

**Sonja Sauhke**

## **PAPERIN NELIÖMASSAMITTAUS**

**Paper Labin mittaustarkkuuden parantaminen**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU**

**Kemiantekniikan koulutusohjelma**

**Toukokuu 2017**

**TIIVISTELMÄ**

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b> Kokkola	<b>Aika</b> Toukokuu 2017	<b>Tekijä</b> Sonja Sauhke
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikan koulutusohjelma		
<b>Työn nimi</b> PAPERIN NELIÖMASSAMITTAUS Paper Labin mittaustarkkuuden parantaminen		
<b>Työn ohjaaja</b> Laura Rahikka	<b>Sivumäärä</b> 42 + 3	
<b>Työelämäohjaaja</b> Matti Myllylä		
<p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi BillerudKorsnäs Oy:n Pietarsaaren paperitehdas. Yritys on yksi maailman suurimpia pakkausmateriaalien, sellun ja erilaisten pakkausratkaisujen valmistajia. Tuotteiden tasainen ja korkea laatu on heille erittäin tärkeää. Prosessin laadunvalvontaan ja ohjaukseen vaikuttavia laitteita on yrityksessä hiljattain uusittu.</p> <p>Tavoitteena oli selvittää kahden eri mittalaitteen neliömassan mittaustulosten luotettavuutta ja lisäksi myös selvittää ilmastoinnin ja paperin eri kosteuksien vaikutusta neliömassamittauksen tulokseen. Teoriassa pyrittiin selvittämään mittalaitteiden toimintaperiaatteita lähinnä neliömassamittauksen osalta. Neliömassaan, siihen vaikuttaviin asioihin ja sen määrittämiseen laboratoriossa tutustuttiin myös.</p> <p>Neliömassamittauksille eri paperilaaduilla suoritettiin mahdollisimman kattava mittauseuranta. Mittauseurannassa verrattiin Paper Labin ja mittapalkin antamia tuloksia tehtaan laboratoriossa käsin tehtyihin neliömassamittauksiin. Ilmaston vaikutusta paperiin seurattiin mittaamalla neliömassa jokaisesta näytteestä ennen ilmastointia ja sen jälkeen. Kerättyä mittaustuloksia analysoidiin Excel taulukko-ohjelmalla, sekä Minitab-ohjelmalla ja huomattiin, että vaikka korrelaatio oli hyvin vahva mittausten välillä, niin silti eroa oli joissain tapauksissa liikaa.</p>		

**Asiasanat**

Neliömassamittaus, paperin kosteus, paperin valmistus, Paper Lab

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> May 2017	<b>Author</b> Sonja Sauhke
<b>Degree programme</b> Chemical Engineering		
<b>Name of thesis</b> DETERMINATION OF THE GRAMMAGE OF PAPER Improving the Paper Labs measurement accuracy		
<b>Instructor</b> Laura Rahikka	<b>Pages</b> 42 + 3	
<b>Supervisor</b> Matti Myllylä		
<p>The commissioner of the thesis work was the paper mill of BillerudKorsnäs Ltd. in Pietarsaari. The company is one of the largest in production of packaging materials, pulp and various packaging solutions. Products consistent and high quality is very important to them. They have recently renewed some of their equipment affecting to quality control and process operations.</p> <p>The aim of this thesis was to investigate the reliability of two different measuring devices that are used for the determination of grammage of paper. Factors that were also investigated were the effects to grammage caused by the paper's different moisture and air conditioning the paper sample to standard conditions. The aim of the theory part was to clarify the principles of these two measuring devices mainly concerning the determination of grammage. Grammage itself, the factors that affect it and determination of grammage in the laboratory were also topics in the theory part.</p> <p>Collecting grammage measure results was implemented as comprehensively as possible. The results from Paper Lab and online meter were compared to hand made grammage. The influences of the air conditioning on the paper was tested by determining the grammage before and after the samples were air conditioned. The collected measurement data was analyzed with the Minitab program and with Excel. Correlation was very strong between the measurement methods but still the difference was too high in some cases.</p>		

**Key words**

Determination of grammage, moisture of the paper, paper manufacturing, Paper Lab

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Hoitopuoli	Se paperikoneen puoli, josta prosessia valvotaan ja ohjataan
Konerulla	Koko paperikoneen levyinen paperirulla, jossa haluttu määrä paperia on pyöritetty tampouritelan ympärille
MF	Paperilaji, joka saadaan paperikoneelta valmiiksi kalanteroituna, eli kiillotettuna
Neliömassa	Yhden paperineliömetrin paino grammoina
Paperiraina	Suotautumalla viiraosalla muodostuva kuitumatto
PK1	BillerudKorsnäs Oy:n Pietarsaaren paperikone nro. 1
Poikkirata	Koko paperiradan levyinen paperinäyte
Pope	Paperi- ja kartonkikoneen lopussa sijaitseva rullain
Tampuuri	Koko paperikoneen levyinen paperirulla, jossa haluttu määrä paperia on pyöritetty tampouritelan ympärille
Trimmileveys	Konerullasta leikattavien vierekkäisten asiakasrullien yhteisleveys
UG	Kalanteroimaton, eli kiillottamaton paperilaji

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 BILLERUDKORSNÄS OY .....</b>	<b>3</b>
2.1 BillerudKorsnäs Oy Pietarsaari .....	3
2.2 PK1:sen prosessi lyhyesti.....	4
<b>3 PAPER LAB.....</b>	<b>7</b>
3.1 Neliömassamittaus .....	8
3.2 Mittauskäytäntö .....	9
<b>4 MITTAPALKKI.....</b>	<b>11</b>
<b>5 NELIÖMASSA .....</b>	<b>12</b>
5.1 Kosteuden vaikutus paperiin.....	13
5.2 Kosteuden vaikutus neliömassaan .....	14
5.3 Neliömassan määrittäminen .....	15
<b>6 TUTKIMUSSUUNNITELMA .....</b>	<b>18</b>
<b>7 TULOKSET .....</b>	<b>20</b>
7.1 Paperin kosteus 7,5 % .....	20
7.2 Paperin kosteus 6,5 % .....	24
7.3 Paperin kosteus 5,2 % .....	27
7.4 Mittausten yhdenmukaisuus .....	35
<b>8 POHDINTA JA LOPPUPÄÄTELMÄT .....</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>41</b>

**LIITTEET**

**KUVIOT**

KUVIO 1. Moduulin toimintaperiaate.....	3
KUVIO 2. Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio 7,5 % paperilla.....	21
KUVIO 3. Mittausmenetelmien väliset erot 7,5 % paperilla .....	22
KUVIO 4. Paper Labin ja käsimittausten vertailu 7,5 % paperilla .....	23
KUVIO 5. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu 7,5 % paperilla .....	23
KUVIO 6. Ilmastoinnin vaikutus 7,5 % paperiin .....	24
KUVIO 7. Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio 6,5 % paperilla.....	25

KUVIO 8. Mittausmenetelmien väliset erot 6,5 % paperilla .....	25
KUVIO 9. Paper Labin ja käsimittausten vertailu, 6,5 % paperi.....	26
KUVIO 10. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu, 6,5 % paperi .....	26
KUVIO 11. Ilmastoinnin vaikutus 6,5 % paperiin .....	27
KUVIO 12. Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio 5,2 % paperilla.....	28
KUVIO 13. Mittausmenetelmien väliset erot 5,2 % paperilla .....	29
KUVIO 14. Paper Labin ja käsimittausten vertailu, 5,2 % paperi.....	30
KUVIO 15. Paper Labin ja käsimittausten vertailu alueella 60 – 83 g/m <sup>2</sup> .....	30
KUVIO 16. Paper Labin ja käsimittausten vertailu alueella 90 – 120 g/m <sup>2</sup> .....	31
KUVIO 17. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu, 5,2 % paperi .....	32
KUVIO 18. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu alueella 60 - 83 g/m <sup>2</sup> .....	32
KUVIO 19. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu alueella 90 - 120 g/m <sup>2</sup> .....	33
KUVIO 20. Ilmastoinnin vaikutus 5,2 % paperiin .....	34
KUVIO 21. Paper Lab & mittapalkki & käsimittaus 7,5 % paperilla .....	35
KUVIO 22. Paper Lab & mittapalkki & käsimittaus 6,5 % paperilla .....	36
KUVIO 23. Paper Lab & mittapalkki & käsimittaus 5,2 % paperilla .....	36

## KUVAT

KUVA 1. Pietarsaaren tehdasintegraatti .....	4
KUVA 2. Konerulla .....	6
KUVA 3. Paper Lab .....	7
KUVA 4. Syöttölaite .....	8
KUVA 5. Neliömassamoduuli .....	9

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Paper Lab ja käsimittaus, mittausero 5,2 % paperissa .....	34
--	----

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään ruotsalaisen BillerudKorsnäs Oy:n Pietarsaassa toimivalle paperitehtaalle. Pietarsaaren paperikone on rakennettu jo 1962, mutta BillerudKorsnäs on ollut sen omistuksessa se on ollut vuodesta 2012. BillerudKorsnäs on yksi maailman suurimpia pakkausmateriaalien, sellun ja erilaisten pakkausratkaisujen valmistajia. Pietarsaaren tehtaalla valmistetaan kymmeniä eri paperilaatua neliömassa-alueella 50 g/m<sup>2</sup> – 160 g/m<sup>2</sup>.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää ja parantaa paperin neliömassamittauksen luotettavuutta. Yrityksessä on hiljattain uusittu prosessissa oleva mittapalkki, joka hoitaa mm. neliömassan online-mittauksen, sekä Paper Lab jolla määritetään valmiista konerullasta otetusta näytteestä useita eri laatuarvoja. Näiden kahden laitteen neliömassamittausten välillä on ollut havaittavissa eroavaisuuksia ja erityisesti silloin, kun valmistettavan paperin kosteus on alhainen. Oletuksena on, että Paper Labin neliömassamittaus todennäköisesti vaatii säätämistä. Kiinnostusta on myös herättänyt paperin ilmastoinnin vaikutus sen ominaisuuksiin ja tästä syystä otettiin mukaan opinnäytetyöhön myös ilmastoinnin vaikutus neliömassaan eri paperin kosteusalueilla.

Tarkoituksena on saada riittävästi luotettavaa mittausdataa paperin neliömassasta käsin mittaamalla ja vertaamalla tätä tulosta Paper Labin ja online-mittarin tuloksiin. Saatuja tietoja voidaan käyttää hyväksi tehtäessä mahdollisia uusia säätöjä Paper Labiin. Näytteiden ilmastoinnin vaikutusta paperin neliömassaan tutkitaan tekemällä käsimittoaukset ennen näytteiden ilmastointia ja näytteiden ilmastoinnin jälkeen.

Haasteelliseksi työn tekee se, että valmistettavia paperilaatuja ja neliömassoja on niin paljon, ettei jokaisesta lajista ja grammapainosta mittauksia ole mahdollista tämän aikataulun puitteissa tehdä. Tästä syystä rajataan mittauksia valitsemalla kolme eri valmiin paperin kosteutta ja pyritään saamaan jokaisesta niistä mahdollisimman kattavasti mittaustuloksia. Mitattavaksi valitaan paperit jotka ovat kosteudeltaan 5,2 %, 6,0 % ja 7,5 %.

Teoriaosuudessa esitellään hieman BillerudKorsnäs Oy:tä ja sen Pietarsaaressa toimivan paperikoneen prosessia, mutta opinnäytetyön tarkoitus ei kuitenkaan ole syventyä näihin tarkemmin. Paper Labin ja mittapalkin toimintaa esitellään tarkemmin neliömassamittauksen osalta, mutta laitteiden muut mittaukset ovat tämän työn kannalta merkityksettömiä, joten ne jätetään vähemmälle huomiolle. Lukijalle avataan myös hieman asioita paperin kosteudesta ja kosteuden vaikutuksesta neliömassaan, sekä paperin muihin ominaisuuksiin. Lopussa käydään läpi saadut tulokset ja pohditaan onko niiden perusteella syytä tehdä jotain muutoksia esimerkiksi laitteisiin tai käytössä oleviin toimintatapoihin. Opinnäytetyöhön ei kuulu muutosten tai säätöjen tekeminen, vaan tarkoitus on tarjota yritykselle tietoa ja mittausdataa niin, että he voivat sitä halutessaan hyödyntää omassa toiminnassaan.



## 2 BILLERUDKORSNÄS OY

BillerudKorsnäs Oy on ruotsalainen yritys, joka valmistaa mm. sellua ja voimakä sähkipaperia. Se on yksi maailman suurimpia pakkausmateriaalien, sellun ja erilaisten pakkausratkaisujen valmistajia. Henkilöstöä on yhteensä noin 4300 henkeä kahdeksassatoista eri maassa ympäri maailmaa. Tällä hetkellä Suomessa on henkilöstöä 113 henkeä. Liikevaihto konsernilla on noin 2 miljardia euroa. BillerudKorsnäs Oy:llä on yhteensä kahdeksan sellu- ja paperitehdasta, näistä yksi paperitehdas on Suomessa, yksi Englannissa ja loput tehtaot sijaitsevat Ruotsissa. Asiakaspalvelukeskuksia on kuudessatoista eri maassa. (BillerudKorsnäs 2017.)

Toinenkin BillerudKorsnäs Oy:n paperitehdas Suomessa oli, mutta tämä Tervasaaren paperitehdas lopetti toimintansa 2016 syyskuun lopussa ja tällä hetkellä siellä on käynnissä koneen purkutyöt. Tervasaassa kone oli kalliin ostosellun varassa, joten paperikone päätettiin siirtää Ruotsiin Skärblackaan jossa se tulee olemaan integroituna yhtiön omaan sellutehtaaseen. (HS 25.8.2015.) Gruvönin tehtaalle Ruotsiin on rakenteilla uusi kartonkikone, jonka tuotantokapasiteetti tulee olemaan 550 000 tonnia vuodessa. Tällä tuotantokapasiteetilla se tulee olemaan lajissaan yksi maailman suurimmista. Investointi on yhtiön historian suurin ja se on myös yksi lähivuosien suurimmista investoinneista Ruotsissa. (BillerudKorsnäs 12.12.2016.)

### 2.1 BillerudKorsnäs Oy Pietarsaari

BillerudKorsnäs'in Pietarsaaren paperikone PK1 on maailman johtava säkki- ja voimapaperin valmistaja jauho- ja sokeripusseihin, ostoskasseihin ja teknisiin

sovelluksiin, kuten hiekkapaperiin, rulla- ja riisikääreisiin. Paperitehdas on integroitu UPM:n sellutehtaaseen ja lisäksi samalla alueella toimii myös voimalaitos, satama ja saha. (KUVA 1.) Pietarsaaren paperikoneen rakentamisvuosi on 1962 ja koneuusinta on tehty vuonna 1998. Tuotantokapasiteetti on n. 200 000 tonnia vuodessa ja henkilöstöä työskentelee koneella n. 100 henkeä. Maksimi ajonopeus on 930 m/min, paperiradan leveys on 6,5 m (trimmileveys 6340 mm) ja pituutta koneelle tulee 112 m perälaatikolta popelle mitattuna. Tuotteita ovat valkoinen ja ruskea MF, UG ja säkkipaperi, neliöpainoalueella 50 – 160 g/m<sup>2</sup>. (BillerudKorsnäs 2016; 2017.)



KUVA 1. Pietarsaaren tehdasintegraatti (BillerudKorsnäs 2017)

## 2.2 PK1:sen prosessi lyhyesti

Aluksi sellumassaa täytyy jauhaa, jotta saataisiin puukuidut kihartumaan. Jauhatus vaikuttaa valmiin paperin lujuusominaisuuksiin parantavasti. Seuraa-

vaksi sellumassaan lisätään erilaisia kemikaaleja, kuten esimerkiksi tärkkelys, hartsiliima ja aluna. Nämä kemikaalit vaikuttavat paperin veden absorptio-ominaisuuksiin ja lujuuteen. Massaan lisätään myös erilaisia väriaineita haluttun värin, vaaleuden ja sävyn saavuttamiseksi. (Prowledge 2015.)

Massasta poistetaan epäpuhtauksia ja ilmaa pyörrepuhdistuksella, sekä ilmanpoistojärjestelmällä. Massa ohjataan perälaatikon kautta viiralle ja tässä massasulpussa on noin 0,2 % puukuituja ja 99,8 % vettä. Perälaatikosta tulee noin 300 000 l vettä minuutissa. Viiraosalla suurin osa vedestä poistuu painovoiman ja alipaineen avulla. Suurin osa kuiduista ei läpäise viiraa vaan ne jäävät sen päälle ja näin muodostavan paperirainan. Viiraosan jälkeen paperiraina sisältää vielä noin 80 % vettä. (BillerudKorsnäs 2015; Häggblom–Ahnger & Komulainen 2001.)

Puristinosalla paperiraina kulkee läpi useasta telaparin muodostamasta nipistä. Rainasta poistuva vesi imeytyy teloja kiertäviin huopiin, joista se poistetaan imuteloilla tai imulaatikoilla. Puristinosan jälkeen paperiradassa on vielä noin 60 % vettä. Seuraavana vaiheena on kuivatusosa, jossa paperirainaan johdetaan lämpöä höyryllä lämmitettävien kuivatussylintereiden välityksellä. Kuivatusosaa ympäröivän huuven sisällä lämpötila on yli 100°C. Lämpö saa paperirainassa olevan veden höyrystymään ja muodostunut vesihöyry poistetaan tuuletusilman mukana. (BillerudKorsnäs 2015; Prowledge 2015.)

Osa paperilajeista mikrokrepataan Clupak-laitteella konesuunnassa venymän lisäämiseksi. Tämä lisää paperin konesuuntaista lujuutta. Kumimattoa puristetaan nippipalkilla sylinteriä vastaan, jolloin matto paikallisesti venyy. Paperiraita kulkee maton ja sylinterin välissä, joten se on kosketuksissa venyneen maton kanssa. Kitka on suurempi maton ja paperin välillä kuin mitä se on paperin ja sylinterin välillä. Tästä syystä nipistä vapautuva matto kutistuessaan takaisin

muotoonsa, kutistaa myös nipistä vapautuvaa paperia saman verran. (Tervaskangas 1999, 8.) Jotkut paperilajeista kalanteroidaan, eli rainaa puristetaan kahden telan välissä (MF = machine finished). Kalanteroinnissa paperista tulee sileämpää ja kiiltävämpää ja sen painettavuusominaisuudet paranevat. Pintaominaisuuksien parantamisen lisäksi kalanteroinnilla voidaan hallita paksuusprofiilia. (Hägglom–Ahnger & Komulainen 2001, 204.)

Valmis paperi rullautuu tampuuriraudalle popella eli rullaimella. Konerulla siirretään pituusleikkurille siltanosturilla. Konerulla painaa n. 25 000 kg ja siinä on n. 60 km paperia (KUVA 2). Pituusleikkurilla konerulla leikataan asiakkaan määrittelemiin leveyksiin ja rullataan haluttuun pituuteen. Jotta asiakas saisi paperirullansa virheettöminä ja siisteinä, rullat pakataan PE-kalvon sisältäviin käärepapereihin. Rullat merkitään kooditunnuksin, jotka ohjaavat niiden kuljetusta tehtaalta loppukäyttäjälle. Tehtaalta lähtee viikossa noin 40 rekkaa ja noin 60 junavaunullista rullia satamiin tai suoraan asiakkaille. Satamista rullat jatkavat matkaa laivoilla ympäri maailmaa sijaitseville asiakkaille. (BillerudKorsnäs 2015.)



KUVA 2. Konerulla

### 3 PAPER LAB

Paper Lab on Valmetin valmistama paperin ja kartongin testaukseen tarkoitettu automaattinen laitekokonaisuus (KUVA 3). Sillä voidaan mitata rullalle kierrettyjä, määrälevyisiä näyteratoja, sekä erikokoisia arkinäytteitä. Laitteeseen syötetään näytetiedot ja käynnistetään mittaus käyttöpaneelin painikkeella. Tämän jälkeen Paper Lab suorittaa automaattisesti testausohjelman mukaiset mittaukset. (Valmet Automation 2015.)



KUVA 3. Paper Lab (Valmet Automation 2015)

Syöttölaite koostuu kolmesta kasettiyksiköstä, joista jokaisessa on paperintunnistusanturi ja näytteen tunnistuksen merkkivalo, sekä syöttöaukon säätövipu (KUVA 4). Syöttöaukon säätövivulla voi nimensä mukaisesti säätää syöttöaukon kokoa. Säätövivun ollessa eteenpäin käännettynä on syöttöaukko pienempi kuin vivun ollessa taka-asennossa. Paperintunnistusanturi havaitsee kaset-

tyyksikköön asetetun näytteen, jolloin merkkivalo syttyy vihreänä. Kasetista syöttölaite siirtää näytteen mittausmoduuleille, jotka laitteelle ohjelmoidun testaussekvenssin mukaan suorittavat halutut mittaukset. (Valmet Automation 2015, 7-8.)



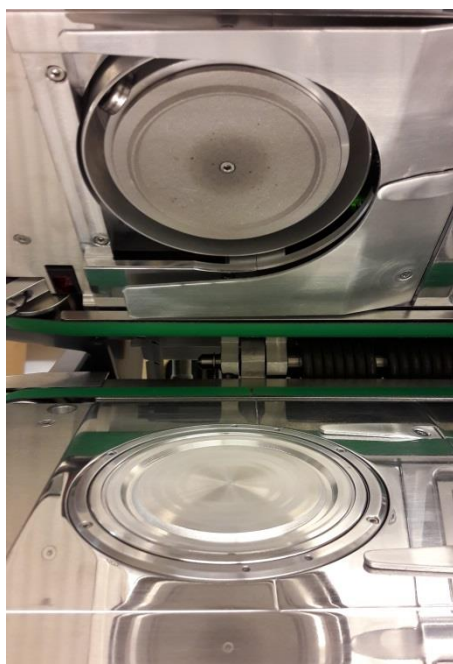
KUVA 4. Syöttölaite

Syöttölaitteen jälkeen moduulikehikon alkuun on asennettu paperia rikkomat moduulit kuten esimerkiksi paksuus, huokoisuus sekä karheus. Näiden jälkeen moduulikehikossa on sijoitettuna paperia rikkovat moduulit kuten repäisylujuus, veto- ja venymälujuus sekä neliömassa. Näyte syötetään Paper Labin oikealta puolelta ja mittauksen jälkeen se poistuu laitteesta vasemmalta puolelta. Kaikki mittaukset tehtyään laite tulostaa tulokset ja lisäksi lähettää ne tehtaaseen tietojärjestelmään. (Valmet Automation 2015, 8, 29.)

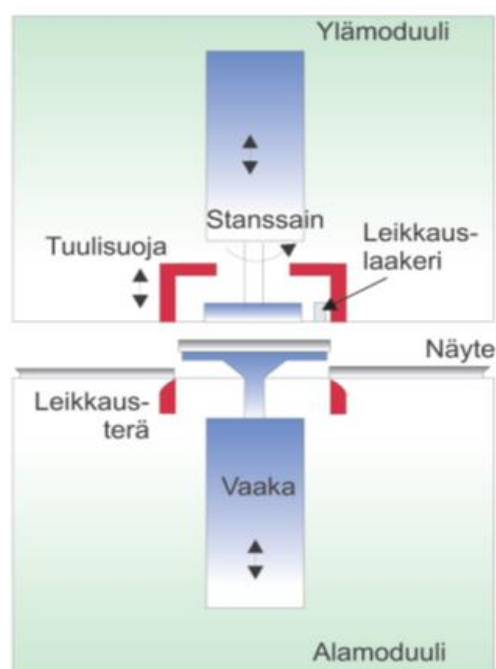
### 3.1 Neliömassamittaus

Paper Labissa on neliömassamoduuli, jolla se mittaa paperin neliömassan (KUVA 5). Moduuli leikkaa ensin paperista pyöreän mittakappaleen, joka on

pinta-alaltaan 100 cm<sup>2</sup>. Mittakappaleen käyristyminen saattaisi punnittaessa aiheuttaa mittavirhettä ja lisäksi se vaikeuttaisi kappaleen poistumista Paper Labista mittauksen jälkeen, joten näistä syistä se stanssataan leikkauksen jälkeen. Mittaustila eristetään tuulisuoja ja vaaka nousee yläasentoon. Yläasennossa moduulin vaaka punnitsee mittakappaleen ja palautuu tämän jälkeen ala-asentoon, myös tuulisuoja nousee pois. (KUVIO 1). Lopuksi moduuli lähettää tulokset ohjaustietokoneelle. (Valmet Automation 2016, 5.)



KUVA 5. Neliömassamoduuli



KUVIO 1. Moduulin toimintaperiaate (mukaillen Valmet Automation 2016, 5)

### 3.2 Mittauskäytäntö

Popella otetaan jokaisesta valmiista konerullasta poikkiratanäyte, joka leikataan ja rullataan muovihylsyn päälle tähän tarkoitettuun leikkurilla. Näytteenotossa on tärkeää pysyä selvillä siitä, kumpi on käyttö-/hoitopuoli ja kumpi on viira-/yläpuoli. Rullattu poikkirata pyöritetään laboratoriossa auki ja ripus-

tetaan ilmastointikaappiin ilmastoitumaan. Paperin neliömassan ollessa alle 100 g/m<sup>2</sup> on ilmastoitumisaika 10 minuuttia ja yli 100 g/m<sup>2</sup> painoisia papereita ilmastoidaan 20 minuuttia. (Stenman 2008a; Stenman 2008b).

Laboratorion suhteellinen kosteus, sekä lämpötila ovat ISO 187 standardin mukaisesti 50 % ± 2 % ja 23 °C ± 1 °C. Ilmastointikaapin yläosassa ovat puhaltimet, jotka kierrättävät laboratorion ilmaa kaapissa. Tästä syystä onkin tärkeää seurata, että laboratoriossa vallitsee standardin mukaiset olosuhteet. Mikäli olosuhteet eivät ole oikeat, ei myöskään ilmastoimista vaativia mittauksia voida tehdä ennen kuin olosuhteet on palautunut ISO 187 standardin mukaisiksi. (Stenman 2008b)

Poikkirata syötetään Paper Labiin hoitopuolen reuna edellä ja viirapuoli alaspäin. Poikkirata syötetään aina samoin päin Paper Labiin, koska näin tiedetään miten päin mittausten profiilit ovat. Karheus mitataan paperiradan molemmilta puolilta ja mittaustuloksen takia onkin tärkeää, että poikkirata syötetään Paper Labiin aina yläpuoli ylöspäin. Viirapuolella karheus on pienempi ja lajista riippuen ero yläpuolen karheuteen voi olla hyvinkin suuri. (Sjöblom 2016.) Paper Lab ajaa näytteen läpi ja tekee siitä kyseiselle lajille ohjelmoidut mittaukset, kuten esimerkiksi neliömassan. Mittaustulokset tulostuvat automaattisesti raporttina ja lisäksi Paper Lab lähettää tulokset tehtaan tietojärjestelmään. (Valmet Automation 2015, 7.)



#### 4 MITTAPALKKI

Online-mittauksilla ohjataan mm. paperin neliöpainoa ja kosteusprofiileja. Paperikoneella ennen rullainta sijaitsevalla mittapalkilla saadaan mitattua paperiradasta profiilimittauksia. Mitta-anturit sijaitsevat niin sanotussa mittavaunussa, joka liikkuu mittapalkin ohjaamana paperiradan yli. Mittavaunu on kaksiosainen ja kulkiessaan paperiradan yli puolelta toiselle on sen toinen puoli radan yläpuolella ja toinen puoli alapuolella. Paperirata siis ikään kuin kulkee sen läpi. Mitattavia suureita ovat mm. kosteus, paksuus, värit ja vaaleus, sekä neliömassa. Paperin neliömassan online-mittaus perustuu lähes poikkeuksetta mitattavan väliaineen beeta- tai gammasäteilyn absorptioon, jossa paperiradan tiheys ja paksuus vaikuttavat absorboituneiden beeta-partikkeleiden määrään. Mitta-anturi on kaksiosainen ja koostuu alapuolisesta säteilylähteestä sekä yläpuolisesta ilmaisimesta. Mittaus tapahtuu paperia koskematta. (Honeywell 2011; Prowledge 2015.)

Neliömassan mittaus perustuu siihen, että osa säteilylähteestä emittoituneesta säteilystä läpäisee paperin ja osa absorboituu siihen. Paperiradan läpäisseet beeta-partikkelit tunnistetaan ylämittapään ilmaisimena toimivassa jalokaasutäytteisessä ionisaatiokammiossa elektrodeilla. Ilmaisimen tunnistaman säteilyn voimakkuus on kääntäen verrannollinen paperin neliömassaan. Ilmaisimen ionisointikammioon syötetään virtaa, jolloin kammioon muodostuu sähkökenttä. Paperin läpäisseet beeta-partikkelit aiheuttavat ilmaisimessa ionisoitumisen. Sähkökentän avulla tähän ionisoitumiseen verrannollinen sähkövirta kulkeutuu elektrodeille. Vahvistin muuttaa syntyneen virran jännitteeksi ja siirtää sen jännite/taajuusmuuttajalle. Muodostettu pulssijono kootaan integrointipulssilaskuriin määrätyn ajanjakson ja tämän jälkeen tietokone lukee sen. (Honeywell 2011; Prowledge 2015.)

## 5 NELIÖMASSA

Paperin neliömassa määräytyy viiralle pumpattavan kuitumäärän ja viiran nopeuden perusteella (Ylihärsilä 1992b). Neliömassa ja paksuus, sekä näiden suureiden avulla laskettava kiintotiheys ovat paperin ja kartongin yleisiä ominaisuuksia kuvaavia suureita, jotka määritetään tuotteesta sen tulevasta käyttötarkoituksesta riippumatta. Lajinimikkeen ohella ne kuvaavat ja antavat käsityksen siitä millainen paperi tai kartonki on kyseessä. Neliömassalle käytetään yleisesti, ja on suositeltavaakin käyttää, yksikköä  $g/m^2$ , mutta sen virallinen SI-yksikkö on  $kg/m^2$ . (Prowledge 2015.)

Paperin neliömassalla tarkoitetaan sen massaa grammoina per yksi neliömetri paperia. Toisin sanoen yhden neliömetrin kokoisen paperipalan painoa grammoina,  $g/m^2$ . Neliömassa vaikuttaa melkein kaikkiin paperin ominaisuuksiin. Neliömassan kasvaessa paksuus kasvaa ja paperin ljuudet, opasiteetti ja tiiviyys paranevat, kun taas vastaavasti neliömassan pienentyessä edellä mainitut ominaisuudet laskevat. Paperin tasaisen laadun takia on siis tärkeää, että neliömassa on koko paperirainan leveydeltä ja pituudelta tasainen. Epätasainen neliömassa aiheuttaa paperikoneen hallinnan huonontumista ja voi lisäksi vaikeuttaa merkittävästi paperin jälkikäsitteily- ja jalostusprosesseja. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 78–80.)

Paperin läpinäkymättömyyttä kuvaava opasiteetti laskee neliömassan laskiessa, mutta tämä vaikutus ei ole sama ohuilla ja paksuilla papereilla. Paksummilla, eli suuremman neliömassan omaavilla papereilla on neliömassamuutoksen vaikutus opasiteettiin pienempi kuin samansuuruisen muutoksen vaikutus kevyempään ohkaiseen paperiin. Opasiteetin alentuminen neliömassaa laskettaessa johtuu pääasiassa siitä, että kuitupartikkelien määrä tietyllä pinta-alalla

vähenee. Ymmärrettävää on, että pienemmän neliömassan omaavilla papereilla tämä kuitujen vähentyminen on helpommin havaittavissa, kuin samansuuruisen vähentymän havaitseminen suuremmassa neliömassassa. Yksittäisten kuitujen lujuus, sekä kuitujen välisten sidosten lujuus ja sitoutumisaste määrittävät pitkälti paperin lujuuden. Neliömassaa laskettaessa näiden sidoksia muodostavien kuitujen määrä vähenee ja näin ollen paperin lujuuskin heikkenee. Kevyemmällä papereilla on siis huonommat lujuusominaisuudet kuin painavammilla papereilla. Eri neliömassan omaavien papereiden lujuusominaisuuksien, kuten esimerkiksi repäisylujuuden, vertailu on mahdollista laskemalla repäisyindeksi. Jakamalla repäisylujuus paperin neliömassalla saadaan repäisyindeksi, joka ei juuri nouse vaikka neliömassa ja repäisylujuus nousevat. (Prowledge 2015.)

### **5.1 Kosteuden vaikutus paperiin**

Kosteus on paperin jalostettavuuden kannalta yksi tärkeimmistä suureista. Eriytyisen tärkeää on tasainen kosteus koko paperiradan pituus- ja poikkisuunnassa. (Ylihärsilä 1992a.) Kosteus saadaan laskettua neliömassasta ja mitatusta vesimassasta. Valmiin paperin kosteudella on tavoitteen lisäksi määritelty rajat joita ei voi ylittää tai alittaa. Paperin jatkojalostuksen toimivuuden kannalta katsottuna liian kuivaa tai märkää paperia ei voi, eikä kannata, myydä asiakkaalle. (Prowledge 2015.)

Puukuidut ovat hygroskooppisia eli niillä on taipumus imeä itseensä kosteutta ilmasta ja hakeutua tasapainoon ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Kuitujen vesimäärä siis riippuu sitä ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta. Normaalisti paperimassakuitujen sisältämä vesimäärä on 5 – 10 % luokkaa. Vesi tunkeutuu kuidun sisään ja kykenee avaamaan ketjumolekyylien

välisiä vetysidoksia kuidun amorfisilla alueilla ja muodostaa itse uusia vetysidoksia ketjumolekyyleissä vapautuneiden hydroksyyliyhmiensä kanssa. Tämä tekee kuidut sekä edelleen myös paperin plastisemmaksi, mutta samalla myös heikentää kuitujen välisiä sidoksia. Paperia koossa pitävä tekijä on kuitusidokset, joten niiden heikentyminen tarkoittaa myös paperin lujuuden heikentymistä. (Prowledge 2015.)

Kuivattaessa vesimolekyylit poistuu ja vesi- ja ketjumolekyyliden väliset vetysidokset korvautuvat jälleen ketjumolekyyliden välisillä vetysidoksilla. Mikäli kuitu on jo kertaalleen kuivatettu, niin uudelleen kostutettaessa osa sen ketjumolekyyliden hydroksyyliyhmiensä välisistä vetysidoksista ei enää korvautukaan vesimolekyylin ja ketjumolekyylin välisillä vetysidoksilla. Tästä syystä yhden tai useamman kerran kuivatetun kuitumassan tasapainokosteus jää tietyssä suhteellisessa kosteudessa pienemmäksi kuin kuivaamattoman kuitumassan. Paperia ympäröivän ilmankosteuden lisäksi sen kosteuteen eli vesipitoisuuteen vaikuttaa siis myös kuidun kuivatushistoria. (Prowledge 2015.)

## **5.2 Kosteuden vaikutus neliömassaan**

Tiedetään paperin olevan hygroskooppista eli ilman kosteuden kasvaessa se absorboi vettä ja ilman kuivuessa paperin kosteuskin pienenee. Ilman kosteuden noustessa siis paperin vesipitoisuus ja näin ollen myös neliömassa nousee. Vaikuttaisi siis olevan selvää, että kosteuden vaikutus paperin neliömassaan on hyvin merkittävä, mutta kun kuidut absorboivat vettä niin ne myös turpoavat. Yksittäiset kuidut ovat paperissa sitoutuneina toisiinsa, joten kuitujen turvotessa myös paperin pinta-ala kasvaa ja tämä hieman kompensoi kosteuden vaikutusta neliömassaan. Kosteuden vaikutuksella neliömassaan ei ole niin suurta

merkitystä kuin kosteuden vaikutuksella paperin muihin ominaisuuksiin. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 120–122; Prowledge 2015.)

### 5.3 Neliömassan määrittäminen

Paperin kosteuspuutos asettuu aina tasapainoon ympärillä vallitsevien ilmasto-olosuhteiden kanssa. Paperin vesipitoisuus vaikuttaa lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin, joten vertailukelpoisia tuloksia haluttaessa ovat mittaukset aina suoritettava samoissa olosuhteissa. Vakioilmasto-olosuhteet ovat ISO 187 standardin mukaan: lämpötila  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  ja suhteellinen kosteus  $50\% \pm 2\%$ . (Prowledge 2015.)

Neliömassan määrittämisessä selvitetään testikappaleen pinta-ala ja massa, joista laskemalla saadaan tulokseksi neliömassa. Paperiradan neliömassa ei ole tasainen koko radan leveydeltä tai pituudelta, vaan se vaihtelee jonkin verran niin kone- kuin poikkisuunnassakin. Tuloksiin vaikuttaa siis se mistä kohtaa näyte on otettu ja myös se minkä kokoinen näytekappale on. Mitä suurempia näytekappaleet ovat, sitä vähäisempää on tulosten hajonta. Määrättömän suurien näytekappaleita ei kuitenkaan voida käyttää, joten onkin määriteltäviä suositeltavia kokoja näille testikappaleille. Esimerkiksi ISO 536 standardissa suositellaan testikappaleen kooksi  $200\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  (SFS-EN ISO 536). ja SCAN-testimenetelmän mukaan testikappaleen hyvä koko olisi  $250\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ . (Prowledge 2015.)

Tässä opinnäytetyössä tehdyt neliömassan käsimitaukset suoritettiin tehtaalla käytössä olevan ohjeistuksen mukaan. Valmiista konerullasta otettu poikkiratanäyte täytyy ensin paloittaa siihen tarkoitettujen mallilevyn avulla kahdeksikymmeneksi arkiksi. Taitetaan poikkirata kaksinkerroin niin, että hoitopuolen

reuna on ylempänä ja käyttöpuolen reuna on sen alla, lisäksi täytyy viirapuolen olla sisäpuolella. Arkkien numeroinnissa arkki 1 on ensimmäinen hoitopuolen reunassa, siitä järjestyksessä numerointi kasvaa käyttöpuolen reunaa kohden mentäessä niin, että arkki 20 on käyttöpuolen reunimmaisina arkkina. Molempiin reunoihin jää noin 10 cm ylimääräistä paperia, koska repiminen aloitetaan radan keskeltä. (Stenman 2008a.)

Poikkiradan repiminen keskeltä aloitetaan asettamalla mallilevyn oikeareuna tarkasti tasan taitoksen reunan kanssa. Revitään mallilevyn mukaisesti sen ylä- ja alapuolelta pois ylimääräinen paperi ja lopuksi repäistään vasen reuna. Nyt mallilevyn alla on kaksi sen kokoista arkkia, mutta ne ovat vielä kiinni toisistaan poikkiradan keskitaitoksen kohdasta. Avataan taitos niin, että viirapuoli paperista on pöytää vasten, asetetaan mallilevyn reuna tarkasti kohdakkain taitoksesta jääneen jäljen kanssa ja repäistään arkit irti toisistaan. Seuraavat arkit revitään asettamalla mallilevy kohdakkain revittyjen reunojen kanssa ja repimällä mallilevyn ympäriltä ylimääräinen paperi pois. Revityt reunat täytyy olla keskenään tarkasti kohdakkain, että arkeista tulisi samankokoisia. Valmiita arkkeja on kaksikymmentä, mutta neliömassan määritykseen niistä otetaan vain kymmenen. Konerullan numeron ollessa parillinen, otetaan testattavaksi parilliset arkit ja numeron ollessa pariton mitataan parittomat arkit. Näin välteetään mittaamasta neliömassaa aina samoista kohdista paperirataa. (Stenman 2008a.)

Arkit ripustetaan yksitellen ilmastointikaappiin, valitaan oikea ilmastointiaika ja käynnistetään puhaltimet. Papereita joiden neliömassa on alle  $100 \text{ g/m}^2$ , ilmastoidaan 10 minuuttia ja yli  $100 \text{ g/m}^2$  papereita ilmastoidaan 20 minuuttia. Ilmastointi poikkeaa standardista, joka määrittelee ilmastointiajaksi 4 tuntia, mutta aikanaan suoritettujen vertailujen perusteella on todettu etteivät testaus tulokset merkitsevästi poikkea toisistaan. Lyhyemmän ilmastointiajan mahdol-

listavat ilman tehokas kierrätys ilmastointikaapissa ja se, että paperi on jo koneelta tullessaan lähellä tasapainokosteutta. (Stenman 2008b.)

Ilmastoinnin jälkeen jokaisen arkin neliömassa määritetään punnitsemalla jokainen arkki erikseen. Neliömassavaakaan on kytketty Calc-Pac-M laskentayksikkö, jolla saadaan arkkien neliöpaino, keskiarvo ja hajonta laskettua, sekä tulostettua. Laskentayksikön muistiin on asennettu neliömassan laskentaan kaava, jossa pinta-alana on arkkien repimiseen käytetyn mallilevyn pinta-ala. Tästä poikkeavan kokoisten näytteiden neliömassaa ei siis voida määrittää laskentayksikön avulla ennen kuin siihen on asennettu kyseisen pinta-alan huomioiva laskenta kaava. (Stenman 2008c.)

Nollataan vaaka ja asetetaan arkki vaa`alla olevaan telineeseen, lukeman taasaannuttua painetaan laskentayksikön näppäintä F1, jolloin se laskee neliömassan. Tämän jälkeen painetaan print, niin lukema tulostuu ja lopuksi painetaan + näppäintä, jolloin punnitustulos jää laskentayksikön muistiin. Poistetaan arkki vaa`alta ja toistetaan sama muille arkeille. Viimeisen arkin jälkeen painetaan set ja clear näppäimiä, jolloin laskentayksikkö laskee neliömassan keskiarvon kaikkien kymmenen arkin yhteispainosta. (Stenman 2008c.)

## 6 TUTKIMUSSUUNNITELMA

BillerudKorsnäs Oy:n Pietarsaaren paperikone 1:llä ajetaan kymmeniä erilaisia paperilajeja ja niistä lähes jokaisesta useita eri grammapainoja. Tämän opinnäytetyön puitteissa niitä kaikkia ei ole mahdollista tutkia. Paperin kosteus näyttäisi vaikuttavan sen neliömassaan enemmän kuin muut lajikohtaiset erot paperissa, joten päätettiin rajata tutkimukset koskemaan kolmea eri paperin kosteusaluetta. Valitut paperin kosteudet ovat 5,2 %, 6,0 % ja 7,5 % ja ne kattavat tuotettavien papereiden kosteuden aina kuivimmasta kosteimpaan laatuun saakka. Pyritään saamaan jokaiseen kosteusalueeseen mahdollisimman paljon mittaustuloksia eri lajeista ja grammapainoista. Erityisen tärkeää on saada mittaustuloksia lajin koko neliömassa-alueelta, eli ei vain pienimmistä tai suurimmista tuotettavista neliömassoista vaan molemmista ääripäistä, sekä lisäksi jostain siitä väliltä. Näin saadaan luotua mahdollisimman kattava ja luotettava mittausdata.

Neliömassamittaukset tehdään käsin ennen näytteiden ilmastointia ja tämän jälkeen samat näytearkit testataan niin, että ne on ilmastoitu standardin ISO 187 mukaisiin olosuhteisiin. Näin saadaan selvitettyä ilmastoinnin vaikutusta paperin neliömassaan. Paper Labilla ajetaan näyterata tehtaalla normaalin mittauskäytännön mukaan, eli konerullasta leikattu poikkirata ilmastoidaan ja tämän jälkeen se mitataan Paper Labilla.

Tehdään myös muutamia mittauksia, joissa verrataan Paper Labilla ilmastoidun ja ilmastoimattoman näytteen neliömassaa. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan voida käyttää samaa näyterataa molemmissa mittauksissa, koska Paper Lab tekee näyteradasta sitä rikkovia tutkimuksia. Mittaustulokset eivät siis ole täysin verrannolliset toisiinsa, eikä tällaista tutkimusmenetelmää siitä syys-



tä käytetään varsinaiseen tutkimukseen. Tehdään kuitenkin muutama mittaus, että nähdään onko ero ilmastoidulla ja ilmastoimattomalla näytteellä samaa luokkaa Paper Labissa ja käsimittauksissa. Edellä mainittujen menetelmien lisäksi seurataan myös online-mittarin mittaamaa neliömassaa ja paperin todellista kosteutta. Online-mittarin, sekä ilmastoidun Paper Labin näytteen ja käsin tehdyn ilmastoidun mittauksen tuloksia verrataan keskenään.

Kaikki näytteet otetaan popella heti konerullan valmistuttua. Paper Labiin menevät poikkiradat leikataan ja rullataan näytehylsulle. Käsimittaukseen vaaditaan leveämpi näyte, eikä sitä tästä syystä leikata vaan se viikataan taittelematta niin, että sen saa kuljetettua laboratorioon. Laboratoriossa revitään viikattu poikkirata kahdeksikymmeneksi arkiksi tähän tarkoitettulla mallilevyllä. Arkit numeroidaan hoitopuolelta päin lähtien ja otetaan joka toinen arkki neliömassamittaukseen. Mikäli konerullan numero on parillinen, niin valitaan mittaukseen parilliset arkit ja parittomalla konerullalla otetaan mitattavaksi parittomat arkit.

Tehdastietojärjestelmästä seurataan online-mittarin mittaamaa neliömassaa ja myös paperin kosteutta. Yleensä online-mittarin tulos on hyvin tasainen koko konerullan ajan ja siitä syystä voidaankin ottaa ylös mittapalkin antama keskiarvo konerullan neliömassalle, mutta seurataan kuitenkin koko mittausalueen tuloksia. Mikäli pinnan neliömassa jostain syystä on poikkeava keskiarvoon verrattuna, niin otetaan tulos pinnasta. Näytteet käsimittaukseen ja Paper Labiin otetaan konerullan pinnalta, joten tämän takia tällaisessa poikkeustilanteessa on järkevämpää lukea online-mittarinkin tulos konerullan pinnasta, niin saadaan luotettavimmat vertailutulokset.

## 7 TULOKSET

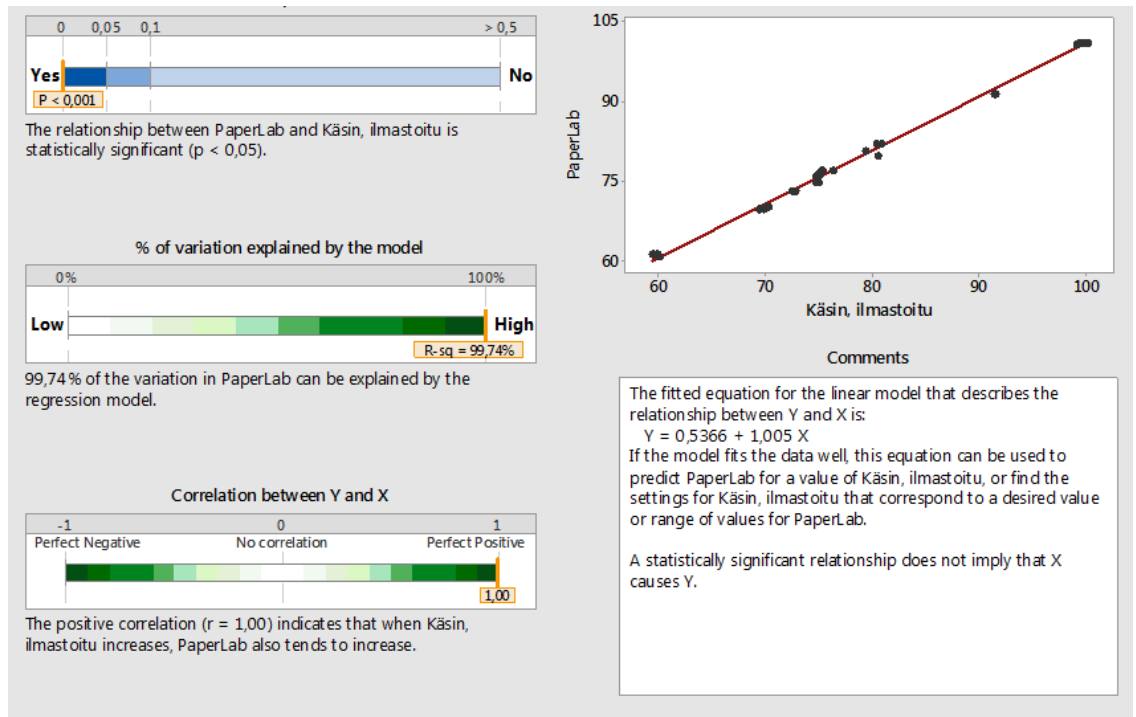
Mittausdataa kertyi kosteimmasta ja kuivimmasta mittaukseen valitusta paperin kosteusalueesta aivan hyvin, mutta keskimmäisestä kosteusalueesta mittaukset jäivät kovin vähäisiksi. Tämänkin kosteusalueen tulokset kuitenkin analysoitiin ja niistä voitiin tehdä varovaisia johtopäätöksiä, mutta kovin suurta painoarvoa niille ei voi antaa.

Mittapalkin ja käsintehtyjen mittausten tulokset vastaavat toisiaan hyvin, mutta Paper Labilla ja käsimittauksilla näyttää olevan keskenään eroa. Näitä eroja tuodaan kunkin kosteusalueen tuloksissa tarkemmin esiin mittausdatasta luoduilla kuvaajilla, joissa verrataan kaikkia kyseisen kosteusalueen Paper Labilla ja käsin määritettyjä neliömassatuloksia. Lisäksi 5,2 % kosteusalueen vastaavat tulokset on myös jaettu kahteen eri kuvaajaan, joista toisessa on tulokset neliömassoista 60 – 83 g/m<sup>2</sup> ja toisessa neliömassoista 90 – 120 g/m<sup>2</sup>. Jakamalla neliömassat kahteen eri kuvaajaan saadaan tuotua paremmin esiin mittausmenetelmien väliset pienemmätkin erot. Kosteusaluekohtaisesti verrataan myös mittapalkin tuloksia käsin määritettyihin neliömassoihin samankaltaisissa kuvaajissa. Näistä kuvioista voidaan myös nähdä kuinka hyvin Paper Labin ja käsimittausten olisi hyvä vastata toisiaan.

### 7.1 Paperin kosteus 7,5 %

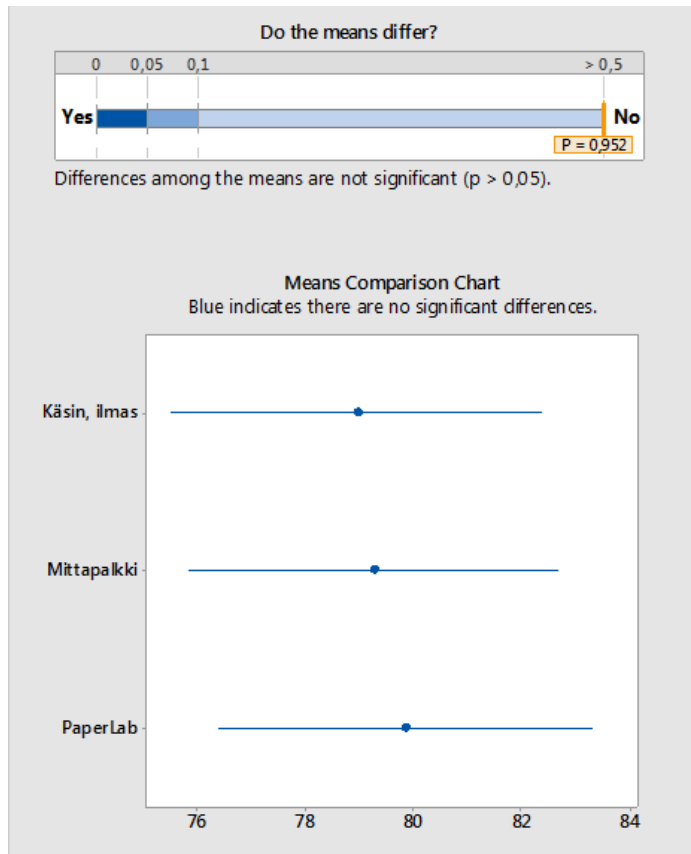
Tavallisin PK1:llä ajettava paperin kosteus on 7,5 % ja tämä kosteus on valmistettavista papereista lähimpänä tasapainokosteutta valmistuessaan. Mittausdataa tästä kertyi kiitettävän paljon ja se löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 1.

Minitab-ohjelmalla lähdin tutkimaan sitä, kuinka hyvin Paper Labin tulokset korreloivat käsimittausten kanssa (KUVIO 2). Tulokset osoittivat, että korrelaatio mittaustapojen välillä on hyvin vahva.



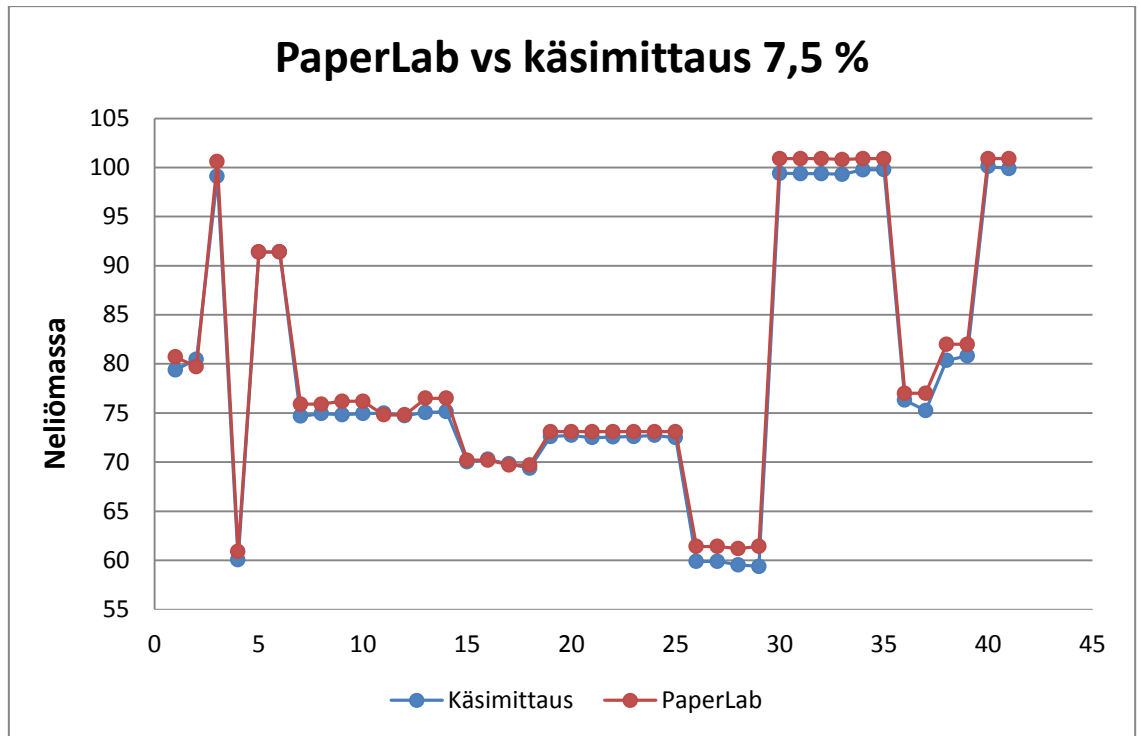
KUVIO 2. Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio, 7,5 % paperilla

Minitab-ohjelmalla mittausdataa käsittelemällä pyrin myös selvittämään löytyykö Paper Labin, mittapalkin ja käsin tehtyjen neliömassamittausten väliltä havaittavissa olevia eroja (KUVIO 3). Analyysin perusteella pieniä eroavaisuuksia havaittavissa oli, mutta kuitenkin mitään tilastollisesti merkittäviä eroja ei löytynyt. Kuviossa 3 on jokaisen mittausmenetelmän kohdalla viivalle sijoitettu piste. Nämä pisteet eivät ole täysin pystysuorassa linjassa toisiinsa nähden, joten voidaan tulkita, että joitain eroja menetelmien välillä kuitenkin on vaikkakaan mitään tilastollisesti merkittäviä eroja ei analyysin mukaan löytynyt.

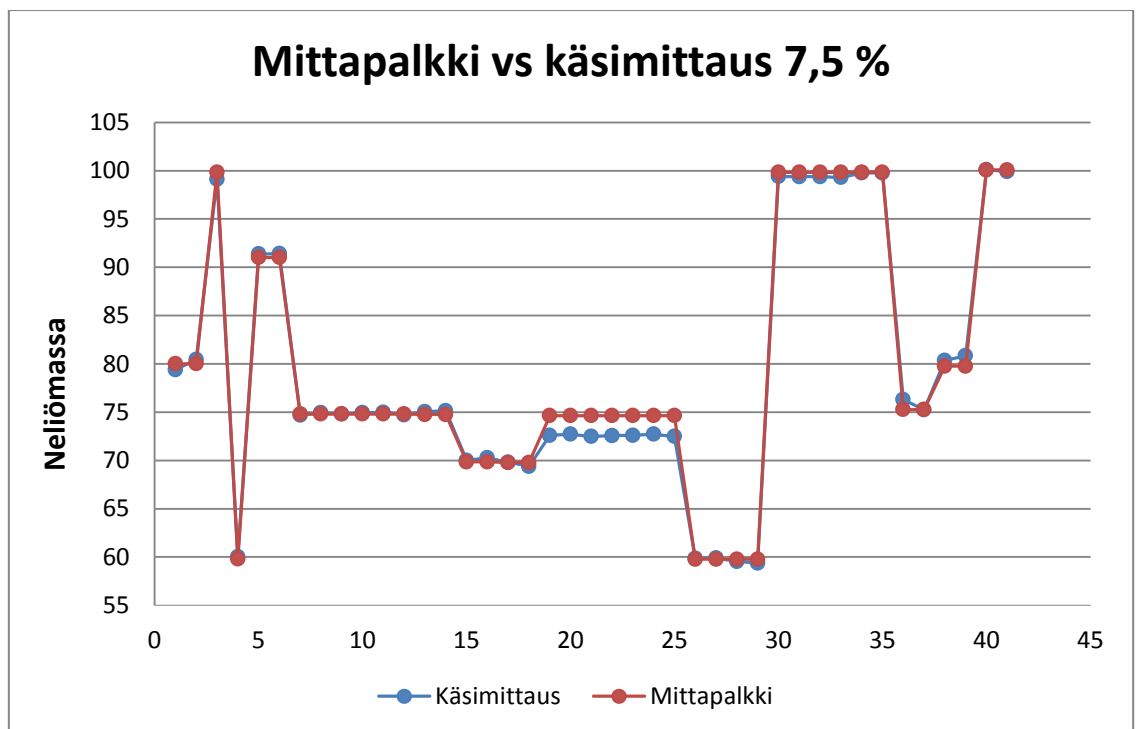


KUVIO 3. Mittausmenetelmien väliset erot 7,5 % paperilla

Mittauksia tehdessäni olin kuitenkin kiinnittänyt huomiota Paper Labin ja käsin tehtyjen mittausten välillä ilmenneisiin eroihin. Koko 7,5 % paperista tehdyn mittausdatan perusteella laskettu käsimittausten ja Paper Labin keskimääräinen neliömassatulosten ero on 0,9 g/m<sup>2</sup>. Tuloksen sain laskemalla yksittäisistä näytteistä näiden menetelmien mittaustulosten väliset erotukset ja ottamalla näistä erotuksista keskiarvon. Lähes poikkeuksetta tulokset ovat yksittäisissäkin mittauksissa sellaisia, että Paper Lab näyttää jonkin verran todellista enemmän. Tämä tulos on kuitenkin vain keskiarvo koko mitatulle neliömassaskaalalle ja halusin saada tarkemmin selville missä paperin neliömassoissa eroja esiintyy. Kuviossa 4 on kaikki tämän kosteusalueen käsin ja Paper Labilla tehdyt neliömassamittaukset ja kuviossa 5 samoihin käsimittaustuloksiin on verrattu mittapalkin antamia tuloksia.

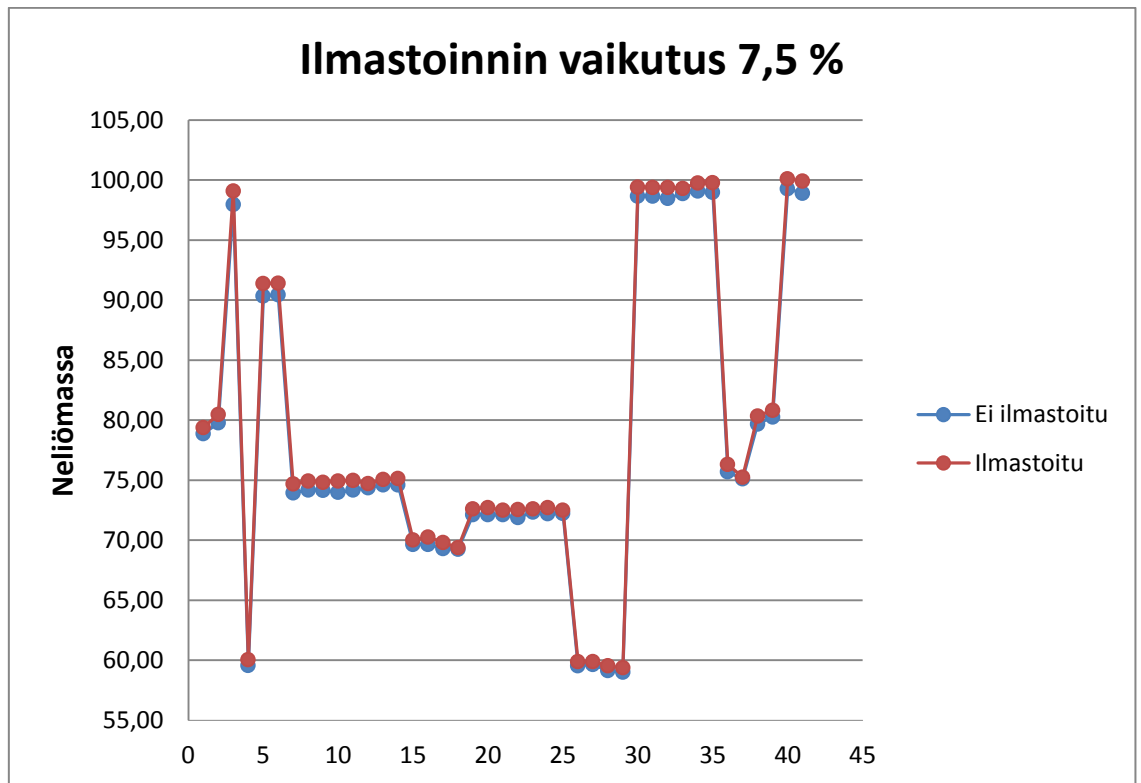


KUVIO 4. Paper Labin ja käsimittausten vertailu 7,5 % paperilla



KUVIO 5. Mittapalkkin ja käsimittausten vertailu 7,5 % paperilla

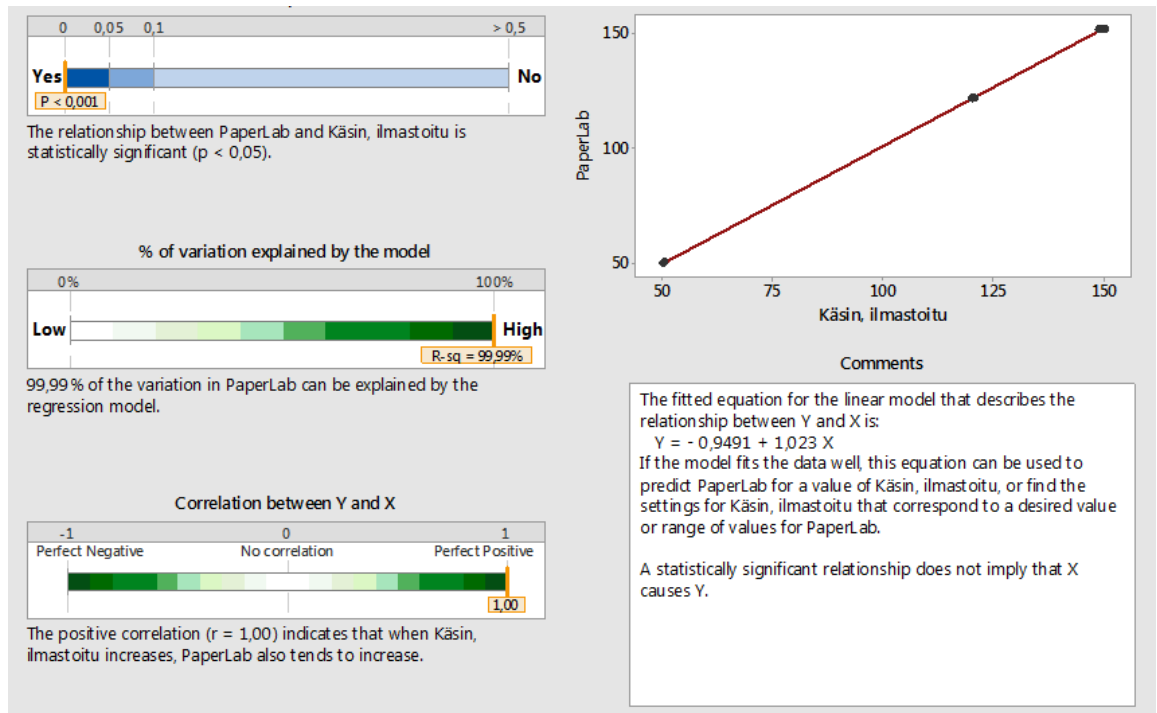
Ilmastoinnin vaikutus neliömassaan on keskimäärin 0,6 g/m<sup>2</sup> tässä paperin kosteudessa. Paperin neliömassalla ei tässä tapauksessa näyttäisi olevan suurta vaikutusta siihen kuinka paljon ilmastoitu kasvattaa neliömassaa (KUVIO 6).



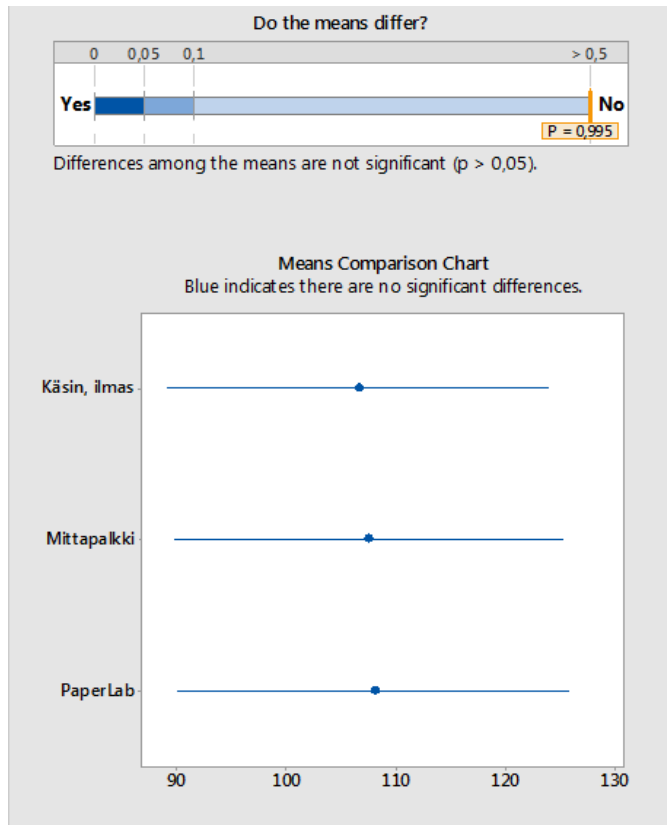
KUVIO 6. Ilmastoinnin vaikutus 7,5 % paperiin

## 7.2 Paperin kosteus 6,5 %

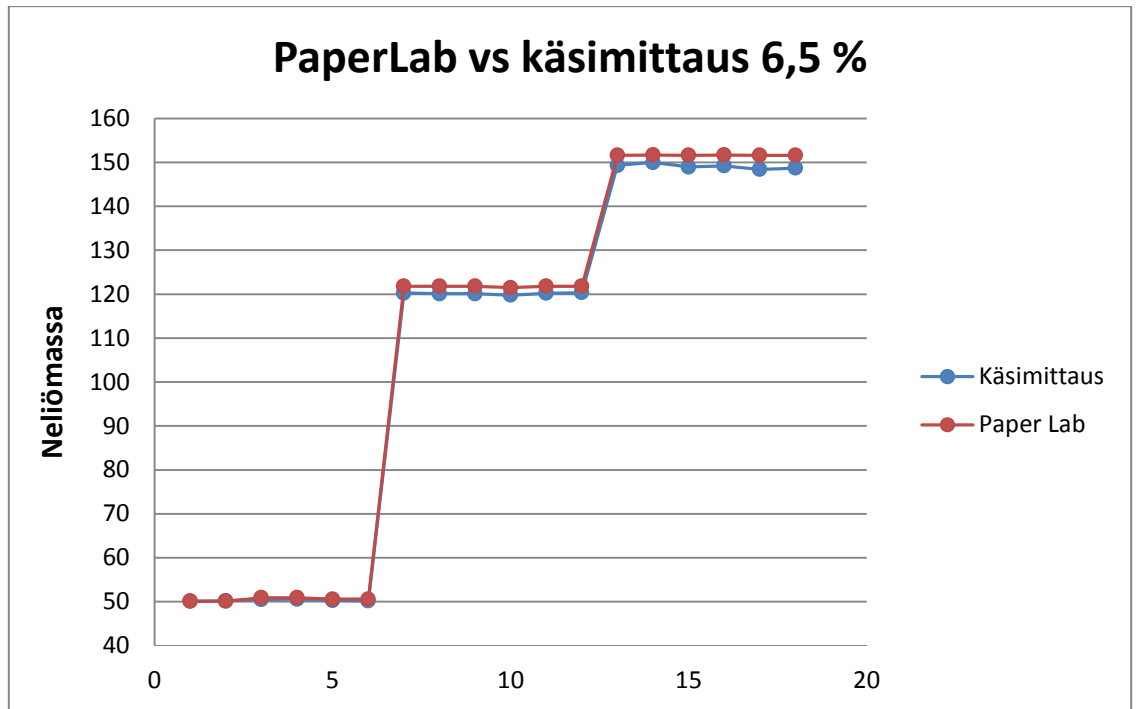
Tämän kosteusalueen tuloksia katsottaessa tulee ottaa huomioon, että mittausdata on erittäin suppea (LIITE 2). Tuloksia ei voi pitää tarpeeksi luotettavina siihen, että niistä tehtäisiin mitään suurempia johtopäätöksiä tai oletuksia. Mittausten perusteella Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio on erittäin vahva (KUVIO 7), eikä suurempaa tilastollista eroa löytynyt näiden kolmen eri mittausmenetelmän väliltä (KUVIO 8). Paper Lab antaa hieman suurempaa tulosta kuin käsimittaus paperin grammapainon ollessa korkeampi.



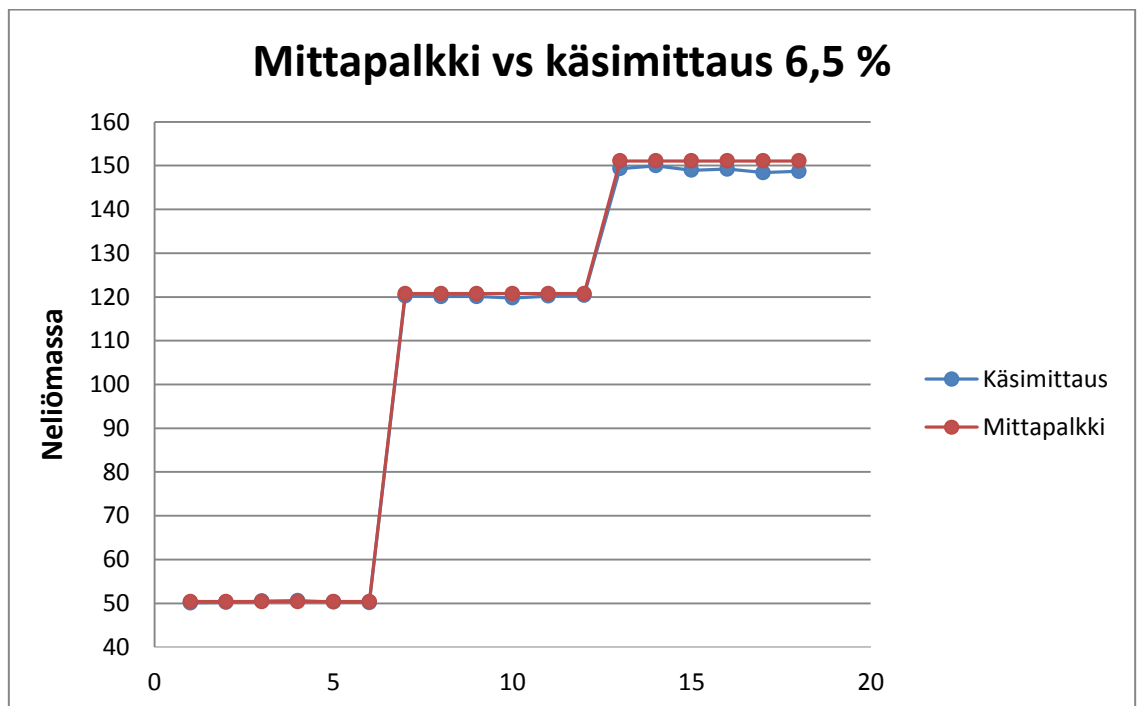
KUVIO 7. Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio 6,5 % paperilla



KUVIO 8. Mittausmenetelmien väliset erot 6,5 % paperilla



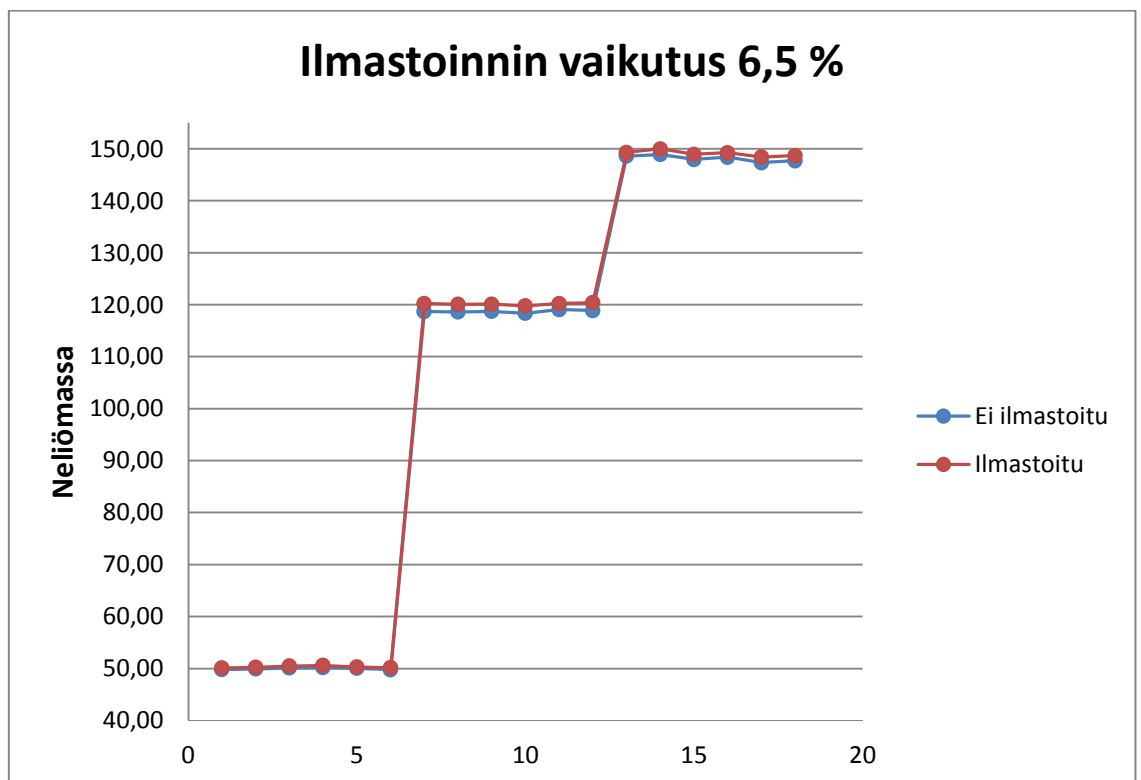
KUVIO 9. Paper Labin ja käsimittausten vertailu 6,5 % paperilla



KUVIO 10. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu 6,5 % paperilla



Näytteiden ilmastointi ei vaikuta matalimpaan testattuun neliömassaan juuri ollenkaan, mutta lähes toisessa ääripäässä olevat korkeammat mitatut neliömassat muuttuivat selvästi ilmastoinnin jälkeen. Keskimääräinen ilmastoinnin vaikutus neliömassaan on  $0,9 \text{ g/m}^2$  ja vaikutus näyttäisi olevan merkittävämpi suurilla kuin pienillä neliömassoilla. (KUVIO 11.)



KUVIO 11. Ilmastoinnin vaikutus 6,5 % paperiin

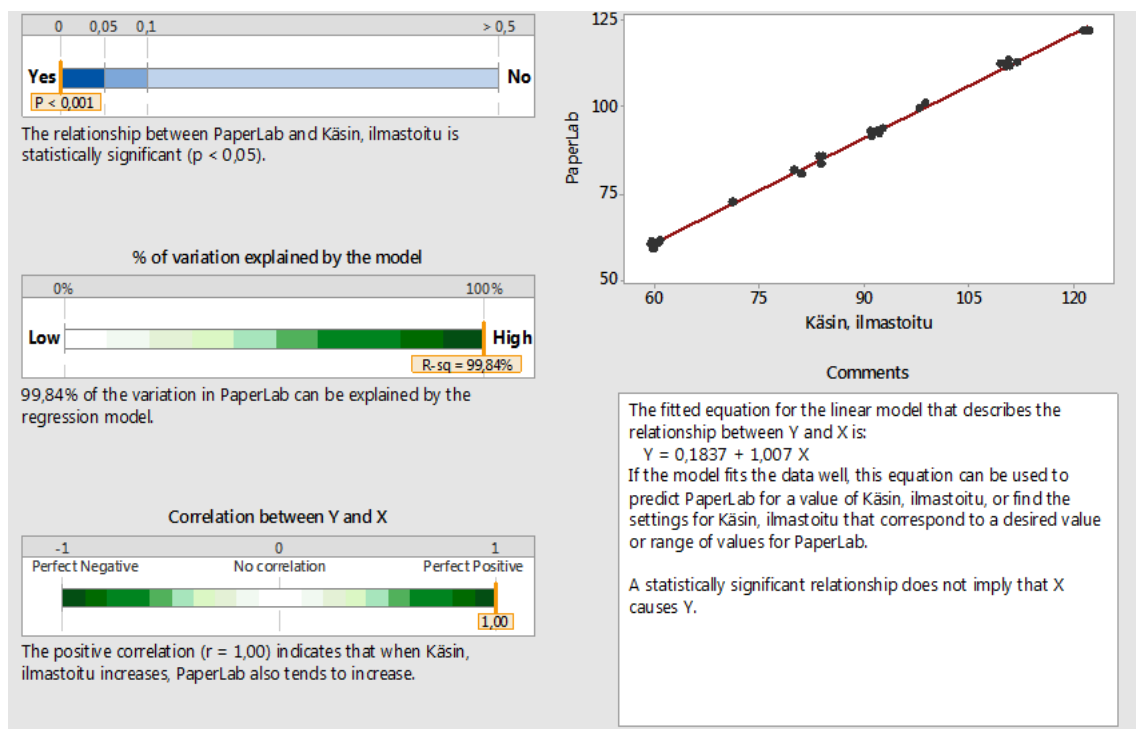
### 7.3 Paperin kosteus 5,2 %

Tämä paperin kosteusalue on kuivin PK1:llä ajettava paperi ja se on aiheuttanut käytännössä eniten ongelmia neliömassamittauksessa. Tämän opinnäytetyön tulokset tukevat tuota käytännön kokemusta. Mittausdataa kertyi tämän

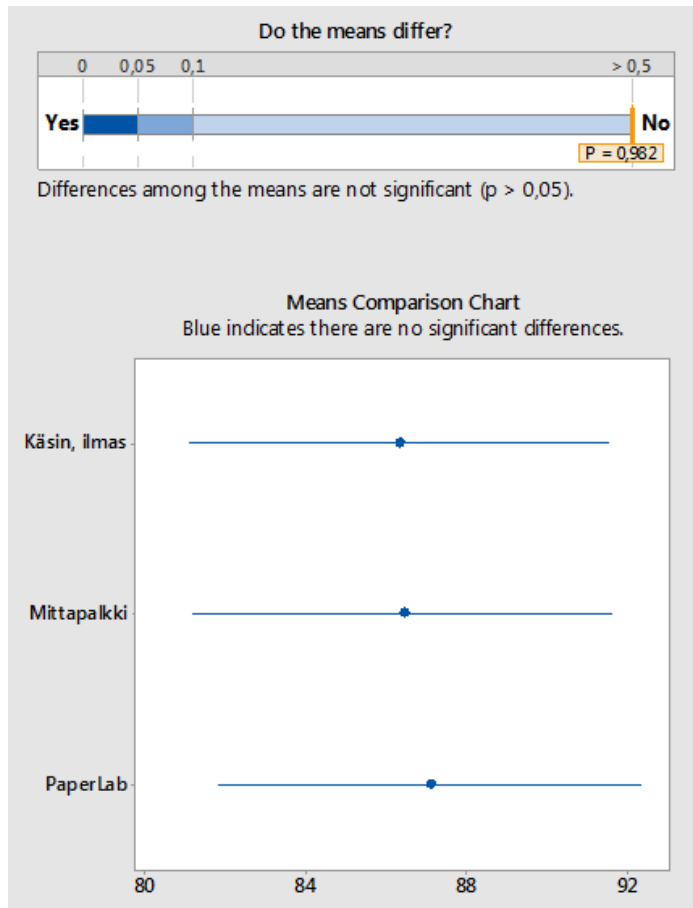
kosteuden omaavista papereista oikein hyvin ja se on kokonaisuudessaan luet-  
tavissa liitteessä 3.

Korrelaatio oli tässäkin tapauksessa vahva Paper Labin ja käsimittausten välillä  
(KUVIO 12), eikä mittausmenetelmillä ollut keskenään havaittavissa merkittä-  
viä tilastollisia eroja (KUVIO 13). Mittapalkin keskimääräinen ero käsimittaus-  
ten kanssa oli erittäin pieni, vain 0,1 g/m<sup>2</sup>, kun taas Paper Labin ero käsimitta-  
uksiin oli keskimäärin 0,8 g/m<sup>2</sup>.

Näytteitä käsitellessäni oli tässä paperin kosteudessa selvästi havaittavissa  
sähköisyyttä muutamissa otetuissa näytteissä, mutta ilmastoinnin jälkeen se  
kuitenkin katosi. Tällainen staattinen sähkö näytteessä voi aiheuttaa virhettä  
mittaustuloksiin, mutta tämän tutkimuksen mittausdataan näitä sähköisiä  
näytteitä osui niin vähän, eikä liioin tuloksissa näyttänyt suuria eroja olevan,  
joten niiden mahdollista vaikutusta ei tässä työssä millään lailla huomioida.

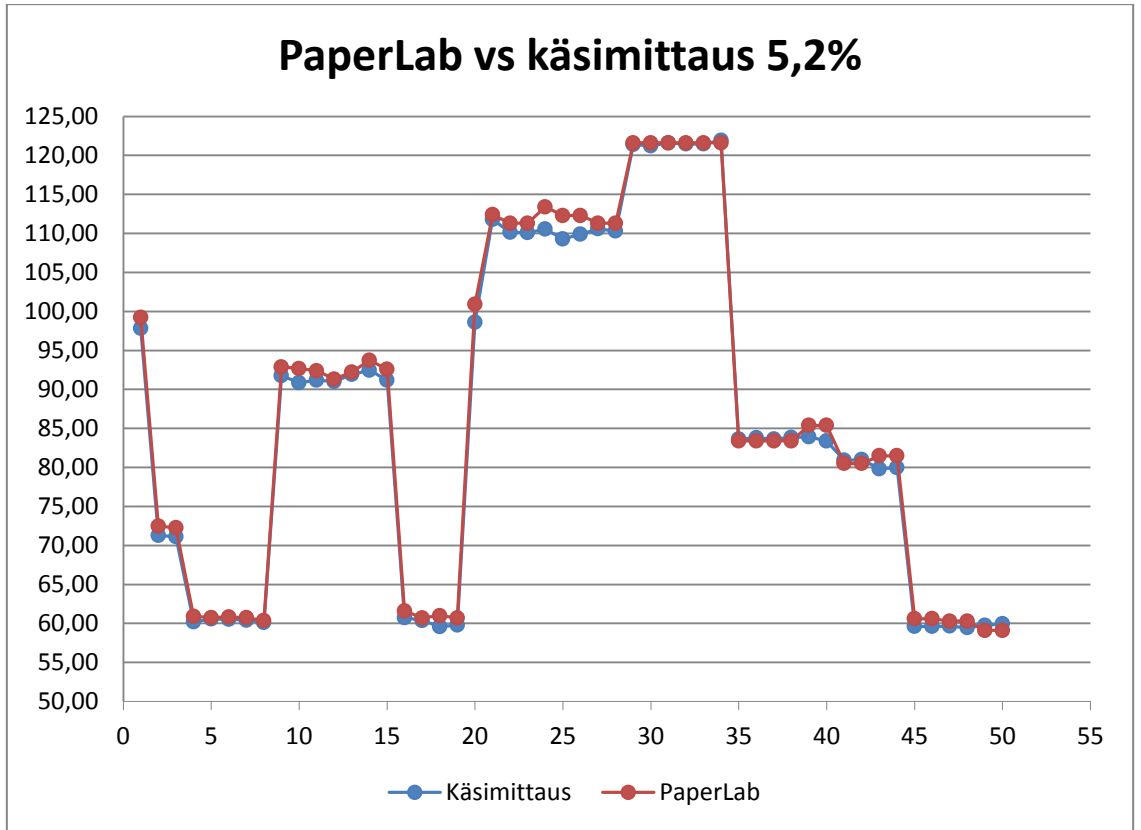


KUVIO 12. Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio 5,2 % paperilla

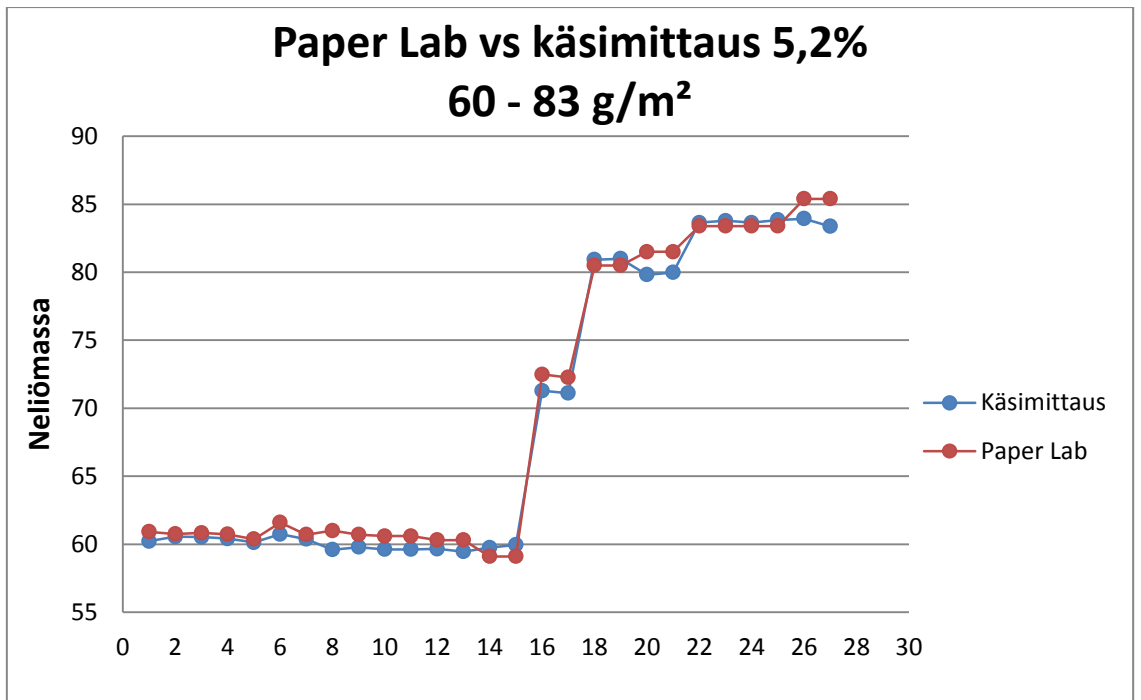


KUVIO 13. Mittausmenetelmien väliset erot 5,2 % paperilla

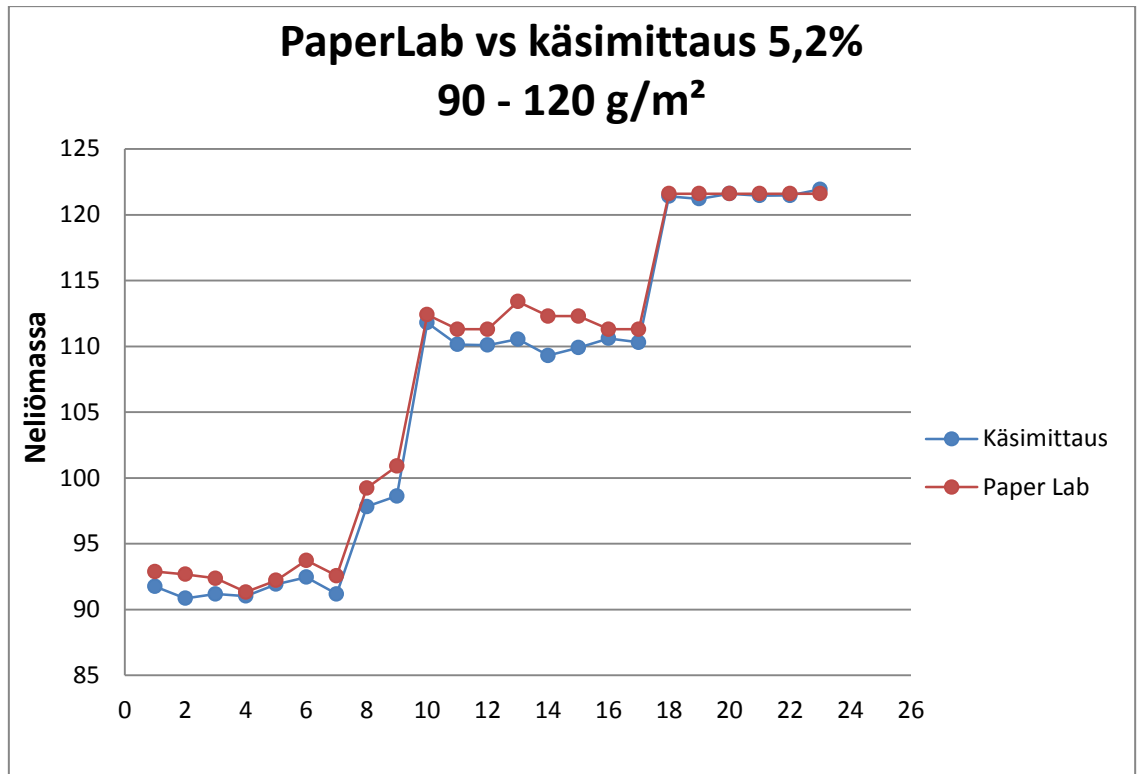
Tämän kosteusalueen mittauksissa on selvästi eroa Paper Labin ja käsimittausten välillä (KUVIO 14). Samaan kuvaajaan sovitettu koko mitatun neliömassa-alueen mittausdata ei niitä kuitenkaan vielä kovin hyvin tuo esille. Jakamalla mittausdata kahteen erilliseen kuvaajaan oli mahdollista saada erot paremmin näkyviin. Kuviossa 15 on nähtävissä erikseen tämän kuivan kosteusalueen kevyemmät mitatut neliömassat, jotka ovat väliltä 60 – 83 g/m<sup>2</sup> ja näissä erot ovat jo selvemmin näkyvissä. Toiseen kuvaajaan on otettu mittausdatasta tämän kosteusalueen korkeammat neliömassat, jotka ovat siis väliltä 90 – 120 g/m<sup>2</sup> (KUVIO 16). Paper Labin antamat neliömassatulokset ovat suurimmaksi osaksi, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, suurempia kuin käsin määritetyt neliömassat.



KUVIO 14. Paper Labin ja käsimittausten vertailu 5,2 % paperilla

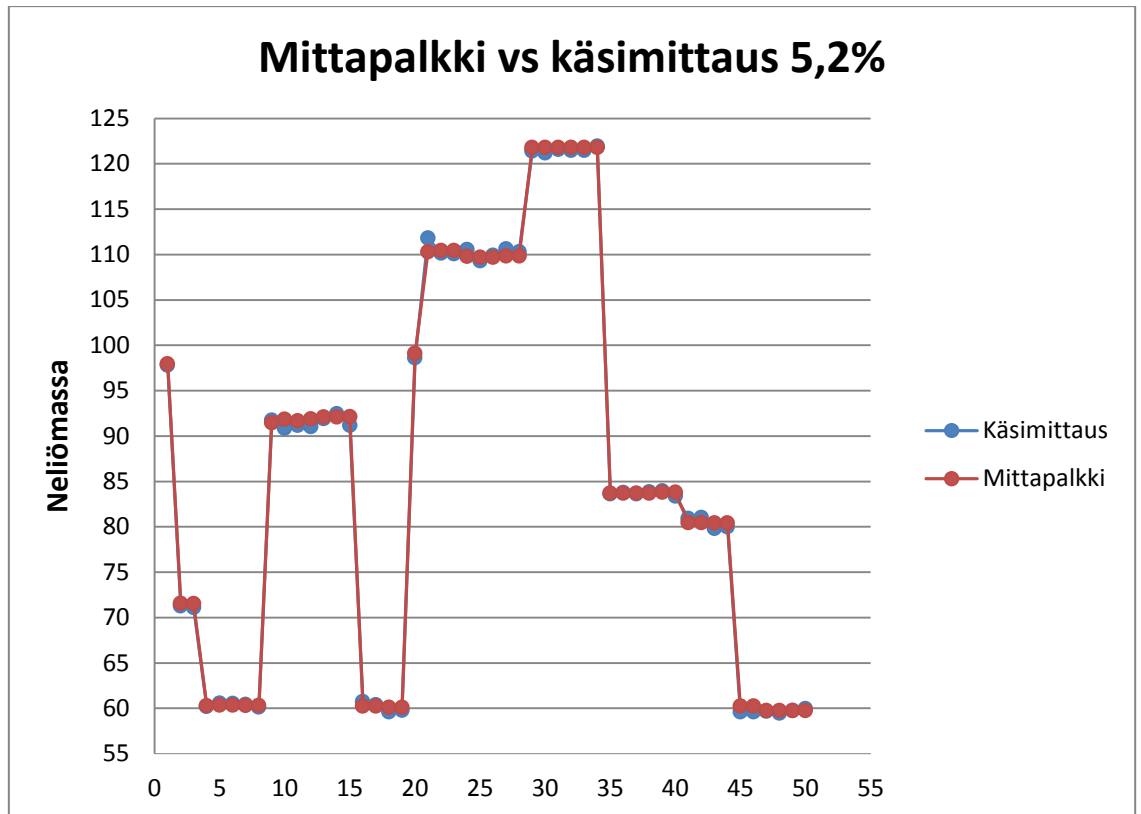


KUVIO 15. Paper Labin ja käsimittausten vertailu alueella 60 - 83 g/m<sup>2</sup>

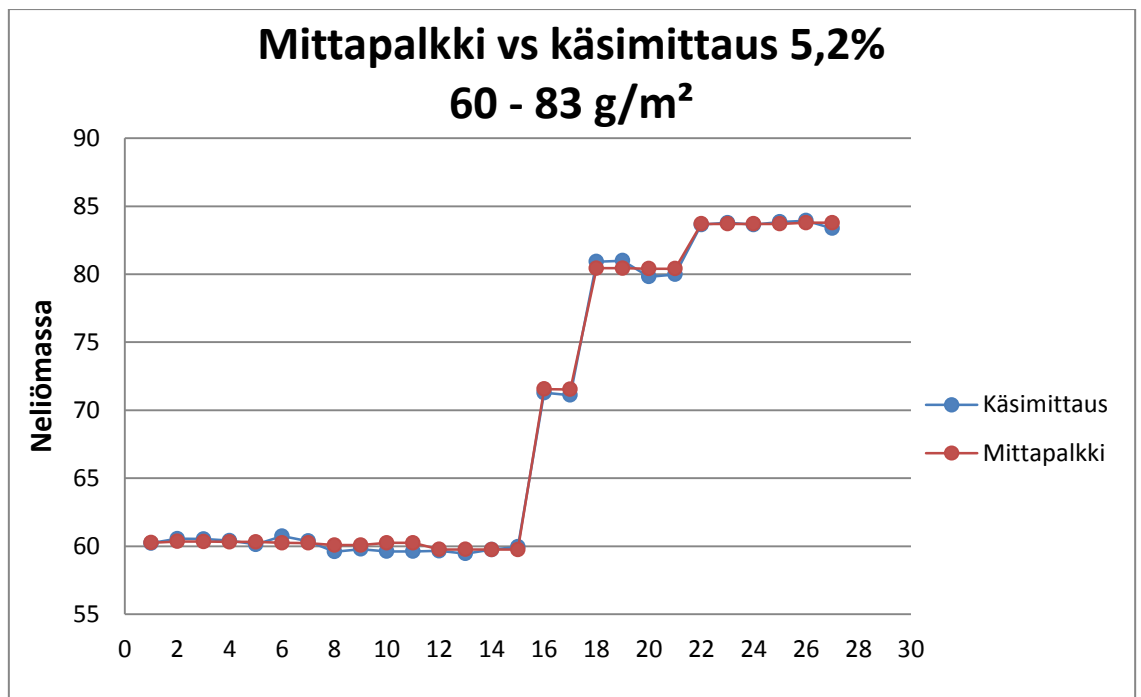


KUVIO 16. Paper Labin ja käsimittausten vertailu alueella 90 - 120 g/m<sup>2</sup>

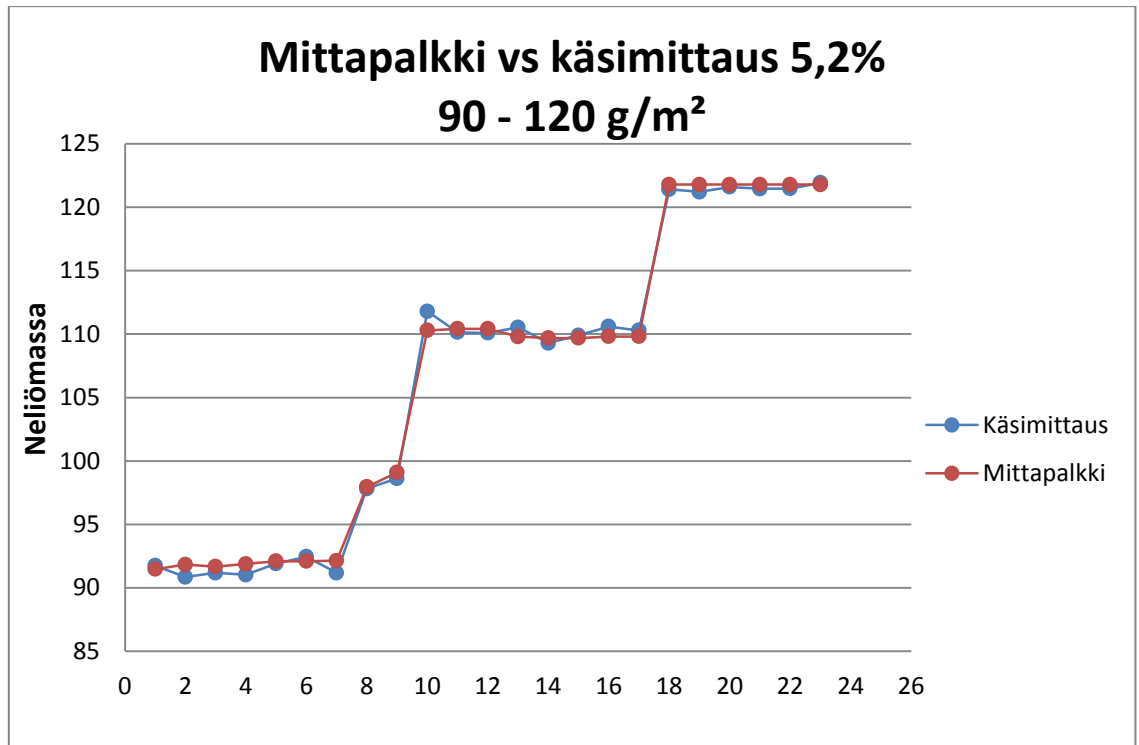
Mittapalkin tuloksia verrattaessa käsin määritettyihin neliömassoisiin on jälleen selvää, että tulokset ovat keskenään hyvin samankaltaiset (KUVIO 17). Käsimittausten tuloksia katsottaessa ne eivät kuitenkaan näytä niin tasaisilta kuin muissa paperin kosteuksissa. Kuviossa 18 on mittausdatasta erotettuna mittaukset 5,2 % paperin käsin määritetyistä neliömassoista 60 – 83 g/m<sup>2</sup> verrattuna mittapalkin vastaaviin tuloksiin. Näissä tuloksissa ei paljoakaan eroja havaittavissa ole. Toiseen kuvaajaan on sijoitettuna mittapalkin mittaamat ja käsimittausten tuloksena saadut neliömassat alueelta 90 – 120 g/m<sup>2</sup>. Näissä korkeammissa neliömassoissa käsin määritettyjen neliömassojen pieni epätasaisuus on jo havaittavissa (KUVIO 19).



KUVIO 17. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu 5,2 % paperilla



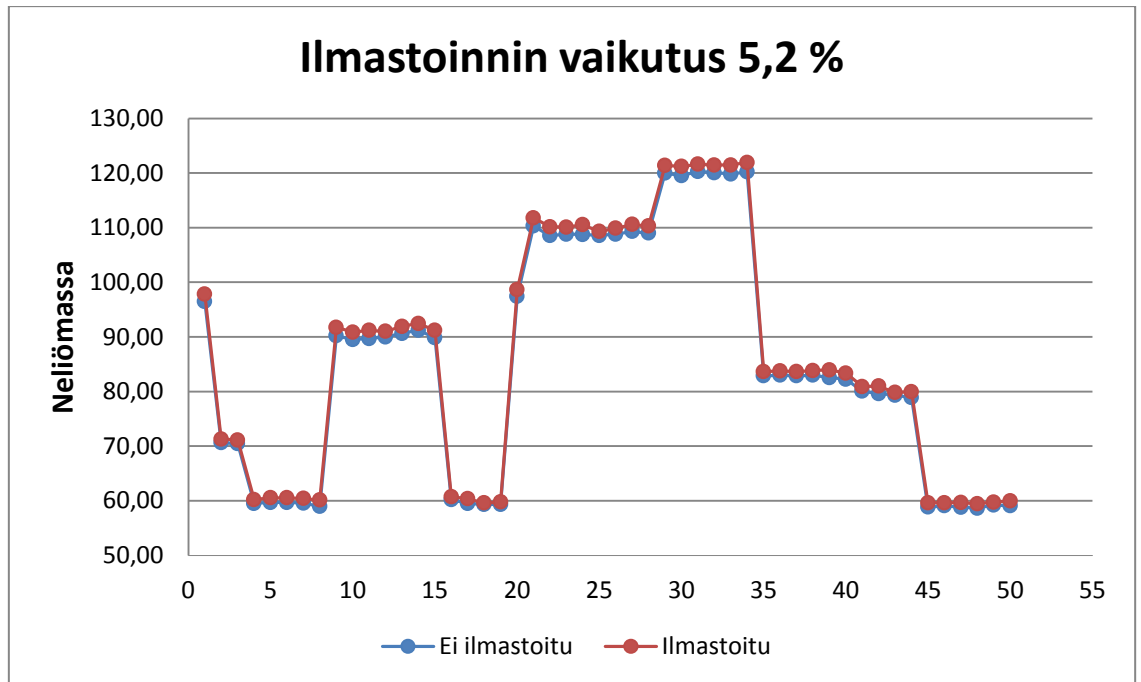
KUVIO 18. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu alueella 60 - 83 g/m<sup>2</sup>



KUVIO 19. Mittapalkin ja käsimittausten vertailu alueella 90 - 120 g/m<sup>2</sup>

Ilmastoinnin vaikutus on tutkituista paperin kosteusalueista suurin tällä 5,2 % paperilla. Keskimääräinen ero neliömassassa ennen ja jälkeen ilmastoinnin on koko kyseisen kosteusalueen mittausdatasta laskettuna 1,1g/m<sup>2</sup>. Tässäkin kosteusalueessa näyttäisi paperin neliömassan suuruus vaikuttavan ilmastoinnin vaikutukseen niin, että neliömassan nousu vaikuttaa korottavasti ilmastoinnin vaikutuksen suuruuteen. (KUVIO 20).

Tällä kosteusalueen 5,2 % paperilla on useissa yksittäisissä mittauksissa havaittavissa huomattavan suuria eroja Paper Labin ja käsimittausten välillä. Näistä eroista merkittävimpiä on kerätty taulukkoon, että nämä erot olisivat paremmin nähtävissä (TAULUKKO 1). Erot saattavat yhtäkkiä vaikuttaa pieniltä, mutta paperin valmistusprosessin kannalta ne ovat kuitenkin merkittäviä.



KUVIO 20. Ilmastoinnin vaikutus 5,2 % paperiin

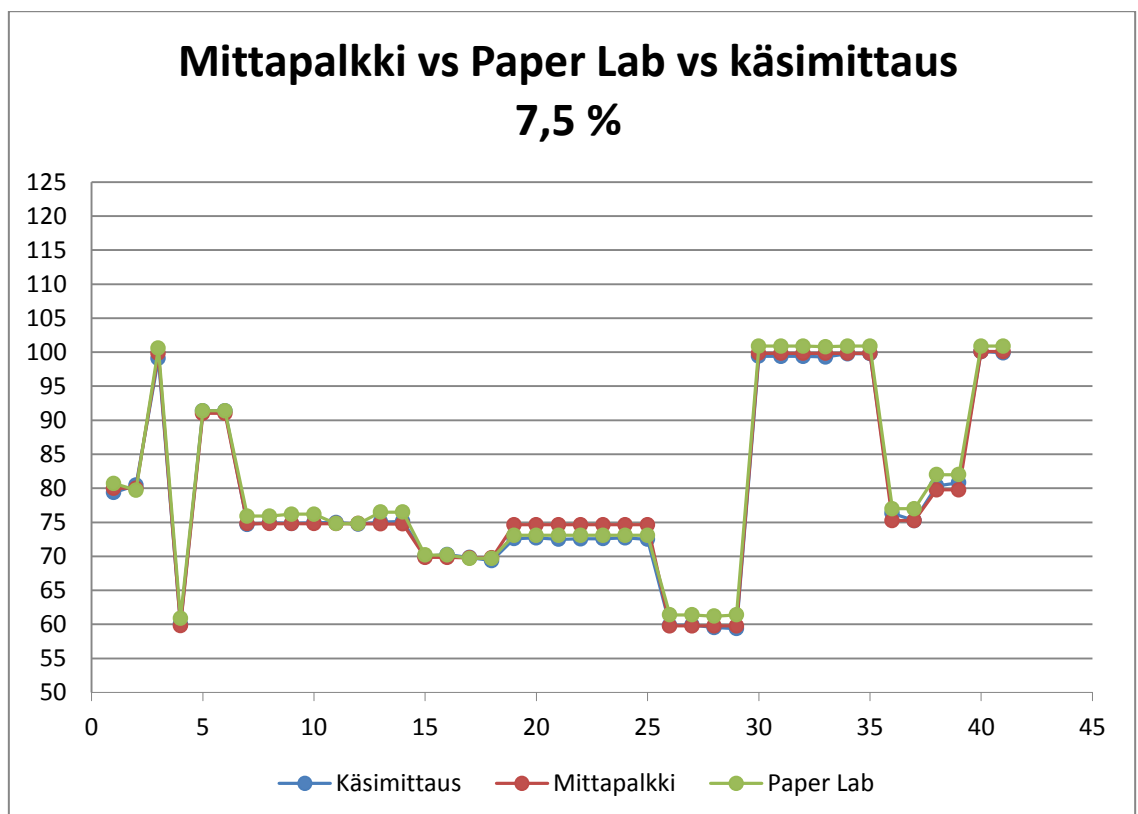
Neliömassa tavoite, g/m <sup>2</sup>	Ero käsin vs PaperLab, g/m <sup>2</sup>
60	1,40
70	1,20
70	1,15
80	1,68
80	1,52
83	1,46
83	2,03
90	1,14
90	1,82
90	1,20
90	1,28
90	1,39
98	1,42
98	2,27
110	1,16
110	1,20
110	2,86
110	3,00
110	2,40
110	1,00

TAULUKKO 1. Paper Lab ja käsimitaus, mittausero 5,2 % paperissa

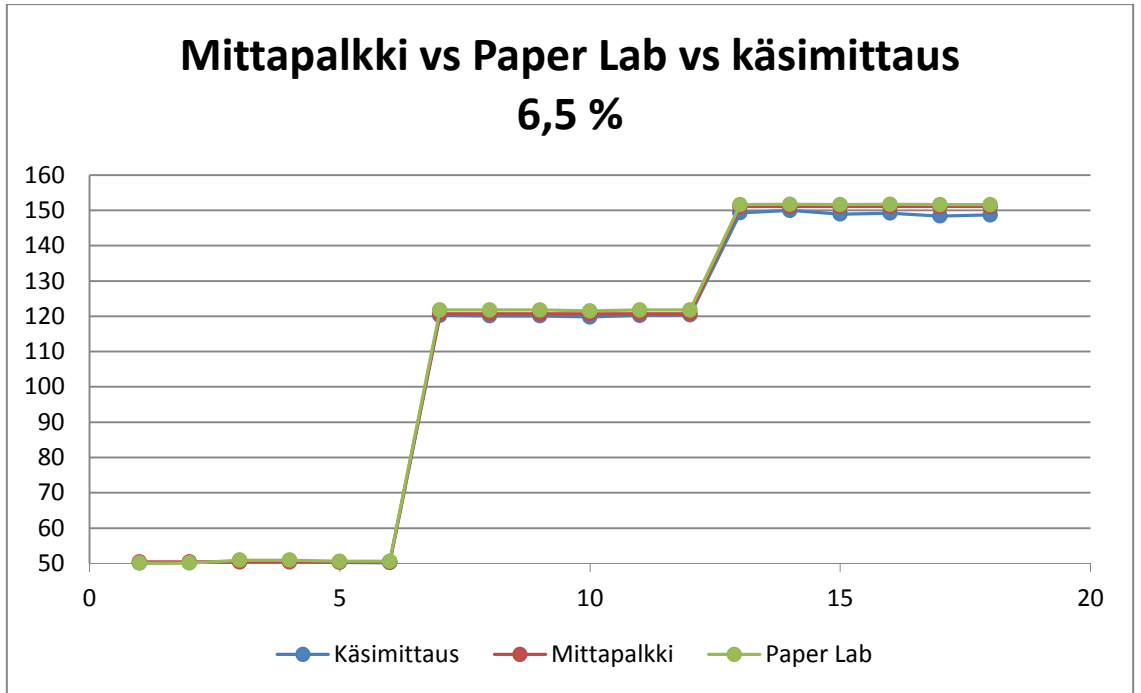


## 7.4 Mittausten yhdenmukaisuus

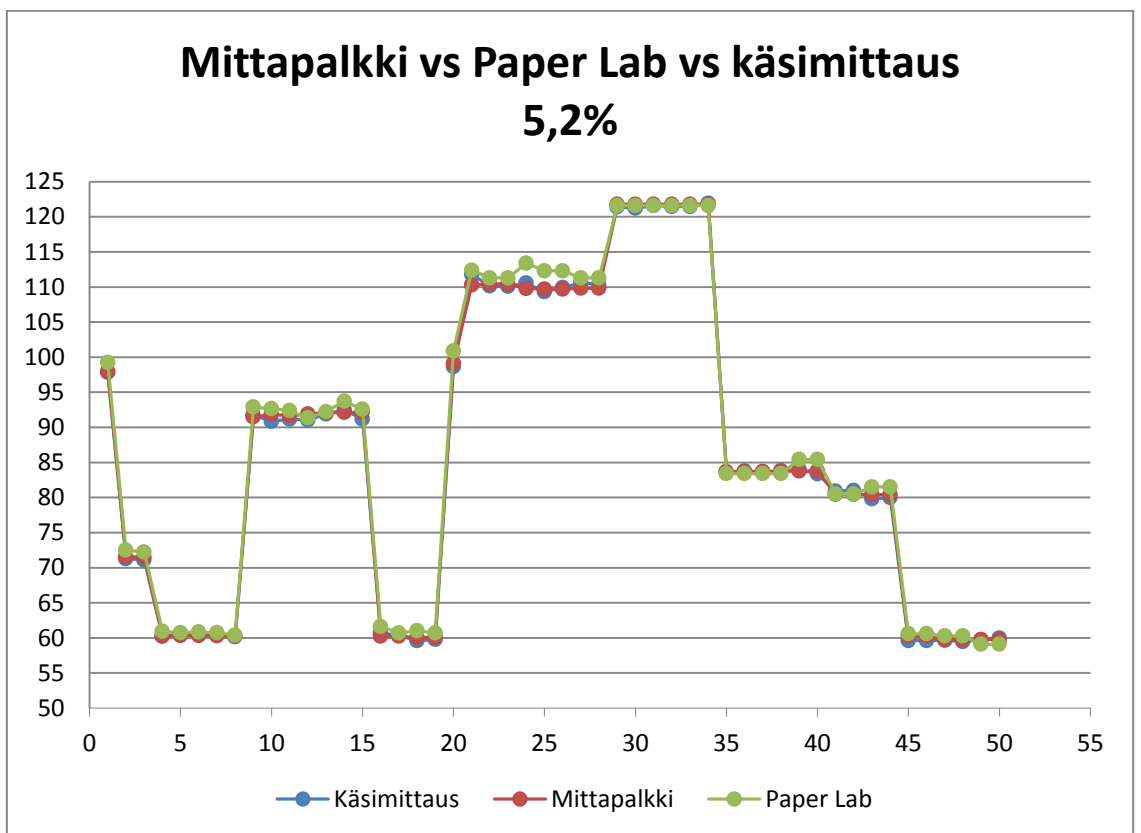
Tarkasteltaessa kuinka hyvin mittausmenetelmät antavat samaa mittaustulosta voidaan huomata kahdessa paperin kosteusalueessa sama kaava. Paper Lab näyttää hieman suurempaa tulosta kuin mittapalkki ja käsin määritetty neliömassa 7,5 % ja 5,2 % kosteuksissa. Poikkeus tuloksessa on 7,5 % kosteudessa tavoiteneliöpainon ollessa 72 g/m<sup>2</sup>, siinä mittapalkki antaa korkeamman tuloksen kuin käsimitaus ja Paper Lab (KUVIO 21). Nämä mittaukset ovat kuitenkin vasta koeajossa olevasta paperilajista tehtyjä, joten tuloksiin ei kannata tässä vaiheessa kiinnittää suurempaa huomiota. Kosteudessa 6,5 % mittaukset menevät hienosti yksiin, lukuun ottamatta 150 g/m<sup>2</sup> paperin hieman pienempiä käsimitaustuloksia (KUVIO 22). Kuvioista 23 nähdään mittausmenetelmien väliset erot neliömassatuloksessa tutkittavan paperin ollessa kosteudessa 5,2 %.



KUVIO 21. Paper Lab & mittapalkki & käsimitaus 7,5 % paperilla



KUVIO 22. Paper Lab & mittapalkki & käsimittaus 6,5 % paperilla



KUVIO 23. Paper Lab & mittapalkki & käsimittaus 5,2 % paperilla

## 8 POHDINTA JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Päällimmäisenä kysymyksenä työtä aloitettaessa oli Paper Labin mittaustulosten luotettavuus neliömassan osalta. Tätä lähdettiin selvittämään tekemällä vertailumittauksia käsin määritetyn neliömassan ja Paper Labin mittaaman neliömassan välillä. Mukaan vertailuun otettiin myös neliömassan online-mittausta tekevän mittapalkin tulokset. Mittapalkin luotettavuutta ei juurikaan epäilty, mutta tämän työn puitteissa voitiin kuitenkin samalla varmistaa senkin toimintavarmuutta ja ennen kaikkea selvittää kuinka lähelle toisiaan näiden kolmen eri mittauksen tuloksen osuvat. Paperin kosteuden ja ilmastoinnin vaikutus neliömassaan oli toinen selvitetävistä asioista. Tämän selvittämiseksi jaettiin testattavat paperilaadut kosteuden mukaan kolmeen ryhmään: 5,2 %, 6,0 % ja 7,5 % ja määritettiin paperin neliömassa ennen ilmastointia, sekä sen jälkeen.

Mittausdataa kerääntyi suhteellisen hyvin, mutta 6,0 % kosteudesta tulokset jäivät saamatta. Kyseisen kosteuksista paperia tuotetaan enää vähän ja nekin vähät ajoittuivat niin, että en saanut niistä mittauksia tehtyä. Työn loppuvaiheilla päätettiin 6,0 % sijasta tehdä mittauksia 6,5 % paperista ja niistä mittauksia sain sen verran, että tuloksista pystyi jo hieman tekemään johtopäätöksiä.

Ilmastoinnin vaikutuksesta saatiin odotetusti selville, että se nostaa paperin neliömassaa ja tämä massan nousun suuruus riippuu paperin lähtökosteudesta. 7,5 % paperilla neliömassa nousi keskimäärin  $0,59 \text{ g/m}^2$ , 6,5 % paperilla vastaava nousu oli  $0,90 \text{ g/m}^2$  ja lähtökosteudeltaan kuivimmalla, eli 5,2 % paperilla neliömassan keskimääräinen nousu oli  $1,07 \text{ g/m}^2$ . Tämä oli jokseenkin odotettavissa oleva tulos, sillä 7,5 % paperi on jo valmiiksi lähimpänä tasapainokosteutta ja 5,2 % paperi kauimpana siitä. 5,2 % kostean paperin täytyy siis imeä

enemmän kosteutta itseensä saavuttaakseen tasapainokosteuden. Paperin paksuudellakin näytti olevan vaikutusta ilmastoinnin vaikutukseen niin, että paksuimmilla papereilla se oli suurempi kuin ohuemmillä papereilla. Vaikka grammoissa mitattaessa ilmastoinnin vaikutus on suurempi paksuilla papereilla, niin suhteutettaessa ilmastoinnin aiheuttama neliömassan nousu paperin tavoiteneliömassaan, voidaan huomata, ettei eroa eri paksuisilla papereilla juurikaan ole.

Näytteiden ilmastointiin vaadittu aika on standardin mukaan neljä tuntia ja käytännössä tätä ei voida paperikoneella toteuttaa, joten käyttöön on otettu aikoinaan tehtyjen tutkimusten jälkeen lyhyemmät ilmastointiajat. Näiden aikojen riittävyys myöhemmin tuotantoon tulleille kuivemmille, paksuille papereille on kuitenkin tulosten valossa hieman epävarmaa ja suosittelen testaamaan niitä. Pienessä mittakaavassa testi on helppo suorittaa määrittämällä neliömassa ensin normaalin käytännön mukaan, ilmastoimalla tämän jälkeen näytteitä vielä lisää ja määrittämällä neliömassa sen jälkeen uudestaan. Mikäli merkittävää poikkeavuutta ei mittausten välillä ilmene, on käytössä oleva ilmastointiaika riittävä.

Paper Labin ja käsimittausten korrelaatio oli kaikissa tapauksissa lähes 100 %, joten toisin sanoen niiden välillä on erittäin vahva lineaarinen riippuvuus. Minitab-ohjelmalla tuloksia analysoidessa kävi selväksi, että mitään tilastollisesti merkittäviä eroja ei Paper Labin, mittapalkin ja käsimittausten väliltä löytynyt. Mittauksia tehdessä kiinnitin kuitenkin huomiota Paper Labin ja käsimittausten eroihin, jotka eivät ehkä vaikuta kovinkaan suurilta, mutta ovat kuitenkin prosessin ja valmistettavan paperin kannalta merkittäviä. Erityisesti silloin kun ajetaan esimerkiksi paperia jonka neliömassan tulee olla  $72 \text{ g/m}^2$  tai  $98 \text{ g/m}^2$  ei ole varaa pieniinkään virheisiin vaan mittareiden tulisi näyttää tulos juuri niin kuin se on. Neliömassa on yksi tärkeistä hallintasuureista paperin valmistus-

prosessissa ja jos sitä ajetaan esimerkiksi tavoitteeseen nähden liian pienenä niin muun muassa lujoustavoitteiden täyttäminen saattaa vaikeutua. Tietenkin myös lopputuote on tässä tilanteessa neliömassaltaan liian pieni ja se taas voi aiheuttaa ongelmia paperin jatkojalostuksessa, puhumattakaan asiakkaan tyytyväisyydestä. Näitä mittausten välisiä eroja havainnollistaakseni lähdin käsittelemään mittausdataa Excel taulukko-ohjelmalla ja sain luotua kuvaajat joista erot on havaittavissa.

7,5 % paperilla oli yhdessä paperilajissa erikoinen tulos, jossa mittapalkki antoi selkeästi suuremman tuloksen kuin käsimittaukset. Eroa oli keskimäärin 2 g/m<sup>2</sup>, mutta nämä testit tehtiin vain yhdestä konerullasta ja kyseessä oli koeajo. En lähtisi tästä vielä tekemään mitään johtopäätöksiä kun ottaa vielä huomioon senkin, että mittapalkki on muuten vastannut käsimittauksia äärimmäisen hyvin.

Tulosten perusteella suosittelisin vielä jatkamaan mittausdatan keräämistä Paper Labin ja käsimittausten väliltä, sekä lisäksi jo harkittavan Paper Labin säätämistä neliömassan osalta. Ainakin kuivimmalle 5,2 % paperille olisi syytä suunnitella Paper Labin viritystä. Hieman yllättäen myös tavallisimman 7,5 % paperin tuloksissa oli paljon poikkeavuuksia ja tämän kosteusalueen mittausseuranta kannattaisikin vielä jatkaa. Näiden tietojen ja tulosten perusteella suositeltavaa olisi miettiä Paper Labin säätöä tällekin paperin kosteudelle. Haasteen säätämislle asettaa tuotettavien paperilajien ja neliömassojen suuri määrä, mutta jatkamalla mittausten keräämistä on mahdollista luoda vielä laajempi ja luotettavampi mittausdata, jonka pohjalta Paper Labin viritys on varmasti mahdollista.

Tällä hetkellä yrityksessä voimassa olevan käytännön mukaan neliömassa tarkastetaan käsin mittaamalla kerran viikossa. Tämä on normaali käytäntönä

mielestäni riittävä, kunhan seurataan, että mittaukset eivät tule aina saman suuruusluokan neliömassasta, vaan pyrittäisiin tekemään mittaukset vaihtelevasti koko tuotettavalta neliömassa-alueelta. Lisäksi olisi suositeltavaa pidentää näytearkkien ilmastointiaikaa kuivemmilla ja paksummilla paperilajeilla, mikäli sillä näyttäisi olevan vaikutusta lopputulokseen. Näytearkkien punnitsemiseen käytettävä vaaka on sijoitettuna pöydälle, joka on alttiina värinälle ja ilmavirtaustakin paikassa on ajoittain havaittavissa. Olisi suositeltavaa siirtää vaaka tukevammalle pöydälle ja sellaiseen paikkaan, jossa olisi mahdollisimman vähän mittausta häiritsevää ilmavirtausta.

Tätä työtä tehdessäni olisin rehellisesti sanottuna voinut toimia tehokkaammin ja järjestelmällisemmin. Nyt aloitin mittausten tekemisen jo ennen kunnollisen tutkimussuunnitelman tekemistä ja teoriaosuutta työstäessäni en aluksi merkinnyt käyttämiäni lähteitä asianmukaisesti, vaan ajattelin hoitavani sen sitten myöhemmin. Kun se myöhemmin sitten tuli, niin siinä olikin melkoinen työmaa. Aivan ensimmäiseksi (mittausten aloittamisen jälkeen) tein sisällysluettelon, jonka sisällön ja rakenteen hahmotteleminen antoi hyvän ohjenuoran koko opinnäytetyöprosessin suorittamiseen, eikä tämä sisällysluettelo matkan aikana paljoa muuttunut. Mittausdatan kerääminen oli haastava, koska siinä täytyi tasapainoilla ajo-ohjelman, koulun, töiden ja vapaa-ajan välillä. Ajo-ohjelmaan en tietenkään voinut millään lailla vaikuttaa, eikä töidenkään laiminlyöminen ollut vaihtoehto. Aikaa täytyi siis nipistää vapaa-ajasta ja koulusta, jota ei onneksi kovinkaan paljoa enää tässä vaiheessa ollut. Siitä huolimatta, että parannettavaakin työskentelyssäni mielestäni oli, niin olen kuitenkin tyytyväinen. Opinnäytetyö olisi tarkoitus olla näyttö osaamisesta ja koulussa opituista asioista, mutta mielestäni tämä opinnäytetyöprosessikin on vielä ollut hyvää oppia tulevaisuutta varten.

## LÄHTEET

BillerudKorsnäs Oy. 2017. Saatavissa: [www.billerudkorsnas.com](http://www.billerudkorsnas.com). Viitattu 20.2.2017.

BillerudKorsnäs Oy. 2016. BillerudKorsnäs Finland and Pietarsaari\_Finnish. Saatavissa: <http://intranet.corp.lan/fi/tyokalut-ja-ohjeita/yhteiset-sivut/viestinta/esitysmateriaalit>. Viitattu 17.2.2017.

BillerudKorsnäs Oy. 12.12.2016. Lehdistötiedote. Saatavissa: <https://www.billerudkorsnas.com/media/press-releases/2016/billerudkorsnas-makes-strategic-investment-in-gruvon>. Viitattu 20.2.2017.

BillerudKorsnäs Oy. 2015. Pietarsaari paper making\_Finnish. Saatavissa: <http://intranet.corp.lan/fi/tyokalut-ja-ohjeita/yhteiset-sivut/viestinta/esitysmateriaalit>. Viitattu 17.2.2017.

Honeywell. 2011. Experion MX. Operators Guide.

HS. 25.8.2015. BillerudKorsnäs lopettaa paperitehtaan Valkeakoskella, kone siirretään Ruotsiin. Saatavissa: <http://www.hs.fi/talous/art-2000002847517.html>. Viitattu 20.2.2017.

Hägglom - Ahnger, U. & Komulainen, P. 2001. Kemiallinen metsäteollisuus 2. Paperin ja kartongin valmistus. 2., tarkistettu painos. Jyväskylä: Gummerus.

Jääskeläinen, A-S. & Sundqvist H. 2007. Puun rakenne ja kemia. Helsinki: Ota-tieto.

Prowledge Oy. 2015. KnowPap 18.0. Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. Saatavissa: <http://www.knowpap.com>. Viitattu 15.4.2017.

SFS-EN ISO 536. Paper and board. Determination of grammage. 2012. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Sjöblom, G. 2016. Henkilökohtainen tiedoksianto, työhönopastus. 9.5.2016. BillerudKorsnäs Oy. Pietarsaari.

Stenman, P-O. 2008a. Toimintaohje. QIP08300. Poikkiratanäytteet.

Stenman, P-O. 2008b. Työohje. QIP08304. Testattujen arkkien ilmastointi.

Stenman, P-O. 2008c. Työohje. QIP08305. Neliömassan määrittäminen.

Tervaskangas, M. 1999. Työohje. QIP03003. Clupak-laite.

Valmet Automation. 2015. Paper Lab asennusohje & käyttäjän käsikirja.

Valmet Automation. 2016. Paper Lab huoltomanuaali. Neliömassamoduuli.

Ylihärsilä, L. 1992a. Hallintaohje. QIP03103. Kosteus.

Ylihärsilä, L. 1992b. Hallintaohje. QIP03105. Neliöpaino.



Neliömassan mittaustulokset 7,5 % paperista.

Tavoite neliömassa	PaperLab	Mittapalkki	Käsin, EI ilmastoitu	Käsin, ilmastoitu
80	80,7	80,0	78,9	79,4
80	79,7	80,0	79,8	80,5
100	100,6	99,8	98,0	99,1
60	60,9	59,8	59,6	60,0
90	91,4	91,0	90,3	91,4
90	91,4	91,0	90,5	91,4
75	75,9	74,8	74,0	74,7
75	75,9	74,8	74,2	74,9
75	76,2	74,8	74,2	74,8
75	76,2	74,8	74,0	74,9
75	74,8	74,8	74,2	75,0
75	74,8	74,8	74,4	74,7
75	76,5	74,8	74,6	75,1
75	76,5	74,8	74,6	75,1
70	70,2	69,9	69,7	70,0
70	70,2	69,9	69,6	70,3
70	69,7	69,8	69,3	69,8
70	69,7	69,8	69,2	69,4
72	73,1	74,6	72,1	72,6
72	73,1	74,6	72,1	72,7
72	73,1	74,6	72,1	72,5
72	73,1	74,6	71,9	72,6
72	73,1	74,6	72,3	72,6
72	73,1	74,6	72,2	72,7
72	73,1	74,6	72,2	72,5
60	61,4	59,8	59,5	59,9
60	61,4	59,8	59,7	59,9
60	61,4	59,8	59,1	59,5
60	61,4	59,8	59,0	59,4
100	100,9	99,8	98,7	99,4
100	100,9	99,8	98,7	99,4
100	100,9	99,8	98,5	99,4
100	100,9	99,8	98,9	99,3
100	100,9	99,8	99,1	99,8
100	100,9	99,8	99,0	99,8
75	77,0	75,3	75,7	76,3
75	77,0	75,3	75,1	75,3
80	82,0	79,8	79,7	80,4
80	82,0	79,8	80,3	80,8
63	100,9	100,1	99,3	100,1
63	100,9	100,1	98,9	99,9

Neliömassan mittaustulokset 6,5 % paperista.

Tavoite neliömassa	PaperLab	Mittapalkki	Käsin, EI ilmastoitu	Käsin, ilmastoitu
50	50,1	50,4	49,8	50,1
50	50,1	50,4	49,9	50,2
50	50,9	50,4	50,1	50,5
50	50,9	50,4	50,2	50,6
50	50,6	50,4	50,1	50,3
50	50,6	50,4	49,8	50,2
120	121,8	120,7	118,7	120,2
120	121,8	120,7	118,6	120,1
120	121,8	120,7	118,7	120,1
120	121,8	120,7	118,4	119,8
120	121,8	120,7	119,1	120,2
120	121,8	120,7	118,9	120,4
150	151,6	151,1	148,6	149,3
150	151,6	151,1	148,9	150,0
150	151,6	151,1	147,9	148,9
150	151,6	151,1	148,4	149,2
150	151,6	151,1	147,3	148,4
150	151,6	151,1	147,7	148,7

Neliömassan mittaustulokset 5,2 % paperista.

Tavoite neliömassa	PaperLab	Mittapalkki	Käsin, Ei ilmastoitu	Käsin, ilmastoitu
98	99,2	98,0	96,5	97,8
70	72,5	71,6	70,6	71,3
70	72,3	71,5	70,4	71,1
60	60,9	60,3	59,5	60,2
60	60,8	60,4	59,7	60,6
60	60,8	60,3	59,7	60,5
60	60,7	60,3	59,6	60,4
60	60,4	60,3	59,0	60,1
90	92,9	91,5	90,2	91,8
90	92,7	91,8	89,5	90,9
90	92,4	91,7	89,7	91,2
90	91,3	91,9	90,0	91,0
90	92,2	92,1	90,6	91,9
90	93,7	92,1	91,2	92,5
90	92,6	92,1	89,9	91,2
60	61,6	60,3	60,2	60,7
60	60,7	60,2	59,5	60,4
60	61,0	60,1	59,3	59,6
60	60,7	60,1	59,4	59,8
98	100,9	99,1	97,4	98,6
110	112,4	110,3	110,3	111,8
110	111,3	110,4	108,5	110,1
110	111,3	110,4	108,8	110,1
110	113,4	109,8	108,8	110,5
110	112,3	109,7	108,6	109,3
110	112,3	109,7	108,8	109,9
110	111,3	109,8	109,3	110,6
110	111,3	109,8	109,0	110,3
120	121,6	121,8	120,0	121,4
120	121,6	121,8	119,5	121,2
120	121,6	121,8	120,3	121,6
120	121,6	121,8	120,1	121,5
120	121,6	121,8	119,8	121,5
120	121,6	121,8	120,2	121,9

(jatkuu)

Neliömassan mittaustulokset 5,2 % paperista. (jatkuu)

83	83,4	83,7	82,9	83,6
83	83,4	83,7	83,0	83,8
83	83,4	83,7	82,9	83,6
83	83,4	83,7	83,0	83,8
83	85,4	83,8	82,5	83,9
83	85,4	83,8	82,3	83,4
80	80,5	80,4	80,1	80,9
80	80,5	80,4	79,6	81,0
80	81,5	80,4	79,3	79,8
80	81,5	80,4	78,9	80,0
60	60,6	60,2	58,8	59,6
60	60,6	60,2	59,1	59,6
60	60,3	59,8	58,8	59,7
60	60,3	59,8	58,6	59,5
60	59,1	59,8	59,2	59,8
60	59,1	59,8	59,1	60,0