 17.5.2017

Laitte: LA0037.

Uunin lämpötila: 105°C.

Kuivausaika: 4 h.

Eksikaattoriaika: 2 h.

Näytteen koko: n. 50 g.

Materiaali: kopiopaperi.

Mittauspisteet ilmastoidaan kosteushuoneessa. Jokainen henkilö kuivaa uunissa 2 x 10 mittauspistettä (arkkeina) ja punnitsee alku- ja loppupainon grammoina (kaikki kerralla uuniin).

Näyte nro	Sarja 1		Sarja 2	
	Alkupaino	Loppupaino	Alkupaino	Loppupaino
1	49.82	47.03	49.93	47.15
2	49.94	47.12	50.02	47.34
3	49.92	47.12	49.88	47.11
4	49.95	47.15	49.92	47.17
5	49.99	47.34	50.02	47.32
6	49.95	47.18	49.86	47.30
7	50.03	47.25	49.96	47.20
8	50.05	47.27	50.18	47.39
9	49.99	47.20	50.01	47.23
10	49.89	47.12	49.99	47.21

## Liite 11. R&amp;R laskennan kaavat

	95 %	luottamustasolla
Kertaerojen keskiarvo	0,0627	Kar
R(max,min)	0,21	
Sallittu vaihteluväli	5	10 %
	$K1=4/1.13$	3,5400
	$K2=4/1.91$	2,0940
Menetelmän toistokyky EV	$EV=Kar \times K1$	0,2218
Keskihajonnan estimaatti EV	$haj(EV)=EV/4$	0,0555
Menetelmän toistokyky EV %	$EV\%=100*(EV/Sv)$	<b>4,4368</b>
Mittaajien väl. uusittavuus AV	$R(max,min) \times K2$	0,4397
Keskihajonnan estimaatti AV	$\sqrt{mvu(AV)^2 - ((EV)^2 / (n \times r))}$	0,4369
Mittaajien väl. uusittavuus AV %	$Av\%=100*(AV/Sv)$	<b>8,7387</b>
Mittausepävarmuus R&R	$R\&R=\sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$	0,4900
keskihaj. Estimaatti R&R	$haj(R\&R)=R\&R/4$	0,1225
Mittausepävarmuus R&R %	$R\&R\%=100*(R\&R/Sv)$	<b>9,8005</b>