



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KUUMAILMASAUMAUS LABORATORIOSSA JA TUOTANNOSSA

Juuso Seppälä

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2019  
Biotuote- ja prosessitekniikka  
Biotuotetekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikka  
Biotuotetekniikka

SEPPÄLÄ, JUUSO:

Kuumailmasaumaus laboratoriossa ja tuotannossa

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Marraskuu 2019

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla ISLA<sup>®</sup>-kuumajuomakuppien kartongin saumautumista laboratorion kuumailmasaumauslaitteen ja asiakkaan kuppikoneen välillä. Vertailulla pyrittiin löytämään parametrit, jotka korreloivat mahdollisimman hyvin asiakkaan saumaustulosten kanssa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa on käsitelty kuppikartonkia, sen rakennetta ja vaatimuksia. Lisäksi osuudessa on perehdytty saumaukseen ja erilaisiin saumausmenetelmiin. Teoriaosuudessa on myös käsitelty barrier-ominaisuuksia ja kartongin päällystämiseen käytettäviä materiaaleja.

Kokeellisen osuuden saumaustestit toteutettiin muokkaamalla laboriokoneen eri saumausparametreja ja kustakin koepisteestä otettiin 15 rinnakkaisnäytettä. Saumojen lujuutta testattiin laboratoriossa repäisemällä saumatut kartongit irti toisistaan ja näytekappaleista mitattiin kuiturepeämän pituus. Pituuden mukaan saumalle annettiin arvosteluasteikon mukainen arvosana. Testejä tehtiin eri neliömassaisille ja erilaisilla päällystysmenetelmillä valmistetuille kartongeille. Saumaustesteissä käytetyt kartongit oli valmistettu kahdessa koeajossa, ensimmäisessä koeajossa käytettiin A toimittajan barrier-päällystettä ja toisessa B toimittajan barrieria.

Kokonaisuudessaan testejä voidaan pitää onnistuneina. Testien tuloksena parhaiten kuppikoneen tuloksia vastasi puhallusviiveen laskeminen laboratorion saumauslaitteella 0,7 sekuntiin vakioarvosta 1,24 sekuntia, tällöin korrelaatiokertoimeksi saatiin 0,98. Myös saamaaminen lämpötilalla 200 °C antoi hyvän korrelaatiokertoimen, 0,97. Lämpötilan ollessa 200 °C ongelmana oli kuitenkin rinnakkaisnäytteiden tulosten suuri hajonta. Tutkimusta aiotaan jatkaa muuttamalla useampaa parametria yhtä aikaa, jolloin voidaan saada aikaan vielä parempi korrelaatio. Myös puhallusviiveen testaaminen 0,5-0,9 sekunnin väliltä voisi parantaa hieman korrelaatiota.

---

Asiasanat: barrier, kartonkikuppi, kuppikone, kuumailmasaumaus

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Bioproduct and Process Engineering  
Bioproduct Engineering

SEPPÄLÄ, JUUSO:

Hot Air Sealing in The Laboratory And in Production

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 5 pages  
November 2019

---

The target of this thesis was to compare the sealing of the ISLA<sup>®</sup> barrier board in a laboratory hot air sealer and the customer's cup machine. The purpose of the comparison was to find parameters that correlated as closely as possible with the customer's sealing results.

The theory part of the thesis deals with the structure and requirements of the board used in the cups. In addition, the section focuses on sealing and various sealing methods. The theory section also deals with the barrier properties, board coating materials and coating methods.

In the experimental section, sealing tests were performed by modifying the various sealing parameters of the laboratory machine and 15 replicates were taken from each test point. The strength of the seams was tested in the laboratory by tearing off the seamed cartons, and the length of the fiber rupture was measured from the each sample. Depending on the length, the seam was given a grade on the rating scale. Tests were performed for cartons of different basis weights and different coating methods. The cartons used in the sealing tests were made in two test runs, the first running includes supplier A barrier coating and the second supplier B barrier coating.

The tests show that, the best result was obtained by decreasing the blast delay to 0,7 seconds from 1,24 seconds on the laboratory machine. When the blast delay was decreased the correlation coefficient was 0,98. Also the sealing at 200 °C gave a good correlation coefficient, 0.97. However, at 200 °C, the problem was the large dispersion between the replicate samples. The research will be continued by changing several parameters at the same time, which aims to get an even better correlation. Also, testing the blow delay between 0.5-0.9 seconds could improve the correlation slightly.

---

Key words: barrier, paperboard cup, cup machine, hot air sealing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KUPPIKARTONKI.....	7
2.1	Yleistä .....	7
2.2	Kartongin valmistus ja rakenne .....	7
2.3	Kartonkikupin muodostus.....	9
2.4	Kuppien valmistajat .....	10
2.5	Laadunvalvonta ja testaus .....	11
2.6	Markkinat ja tulevaisuus .....	11
2.7	Vaatimukset .....	11
3	SAUMAUS JA SAUMAUSMENETELMÄT .....	12
3.1	Kuumasaumautuvuus ja siihen vaikuttavat parametrit .....	12
3.2	Kuumailmasaumaus .....	13
3.3	Kuumapalasaumaus .....	14
3.4	Ultraäänisaumaus .....	15
4	BARRIER-OMINAISUUDET JA KARTONGIN PINNOITUS .....	16
4.1	Barrier-ominaisuudet .....	16
4.2	Ekstruusiopäällystys .....	16
4.3	Dispersiopäällystys .....	17
4.4	Pinnoitemateriaalit .....	18
5	KOKEELLINEN OSUUS .....	20
5.1	Tarkoitus .....	20
5.2	Laboratorion kuumailmasaumauslaite .....	20
5.3	Kuiturepeämän testaus .....	21
5.4	Testaus .....	22
6	TESTAUS TULOKSET .....	25
6.1	Kuppikoneen testitulokset.....	25
6.2	Laboratorio- ja kuppikonetestitulosten vertailu .....	26
6.3	Hajonta.....	31
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	33
	LÄHTEET .....	36
	LIITTEET .....	38
	Liite 1. Vakioajoparametrien mittaustulokset .....	38
	Liite 2. Puhallusviiveen mittaustulokset .....	39
	Liite 3. Puristusajan mittaustulokset .....	40
	Liite 4. Lämpötilan mittaustulokset.....	41
	Liite 5. Puristusvoiman mittaustulokset .....	42

**ERITYISSANASTO**

Adheesio	Päällysteen kiinnipysyminen
Aggregaatio	Yhteen liittyminen
Barrier	Estokyky
Dispersiopäällystys	Päällystysmenetelmä
Ekstruusioapäällystys	Muovipäällystys
HD-PE	Korkeatiheyksinen polyeteeni
LD-PE	Matalatiheyksinen polyeteeni
MFC	Mikrokuituselluloosa
On-line päällystys	Päällystetty paperi- tai kartonkikoneella
PHA	Polyhydroksialkanoaatti
PLA	Polyaktidi
SBS	Valkaistu sulfaattisellu

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Kotkamills Oy. Kotkamills Oy on suomalainen metsäteollisuusyritys, joka on kehittänyt muovittoman ISLA<sup>®</sup>-elintarvikekartongin. Tuote on kehitetty hyvän kysynnän ja parempien kierrätettävyys ominaisuuksiensa johdosta. Lisäksi tulevaisuuden lainsäädännölliset muutokset ohjaavat kuluttajia muovittomien tuotteiden suuntaan. Tässä opinnäytetyössä pyritään löytämään ISLA<sup>®</sup>-kuumajuomakupin sivusaumalle optimaaliset saumausparametrit Kotkamills Oy:n laboratorion saumauslaitteen ja asiakkaan kuppikoneen välille. Työn tavoitteena on saada parempi ennustettavuus saumaustuloksista jo kartongin olleessa tehtaalla.

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään kuppikartongin rakennetta, valmistusta ja tarkastellaan erilaisia kuppikartongin valmistukseen käytettäviä koneita. Teoriaosassa käsitellään myös kuumasaumauksen teoriaa, kuumasaumautuvuutta ja erilaisia kuumailmasaumausmenetelmiä. Lisäksi teoriaosassa käsitellään kartongin eri ominaisuuksia sekä barrier-päällysteitä.

Kokeellisessa osuudessa vertaillaan laboratorion kuumailmasaumauslaitteen ja asiakkaan kuppikoneiden välistä korrelaatiota, pyrkien löytämään ennustettavuus koneiden saumaustulosten välille. Työssä tehdään useita koeajoja sekä tuotannossa että tehtaalla laboratorion kuumailmasaumauslaitteella. Lisäksi työssä kommunikoidaan asiakkaan kanssa parhaan lopputuloksen saamiseksi. Viimeisimpänä työssä analysoidaan koeajoista saatuja mittaustuloksia sekä tarkastellaan erilaisia vaihtoehtoja parhaan lopputuloksen saamiseksi.

## 2 KUPPIKARTONKI

Osiassa käsitellään kuppikartongin valmistusta ja sen rakennetta. Lisäksi tarkastellaan lähemmin kupin muodostusta, kuppikoneita ja kupeilta vaadittavia ominaisuuksia. Osiassa sivutaan myös kuppikartongin markkinoita ja kuppikartonkia koskevaa lainsäädäntöä ja sitä mihin suuntaan lainsäädäntö on menossa.

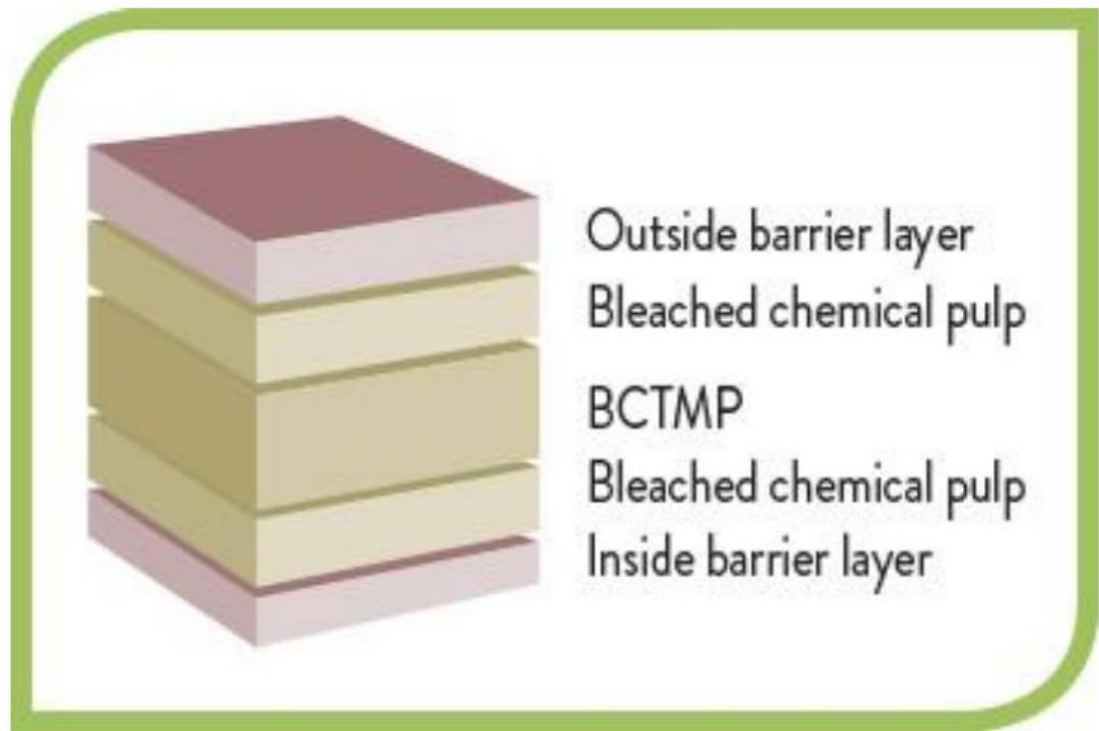
### 2.1 Yleistä

Kartonkikupit jaotellaan kylmäjuomapikareihin (ISLA<sup>®</sup> Icy) ja kuumajuomapikareihin (ISLA<sup>®</sup> Duo). Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään kuumajuomakuppien valmistukseen. Kuumajuomapikareista on tarkoitus nauttia kuumaa juomaa, kuten teetä tai kahvia. Kuumajuomapikarit ovat tilavuudeltaan 100-250 ml. Kylmäjuomapikareista sen sijaan on tarkoitus nauttia virvoitusjuomia, joihin voidaan lisätä esimerkiksi jääpaloja, ne myös eroavat kuumajuomapikareista tilavuudeltaan. Kylmäjuomapikarien yleisimmät koot ovat 0,25 l, 0,4 l ja 0,5 l. (Karhuketo ym. 2000, 177-178.)

### 2.2 Kartongin valmistus ja rakenne

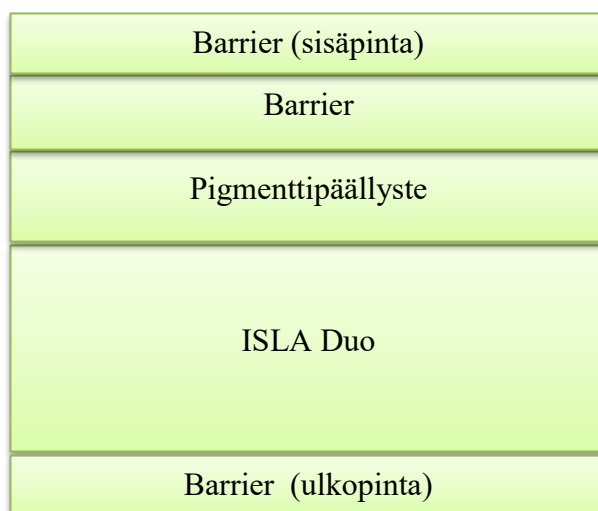
ISLA<sup>®</sup> Duo kuppikartonki on valmistettu dispersiopäällystystä käyttäen ja se on nelimassaltaan 160-325 g/m<sup>2</sup>. Kartonki koostuu kolmesta pääkerroksesta pinta-, keski- ja pohjakerroksesta. Lisäksi kartongin ulko- ja sisäpinnalla on barrier-päällystys. (Kotkamills, 2018.)

Kartongin pintakerros eli painopinta on valmistettu valkaistusta sulfaattisellusta (SBS), jotta painopinnasta saadaan mahdollisimman vahva ja tasainen parhaan mahdollisen painojäljen saamiseksi. Näitä tekijöitä parantaa myös pintakerroksen päällystys. Pintakerrokselta edellytetään myös korkeaa vaaleutta, jonka takia se on valkaistu (Joukio & Mansikkamäki, 1998, 217). Keskikerros on valmistettu valkaistusta kemikuumahierteestä. Sen tehtävänä on antaa kupille mahdollisimman hyvät mekaaniset ominaisuudet, kuten lujuutta ja jäykkyyttä. Pohjakerros on pintakerroksen tapaan valkaistua sulfaattisellua. Kerrokselta halutaan hyviä barrier-ominaisuuksia sekä vaaleutta. (Knowpap a.)



KUVA 1. Kartongin rakenne (Kotkamills, 2018)

Kartongin pinnoille tulevat barrier-kerrokset muodostetaan verhopäällystystä ja filminsiirtopäällystystä käyttäen. Sisäpinnalle tulevat kaksi päällimmäistä kerrosta muodostetaan verho- ja pigmenttipäällystyksellä. Ulkopinnan barrier-kerros muodostetaan filminsiirtopäällystyksellä. Kerrokset on havainnollistettu kuvassa 1. (Kotkamills, 2018)



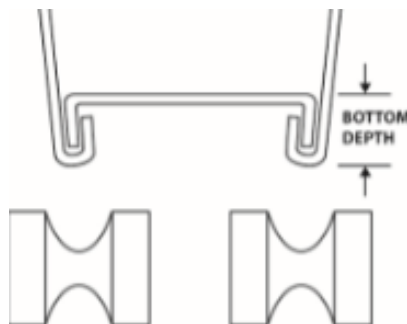
KUVA 2. Barrier-kerrokset (Kotkamills, 2018, barrier-määrät salattu)



### 2.3 Kartonkikupin muodostus

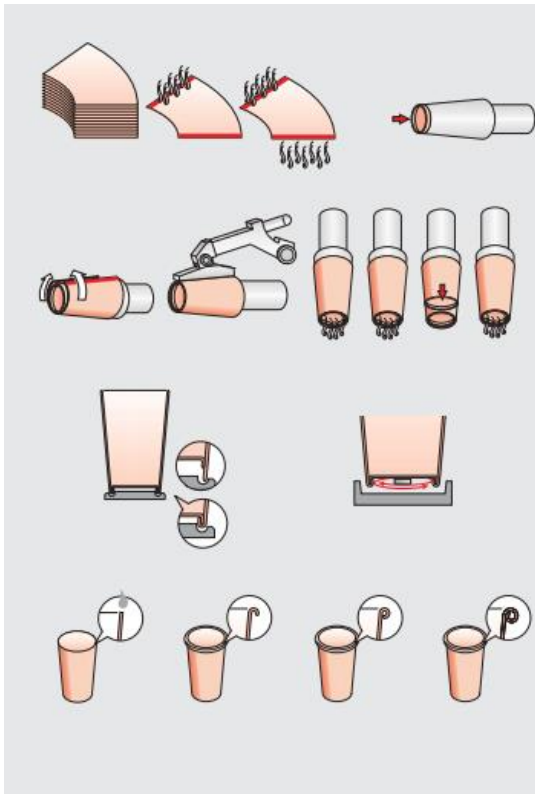
Kuppikartonki on yleensä valmiiksi pinnoitettu kartonkitehtaalla, mutta joissakin tapauksissa kuppivalmistajat pinnoittavat kartongin. Kartongit toimitetaan kupinvalmistajille rullina. Ennen kupin muodostusta kuppiaihioihin tehdään aina painatus. Euroopassa kuppien painatukseen käytetään yleisimmin fleksopainatusta, kun vastaavasti Aasiassa suosittu painatusmenetelmä on syväpaino. Kotkamillsin kartonkikuppeihin käytetään pääasiassa flekso- ja offsetpainatusta, mutta myös jonkin verran digitaalista painatusta (Hakkila, 2019). Painatuksen jälkeen aihiot stanssataan eli leikataan oikeaan muotoonsa. (Karhuketo ym. 2000, 178-179.)

Kokoonpano alkaa käärimällä vaippa käärintätuurnan eli vaipan muotin ympärille. Sen jälkeen saumataan sivusauma. Sivusauman saumaukseen on käytettävissä erilaisia menetelmiä: kuumailma-, ultraääni- ja liekkisaumaus ovat näistä yleisimpiä. Kun sivusauma on saumattu, aihioon kiinnitetään pohja. Vielä kiinnittämättä olevaa pohjaa nostetaan ylöspäin ja vaipan pinnoitetta vaipan alareunan kohdalta lämmitetään kuuman ilman avulla. Tämän jälkeen pohja painetaan tuurnan avulla paikalleen. Tämän jälkeen vaipan alareunat taitetaan tiimalasin muotoisia paloja käyttäen. Tämä on havainnollistettu kuvassa 3. (Paper Machinery Corporation, n.d.)



KUVA 3. Vaipan alareunojen taitto (Paper Machinery Corporation, n.d)

Pohjan alle taitetut reunat käsitellään vielä painamalla reunoja yhteen kuvioitua palaa käyttäen. Suurullan muodostamiseen tarvitaan voiteluainetta, lämpöä ja painetta. Voiteluainetta levitetään vaipan yläreunaan ja sen jälkeen reuna lämmitetään. Tämän jälkeen yläreunaa painetaan ylhäältä päin, jolloin reunat painuvat rullalle (Paper Machinery Corporation, n.d). Kuppiin voidaan lopuksi kiinnittää tilauksen mukaan korva. (Karhuketo ym. 2000, 179.) Kupin muodostus on esitettyä kuvassa 4.



KUVA 4. Kupin valmistus (Hörauf a)

## 2.4 Kupprien valmistajat

Paper Machinery Corporation on yksi maailman johtavista kartonkisten pakkausratkaisujen valmistajista. Yrityksellä on koneita monien eri pakkausratkaisujen valmistukseen (Papermc, 2019). Kartonkikupprien valmistukseen yrityksellä on PMC 1003 –kuppikone. PMC 1003 on yksi markkinoiden nopeimmista kupinvalmistuskoneista. Se pystyy valmistamaan 330 kuppia minuutissa, joka tarkoittaa viittä kuppia sekunnissa. Kone soveltuu sekä muovi- että kartonkikupprien valmistukseen. PMC:n kuppikoneella pystyy valmistamaan 89 ml vetoisista kupeista 950 ml vetoisiin kuppeihin (Paper Machinery Corporation, n.d.)

Paper Machinery Corporationin ohella suuri kuppivalmistaja on Hörauf. Höraufin BMP 300 –kone pystyy valmistamaan 330 kuppia minuutissa. Hörauf tarjoaa koneita erilaisten kartonkipakkausratkaisujen valmistukseen (Hörauf b, 2018). Viime vuosina alalle on tullut myös paljon aasialaisia ja etenkin kiinalaisia toimijoita, joiden tuotantokapasiteetti on huomattavasti pienempi kuin suurten toimijoiden. Etuna heillä on kupprien kustomoitavuus.

## 2.5 Laadunvalvonta ja testaus

Ennen käyttöönottoa, materiaaleja testataan useimmiten pistokoemaisesti. Kupeista testataan esimerkiksi suurullan muotoutumista, korvan kiinnipysymistä, puhtautta, painatukseen laatua sekä sivusauman ja pohjan kuiturepeämää. Kupeille tehdään vuototestejä, joissa kuumajuomakupeille käytetään nesteenä kuumaa kermakahvia ja vastaavasti kylmäjuomakupeille huoneenlämpöistä vettä. (Karhuketo ym. 2000, 179.)

## 2.6 Markkinat ja tulevaisuus

Future Market Insights'in tutkimuksen mukaan kertakäyttökuppien suurimmat markkina-alueet ovat Pohjois-Amerikka, Länsi-Eurooppa ja Aasia. Kertakäyttökuppien markkina-arvon odotetaan olevan 8,4 miljardia Yhdysvaltain dollarin luokkaa vuonna 2019. Vuotuisen kasvuprosentin arvioidaan olevan noin 4 % luokkaa vuosien 2018-2027 välillä. Kertakäyttökuppien odotetaan menevän ympäristöystävällisempään suuntaan. Kuppien kierrätettävyys paranee ja PE-pinnoitteelle keksitään uusia, korvaavia, biohajoavia vaihtoehtoja. Tutkimuksen mukaan yksi näistä on Bio-PE. Kuumajuomakuppien ilmataskullisen kaksikerrosrakenteen odotetaan yleistyvän, sillä se vähentää kuluttajia ottamasta kahta kuppia yhden sijaan. Kuumajuomakuppien osuus on noin 60 % kertakäyttökuppeista. Tutkimuksen mukaan kuppeihin lisätään myös älykkäitä toimintoja tulevaisuudessa, QR-koodit yleistyvät ja esimerkiksi Huhtamäki Oyj on kehittänyt uudenlaisen Adtone-kupin. Kupissa on merkki, joka indikoi kuuman juoman lämpötilaa kupissa. (Consulting Industry News, 2019.)

## 2.7 Vaatimukset

Kuppikartonki on elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa oleva tuote, joten se on valmistettava neitseellisestä kuidusta. Kuppikartongin valmistukseen käytetään valkaistua selukarttonkia (SBS). Kartongista ei myöskään saa irrota elintarvikkeeseen selvästi vierasta makua, hajua tai väriä (Knowpap a). Euroopan parlamentti hyväksyi joulukuussa 2018 aloitteen kieltää osan kertakäyttömuovituotteista. Näihin lukeutuvat aterimet, lautaset, pillit ja mukit. Tämä ohjaa kuluttajia tulevaisuudessa käyttämään muovisten kertakäyttötuotteiden sijaan uusiutuvista materiaaleista valmistettuja tuotteita. Yhtenä EU:n muovi-strategian tavoitteena on, että vuoteen 2030 mennessä kaikki EU:ssa myytävät pakkaukset olisivat joko kierrätettäviä tai uudelleen käytettäviä. (Euroopan parlamentti, 2018.)

### 3 SAUMAUUS JA SAUMAUSMENETELMÄT

Tässä osiossa käsitellään saumausta ja miten sitä hyödynnetään kartonkikuppien valmistuksessa. Osiossa esitetään myös erilaisia saumausmenetelmiä, joista opinnäytetyön kannalta merkityksellisin on kuumailmasaumaus. Lisäksi käsitellään tarkemmin kartongin pinnoitteita ja saumaukseen vaikuttavia parametreja.

Saumaus on menetelmä, jossa kaksi materiaalia kiinnitetään toisiinsa eri menetelmien avulla. Saumaus on tehokas menetelmä esimerkiksi muovisten ja kartonkivalmisteisten pakkausten sulkemiseen. Saumaustapoja on monia erilaisia, joista yleisin on kuitenkin kuumapalasaumaus. (Järvi-Kääriäinen, 2007.)

Erilaisia kuumasaumausmenetelmiä:

- Kuumapalasaumaus
- Kuumapyöräsaumaus
- Kuumailmasaumaus
- Säteilysaumaus
- Kaasu-liekkisaumaus
- Korkeataajuus-saumaus
- Ultraäänisaumaus

Saumaus menetelmiä, joissa ei hyödynnetä lämpöä:

- Induktiosaumaus
- Magneettisaumaus

(Iggesund, n.d.)

#### 3.1 Kuumasautuvuus ja siihen vaikuttavat parametrit

Kuumasaumautuvuus on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista pakkausmateriaaleilla barrier-ominaisuuksien lisäksi. Saumauksen tavoitteena on saada saumasta mahdollisimman tiivis, jotta neste tai ilma ei pääse siitä lävitse. Vahva ja tiukka sauma auttaa tuotetta säilymään pidempään ja ehkäisee vuodolta. Saumautuvuuteen vaikuttavat saumattava materiaali, applikointimenetelmä ja valmistusprosessi. Saumautuvuutta on usein tutkittu kuu-

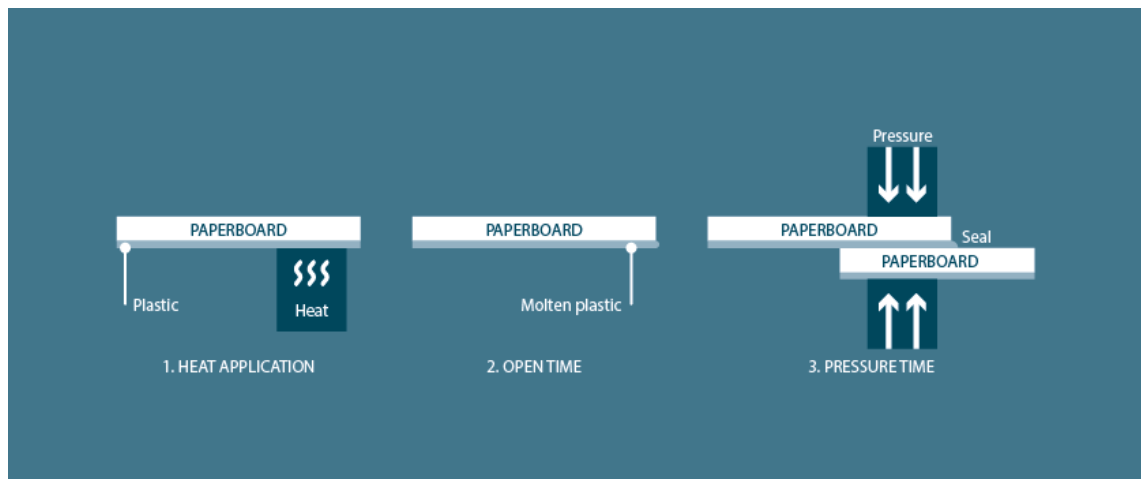
mapalasaumauksella, mutta tutkimusten mukaan se ei välttämättä ole korrelaation kannalta paras tapa tutkia saumautumista kartonkikupeilla. (Auvinen, Kuusipalo & Lahti, n.d.)

Kuumasaumautuvuuden parametrien tarkastelussa pyritään tarkastelemaan erityisesti kuumailmasaumaukseen vaikuttavia parametreja. Saumautuvuuteen vaikuttavista parametreista tärkeimmät ovat lämpötila, aika ja paine. On tärkeää, että jokaiselle tuotteelle löydetään optimaaliset parametrit parhaan saumaustuloksen saamiseksi. (Barry & Morris, 2017, 191-192.)

Lämpötilalla on suuri merkitys saumauksessa. Korkeassa lämpötilassa materiaali alkaa sulaa tai pahimmassa tapauksessa voi syttyä palamaan. Korkeassa lämpötilassa voi myös ilmetä materiaalien käyritystä. Matalassa lämpötilassa kappaleet eivät välttämättä saumaudu tarpeeksi lujasti toisiinsa tai saumaa ei välttämättä synny ollenkaan. Saumaustulosta valittaessa otetaan huomioon myös energiatehokkuus. Korkea lämpötila on hyödytön, jos hyvä sauma saadaan aikaan matalammassakin lämpötilassa. Materiaalien saumautumiseen tarvitaan lämmön lisäksi painetta, joka puristaa lämmitettyjä materiaaleja yhteen. Korkea paine voi jättää jäljen saumauskohtaan ja vastaavasti matalassa paineessa materiaalit eivät muodosta kestäväää saumaa. Yhdessä lämpötilan ja paineen kanssa saumaustulokseen vaikuttaa aika. Materiaalien lämmitysaika ja aika, jonka materiaalit ovat painettuna yhteen vaikuttavat myös saumaustulokseen. Aika liittyy myös olennaisena osana tuotantotehokkuuteen. Saumattavia materiaaleja on turhaa painaa yhteen liian pitkää, jos samanlainen saumaustulos saadaan aikaan nopeammalla puristusajalla. (Barry & Morris, 2017, 191-192.)

### **3.2 Kuumailmasauma**

Kuumailmasauma on menetelmä, jossa kaksi materiaalia kiinnitetään toisiinsa lämmön ja paineen avulla. Kuumailmasaumausta voidaan hyödyntää kartongille, paperille ja muoville. Kuumailmasaumauksessa kartonkikupin vaipan reunat asetetaan limitäin siten että vaipan ulkopinta jää sisäpuolelle ja sisäpuoli puolestaan ulkopuolelle. Tämän jälkeen kuumaa ilmaa puhalletaan kohdennetusti saumaa kohti ja tanko puristaa saumaa hetken ajan. (Auvinen, Kuusipalo & Lahti, n.d.) Kuumailmasaumausta käyttäen pinoitteenä polyeteeniä on havainnollistettu kuvassa 5.

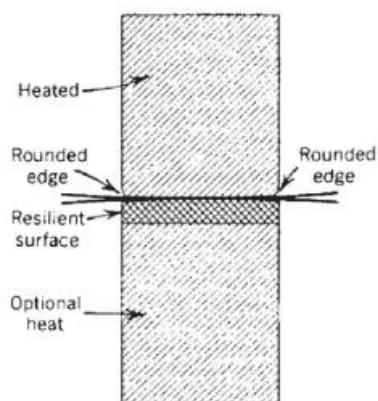


KUVA 5. Kuumailmasaumaus (Iggesund, n.d)

Kuumailmasaumauksessa merkityksellisimmät parametrit ovat lämpö, paine ja aika. Perinteisesti kartonkikupin kuumailmasaumauksessa on käytetty polyeteeniä (PE), koska sillä on hyvät hydrofobiset ominaisuudet eli neste ei pääse siitä läpi. (Auvinen, Kuusipalo & Lahti, n.d.)

### 3.3 Kuumapalasaumaus

Kuumapalasaumaus on yksinkertainen ja halpa saumausmenetelmä. Se on myös yleisin saumautuvuuden testaukseen käytettävä menetelmä. Kuumapalasaumauksessa lämmitetyt leuat puristavat niiden välissä olevaa saumattavaa kohtaa hetkellisesti, jolloin kartongin pinnalla oleva pinnoite sulaa ja muodostaa vastakkaisen pinnoitteen kanssa sidoksia. Sidoksen muodostumiseksi sauman pitää antaa jäähtyä ennen rasitusta, jotta saumasta saadaan mahdollisimman vahva. (Iggesund, n.d.) Kuumapalasaumaus on havainnollistettu kuvassa 6.



KUVA 6. Kuumapalasaumaus (Morris & Darby, 2009)

Kuumapalasaumauksen haittapuolena on, että se saattaa jättää jälkiä kartonkiin. Tätä voidaan hallita käyttämällä saumauksessa pienempää painetta, mutta sauman pitävyys voi tällöin huonontua. (Iggesund, n.d.)

### **3.4 Ultraäänisaumaus**

Ultraäänisaumauksessa sulaminen kohdistetaan termoplastiseen pinnoitteeseen esimerkiksi polyeteeniin. Ultraääniaallot saavat muovimolekyylit värähtelemään ja muodostamaan sidoksia vastakappaleen kanssa. Ultraäänisaumauksen etuna on sen nopea saumausaika, 100-200 ms. Muovipäällysteisten kartonkipakkausten lisäksi ultraäänisaumausta käytetään muovipakkausten, korkkien ja kansien saumaukseen. Ultraäänisaumaus toimii, vaikka kartongin pinnalla olisi epäpuhtauksia. Kuumasaumauslaitteet eivät pysty tähän. Ultraäänisaumauslaitteiden taajuudet vaihtelevat 20 kHz ja 40 kHz välillä. (Hermannsult-raschall, 2019.)

## 4 BARRIER-OMINAISUUDET JA KARTONGIN PINNOITUS

Osiassa käsitellään barrier-ominaisuuksia, erilaisia kartongin pinnoitukseen käytettäviä menetelmiä ja pinnoitemateriaaleja. Pinnoitemateriaaleista polyeteeni on yleisin, mutta sen rinnalle on pyritty tuomaan ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja.

### 4.1 Barrier-ominaisuudet

Pakkausmateriaalina kartonki on itsessään hyvä mekaanisen suojan antamiseen, mutta sillä on huono kyky estää rasvoja, kosteutta ja kaasuja pääsemästä läpi. Kartonkikupeissa erityisesti kosteuden ja nesteen sieto on tärkeässä asemassa. Jotta kartongille saadaan mahdollisimman hyvät barrier-ominaisuudet, se täytyy pinnoittaa usein polymeereistä koostuvalla pinnoitteella. (Peippo, 2016, 10.)

Barrier-pinnoituksella pyritään estämään mm. seuraavien tekijöiden läpäisy:

- Vesi
- Vesihöyry
- Rasva
- Öljy
- Kaasu
- Maku
- Haju

(Kimpimäki & Savolainen, 1997)

Perinteisesti polyeteeni (PE) on toiminut barrierina kartonkikupeissa, mutta se aiheuttaa haasteita kierrätettävyydessä ja öljypohjaisena se ei ole kovin ympäristöystävällinen (Peippo, 2016, 10).

### 4.2 Ekstruusiopäällystys

Ekstruusiopäällystyksessä kartongin pintaan applikoidaan yksi tai useampi kerros muovia barrier-ominaisuuksien parantamiseksi. Ekstruusiopäällystys tehdään erillisellä päällystyslinjalla eikä kartonkikoneella. Päällystys aloitetaan esikäsitteilyllä, jossa kartongin pin-



taenergiaa nostetaan. Yksi esikäsitteilyn vaihe on liekkikäsitteily, jossa maakaasusta ja ilmasta muodostettu liekki polttaa radan poikkisuuntaisesti kartongin pinnasta epäpuhtaudet. Liekkikäsitteilyn avulla radan pintaan muodostuu hydroksyyli-, karboksyyli-, karboonyyliryhmiä, jotka antavat kartongille hyvän sidospotentiaalin, jolloin kartongin ja muovin välinen adheesio parantuu. Esikäsitteilyvaiheeseen kuuluu myös sähkökoronalaiteisto, jonka avulla muodostetaan korkeajännitteinen sähköpurkaus. Sähköpurkauksen seurauksena syntyy otsonia, joka puolestaan hapettaa kartongin pinnan ja parantaa muovin kiinnittymistä siihen. Muovipäällyste muodostetaan sulattamalla muovigranulaatit ekstruuderissa ruuvien avulla. Ruuvien nopeutta säätämällä pystytään ohjaamaan sulan muovin määrää. Sula muovi kulkeutuu ruuvista sihtipakan lävitse, jossa siitä poistuu epäpuhtauksia ja virtauksesta tulee laminaarinen. Muovivirta siirtyy feedblockin kautta rako-suuttimeen, joka levittää sulan muovimassan radan levyiseksi ohueksi kalvoksi. Päällystysnippu muodostuu kahdesta telasta, jäähdytystelasta ja kumipintaisesta puristustelasta. Ohut muovifilmi applikoidaan kartongin pintaan päällystysnipissä ja samalla jäähdytystela jäähdyttää filmin, jotta filmi saadaan kiinteään olomuotoon. Päällystetty kartonki rullataan uudestaan kiinni kiinnirullaimella. (Knowpap b.)

### 4.3 Dispersiopäällystys

Dispersiopäällystyksellä tarkoitetaan päällystystekniikkaa, jolla päällyste kiinnitetään paperiin tai kartonkiin. Päällystyksellä muodostetaan kartongin pintaan kiinteä ei-huokoinen filmi, jolla saavutetaan barrier-pinnoite. Tällä pyritään estämään eri tekijöiden pääsy kartongin läpi. Polymeeri dispersiot muodostetaan usein vedestä ja erilaisista polymeereistä. Usein käytettyjä polymeerejä ovat styreeni-butadieeni, akrylaatti, metakrylaatti, vinyylisetaatti ja erilaiset biopolymeerit. Päällysteeseen lisätään päällystyspigmentejä kiillon, sileyden ja tiiveyden parantamiseksi sekä kustannusten minimoimiseksi. Paksuntajilla pyritään parantamaan tuotteen ajettavuutta. Lisäksi käytetään erilaisia vahoja, jotta päällysteen pinnasta saadaan mahdollisimman hydrofobinen. Dispersiopäällyste voi olla täysin kierrätettävä, mikä on ajanut päällystysmenetelmän kehitystä eteenpäin. Verrattuna ekstruusiopäällystettyihin pakkausmateriaaleihin, dispersiopäällystettyjen materiaalien kierrätys on huomattavasti helpompaa. Dispersiopäällystykseen etuna ekstruusiopäällystykseen verrattuna on myös sen on-line päällystettävyyden. (Kimpimäki & Savolainen, 1997.)

#### 4.4 Pinnoitemateriaalit

Polyeteeni on kartongin pinnoituksen kannalta helppo ja halpa vaihtoehto. Sitä on myös helppo prosessoida ja se antaa kartongille hyvät barrier-ominaisuudet. Kartongin pinnoittamiseen käytetään matalatiheyksistä polyeteeniä (LD-PE). Matalatiheyksisen polyeteenin etuna verrattuna korkeatiheyksiseen (HD-PE) on sen parempi kuumasaumautuvuus. Matalatiheyksinen polyeteeni häviää korkeatiheyksiselle lujuusominaisuuksiltaan, mutta pystyy antamaan kartongille riittävästi lujuutta. Polyeteeni sopii ominaisuuksiltaan hyvin paperi- ja kartonkituotteiden pinnoitukseen, mutta öljypohjaisena se on rasite ympäristölle. Polyeteenille onkin pyritty kehittämään korvaavia, ympäristöystävällisempiä pinnoitusratkaisuja, kuten Bio-PE, MFC ja PLA. (Kuusipalo & Taipale, 1998, 200.)

Kartongin pinnoitukseen on kohtalaisen vaikea löytää polyeteenin korvaavia materiaaleja. Sen lisäksi, että materiaalin täytyy olla hydrofobinen ja sillä pitää olla hyvät filminmuodostusominaisuudet, siltä vaaditaan vielä hyvää kuumasaumautuvuutta toimiakseen polyeteenin kaltaisesti. (Schoukens et al. 2014, s. 59.)

Bio-PE on valmistettu kasvipohjaisista raaka-aineista, pääasiassa sokeriruo'osta. Kasvipohjaisen polyeteenin koostumus on täysin sama kuin fossiilista raaka-aineista valmistetun polyeteenin. Sitä voidaan hyödyntää samoihin sovellutuksiin kuin uusiutumattomista luonnonvaroista valmistettua polyeteeniä, esimerkiksi kartongin pinnoitukseen. Bio-PE:llä on kuitenkin samat ongelmat biohajoavuuden suhteen kuin tavallisella polyeteenillä. (Schoukens et al. 2014, s. 61.)

MFC eli mikrokuituselluloosa on uudenlainen pinnoitemateriaali kartongille. Sen valmistus perustuu sellukuidun soluseinän pilkkomiseen pienemmiksi fibrilleiksi. Pilkkominen vaatii mekaanista käsittelyä, kuten jauhatusta tai fluidisaattoria. Rasitus saa materiaalista heterogeenisen ja kuiduista tulee eri fibrillisaatioasteisia. Kuidut saattavat myös kimppuuntua. Mekaaninen rasitus saa myös fibrillit haaroittumaan ja niistä tulee taipuisia. Kuivatuksen yhteydessä fibrilleillä on taipumus aggregoitua eli ne liittyvät yhteen ja muodostavat fibrillikasauman. Fibrillien muodostumisen helpottamiseksi mekaanisen rasituksen yhteydessä voidaan käyttää kemiallista tai entsyymaattista käsittelyä. Kuidun seinän pilkkomisen johdosta kuitujen pituus pienenee muutamasta millimetristä mikrometreihin ja leveys puolestaan nanometreihin. (Kangas, 2014, 9-10.)

MFC:tä voidaan hyödyntää barrier-materiaalina luomalla siitä kartongin pinnalle kalvo, joka on luja, joustava ja tiheä. MFC on hyvä rasva- ja happi-barrieri, mutta se läpäisee kosteutta tehokkaasti. Kuppikartongissa sen käyttäminen onkin haasteellista tästä johtuen. MFC:stä on kehitetty monikerrosrakenteita yhdessä hyvin kosteutta kestävien polymeerien kanssa, jolloin sitä pystytään myös hyödyntämään kuppikartongin pinnoitteena. (Kangas, 2014, 33.)

Polyhydroksialkanoaatti eli PHA on myös vaihtoehto PE:n korvaajaksi. PHA:n valmistus perustuu bakteerien käymisreaktioon (Barrett, 2014). Sen höyrynsietokyky ja hydrofobiset ominaisuudet ovat hyvin lähellä matalatiheyksistä polyeteeniä. PHA:ta on kuitenkin vaikea prosessoida, sillä sen sulamislämpötila ja hajoamislämpötila on lähes sama. Sen valmistuksessa joudutaankin käyttämään stabilointiaineita ja muita biopolymeerejä. PHA on lupaava materiaali polyeteenin korvaajaksi etenkin, jos sen hinta vielä laskee kysynnän kasvaessa. (Schoukens et al. 2014, s. 60.)

PLA eli polyaktidi on uusiutuvista raaka-aineista tehty biohajoava muovi. Sitä voidaan valmistaa esimerkiksi maissista tai sokeriru`osta, mutta sitä tehdään myös jonkin verran meijeri- ja metsäteollisuuden sivutuotteista, Muoviteollisuus ry:n Vesa Kärhän mukaan. Kärhä muistuttaa, että PLA:n ongelmana on kuitenkin sen varastoitavuus, sillä se on ”parasta ennen” muovia. Kärhä kuitenkin kokee, että hyödyt PLA:lla ovat suuremmat kuin haitat. (Mäntyranta, 2016.)

PLA:ta pystytään ajamaan perinteisellä ekstruusiopäällystyskoneella kartongin pintaan, mutta se vaatii PLA:lta modifiointia ja ekstruusiokoneelta erilaisia säätöjä. PLA soveltuu myös hyvin kuumasaumaukseen. (Rhim & Kim, 2009, s. 105.)

## **5 KOKEELLINEN OSUUS**

### **5.1 Tarkoitus**

Kokeellisen osuuden tavoite on vertailla Kotkamillsin laboratorion kuumailmasaumauslaitteen testituloksia asiakkaan saamiin tuloksiin samoilla tuotteilla kuppikoneella. Vertailulla pyritään löytämään kuumailmasaumauslaitteelle parametrit, jotka korreloivat mahdollisimman hyvin asiakkaan saumaustulosten kanssa. Tavoite ei siis ole saada samankaltaisia tuloksia sekä laboratorion saumauslaitteella että kuppikoneella, vaan luoda ennuste, jolla pystytään ennakoimaan kuppikoneen saumaustulosta jo laboratoriolaitteella.

### **5.2 Laboratorion kuumailmasaumauslaite**

Laboratorion kuumailmasaumauslaite on KTT Tekniikka Oy:n valmistama. KTT Tekniikka Oy on erikoistunut teollisuuden eri komponenttien ja laitteiden valmistukseen. Laboratorion kuumailmasaumauslaitteella on tarkoitus simuloida kartonkikupin vaipan saumausta laboratorio-olosuhteissa. Laboratorion saumauslaitteen etuna on se, että sillä pystytään nopealla vasteella tutkimaan kartonkikoneelta tulevat näytteet. Saumauslaitteella pystytään myös muokkaamaan saumausparametreja. Kuumailmasaumauslaite on havainnollistettu kuvassa 8.



KUVA 8. Kotkamills Oy:n laboratorion kuumailmasaumauslaite

Saumaus tapahtuu kiinnittämällä 11·16 cm kokoon leikatut kartongin palat pintapuoli alaspäin molemmille puolille konetta sijaitseviin kiskollisiin kelkkoihin (merkattu kuvassa 8 numerolla 1). Kelkat lähtevät liikkeelle ja siirtyvät kuumailmapuhaltimien alle (kuvassa 8 numerolla 2), joissa niihin puhalletaan kuumaa ilmaa. Kuumennuksen jälkeen kappaleet liikkuvat kelkkojen mukana kohtaan 3, jossa kuumennetut kohdat puristetaan yhteen metallipalan avulla.

### 5.3 Kuiturepeämän testaus

Sauman pitävyyttä testataan tutkimalla kuiturepeämää. Toisiinsa kiinni saumattujen kartonkinäytteiden annetaan jäähtyä, jonka jälkeen ne repäistään käsin irti toisistaan. Kun näytteet on repäistetty irti, niistä tutkitaan visuaalisesti onko saumauskohtaan muodostunut haluttu kuiturepeämä. Kuiturepeämän tarkasteluun käytetään apuna Kotkamills Oy:n laboratorion arvosteluasteikkoa.

### Arvosteluasteikko

0	Ei tarttuvuutta
1	Heikko tarttuvuus
2	Tarttunut, mutta ei revennyt
3	Alle 50 % kuiturepeämää
4	Yli 50 % kuiturepeämää
4,5	Yli 90 % kuiturepeämää
5	100 % kuiturepeämää

(Hämäläinen, 2018)

## 5.4 Testaus

Testit tehtiin muuttamalla kuumailmasaumauslaitteen eri parametreja taulukon 1 mukaisesti. Koepisteet määräytyivät parametrien haun perusteella, jossa testattiin ennakkoon kartonkien saumautumista erilaisilla parametreilla. Kustakin koepisteestä otettiin 15 näyttä jokaisella eri koesarjalla. Testipisteiden lisäksi jokaisesta koesarjasta otettiin 15 näyttä laitteen vakioajoparametreilla.

TAULUKKO 1. Koepisteet

Puhallusviive (s)	0,7	1,1	1,5
Puristusaika (s)	0,1	1,0	1,9
Lämpötila (°C)	200	250	350
Puristusvoima (N)	250	300	350

Jokaiselle koesarjalle tehtiin saumaustestit vakioparametreilla. Vakioparametrit on merkitty taulukkoon 2. Testeissä ei muokattu avoimen ajan ja puhaltimen taajuuden parametreja, sillä niillä ei ole merkitystä saumaustuloksen kannalta. Vakioparametreilla tarkoitetaan parametreja, joilla Kotkamills Oy:n laboratorion henkilökunta on suorittanut ennen saumaustestit.

TAULUKKO 2. Vakioparametrit

Puhallusviive	1,240 s
Avoim aika	0,0 s
Puristusaika	1,9 s
Lämpötila	300 °C
Puhaltimen taajuus	40 Hz
Puristusvoima	400 N

Taulukossa 3 on selitetty kuumailmasaumauslaitteella käytetyt parametrit. Kuumailmasaumauslaitteella pystytään muokkaamaan myös avoimen ajan ja puhaltimen taajuuden parametreja, mutta niillä ei ole tämän työn kannalta merkitystä.

TAULUKKO 3. Parametrien selitykset

Puhallusviive	Puhallusviiveellä tarkoitetaan aikaa, jonka näytekappale on kuumailmapuhaltimen alla
Puristusaika	Puristusajalla tarkoitetaan aikaa, jonka näytekappaleet ovat päällekkäin puristuksen alaisena
Lämpötila	Lämpötilalla tarkoitetaan kuumailmapuhaltimesta tulevan ilman lämpötilaa
Puristusvoima	Puristusvoima kertoo, minkä suuruisella voimalla näytekappaleita puristetaan yhteen lämmityksen jälkeen

Kuumailmasaumausrakenteella tehtiin viidestä eri koesarjasta saumaustestit. Konerullat 1686 ja 1684 ovat 26.2.2019 tehdystä koeajosta. Konerullat 1903, 1907 ja 1908 puolestaan ovat 12.3.2019 tehdystä koeajosta. Ensimmäisessä koeajossa on käytetty toimittaja A:n barrieria ja toisessa koeajossa käytettiin toimittaja B:n barrier-päällystettä.

- ISLA<sup>®</sup> Duo 295 g sileä sauva, toimittaja A:n barrier (KR 1686)
- ISLA<sup>®</sup> Duo 295 g mattakalanteri auki, toimittaja A:n barrier (KR 1684)
- ISLA<sup>®</sup> Duo 295 g toimittaja B:n sizer-barrier-päällystys kupin ulkopinnassa ja toimittaja B:n verhopäällystys kupin sisäpinnassa (KR 1903)
- ISLA<sup>®</sup> Duo 335 g verho-pigmenttipäällystys kupin ulkopinnassa ja toimittaja B:n verho-barrier-päällystys kupin sisäpinnassa (KR 1907)
- ISLA<sup>®</sup> Duo 335 g terä-pigmenttipäällystys kupin ulkopinnassa ja toimittaja B:n verho-barrier-päällystys kupin sisäpinnassa (KR 1908)



## 6 TESTAUS TULOKSET

### 6.1 Kuppikoneen testitulokset

Kuppikonetestit tehtiin asiakas A:n PMC 1000 -kuumailmasaumauslaitteella. Laite pysyy valmistamaan 165 kuppia minuutissa eli 2,75 kuppia sekunnissa. Laitteen parametrit sekä toimintaperiaate poikkeavat osittain Kotkamills Oy:n laboratorion saumauslaitteesta, erityisesti puristustapahtuman osalta. Se koostuu kuudesta peräkkäisestä puristus- asemasta, jossa ensimmäisen aseman puristus on vajaa, käytännössä voidaan puhua 5,5 asemasta. Yhden aseman puristusaika on 0,36 sekuntia, joten kokonaispuristusajaksi saadaan kaksi sekuntia. Puhallusviiveenä testeissä on käytetty arvoa 0,36 sekuntia. Muut koneella käytettävät parametrit eivät olleet saatavilla.

Kuppikoneella tehtyjen testien mukaan parhaan saumaustuloksen antoivat konerullat 1686 ja 1684. Saumaustulokseltaan kyseisten konerullien materiaalit olivat todella hyvälaatuista. Konerulla 1908 teki myös kuppikoneella 100 % kuiturepeämän vaipan saumaan. Konerulla 1907 oli tulokseltaan hieman heikompi, sillä saatiin aikaan noin 70 % kuiturepeämä saumaan. Konerullalla 1903 ei saatu kuppikoneella aikaan ollenkaan kuiturepeämää.

Kuppikonetestien mukainen paremmuusjärjestys

1. ISLA® Duo 295 g/m<sup>2</sup> sileä sauva, toimittaja A:n barrier (KR 1686)
2. ISLA® Duo 295 g/m<sup>2</sup> mattakalanteri auki, toimittaja A:n barrierilla (KR 1684)
3. ISLA® Duo 335 g/m<sup>2</sup> terä-pigmenttipäällystys kupin ulkopinnassa ja toimittaja B:n verho-barrierpäällystys kupin sisäpinnassa (KR 1908)
4. ISLA® Duo 335 g/m<sup>2</sup> verho-pigmenttipäällystys kupin ulkopinnassa ja toimittaja B:n verho-barrierpäällystys kupin sisäpinnassa (KR 1907)
5. ISLA® Duo 295 g/m<sup>2</sup> toimittaja B:n sizer-barrierpäällystys kupin ulkopinnassa ja toimittaja B:n verhopäällystys kupin sisäpinnassa (KR 1903)

## 6.2 Laboratorio- ja kuppikonetestitulosten vertailu

Kuppikonetestien pohjalta muodostettiin taulukko 4, johon kuppikoneelta saadut prosentuaaliset tulokset on muunnettu arvosteluasteikon mukaisiksi arvosanoiksi. Taulukkoon on eritelty jokaisen testissä olleen konerullan saama arvosana.

TAULUKKO 4. Kuppikoneen testitulokset arvosanoina

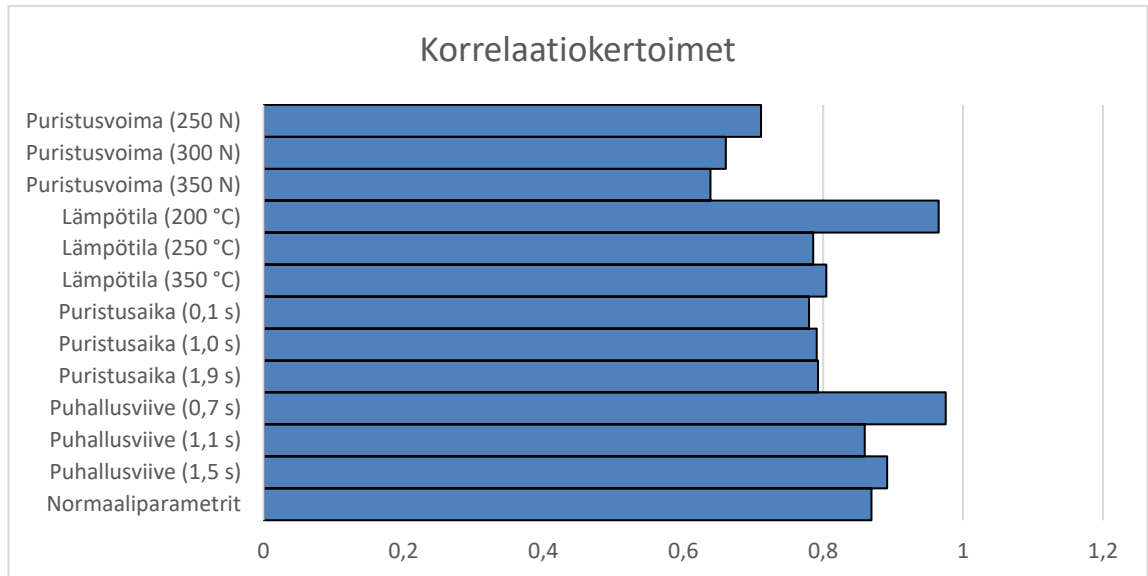
KR 1686	KR 1684	KR 1903	KR 1907	KR 1908
5	5	0	3,5	5

Taulukossa 5 on esitettyä laboratoriotestien tulokset. Taulukkoon on laskettu jokaiselle mittapistelle rinnakkaisnäytteiden arvosanojen konerullakohtainen keskiarvo. Mittapisteille on myös laskettu kuppikonetestien ja laboratoriotestien välistä riippuvuutta kuvaava korrelaatiokerroin  $R$  sekä lineaarisen regressiomallin selitysaste  $R^2$  eli korrelaatiokertoimen neliö.

TAULUKKO 5. Koepisteiden keskiarvot ja korrelaatiokertoimet

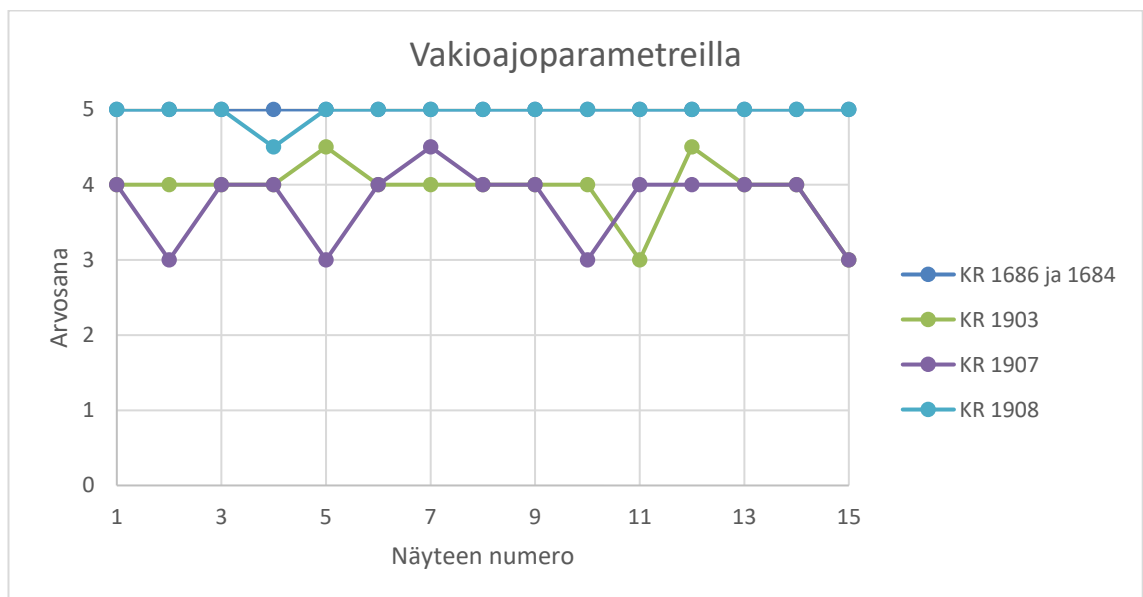
	KR 1686	KR 1684	KR 1903	KR 1907	KR 1908	Korrelaatio- kerroin ( $R$ )	Seli- tysaste ( $R^2$ )
Vakio- parametrit	5	5	3,77	3,93	4,97	0,869083	0,755305
Puhallus- viive (1,5 s)	5	5	4	4,20	4,87	0,891429	0,794646
Puhallus- viive (1,1 s)	5	5	3,53	3,80	4,53	0,859381	0,738536
Puhallus- viive (0,7 s)	4,43	4,17	1,60	2,93	4,10	0,975504	0,951608
Puristus- aika (1,9 s)	5	5	4,07	4,03	4,80	0,792869	0,628641
Puristus- aika (1,0 s)	5	5	3,87	3,93	4,53	0,791118	0,625868
Puristus- aika (0,1 s)	4,97	5	2,87	3	4	0,780057	0,608489
Lämpötila (350 °C)	5	5	4,20	4,20	4,80	0,804642	0,647449
Lämpötila (250 °C)	5	5	3,13	3,13	4,33	0,785758	0,617416
Lämpötila (200 °C)	3,23	2,80	1,40	2,67	3,33	0,965316	0,931835
Puristus- voima (350 N)	5	5	3,60	3,2	4,2	0,638751	0,408003
Puristus- voima (300 N)	4,83	5	3,33	3	4,01	0,660839	0,436708
Puristus- voima (250 N)	4,23	4,80	2,93	2,87	3,70	0,711115	0,505685

Taulukon 5 korrelaatiokertoimista muodostettiin kuvio 1. Kuvion 1 perusteella korrelaatiokertoimien vaihtelut ovat selkeämmin havaittavissa.



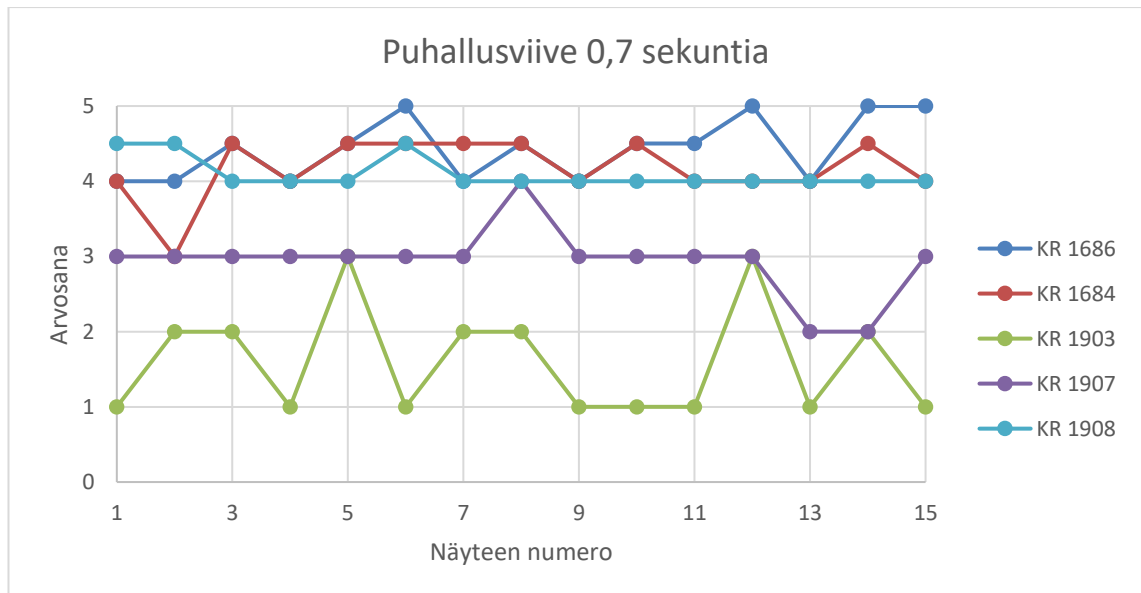
KUVIO 1. Korrelaatiokertoimet

Kuvion 1 mukaan puhallusviiveen laskeminen vakioparametrien arvosta parantaa korrelaatiota huomattavasti, erityisesti puhallusviiveen ollessa 0,7 sekuntia. Myös lämpötilan ollessa 200 °C korrelaatio on hyvä, mutta muissa lämpötilan mittauspisteissä ei parannusta vakioparametrien tuloksiin saada. Puristusvoiman muutoksella on ollut myös negatiivinen vaikutus korrelaatiokertoimeen kaikissa mittauspisteissä verrattuna vakioparametreihin.



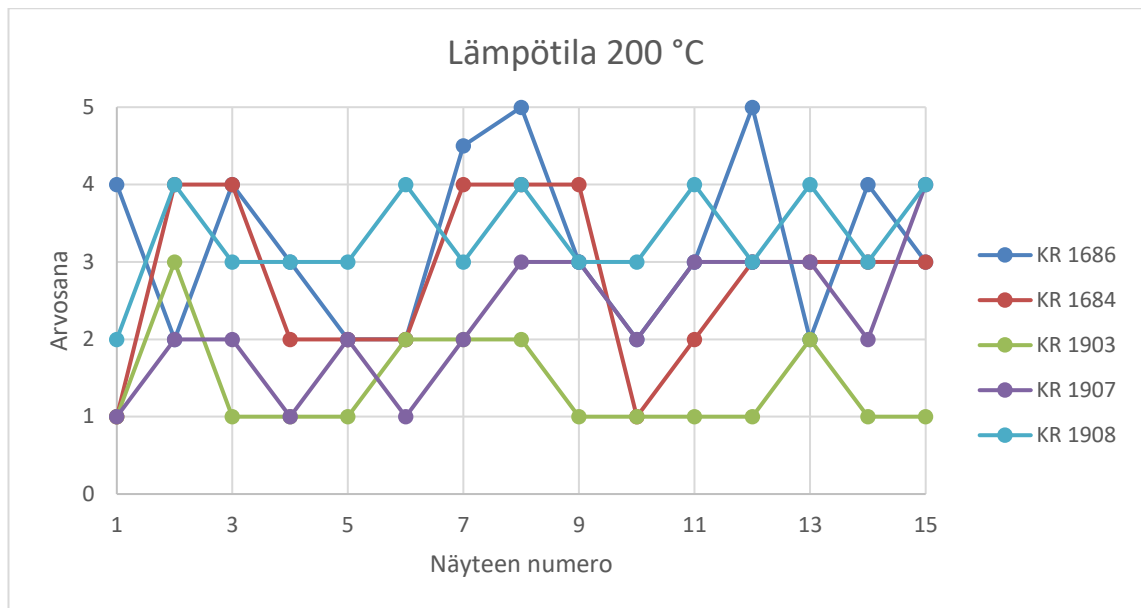
KUVIO 2. Testitulokset kuumailmasaumauslaitteen vakioparametreilla

Kuvio 2:n mukaan toimittaja A:n barrier-päällystetyt näytteet konerullista 1686 ja 1684 saumautuivat vakioparametreilla parhaiten, jokaisesta näytteestä saavutettiin lähes 5:n arvosana. Myös toimittaja B:n päällystetty konerulla 1908 saumautui todella hyvin. Toimittaja B:n päällystetyt näytteet konerullista 1903 ja 1907 saumautuivat puolestaan melko hyvin, mutta niiden välille ei saatu toivottua eroa kuppikoneen antamiin tuloksiin verrattuna. Esimerkiksi konerullan 1903 näytteiden keskiarvo kuiturepeämä oli 3,77, vaikka kuppikoneelta saatujen tulosten mukaan arvosanan olisi pitänyt olla 0. Konerullan 1907 näytteiden kuiturepeämä oli keskiarvoltaan 3,93 ja konerullan 1908 kuiturepeämä puolestaan 4,97. Paremmuusjärjestys pysyi samana kuin kuppikonetesteissä, mutta odotettua eroa ei eri koesarjojen välille juurikaan saatu. Korrelaatiokertoimeksi vakioparametreilla saadaan 0,87, joka on neljänneksi paras tulos kaikista testeistä.



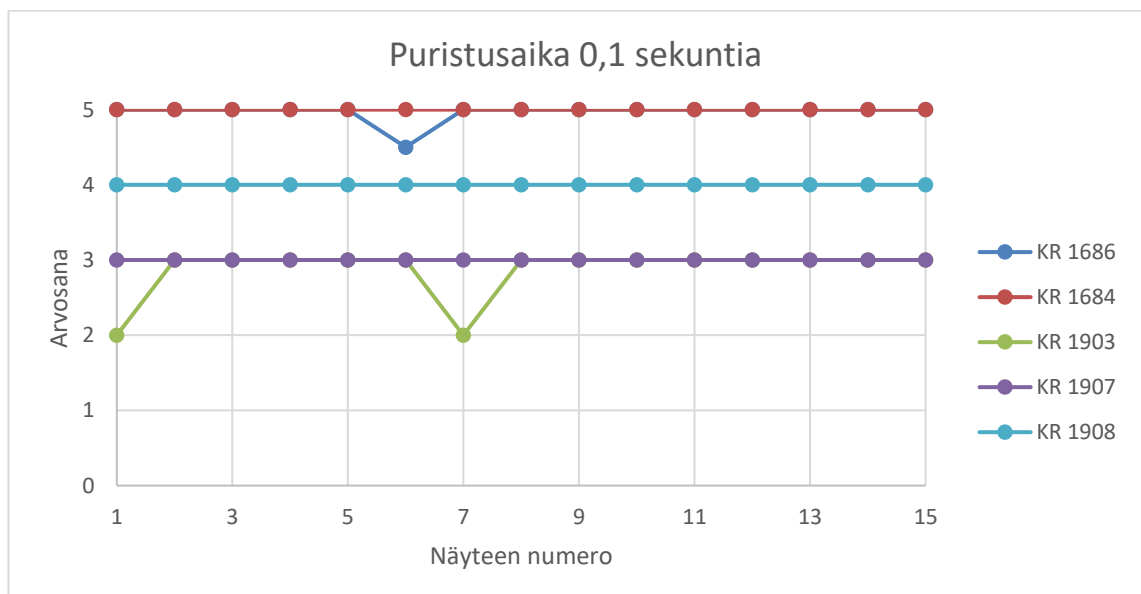
KUVIO 3. Puhallusviive 0,7 sekuntia

Puhallusviiveen laskeminen 1,24 sekunnista 0,70 sekuntiin vei tuloksia haluttuun suuntaan, näin tulosten välille tuli enemmän kuppikonetestien kaltaista hajontaa. Korrelaatiokertoimen 0,98 mukaan se oli kaikista testisarjoista paras. Konerullien 1686, 1684 ja 1908 kartongit erottuvat parhaiksi. Konerullalla 1686 saatiin 4,43 arvosanan kuiturepeämä ja konerullalla 1684 puolestaan 4,17 arvosanan kuiturepeämä. Lähes saman arvosanan sai myös konerulla 1908, jonka tulos oli 4,1. Konerullan 1907 keskiarvo oli 2,93 ja konerullan 1903 puolestaan 1,6. Näillä tuloksilla päästiin kaikista lähimmäksi kuppikoneen saumautuloksia.



KUVIO 4. Lämpötila 200 °C

Lämpötilan tiputtaminen 200 °C aiheutti rinnakkaisnäytteiden välille suurta hajontaa, mutta korrelaatio laboratorionäytteiden ja kuppikonetestien välillä säilyi hyvänä. Saa- maaminen matalammassa lämpötilassa vakioparametrien arvoon verrattuna toimi hyvin, sillä saatiin testien toiseksi paras tulos. Rinnakkaisnäytteiden välille muodostui kuitenkin suurta hajontaa, joten suurella otannalla tulokset voivat vaihdella merkittävästi.

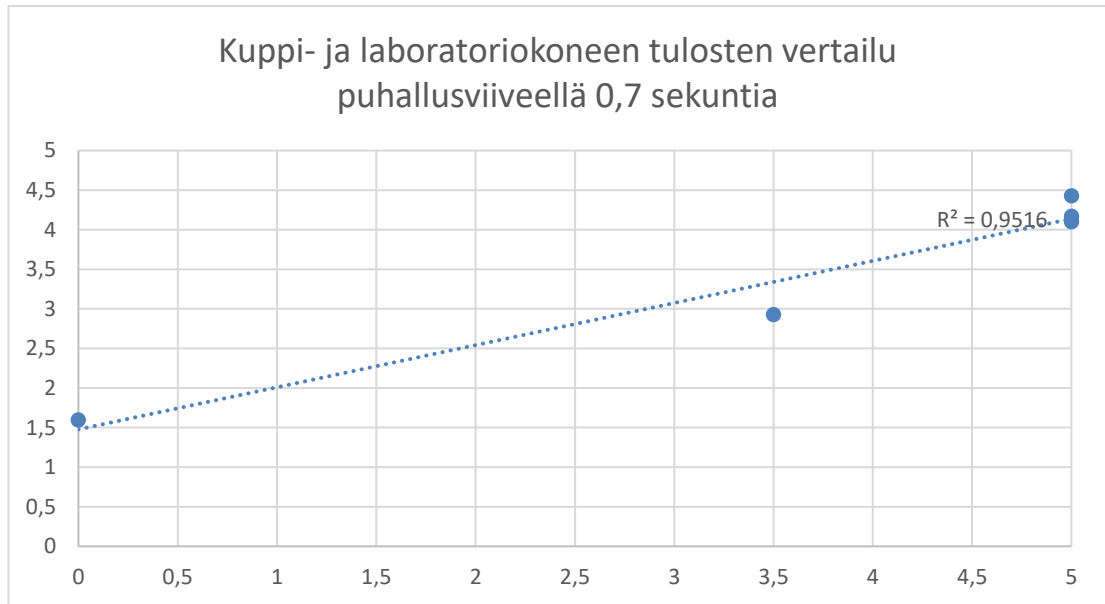


KUVIO 5. Puristusaika 0,1 sekuntia

Kuviosta 5 on havaittavissa koesarjojen tasaisuus, lähes kaikki saman koesarjan näytteet ovat saaneet saman arvosanan. Lisäksi on huomioitava, kuinka pieni vaikutus puristus- ajan laskulla 1,9 sekunnista 0,1 sekuntiin on ollut testituloksiin. Puristusajan ollessa 0,1

sekuntia, ei kuitenkaan saada hyvää korrelaatiota kuppikoneen ja laboriokoneen testitulosten välille.

Parhaan korrelaation saavuttaneen testipisteen, puhallusviive 0,7 sekuntia, tuloksista muodostettiin kuvio 6. Kuviossa x-akselilla on kuppikoneen saumaustulokset ja y-akselilla puolestaan laboriorion kuumailmasaumausslaitteen tulokset. Kuvioon on merkitty lineaarisen suoran selitysaste,  $R^2$ .



KUVIO 6. Kuppi- ja laboriokoneen tulosten vertailu puhallusviiveellä 0,7 sekuntia

### 6.3 Hajonta

Rinnakkaisnäytteiden välille muodostui joidenkin parametrien kohdalla paljon hajontaa, joten päätettiin tarkastella vielä tulosten keskihajontoja. Keskihajonnan laskemisella haluttiin kiinnittää erityisesti huomiota lämpötilan 200 °C rinnakkaisnäytteiden suureen hajontaan. Merkityksellisimmistä tuloksista laskettiin keskihajonnat, joiden perusteella muodostettiin taulukko 6.

TAULUKKO 6. Konerulla ja parametrikohittaiset keskihajonnat

	KR 1686	KR 1684	KR 1903	KR 1907	KR 1908
Vakioparametrit	0	0	0,50	0,42	0,13
Lämpötila 200 °C	1,12	1,08	0,63	0,88	0,62
Lämpötila 250 °C	0	0	0,52	0,35	0,24
Lämpötila 350 °C	0	0	0,32	0,32	0,32
Puhallusviive 0,7 s	0,42	0,41	0,74	0,46	0,21

Ennakkoon oli odotettavissa, että keskihajonta olisi suurinta lämpötilan arvolla 200 °C ja tämä osoittautui laskennan perusteella oikeaksi. Erityisen suurta hajonta oli konerullilla 1686 ja 1684 lämpötilalla 200 °C. Vertailuksi taulukkoon laskettiin myös muiden lämpötilojen keskihajonnat, mutta niiden tulokset olivat kuitenkin vertailussa olleista sarjoista parhaimmistoa. Kartongin mahdollinen laadunvaihtelukaan ei selitä suurta hajontaa, sillä hajontaa on useammalla konerullalla. On mahdollista, että 200 °C lämpötila on niin kriittisellä rajalla saumautumisen kannalta, että se näkyy tulosten suurena hajontana. Lämpötila arvolla 200 °C korrelaatio oli hyvä, mutta tulosten suuri hajonta asettaa kysymyksiä sen hyödyntämisen suhteen.



## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyössä pyrittiin löytämään hyviä korrelaatioita laboratoriosauauslaitteen ja asiakkaan kuppikoneen välille. Koepisteitä oli paljon, joten tulosten käsittelyssä tarkasteltiin vain parhaimman korrelaation antavia tuloksia. Kaikki mittaustulokset ovat nähtävissä liitteet -osiossa.

Kuppikoneeseen verrattuna laboratoriokoneen tekemä saumaustulos on yleisesti parempi. Tämä selittyy koneen nopeudella ja erilaisilla parametreilla. Kuppikoneella kiinnitetään huomiota myös energian säästöön ja tuotantotehokkuuteen, joka näkyy myös saumojen laadussa, sillä kuppikoneella ei voida ajaa samoilla parametreilla kuin laboratoriokoneella.

Paras korrelaatio saatiin laboratorio- ja kuppikoneen välille laskemalla puhallusviive 0,7 sekuntiin 1,24 sekunnista saumaamalla muutoin vakioparametreilla. Se vastaa selkeimmin kuppikoneelta saatuja tuloksia. Kaikkien saumaustulosten arvosanat laskevat hie-man, mutta kuppikonetestien mukainen paremmuusjärjestys on parhaiten nähtävillä näillä parametreilla. Erityisesti konerulla 1908, joka antoi kuppikonetesteissä 100 % saumaustuloksen, on näillä parametreilla halutusti lähellä konerullien 1684 ja 1686 saumaustulosta. Konerulla 1907 vastaa hyvin 70 % kuiturepeämää, joka kuppikonetesteissä saatiin. Konerullalla 1903 ei kuppikonetesteissä saatu ollenkaan aikaan kuiturepeämää, joten sen tulos oli 0 %. Laboratoriokoneella se kuitenkin tarttui ja joistakin näytteistä saatiin aikaan jopa kuiturepeämää, mutta selkeästi huonoiten verrattuna muiden konerullien näytesarjoihin. Korrelaatiokertoimen mukaan lämpötilan laskeminen paransi tulosten välistä korrelaatiota verrattuna vakioparametreihin, mutta rinnakkaisnäytteiden arvosanojen hajonta voi pidemmällä otannalla muuttaa sitä huomattavasti.

Melko hyvän korrelaation antoi myös puristusajan laskeminen 0,1 sekuntiin. Näillä parametreilla tulossarjat ovat todella tasaisia, mutta paremmuusjärjestys ei ole aivan toivotun kaltainen. Konerullan 1908 saumaustulos jää konerullien 1684 ja 1686 saumaustuloksesta noin arvosanan verran, joka ei testissä ollut haluttu tulos. Konerullien 1907 ja 1903 tulokset olivat lähes samanlaiset, joka ei vastaa myöskään kuppikonetestien paremmuusjärjestystä. Yllättävää puristusajan laskussa oli, että saumat olivat näinkin hyviä, vaikka iskuaika on todella lyhyt. Käyttämällä lyhyttä puristusaikaa saataisiin laboratoriokonetta

vastamaan kuppikoneen kaltaisia olosuhteita, jossa iskuajat ovat myös todella lyhyet. Tulokset eivät kuitenkaan vastanneet niin hyvin kuppikonetuloksia kuin puhallusviiveen ollessa 0,7 sekuntia.

Jotta laboratorion saumauslaitteen tulokset saataisiin vastamaan paremmin kuppikoneen tuloksia, voisi saumaustesteissä puhallusviiveenä käyttää 0,7 sekuntia. Myös muiden parametrien muokkaaminen yhdessä puhallusviiveen kanssa, voisi parantaa tulosten vastaavuutta. Taulukoon 7 on laadittu saatujen tulosten perusteella vastaavuus laboratoriolaitteen ja kuppikoneen välille käyttäen puhallusviiveenä 0,7 sekuntia.

TAULUKKO 7. Saumojen vastaavuus käyttäen puhallusviiveenä 0,7 sekuntia

Arvosana laboratorion kuumailma-saumauslaitteella	Saumautuminen kuppikoneella
5	100 % kuiturepeämää
4,5	100 % kuiturepeämää
4	100 % kuiturepeämää
3	70 % kuiturepeämää
2	0 % kuiturepeämää
1	0 % kuiturepeämää

Taulukon avulla voidaan ennustaa, minkälaisia saumoja kuppikoneella on mahdollista saada laboratorion saumaustestien perusteella. Taulukkoa tulkittaessa on kuitenkin hyvä muistaa, että sitä ei voida hyödyntää kuin vakioparametreilla käyttäen puhallusviiveenä 0,7 sekuntia. Taulukon 7 testiotos on suppea, joten se ei välttämättä toimi samoin uusille testiotoksille.

Tässä opinnäytetyössä testejä tehtiin muokkaamalla vain yhtä parametria kerrallaan ja kuhunkin koesarjaan kuului 15 näytettä. Työmäärästä muodostui tällöin melko suuri ja myös dataa kertyi paljon. Testejä on mahdollista jatkaa myös muokkaamalla useampaa parametria kerrallaan, jolloin pystyttäisiin löytämään mahdollisesti vielä parempi korrelaatio laboratorion koneen ja kuppikoneiden välille. Tämä vaatisi toki paljon enemmän aikaa tai koesarjojen pienentämistä alle kymmeneen näytteeseen. Myös puhallusviiveen testaaminen arvojen 0,5 s – 0,9 s väliltä voisi parantaa hieman korrelaatioita. Sillä testeissä käytetty arvo 0,7 sekuntia on valittu koneen mahdollistaman skaalan ja riittävän suuren eron takia seuraavaan mittauspisteeseen. Haasteita tulosten hyödyntämisessä luo

myös tulosten soveltuvuus erilaisille kuppikonemalleille. Tässä opinnäytetyössä laboratoriokoneen tuloksia vertailtiin ainoastaan PMC 1000 -kuppikoneen tuloksiin. Tulevaisuudessa testejä tehdään myös muilla kuppikonemalleilla. Rinnakkaisnäytteiden välistä hajontaa on myös mahdollista tutkia lisää, esimerkiksi tekemällä pidempiä testisarjoja. Erityisesti lämpötilan arvolla 200 °C hajonta oli suurta, mutta korrelaatio oli kuitenkin hyvä.

## LÄHTEET

Auvinen, S, Kuusipalo, J & Lahti, J. N.d. Tampere University of Tehcnology.

Barrett A. 2014. Bioplastics News. Biodegradable PHA. Luettu 12.3.2019.  
<https://bioplasticsnews.com/2014/01/24/biodegradable-pha/>

Barry, A & Morris. 2017. Science and Technology of Flexible Packaging – Multilayer Films from Resin and Process to End Use. Elsevier (e.d.). 191-192.

Consulting Industry News. 2018. Global Paper Cups Market to Exceed 309,800 Units in 2019. <https://www.consultingindustry24.com/global-paper-cups-market-to-exceed-309800-units-in-2019/>

Euroopan parlamentti. 2018. EU:n strategia muovijätteen vähentämiseksi. Luettu 3.4.2019. <http://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180830STO11347/eu-n-strategia-muovijatteen-vahentamiseksi>

Hakkila, O. 2019. R&D Manager, Printing and Converting. Kotkamills Oy. Haastattelu 6.2.2019.

Hermannsultraschall. 2019. Ultrasonic Sealing. Luettu 7.2.2019. <https://www.herrmann-sultraschall.com/en/ultrasonic-basics/ultrasonic-sealing/>

Hämäläinen, M. ISLA® Duo. Luettu 31.1.2019. <http://www.kotkamills.com/en/company/products/consumerboards/isladuo>

Hämäläinen, R. 2018. Kartongin kuumailmasaumaus. Kotkamills laboratorio. Saatavilla rajoitetusti.

Hörauf a. BMP 100 Compact. Dondorf. Viitattu 5.2.2019. 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: [http://www.hoerauf.com/media/files/technische-datenblaetterbmp/BMP\\_Compact100\\_Data\\_GB.pdf](http://www.hoerauf.com/media/files/technische-datenblaetterbmp/BMP_Compact100_Data_GB.pdf)

Hörauf b. 2018. BMP Serie 3. Luettu 3.4.2019. <https://www.hoerauf.com/en/bmp-serie-300.html>

Iggesund. Description of Heat Seal Methods. <https://www.iggesund.com/en/knowledge/knowledge-publications/the-reference-manual/printing-and-converting-performance/heat-sealing/>

Joukio, R & Mansikkamäki, S. 1998. Cartonboard package manufacturing and applications. Paper and Paperboard Converting. Gullichen, J & Paulapuro, H (toim.). Fapet Oy. 217.

Kangas, H. 2014. Opas selluloosamateriaaleihin. VTT Technology 199.

Kimpimäki, T & Savolainen A.V. 1997. Barrier dispersion coating of paper and board. Surface Application of Paper Chemicals. J. Brander et al. (eds.)

Knowpap a. AEL. Kartongin rakenne. Sellukartonki. Luettu 29.1.2019. [http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/grades/2\\_boards/1\\_int\\_pack\\_boards/4\\_sbs/0\\_grade\\_specif/frame.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/grades/2_boards/1_int_pack_boards/4_sbs/0_grade_specif/frame.htm). Saatavilla rajoitetusti.

Knowpap b. AEL. Ekstruusiopäällystyksen vaiheet. Esikäsittely/ekstruuderit. Luettu 5.3.2019. [http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paperboard\\_technology/13\\_extrusion/2\\_process/frame.htm?zoom\\_highlightsub=ekstruusio](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paperboard_technology/13_extrusion/2_process/frame.htm?zoom_highlightsub=ekstruusio). Saatavilla rajoitetusti.

Kotkamills. 2018. Isla Food Service Board. Saatavilla rajoitetusti.

Kuusipalo, J & Taipale, J. 1998. Coating and lamination and product applications. Paper and Paperboard Converting. Gullichen, J & Paulapuro, H (toim.). Fapet Oy. 200.

Kuusipalo, J. 2008. Paper and Paperboard Converting. Helsinki: Paperi ja Puu Oy, 346 s

Morris, B.A & Darby, D. 2009. Sealing, Heat to Sustainable Packaging. Encyclopedia of Packaging Technology. Yam, K.L. (e.d.). 3. edition.

Mäntyranta, K. 2016. Teknologiainfo. Biopohjainen ja biohajoava PLA-muovi lisää suosiotaan. Luettu 30.1.2019. <http://www.teknologiainfo.com/logistiikka/biopohjainen-ja-biohajoava-pla-muovi-lisaa-suosiotaan>

Papermc. 2019. About Us. Luettu 15.2.2019. <http://www.papermc.com/about-us/>

Paper Machinery Corporation. N.d. Introduction To Paper Machinery Corporation. Dia slide. Limited availability.

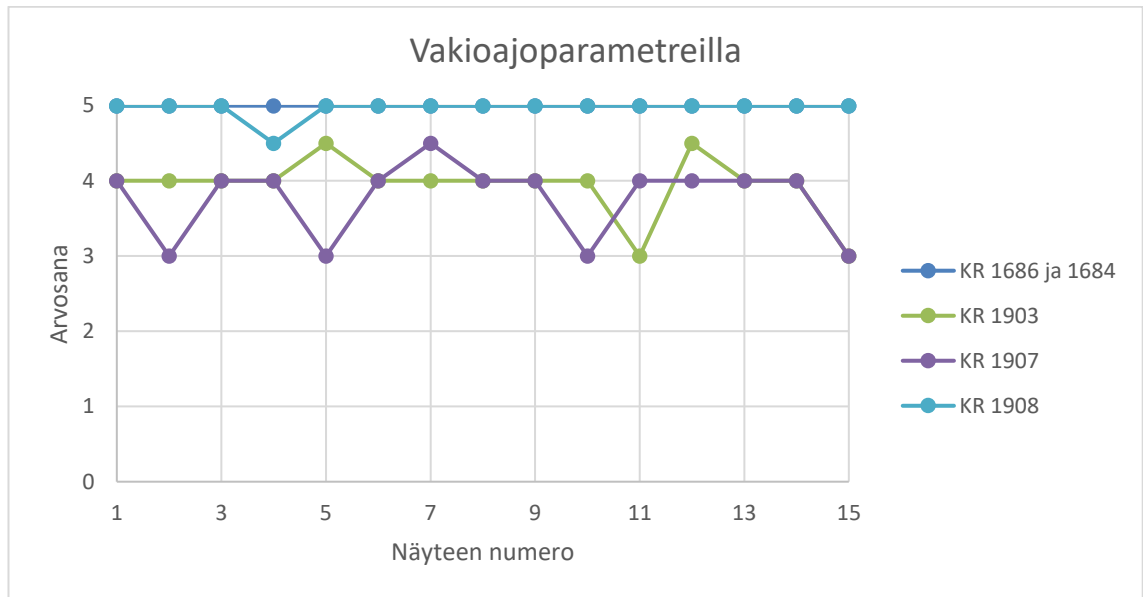
Peippo, M. 2016. Barrierpäällysteet kartonki- ja paperipakkauksissa. Sideainekonseptin vaikutus kartongin jatkojalostettavuuteen. Tampereen teknillinen yliopisto.

Rhim, J.-W. & Kim, J.-H. 2009. Properties of Poly(lactacide)-Coated Paperboard for the Use of 1-Way Paper Cup. Journal of Food Science, 74: 2. S. 105.

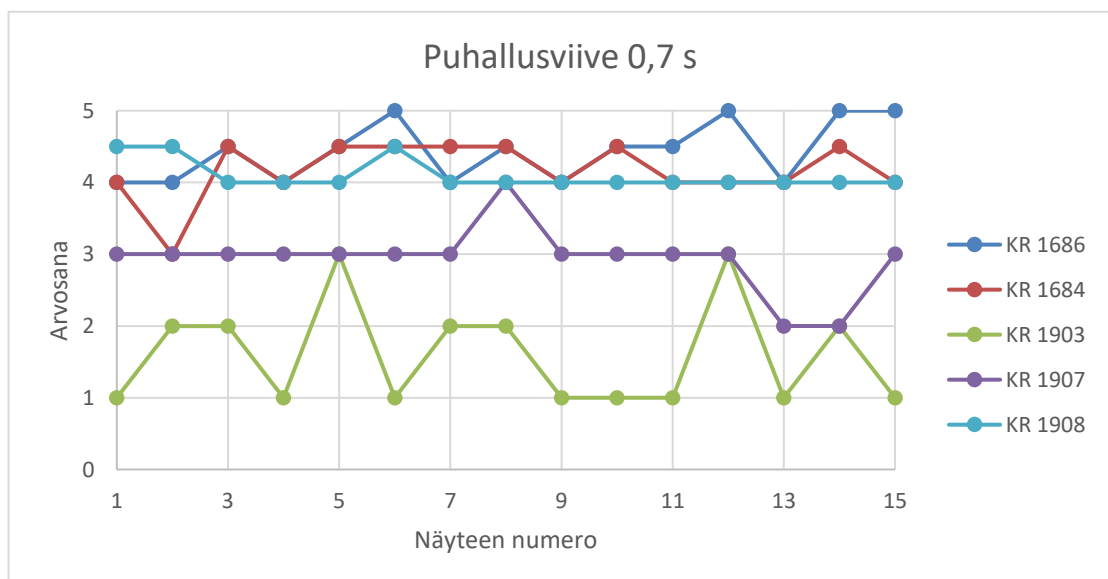
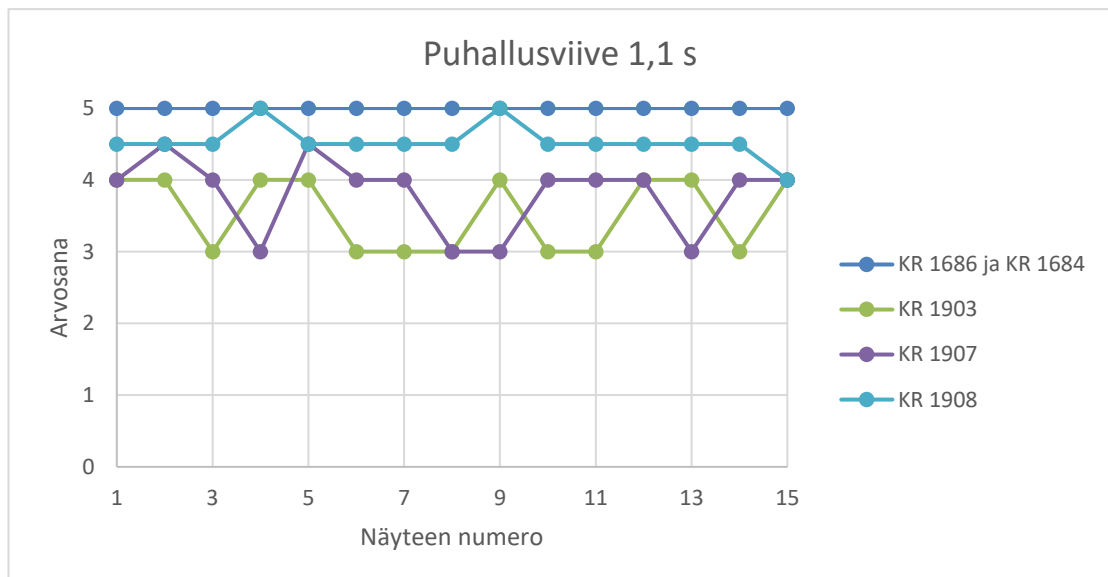
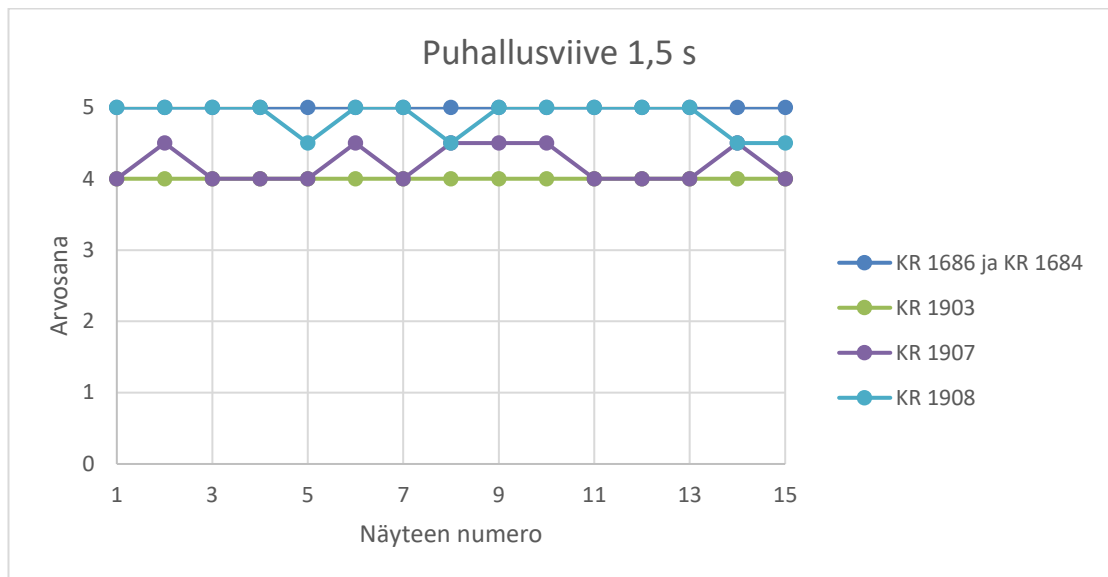
Schoukens, G, Breen, C, Baschetti, M, Elegir, G, Vähä-Nissi, M, Qiuyun, L, Tiekstra, S & Simon, P. 2014. Complex Packaging Structures Based on Wood Derived Products: Actual and Future Possibilities for 1-Way Food Packages. Journal of Materials Science Research. Vol. 3, No. 4. S. 58-67.

**LIITTEET**

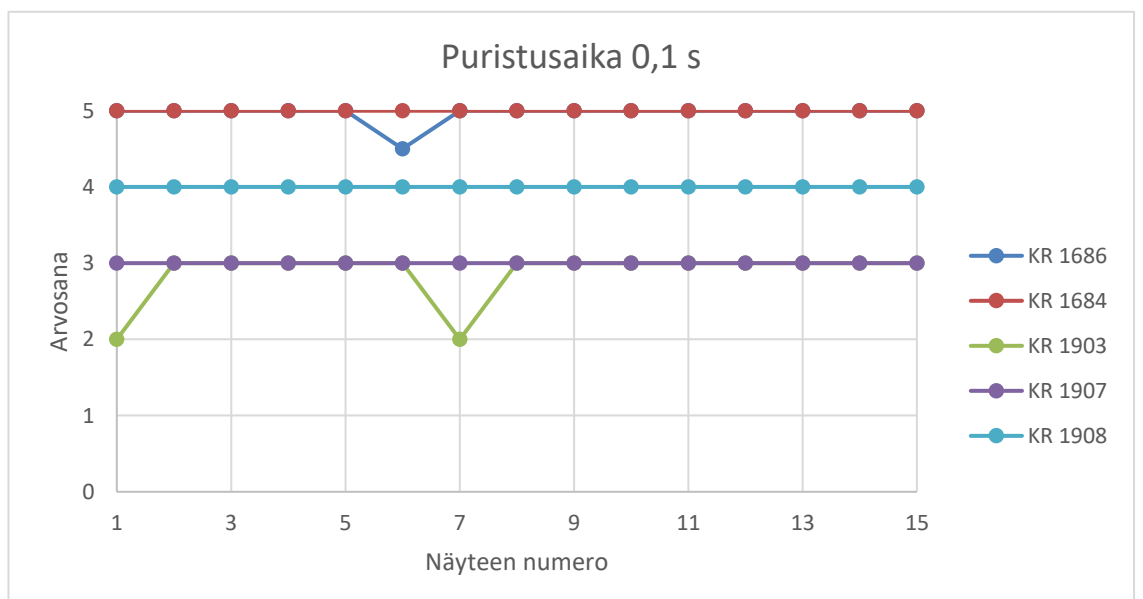
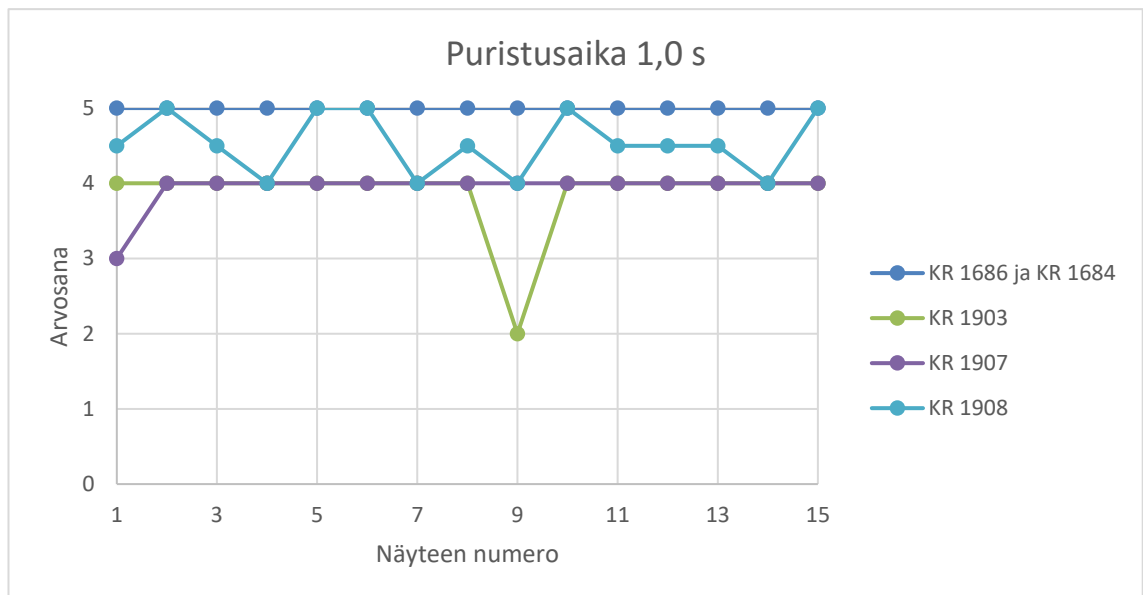
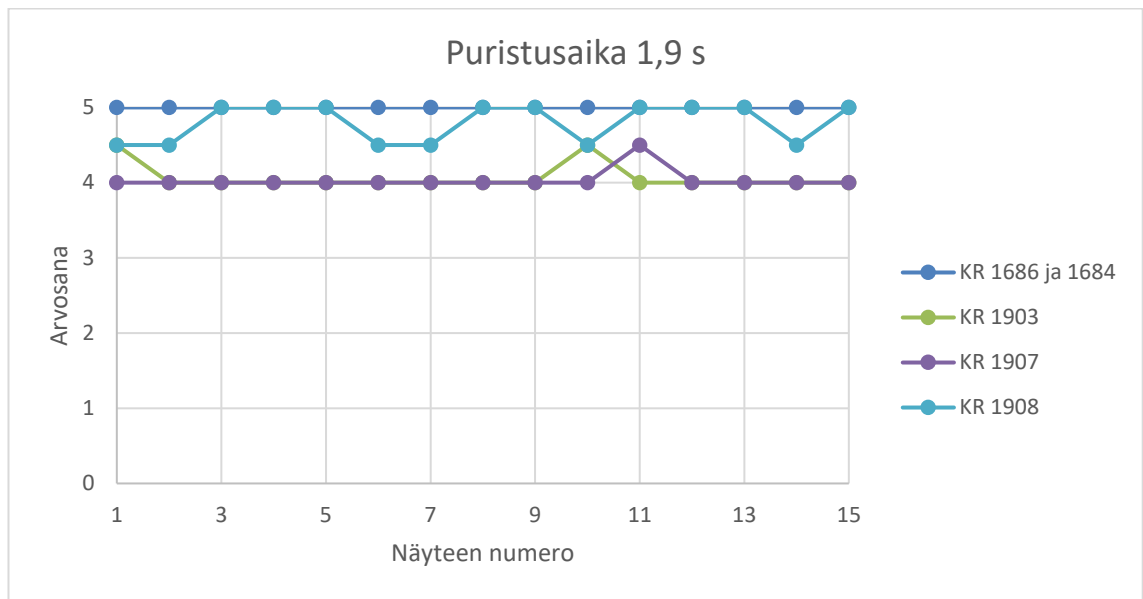
Liite 1. Vakioajoparametrien mittaustulokset



## Liite 2. Puhallusviiveen mittaustulokset

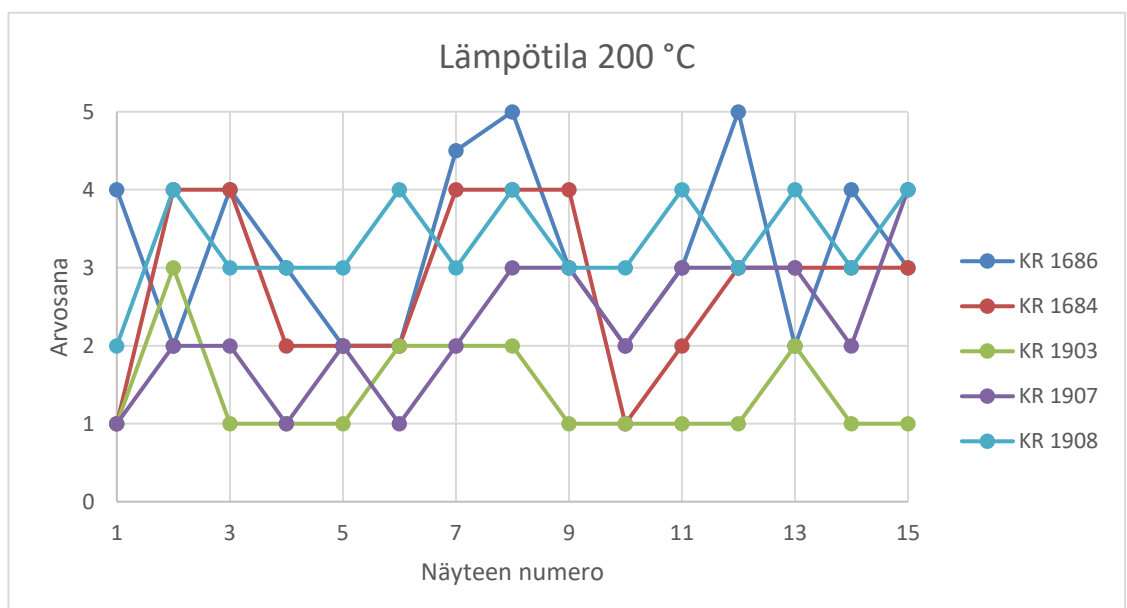
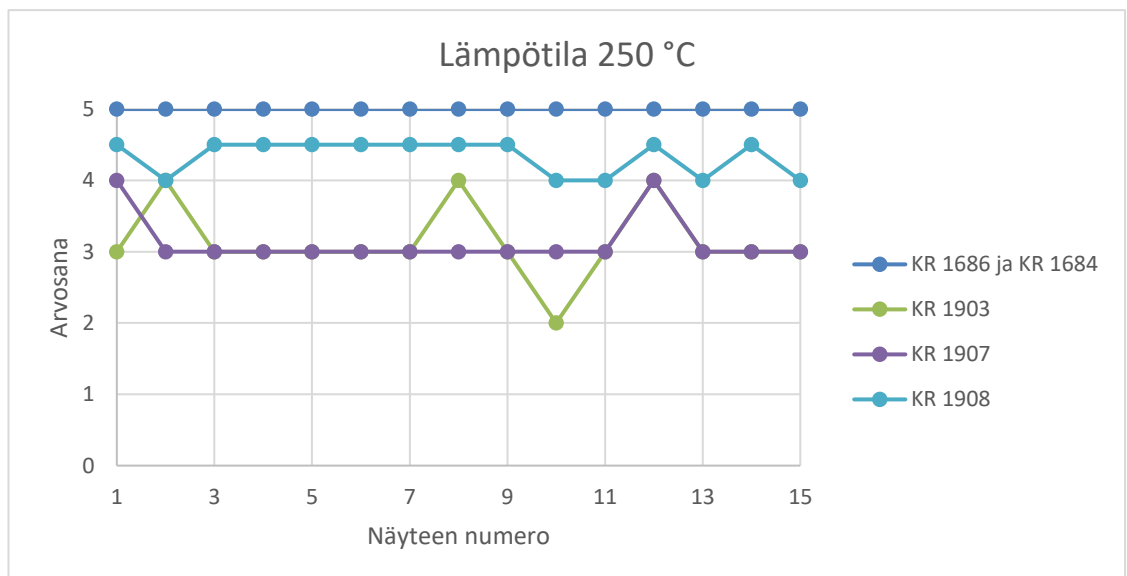
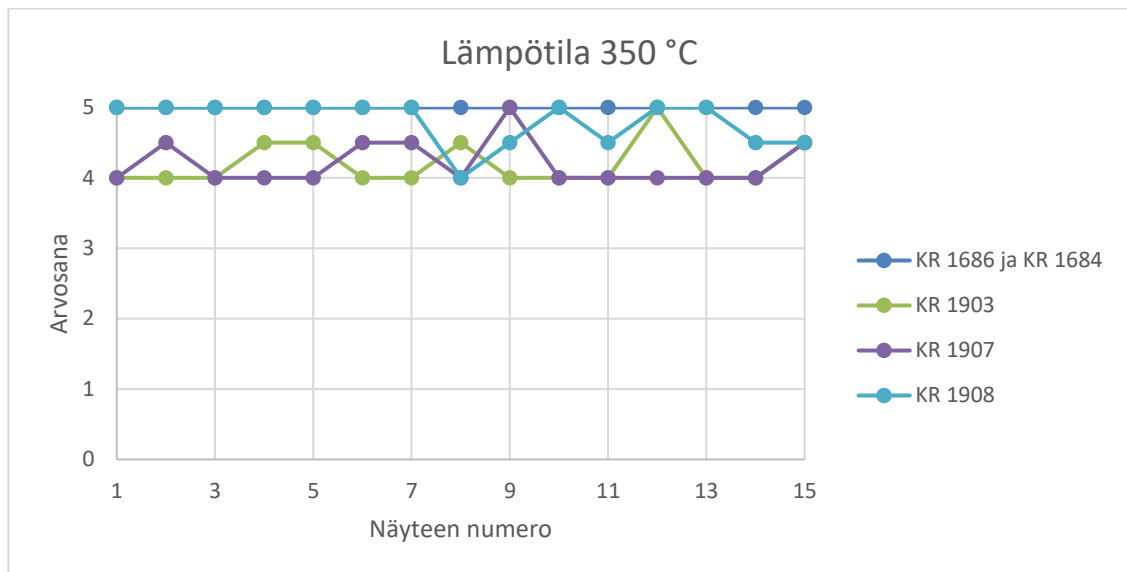


## Liite 3. Puristusajan mittaustulokset





## Liite 4. Lämpötilan mittaustulokset



## Liite 5. Puristusvoiman mittaustulokset

