

Tommi Raijas

# KUPPIKARTONGIN PINTALIIMAUKSEN PARAMETRIEN VAIKUTUS REUNAIMEYTYMÄN HALLINTAAN

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Biotuotetekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Tommi Raijas
Työn nimi	Kuppikartongin pintaliimauksen parametrien vaikutus reunaimeytymän hallintaan
Toimeksiantaja	Stora Enso Oyj
Vuosi	2023
Sivut	58 sivua, liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Petteri Paananen (Xamk) ja Anna Veijalainen (Stora Enso Oyj)

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö suoritettiin Stora Enson Imatran tehtaille Kartonkikone 1:lle (KA1). Työn tarkoituksena oli selvittää kartonkikoneen pintaliiman lisäainekerroimen ajomallia sekä kuiva-ainepitoisuuden vaihtelua historiadatasta sekä tutkia näiden korrelaatiota kuppikartongin reunaimeytymään. Ongelmana oli mitattu reunaimeytymätason ja -luokituksen vaihtelu, jonka perusteella lisäainekerrointa säädetään. Luokitustasot paranevat uusittujen laboratoriokokeiden jälkeen, mutta tällöin on usein ehditty jo reagoida ja säätää prosessia turhaan. Tavoitteena oli määrittää toimintatapasuositus kartonkikoneelle siihen, milloin lisäainekerrointa on syytä muuttaa ja milloin kuiva-ainepitoisuuden vaihteluun on syytä reagoida

Työn kokeellisessa osuudessa analysoitiin historiadataa vuoden 2022 ajalta. Tutkimusmenetelmänä toimi tilasto-ohjelmisto Minitabilla lasketut korrelaatiot eri muuttujien välillä. Historiadata ei osoittanut korrelaatioita lisäainekerroimen ja reunaimeytymätasojen välillä, jonka perusteella ajettiin koeajo pintaliiman lisäainekerroimen säätelyn vaikutuksesta reunaimeytymään pitäen muut prosessin arvot muuttumattomina. Koeajossa ajettiin lisäainekerrointa laajalla skaalalla tavallista pienemmästä kertoimesta tavallista suurempaan neljän koepisteen verran, joista yksi koepiste myös kokonaan ilman lisäainetta. Tulokset viittasivat samaan suuntaan kuin mitä historiadataa analysoimalla oli saatu. Pienen otannan vuoksi toista koeajoa lähdettiin suunnittelemaan laajemman koepisteotannan pohjalta. Toisessa koeajossa koepisteissä ajettujen konerullien määrää nostettiin yhdestä kolmeen kahdessa koepisteessä, joissa lisäainekerrointa ajettiin tavallista pienempänä. Tämän koeajon rullia seurattiin myös PE-päällystykseen, joista otettiin myös näytteet reunaimeytymätasoa varten päällystyksen jälkeen.

Sekä historiadatan analysoinnista että molemmista koeajoista saadut tulokset tukivat toisiaan siinä, ettei lisäainekerroimen säätelyllä ollut korrelaatiota reunaimeytymätasoon ja -luokituksiin. Työn tulosten pohjalta lisäainekerroimen voi vakiinnuttaa tiettyyn tasoon ja myös sen laskemista nyt käytettyjä arvoja pienempään tasoon voisi olla mahdollista. PE-päällystetyistä rullista saatiin myös hyvät tulokset, eikä pienempi lisäainemäärä raakakartongin pintaliimassa vaikuttanut merkittävästi päällystetyn tuotteen reunaimeytymään. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja reunaimeytymän välillä korrelaatiota ei havaittu.

**Asiasanat:** kartonkikone, kuppikartonki, pintaliimaus, reunaimeytymä

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Tommi Raijas
Thesis title	The cup board surface sizing parameters effect on the edge wicking
Commissioned by	Stora Enso Oyj
Time	2023
Pages	58 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Petteri Paananen (Xamk) and Anna Veijalainen (Stora Enso Oyj)

## ABSTRACT

This thesis was made at Stora Enso's Imatra Mills for Board Machine 1 (BM1). The purpose of the work was to find out the variation of the additive rate and dry solids content of the surface size of the board machine from the historical data and to investigate their correlation to the edge wicking of the cup board. The problem was the variation in the edge wicking level and classification on the basis of which the additive rate is adjusted. The classifications improve after laboratory tests, but then reactions and adjustments are then already made for nothing. The goal was to determine the operating method recommendation for the BM1 when it is necessary to change the additive rate and when it is necessary to react to changes in the dry solids content.

Historical data was analyzed from the year 2022. The research method was to calculate correlations between different variables using statistical software Minitab. The historical data showed no correlations between the additive rate and the edge wicking levels. A test run was thus conducted to adjust the additive rate of the surface size on the edge wicking, while the other process values were kept unchanged. In the test run, the additive rate was run on a wide scale, from a lower than usual to a higher than usual through four test points. One of the test points was also completely without additive. Due to the small sample of the first test run, a second test run was planned based on a larger sample of test points. In the second test run, the number of machine rolls run at test points was increased from one to three at two test points, where the additive rate was lower than usual. The rolls of this test run were also followed to the PE-coating.

The results from analyzing the historical data and both test runs supported each other. There was no correlation between the adjustment of the additive rate and the edge wicking levels and classifications. Based on the results of the work, the additive rate can be stabilized at a certain level and it could also be possible to reduce it to a lower level than the amount used now. Good results were also obtained from the PE-coated rolls and the lower amount of the additive in the surface size of the raw cup board did not affect significantly on their edge wicking. The correlation between the dry solids content of the surface size and the edge wickings were not observed.

**Keywords:** board machine, cup board, edge wicking, surface sizing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	STORA ENSO OYJ .....	7
2.1	Imatran tehtaot.....	7
2.2	Kartonkikone 1 .....	8
3	PINTALIIMAUS.....	9
3.1	Tärkkelys .....	10
3.2	Muut pintaliimat ja lisäaineet.....	12
4	LIIMAPURISTIN.....	13
4.1	Lammikkoliimapuristin .....	14
4.2	Filmiliimapuristin .....	16
4.3	Sprayliimapuristin .....	18
4.4	Kovanippiliimapuristin .....	19
5	PINTALIIMAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	21
5.1	Kartongin ominaisuudet.....	21
5.2	Lammikkoliimapuristimen ajo-olosuhteet .....	22
5.3	Pintaliiman lämpötila, pH ja viskositeetti .....	22
5.4	Pintaliiman kemiallinen koostumus.....	23
5.5	Pintaliiman kuiva-ainepitoisuus.....	23
6	REUNAIMEYTYMÄ .....	24
7	EWT.....	25
	KOKEELLINEN OSUUS .....	26
8	HISTORIADATAN ANALYSOINTI.....	26
9	KOEAJO 1 .....	31
9.1	Referenssipiste .....	32
9.2	Koepiste 1.....	33
9.3	Koepiste 2.....	34
9.4	Koepiste 3.....	36

9.5	Koepiste 4.....	36
9.6	Koeajon tulokset.....	37
10	KOEAJO 2.....	41
10.1	Referenssipiste.....	42
10.2	Koepiste 1.....	42
10.3	Koepiste 2.....	44
10.4	Koepiste 3.....	45
10.5	Koeajon tulokset.....	46
11	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	50
	LÄHTEET.....	52
	KUVALUETTELO	
	TAULUKKOLUETTELO	
	LIITTEET	

Liite 1. EWT-näyteliuskat (Koeajo 2)

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin toimeksiantona Stora Enson Imatran tehtaille. Työn tarkoituksena oli kartoittaa Kartonkikone 1:n (KA1) pintaliiman lisäainekertoimen sekä kuiva-ainepitoisuuden vaihtelun korrelaatioita kuppikartongin reunaimeytymään.

Lisäainekertoimen osalta haluttiin selvittää, onko sen säätelyllä korrelaatiota reunaimeytymään. Tavoitteena oli saada toimintatapasuositus kartonkikoneelle, jolla mahdollisesti välttyttäisiin turhalta lisäainekertoimen säätelyltä. Lisäainekerroin on suhde pintaliiman määrään, eli kerrointa nostamalla lisäaineen määrä pintaliimassa kasvaa. Kuiva-ainepitoisuuden osalta haluttiin selvittää, onko kuiva-ainepitoisuuden vaihteluun tarve reagoida reunaimeytymän osalta. Näin voitaisiin saada kustannussäästöjä käytettyjen kemikaalien osalta pintaliimausprosessissa. Myös muita mahdollisesti reunaimeytymään vaikuttavia tekijöitä kartoitettiin.

Pintaliimaus on erityisen merkittävässä osassa kuppi- ja nestepakkauskartongeilla estämään nesteen imeytymistä kartonkiin. Pintaliimauksella vahvistetaan myös kartongin lujuuksia. Kartongin reunaimeytymä aiheuttaa sekä visuaalisia haittoja että toiminnallisia vikoja kartonkiin, jonka takia sen toteutumista pyritään vähentämään ja estämään pintaliimauksen avulla. Kuppikartongin reuna on kupin saumakohtaan avoimeksi ja nesteen imeytymiselle alttiiksi jäävä alue kartongista.

Kirjallisuusosuudessa kerrotaan lyhyesti toimeksiantajayrityksestä, Imatran tehtaista ja työn kohteena olleesta kartonkikoneesta. Enemmän keskitytään pintaliimausprosessiin ja liimapuristimiin, joilla itse pintaliimaus tapahtuu.

Kokeellisessa osuudessa käydään läpi työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä. Historiadataa analysoimalla selvitettiin eri tekijöiden korrelaatioita pidemmältä aikaväliltä reunaimeytymään. Lisäksi käsitellään työssä ajettuja koeajoja ja niistä saatuja tuloksia.

## 2 STORA ENSO OYJ

Stora Enso Oyj sai alkunsa vuonna 1998 suomalaisyhtiö Enso Oyj:n ja ruotsalaisen Stora AB:n yhdistyessä Stora Ensoksi. Sekä Helsingin että Tukholman pörsseissä noteerattavan yhtiön liikevaihto oli 10,2 miljardia euroa vuonna 2021 ja sen henkilöstö kattaa noin 22 000 työntekijää. (Historia s.a.)

Stora Enso on paperi-, pakkaus-, puutuote- ja biomateriaaliteollisuuden globaali toimittaja. Uusiutuvista biopohjaisista raaka-aineista valmistettavat tuotteet ovat vahva osa yhtiön strategiaa. Vuonna 2021 Stora Enso tuotti 5,3 miljoonaa tonnia kartonkia, 2,3 miljoonaa tonnia paperia, 5,9 miljoonaa tonnia kemiallista massaa ja 1,4 miljardia neliometriä aaltopahvipakkauksia. (Tietoa ja lukuja s.a.)

Yhtiö koostuu viidestä divisioonasta, joita ovat Packaging Materials, Packaging Solutions, Biomaterials, Wood Products ja Forest. Asiakaskunta muodostuu pääsääntöisesti pakkaus-, puutuote- ja rakennusalaista ja kustannus- ja painoalan sekä paperitukkumyynnin toimijoista ympäri maailman. (Divisioonat s.a.)

Suurin osa konsernin toiminnasta sijaitsee Euroopassa ja lähes puolet Suomessa ja Ruotsissa. Aasia ja Etelä-Amerikka ovat Euroopan jälkeen suurimmat Stora Enson toimialueet. Vuonna 2022 Stora Enso ilmoitti lopettavansa tuotantonsa ja vetäytyvänsä kokonaan Venäjältä Ukrainan sodan vuoksi. (Stora Enso 2022a; Stora Enso 2022b.)

### 2.1 Imatran tehtaat

Stora Enson Imatran tehtaat perustettiin vuonna 1935 saaden alkunsa Kaukopäähän rakennetusta sellutehtaasta. Sotien jälkeen Imatralle päätettiin rakentaa myös kartonkitehdas korvaamaan rajan taakse jääneitä tuotantolaitoksia. (Rinkinen 2020, 25–27.)

Imatran tehtaiden vuotuinen kapasiteetti on 1,2 miljoonaa tonnia kuluttajapakkauskartonkia, 1,3 miljoonaa tonnia sellua ja 455 000 tonnia muovipäällysteitä. Tehtailla työskentelee noin tuhat henkeä ja sen pääasiallisena markkina-alueena ovat Eurooppa ja Kaakkois-Aasia. (Imatran tehtaat s.a.)

Tehtaat ovat osa Stora Enson Packaging Materials -divisioonaa. Kaukopään tehdas on Imatran yksiköistä suurempi ja siellä toimivat sellutehdas, kemihierrelaitos, kolme kartonkikonetta ja neljä päällystyskonetta. Tehdasta kuvattuna kuvassa 1. (Stora Enso 2023.)

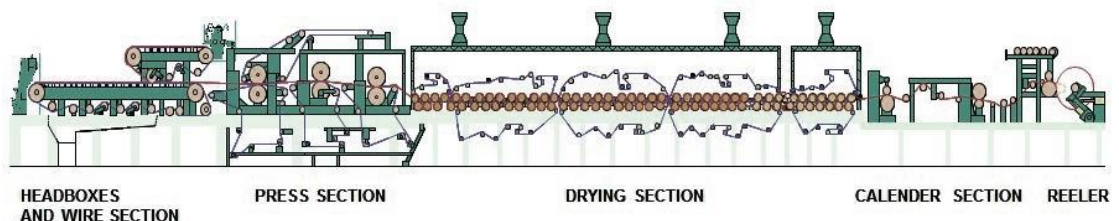


Kuva 1. Imatran tehtaat, Kaukopää (Stora Enso 2022)

Kaukopään lisäksi Imatran tehtaiden toiminta kattaa 2020-luvulla Tainionkosken tehtaan, jonne tuotantoa laajennettiin 1960-luvulla ja tutkimuskeskuksen Tainionkoskella Tornansaassa vanhoissa Tornatorin tiloissa. Tainionkoskella toimivat sellutehtaan lisäksi Kartonkikone 5, Paperikone 7 ja tutkimuskeskuksella koepäällystyskone ja koepaperikone. (Stora Enso 2023.)

## 2.2 Kartonkikone 1

Kartonkikone 1 (KA1) käynnisti tuotantonsa Stora Enson Imatran tehtaiden ensimmäisenä kartonkikoneena vuonna 1950. Kartonkikoneen valmisti yhdysvaltalainen Beloit. Koneella valmistetaan kolmikerroksista kuppikartonkia. KA1:n viiraleveys on 4400 mm ja sen kapasiteetti on 195 000 t/a. Kuvassa 2 on havainnollistettu KA1:n yleiskuvaa.



Kuva 2. Kartonkikone 1:n layout-kuva (Stora Enso 2015)



KA1 on historiansa aikana kokenut monia uudistuksia vuosina 1963, 1968, 1985, 1991 ja 1999. KA1 siirtyi Imatran tehtaiden ensimmäisenä kartonkikoneena kolmikerroskartongin valmistukseen 1985. (Rinkinen 2020, 40.)

KA1:n ajamien kartonkilajien grammapainot vaihtelevat välillä 170–330 g/m<sup>2</sup>. Suurin osa koneen tuottamasta kartongista jatkojalostetaan päällystyskoneilla joko yksi- tai kaksipuoleisesti riippuen käyttökohteesta. Yksipuoleisesti päällystetystä kartongista valmistetaan lopputuotteena kuumajuomakuppeja ja kaksipuoleisesti päällystetystä kylmäjuomakuppeja.

### 3 PINTALIIMAUS

Pintaliimausta käytetään kartongin tai paperin ominaisuuksien parantamiseen ja se suoritetaan liimapuristimella. Käytännössä tämä tapahtuu useimmiten modifioidun tärkkelyksen ja polymeeridisersioiden applikoinnista kartonkirtaan. Tarkoituksena on parantaa lujuuksia, kuten palstautumis- ja pintalujutta, kuitujen välistä sitoutumista ja lisätä jäykkyyttä ja absorptio-ominaisuuksia. Nestepakkauskartonkien ollessa kyseessä pintaliimauksella halutaan parantaa kartongin kykyä estää nesteen imeytymistä etenkin reunan eli sauman kohdalta. Täyteaineiden ja halvempien ja lujuusominaisuuksiltaan heikompien massojen käyttö on pintaliimauksen ansiosta mahdollista ja niiden käyttö onkin yleistynyt. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 45, 180; Ek ym. 2009, 276; Prowledge Oy 2023.)

Pääsääntöisesti pintaliiman syöttöprosessi tapahtuu samalla kaavalla. Tärkkelys keitetään ja se johdetaan noin 10–20 % kuiva-ainepitoisuudessa paperi- tai kartonkikoneelle, jossa sitä laimennetaan lämpimällä vedellä 4–12 % ennen liiman konesäiliötä. Liiman lämpötila on 55–60 °C:ta. Konesäiliöön tulevaa tärkkelysvirtaa säädetään säiliön pinnansäädöllä. Pintaliima pumpataan konesäiliöstä sihtien kautta kahdella linjalla liimapuristimelle, joista toinen linja applikoi liiman radan pintapuolelle ja toinen pohjapuolelle. Molemmat linjat vaativat oman pumppunsa. Hienojakoinen sihti poistaa epäpuhtaudet liimassa. Liiman paluukierto ohjataan konesäiliöön tärysihdin kautta, joka kerää esimerkiksi ratakatkoissa liimakiertoihin ajautuneen paperi- tai kartonkisilpun. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 182.)

Pintaliimaus sitoo kuituja, mutta sillä voidaan parantaa myös radan sisäistä lujuutta penetroidamalla pintaliima Z-suunnassa rataa. Tähän voidaan vaikuttaa valitulla pintaliimausmenetelmällä. Kerrosten väliin penetroidu pintaliima parantaa sisäistä lujuutta ja ehkäisee palstautumista. Etenkin päällystettävillä kartonkilajeilla kuitenkin halutaan, että pintaliimaa on enemmän pinnalla pintalujuuden parantamiseksi ja vahvistamaan kestävyyttä tulevalle päällysteelle. (Räisänen 2020b.)

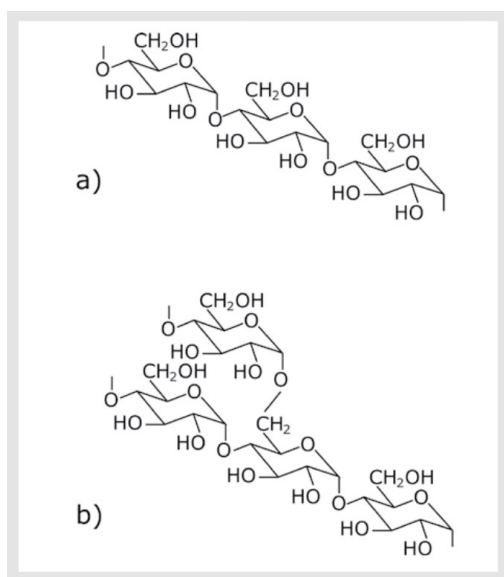
Pintaliimauksella voidaan vaikuttaa myös muihin kartongin ominaisuuksiin. Sillä voidaan parantaa kartongin painettavuusominaisuuksia, kuten profiilia ja kiiltoa, vaikuttaa sen opasiteettiin ja kasvattaa tiheyttä. Se vähentää myös pölyävyyttä. Pintaliimaus tehostaa täyteaineiden kykyä parantaa kartongin optisia ominaisuuksia. (Alén 2007, 84.)

Pick-upilla mitataan rataa siirtynyttä märkää määrää. Se koostuu radan pintakarheustilavuudesta eli pohjapaperitermistä, radan pinnalle jäävästä vapaasta liimafilmistä eli hydrodynaamisesta termistä ja kapillaari- tai paineabsorptiosta liimalammikossa eli absorptiotermistä. Pohjapaperitermi vastaa pintakarheustilavuutta, joka pienessä ajassa täyttyy pintaliimasta, kun rata ja liima joutuvat kontaktiin keskenään. Hydrodynaamisen termin ja absorptiotermin vaikuttavat suureet vaikuttavat käänteisesti. Suureita ovat kontaktiaika ja pintaliiman viskositeetti. Hydrodynaamisen termin osuus suurenee kasvavan viskositeetin ja konenopeuden, eli lyhyemmän kontaktiajan funktiona. Absorptiotermillä ilmiö on taas päinvastainen, eli sen osuus pienenee. Erittäin pienillä nopeuksilla absorptiotermin osuus pick-upista on huomattavan suuri, kun taas suurilla nopeuksilla hydrodynaamisen termin osuus on huomattava. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 182–183.)

### 3.1 Tärkkelys

Tärkkelys on yleisin pintaliimauksessa käytettävä aine. Paperiteollisuudessa käytetään pääasiassa vehnä-, maissi-, peruna- ja tapiokatärkkelystä riippuen tehtaan maantieteellisestä sijainnista. Tärkkelys on luonnon polymeeri, jossa glukoosimonomeerit ovat liittyneet toisiinsa glykosidisillä sidoksilla. Glukoosin lisäksi tärkkelyksen ainesosia ovat amyloosi ja amylopektiini. Kuvassa 3 on

esitettyinä amyloosin ja amylopektiinin rakennekaavat. (Paltakari 2009, 192–195.)



Kuva 3. A) amyloosi ja b) amylopektiini (Alén 2007)

Raakatärkkelys omaa liian korkean viskositeetin ja retrogradaation, joten se on käsiteltävä ennen sen käyttöä pintaliimauksessa. Käsittelyssä tärkkelys keitetään joko eräkeitolla tai jatkuvatoimisella keitolla. Tärkkelysmolekyylit pilkotaan, jotta viskositeettia saadaan alennettua ja retrogradaatiota estettyä. Tärkkelysketjujen pilkkominen pyritään rajoittamaan niin, ettei sen kuitujen sitomiskyky heikkene. Viskositeettia voidaan alentaa ja tärkkelystä pilkkoa lämpökäsittelyllä, entsyymikonvertoinnilla tai hapettamisella. (Paltakari 2009, 195–199.)

Alénin (2007, 84) mukaan pintaliimana käytettävä tärkkelys pilkotaan useimmiten hapettamalla hypokloriitilla tai peroksidilla ja pienellä kationisoinnilla. Pilkkominen voi tapahtua joko tärkkelyksen valmistajalla tai tehtaalla, mutta kationisointi tapahtuu yleensä valmistajalla.

Tärkkelystä voidaan modifioida myös muilla tavoin. Esimerkiksi lisäämällä hapetuksen avulla karboksyyliiryhmiä tärkkelykseen sen taipumus retrogradaatioon pienenee. Esteröimällä tai eetteröimällä tärkkelystä sen vedenkestävyysominaisuudet paranevat. (Prowledge Oy 2023; Paltakari 2009, 195–199.)

Tärkkelyksellä on neutraali tai heikosti negatiivinen varaus, jonka takia se sitoutuu kuituihin vain vetysidosten avulla. Tästä voi aiheutua ongelmia märänpään kemiassa ja jätevesipäästöjen suhteen, kun kartonkihylky ajautuu lyhyeen kiertoon. Varaustasoa voidaan muuttaa liittämällä aktiivisia kationisia tai anionisia ryhmiä tärkkelysketjuun. (Prowledge Oy 2023.)

Kiintoainepitoisuus, viskositeetti, hydrofobisuusaste ja lämpötila ovat ominaisuuksia, jotka vaikuttavat tärkkelyksen käyttäytymiseen pintaliimana. Vastavasti kartongin ominaisuudet, kuten huokoisuus ja sileys ja luonnollisesti myös koneen ajo-olosuhteet vaikuttavat. (Alén 2007, 85.)

### **3.2 Muut pintaliimat ja lisäaineet**

Polyvinyylialkoholi (PVA) on korkean vetolujuuden omaava liima, jonka ominaisuuksiin kuuluvat joustavuus ja nesteen pidätyskyky, jota voidaan vielä parantaa hartsilla tai alkalistabiloidun kolloidisen silikaatin avulla. PVA:ia on mahdollista käyttää myös yksinään tai tärkkelyksen kanssa, mutta ajettavuusongelmia on esiintynyt aineita käytettäessä yhdessä. (Prowledge Oy 2023.)

Polyvinyylialkoholi liukenee täysin veteen ja sillä on erinomaiset filminmuodotusominaisuudet sekä kyky sitoa kuituja ja täyteaineita. PVA:lla pystytään parantamaan kartongin pintalujuutta z-suunnassa huomattavasti. Muita ominaisuuksia, jotka PVA:n ansiosta paranevat ovat kartongin mekaaniset lujuudet, kuten vetolujuus ja venymä. (Paltakari 2009, 251.)

Kokonaan hydrolysoituilla polyvinyylialkoholeilla käsitellyillä kartongeilla nesteenimeytyminen ei muutu juuri ollenkaan. PVA kykenee sitomaan hienojakoista ainesta ja auttamaan täyteainehiukkasten adsorboinnin kuituihin, jolloin pölyäminen painatuksessa vähentyy. (Paltakari 2009, 251.)

Karboksyylimetyyliselluloosa (CMC) on selluloosan karbyksoloitu johdannainen ja veteen liukeneva sideaine. Sitä valmistetaan synteettisesti monokloorietikkahapon ja alkaaliselluloosan välisellä reaktiolla. Monokloorietikkahapon natriumsuolaa voidaan myös käyttää reaktiossa. CMC-laatuojen välille saadaan eroja mm. lämpötilan ja reagenssien välisten suhteiden kautta viskositeetissa ja substituutioasteessa. (Alén 2007, 88; Prowledge Oy 2023.)

Alénin (2007, 88) mukaan CMC on kustannuksiltaan kallista käyttää, joten sen käyttö on suhteellisen rajoittunutta erityisesti erikoispapereihin. Anioninen CMC tarvitsee retentioon myös kationisen komponentin, kuten alunan. Alunan käyttö taas rajoittaa CMC:n käyttämistä happamissa olosuhteissa. (Alén 2007, 88–89.)

CMC dispergoidaan kylmään veteen, sillä lämmin vesi lyhentää merkittävästi dispergointiaikaa. Sillä on hyvät ominaisuudet muodostaa liimafilmi, joten sitä käytetään viskositeetin säätöön pintaliimassa. Vesiretentio ja öljynabsorptio ovat myös ominaisuuksia, joihin CMC:llä vaikutetaan. Pinnan elastisuus ja näin ollen hankauskestävyys paranevat CMC:n avulla. (Prowledge Oy 2023.)

Pintaliimauksessa voidaan käyttää myös lisäaineita, kuten hydrofobisia polymeerejä tehostamaan liimausta ja näin parantamaan esimerkiksi painatusjälkeä. Styreenimaleiininhydridit (SMA) ovat vesiliukoisia yhdisteitä, jotka muodostavat tasaisen filmin kartongin pintaan. Polyuretaanit ja styreeniakrylaatti ovat dispersiona vesiliuoksessa muodostaen kartongin pintaan tärkkelyksen hydrofiilisten alueiden matriisin. Lisäaineena voi toimia myös alkyyliketeneidi-meeri eli AKD. (Prowledge Oy 2023.)

Hydrofobinen polymeeridispersio parantaa nesteenvastustuskykyä ja vähentää painoväriin penetroitumista ja näin ollen tehostaa sen jäämistä kartongin pinnalle. Tämä nostaa myös painoväriin kuivumisaikaa. (Prowledge Oy 2023.)

#### **4 LIIMAPURISTIN**

Liimapuristin on pintaliimauslaite, jonka tarkoituksena on suorittaa pintaliimaus paperille tai kartongille. Liimapuristimet muodostuvat tyypillisesti kahdesta telasta, puristintyyppistä riippuvasta applikointimenetelmästä ja telojen väliin muodostuvasta nipistä. Liimapuristimia on erityyppisiä, joista yleisimmät ovat lammikkoliimapuristin, filmiliimapuristin ja hieman uudempana innovaationa sprayliimapuristin. Uusimpana menetelmänä on kehitetty kovanippiliimapuristin. (Prowledge Oy 2023; Räisänen 2020b.)

Liimapuristin on yleensä sijoitettu kaltevaan asentoon. Alatelan halkaisija on useimmiten suurempi kuin ylätelalla ja sen vaippa on joko kumia tai polyuretaania. Leveät koneet käyttävät taipumasäädettävää ylätelaa metallivaipalla. Taipuma säädetään nippikuormituksen mukaisesti oikeaksi. Telojen koko, nipin pituus ja nippipaine vaikuttavat liimapuristimella rataa siirtyvään pintaliiman määrään hydrodynaamisten voimien vaikutuksesta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 180.)

Liimapuristimen on taattava tuotantotehokkuus laadun kärsimättä ja liimapuristimen jälkeen on pystyttävä myös kuivaamaan kartonkirata, johon on lisätty pintaliimaa. Tästä johtuen liimapuristin sijoitetaan yleensä kartonkikoneen kuivausosalle kohtaan, jossa kosteusprosentti on 4–11 %:n välillä. Kuivausta tarvitaan jämäköittämään pintaliima. (Paltakari 2009, 18.)

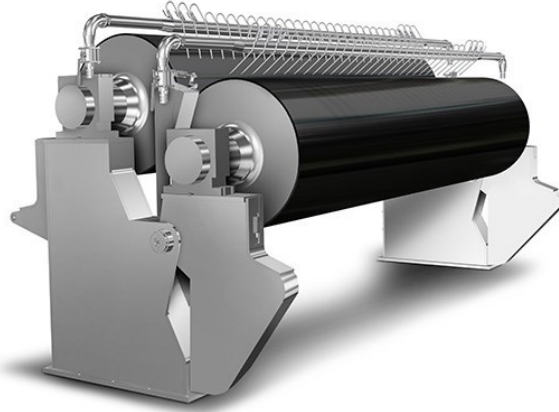
Myös muita lisäaineita voidaan lisätä kartonkiin liimapuristimella, joka soveltuu 100 %:n retention johdosta hyvin lisäyskomponentiksi. Näin vähenevät kierto-vesien likaantuminen ja materiaalihävikit. Halutessaan liimapuristimella voidaan kohdistaa lisäaine vain yhdelle puolelle kartonkia. Pelkästään vettä käytetään joskus parantamaan kosteusprofiilia ja dimensiostabiiliteettia. (Prowledge Oy 2023.)

#### **4.1 Lammikkoliimapuristin**

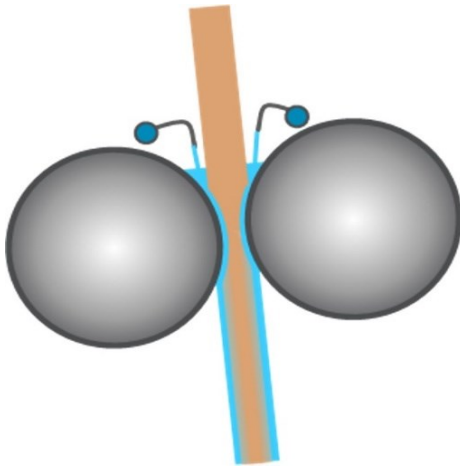
Yksi malli liimapuristimista on lammikkoliimapuristin. Se soveltuu lähinnä kartonkikoneille, sillä se ei mahdollista kovinkaan suurta ajonopeutta koneelle. Vahvaa liimausta tarvittaessa sitä voidaan käyttää myös erikoispapereiden ja suuren neliömassan vaativien painopapereiden tuotannossa. (Prowledge Oy 2023.)

Lammikkoliimapuristin koostuu kahdesta telasta, joiden väliin levitetään liimalammikko. Kartonkirata ohjautuu liimalammikon läpi telojen muodostamaan nippiin. Nipin yläpuolelle on sijoitettu jakeluputket, joita pitkin pintaliima syötetään liimalammikkoon. Nippi puristaa pintaliiman kartonkiin. Paluuvirtaus liimalammikosta ohjataan konesäiliöön. Alhaisempi ajonopeus mahdollistaa stabiilin liimalammikon, joka ei roiskuta liimaa, toisin kuin suuremmilla nopeuksilla. Kuvassa 4 on esitetty Valmetin OptiSizer Pond -nimisen

lammikkoliimapuristimen rakennetta ja kuvassa 5 lammikkoliimapuristimen applikointimenetelmää. (Prowledge Oy 2023; Valmet 2023c; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 181.)



Kuva 4. Lammikkoliimapuristin OptiSizer Pond (Valmet 2023c)



Kuva 5. Havainnekuva lammikkoliimapuristimen applikointimenetelmästä (ForestBioFacts 2022)

Pintaliiman kuiva-ainepitoisuus lammikkoliimapuristimella on yleensä noin 5-6 % ja rataan jää kokonaismäärällisesti noin 4 g/m<sup>2</sup> pintaliimaa. Suuremmat kuiva-ainepitoisuudet johtavat ongelmiin ajettavuuden ja halutun laadun kanssa. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 180–181.)

Paltakarín (2009, 495) mukaan lammikkoliimapuristimella on edelleen etuja laadun suhteen verrattuna esimerkiksi filminsiirtotekniikalla varustettuun puristimeen, sillä liiman imeytyminen on tehokkaampaa, etenkin kartongin syvempiin kerroksiin. Lammikkoliimapuristimet ovat yleisesti luotettavia, sillä ne eivät tarvitse kovinkaan paljon huoltamista ja ne pitävät tuotteen laadun hyvänä.

Tällöin lammikkoliimapuristimella on edelleen parhaat edellytykset parantaa kartongin sisäisiä lujuusominaisuuksia (Prowledge Oy 2023).

Lammikkoliimapuristimelta löytyy myös lukuisia haittapuolia. Tyypilliseksi ongelmaksi on muodostunut liimalammikon huono virtausprofiili nopeuksien ollessa korkeita. Tällöin liimalammikossa voi esiintyä turbulenssia, jolloin virtaus ja kovemmilla nopeuksilla myös pintaliiman levitys muuttuvat epätasaisiksi ja aiheuttavat liiman roiskumista. Ongelmia alkaa usein esiintyä nopeuden ylittäessä 1000 m/min. Ratkaisua on haettu suuremmilla liimapuristimen teloilla, jotta suurempi hydrostaattinen paine vähentäisi liimalammikon roiskimista. Liimalammikon roiskimiseen vaikuttaa suuresti myös käytetyn pintaliiman viskoottisuus. Suurempi viskositeetti lisää lammikossa esiintyvää turbulenssia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 181.)

Lammikkoliimapuristin vaatii enemmän kuivatuskapasiteettia liimapuristimen jälkeen, sillä rata on märkä kuljettuaan liimalammikon ja puristimen läpi. Märkä rata voi aiheuttaa myös herkemmin ratakatkoja. Sillä on myös hyvin rajoitetut mahdollisuudet säätää tärkkelyksen kiintoainepitoisuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 181; Paltakari 2009, 495.)

Hyvän laadun varmistaminen vaatii sen, että liimalammikko pysyy stabiilina. Tällöin viskositeetti, kuiva-ainepitoisuus ja koneen ajonopeus on pidettävä tietyllä tasolla, ettei liimalammikko epästabilisoidu ja tapahdu roiskumista. (Valmet 2023c.)

Opinnäytetyön aiheena olevalla Stora Enson Imatran tehtaiden Kartonkikone 1:llä kyseessä on juuri lammikkoliimapuristin, jossa se on sijoitettu 4. ja 5. kuivausryhmän väliin.

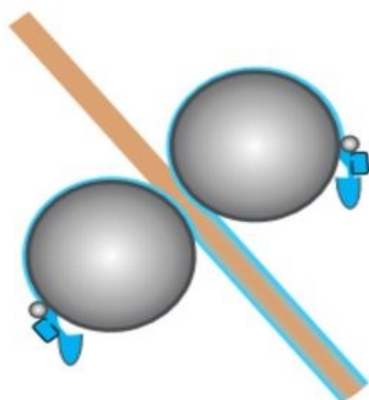
## **4.2 Filmiliimapuristin**

Filmiliimapuristimella liimafilmi levitetään siirtotelan pinnalle, josta se puristuu kartongin pinnalle kahden telan muodostamassa nipissä. Filminsiirtoapplikointi tarjoaa koneelle erinomaisen ajettavuuden ja samanaikaisesti tapahtuva pintaliiman applikointi radan molemmille puolille säästää tilaa, jonka ansiosta investointi filmiliimapuristimeen on edullista. Filmiliimapuristimen kehittämisellä on



ollut tarkoituksena saada parempi ajettavuus kuin lammikkoliimapuristimella ja lisäksi mahdollisuus liimamäärän säätämiseen. (Prowledge Oy 2023.)

Urasauvaa käytetään tyypillisesti liimafilmin levityksessä telalle. Sen avulla pystytään minimoimaan syöttö- ja paluuvirtaus, sillä urasauva kaavaa syötettyä pintaliimaa pois niin, että saavutetaan halutun kokoinen liimafilmi. Näin eliminoidaan myös virtaushäiriöt ja ilmakuplat suurillakin nopeuksilla. Urasauva halkaisija on noin 10–12 mm ja se pyörii telan pyörimissuuntaa vastaan. Urasauvoja on erityyppisiä ja esimerkiksi leveämmät ja syvemmät urat sauvassa nostavat paksumman liimafilmin telalle. Myös urasauvan kuormitusta on mahdollista säätää. Kuvassa 6 on esitetty, miten filmiliimapuristimella liimafilmi applikoidaan kartonkiradalle. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 182; Valmet 2023a.)



Kuva 6. Havainnekuva filmiliimapuristimesta (ForestBioFacts 2020a)

Filminsiirtomenetelmän ansiosta rata on kuivempaa kuin lammikkoliimauksessa. Tämä mahdollistaa pienemmän energiankulutuksen liimapuristimen jälkeisellä kuivausryhmällä, jossa kuivausenergian tarve voi olla jopa 30–50 % pienempi kuin lammikkoliimapuristimella varustetulla kartonkikoneella. Filmiliimapuristimilla ratakatkoja ei esiinny yhtä usein kuin lammikkoliimapuristimilla. Levitetty pintaliima sisältää vähemmän vettä kuin lammikkoliimaus, minkä ansiosta myös kuituflokkien turpoaminen minimoituu kartongin keskikerroksessa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 181–182; Valmet 2023a.)

Hägglom-Ahngerin ja Komulaisen (2006, 181) mukaan pintaliiman joukkoon voidaan lisätä filmiliimapuristimella myös pigmenttejä, joka mahdollistaa

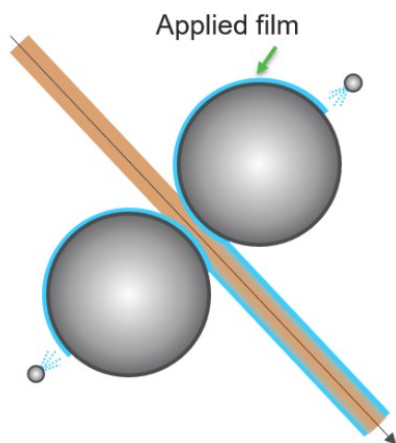
pigmentoitujen kartonkilajien ajamisen koneella. Pigmentoiduilla lajeilla optiset ominaisuudet ovat parempia.

Pintaliiman määrää säädetään seoksen kuiva-ainepitoisuutta muuttamalla samaan tapaan kuin lammikkoliimapuristimella, mutta liiman tunkeutuminen kartongin pohjaan on vähäisempää. Liimamäärä on myös riippumaton nopeudesta, kuiva-ainepitoisuudesta, joka voi myös olla suurempi kuin lammikkoliimauksessa tai kartongin absorptio-ominaisuuksista. Ratakatkojen määrät ovat alhaisempia, liimapuristin ei aseta rajoituksia koneen ajonopeudelle ja rata voidaan ajaa kosteampana liimapuristimelle, jolloin tarvitaan vähemmän kuivatuskapasiteettia ja näin ollen energiantarvetta ennen liimapuristinta sijaitseville kuivausryhmille. Kartongin sisäiseen lujuuteen ei kuitenkaan pystytä vaikuttamaan yhtä paljon kuin lammikkoliimapuristimella, joka korostuu paksummilla kartonkilajeilla. (Prowledge Oy 2023.)

### **4.3 Sprayliimapuristin**

Sprayapplikointia hyödyntävä liimapuristin on uudempi innovaatio, joka on kehitetty ratkaisemaan muilla liimapuristintyypeillä esiintyviä ongelmia.

Sprayapplikointi on täysin kontaktiton liimanlevitysmenetelmä. Aluksi pintaliima ruiskutettiin suoraan radalle, mutta nykyisin käytetään lähinnä menetelmää, jossa liima ruiskutetaan suuttimien kautta nippiteloille. Rata kulkee telojen välisen nipin läpi, joka puristaa pintaliiman samaan tapaan kartonkiin kuin lammikko- tai filmiliimapuristimella. Suuttimien syöttöpainetta säätämällä on helppo säätää nopeasti ja tarkasti pintaliiman määrää ja menetelmä reagoi myös nopeasti kiintoainepitoisuuden muutoksiin. Spraymenetelmällä on päästy samoihin lujuuksiin kuin filmiliimapuristimella ja myös tärkkelyksen kiintoainepitoisuus on tyypillisesti samalla tasolla. Applikointimenetelmää on hahmoteltu kuvassa 7. (Räisänen 2020a; Valmet 2023d.)



Kuva 7. Sprayapplikoinnin toimintaperiaate (Valmet 2023b)

Sprayliimapuristimen etuja perinteikkääseen lammikkoliimapuristimeen nähden ovat pienempi energiankulutus, sillä se ei tarvitse yhtä paljon kuivatuskapasiteettia liimapuristimen jälkeen. Sprayapplikointi mahdollistaa myös suuremman kiintoainepitoisuuden. Pintaliiman syöttöjärjestelmä voi olla pienempi ja näin ollen energiatehokkaampi, sillä liimaa ei spraymenetelmällä tarvitse kierrättää. Sprayliimapuristin ei myöskään vaadi lammikkoliimapuristimen tapaan kovinkaan paljon huoltoa vähäisen kulutusosien määrän johdosta. (Valmet 2023d.)

Sprayapplikointi ei rajoita koneen ajonopeutta tai kuiva-ainepitoisuusmäärää pintaliimassa samalla tavalla kuin lammikkoliimapuristin. Näin ollen sprayliimapuristimella on mahdollista nostaa koneen tehokkuutta. (Valmet 2023d.)

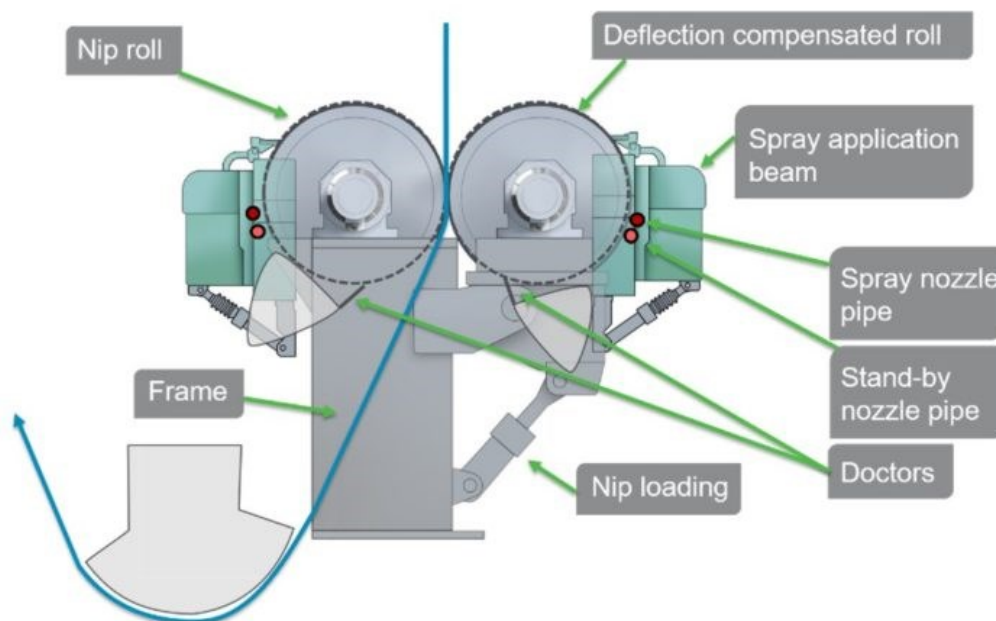
#### 4.4 Kovanippiliimapuristin

Kovanippiliimapuristin on uusi innovaatio liimapuristimissa. Kyseisessä menetelmässä käytetään suurempia nippipaineita, jonka tarkoituksena on parantaa radan lujuusominaisuuksia pintaliiman paremman penetraation avulla ja lyhentämällä kuitujen välisiä etäisyyksiä. Nippipaineet voivat olla jopa 10–20 kertaa suuremmat kuin perinteisissä liimapuristimissa. (Valmet 2023b; Räisänen 2020a.)

Pintaliima ruiskutetaan ensin teloille liimafilmiksi, jotka siirtävät liiman nipin kautta kartonkirataan. Suurempi nippipaine kasvattaa myös kuitujen tiheyttä. Kuitujen välisen etäisyyden ollessa lyhyt, myös huokoisuus pienenee ja

nesteen diffuusiopaine kasvaa. Pintaliiman imeytymiskyky on parempi ja sitä siirtyy enemmän kuitujen liitoskohtiin. Näin saavutetaan paremmat lujuusominaisuudet kartongille. Ero muihin liimapuristimiin voi jopa korostua suuremman neliögrammapainon omaavilla kartonkilajeilla. Lammikkoliimapuristimeen verrattuna kovanippimenetelmän ansiosta saadaan vähintään yhtä hyvä tai jopa parempi pintaliiman penetroituminen kartongin keskikerrokseen. (Valmet 2023b; Räisänen 2020a.)

Kovanippiliimapuristimen applikointimenetelmä ja telat eroavat merkittävästi muista liimapuristimista. Tällä saavutetaan useita etuja, kuten parempi ajettavuus ja alhaiset elinkaarikustannukset, sillä liimapuristimella on vähäisesti kuluvia osia. Teloja peittää kova pinnoitus, jonka ansiosta ne eivät vaadi yhtä usein hiontaa kuin esimerkiksi filmiliimapuristimella. Kovanippiliimapuristin mahdollistaa myös kaavarin asentamisen teloille, joka mahdollistaa telojen pitämisen puhtaana. Taipumasäädettävät telat antavat korkean kuormituskyvyn, hyvän profiilin ja mahdollistavat nippipaineen jakautumisen poikkisuunnassa. Kovanippiliimapuristimen rakennetta ja applikointitapaa on hahmoteltu kuvassa 8. (Valmet 2023b; Räisänen 2020a.)



Kuva 8. OptiSizer Hardin layout-kuva, jossa radan kulkusuunta sinisellä nuolella esitettynä (ForestBioFacts 2020b)

Pintaliiman korkea kuiva-ainepitoisuus säästää energiaa kuivatuksen suhteen. Liimaa ei myöskään tarvita samaa määrää haluttujen lujuuksien

saavuttamiseen kuin muilla liimapuristimilla. Liiman määrä on helposti säädettävissä ja syöttöpainetta säätämällä saavutetaan tarkka ohjattavuus. Alhaisen tilavuusjärjestelmän ansiosta kuiva-ainepitoisuuden muutoksiin on mahdollista reagoida nopeasti. Pintaliiman määrällä on potentiaalia vähentyä jopa 20 % verran riippuen halutuista ominaisuuksista. (Valmet 2023b; Räisänen 2020a.)

Kovanippiliimapuristimen ominaisuudet korostuvat etenkin OCC:ta, eli kierrätyskuitupohjaista massaa käytettäessä, sillä kierrätyskuiduilla on heikommat lujuusominaisuudet. (Räisänen 2020a.)

## **5 PINTALIIMAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT**

Pintaliimauksessa on useita eri parametrejä, joilla on merkitystä liimauksen onnistumisessa ja sen laadussa. Itsessään käytetyllä pintaliiman määrällä on vaikutusta lähinnä pinta- ja palstautumislujuuksiin sekä jäykkyyteen. Liiman varautumisella on merkitystä pintaliimauksen onnistumisen suhteen, sillä kationinen liima jää herkemmin kartongin pintaan kuin anioniset liimat. Pintaliimaukseen vaikuttaa myös tuotteen lopullinen käyttö, sillä päällystettävä kartonki vaatii yleensä enemmän pintaliimaa lujittamaan ja kestäväyttämään kartonkia kuin raakakartonki, jota ei päällystetä. (Prowledge Oy 2023; Räisänen 2020b.)

### **5.1 Kartongin ominaisuudet**

Kartongin laatu on luonnollisesti yksi vaikuttava tekijä pintaliimaukseen ja sen onnistumiseen. Huokoisuudella on vaikutus kartongin pinnanmuodostukseen, jota kautta taas pintaliimauksen onnistumiseen. (Iselau ym. 2018, 95.)

Radan huokoisuus ja karheus ovat vaikuttavia tekijöitä siihen, kuinka paljon pintaliimaa jää kartonkiin, mutta muut laatuvaatimukset määrittävät huokoisuus- ja karheustason. Liima tunkeutuu sitä paremmin kartonkiin, mitä huokoisempi ja karheampi se on. (Prowledge Oy 2023.)

Radan ja pintaliiman välisen kontaktikulman kasvaessa pintaliimaa siirtyy rataan vähemmän, kun taas sen pienentyessä enemmän. Kuitujen

pintajännitystä alentamalla massaliimauksessa voidaan vaikuttaa kontaktikulmaan. (Gess & Rodriguez 2005, 211–233).

Kartongin pohjan ominaisuudet vaikuttavat pintaliimaukseen ja sen onnistumiseen. Sileyden ja huokoisuuden lisäksi massaliimaus vaikuttaa myös siihen, paljonko rataa jää pintaliimaa. (Prowledge Oy 2023.)

Radan kosteus on yksi merkittävä tekijä pintaliimauksessa. Kosteampaan kartonkiin imeytyy enemmän liimaa. Jos poikkisuuntainen kosteusprofiili on huono, rata ajetaan ylikuivana liimapuristimeen. Tasaisen laadun saavuttaminen vaatii kosteuden hallitsemista sekä radan pituus-, että poikkisuunnassa. Radan kosteus on tyypillisesti noin 5–6 %, jotta saavutetaan optimaalinen liimaustulos, mutta mekaanista massaa sisältävät kartongit ajetaan yleensä vielä kosteampana, kosteusprosentin ollessa luokkaa 7–10 %. (Prowledge Oy 2023.)

## **5.2 Lammikkoliimapuristimen ajo-olosuhteet**

Lammikkoliimapuristimella korkea nippikuormitus vähentää kartonkiin jäävää pintaliiman määrää. Bombeerausta on kyettävä säätämään, mikäli nippikuormitusta halutaan käyttää hallintasuureena. Filmiliimapuristimella korkea nippikuormitus taas päinvastoin nostaa pintaliiman määrää kartongissa. (Prowledge Oy 2023.)

Hitaalla koneen nopeudella liiman absorptio kartonkiin liimalammikossa toimii määräävänä tekijänä. Nopeuden kasvaessa kartonkiin jäävä liimamäärä vähenee, mutta nipin hydrodynaamisen paineen kasvaessa kasvavan nopeuden johdosta myös kartonkiin jäävä pintaliimamäärä alkaa kasvaa uudelleen. Suurempiin koneen nopeuksiin optimoidulla filmiliimapuristimella ei tapahdu vastaavaa ilmiötä. (Prowledge Oy 2023.)

## **5.3 Pintaliiman lämpötila, pH ja viskositeetti**

Jokaiselle koneelle valitaan sopiva viskositeetti koneen nopeuden, liimapuristimen telojen läpimitan ja sijoituksen sekä halutun liimausasteen mukaan. Prosessiin vaikuttavia tekijöitä ovat myös käytettävä laitteistotyyppi ja

jälkikuivatuksen määrä. Viskositeettiin vaikuttavat prosessin lämpötila ja pintajännite. (Paltakari 2009, 313; Prowledge Oy 2023.)

Pintaliiman penetroituminen rataan on säädettävissä kontrolloimalla liiman viskositeettia. Liian korkea lämpötila joustavoittaa polymeeriketjuja, joka voi vaikuttaa partikkelien retentioon pintaliimauksen jälkeen. (Iselau ym. 2018, 96.)

#### **5.4 Pintaliiman kemiallinen koostumus**

Käytettyjen partikkelityyppien ja partikkelien ja tärkkelyksen välisen suhteen on todettu vaikuttavan pintaliimaukseen. Pienemmät partikkelit levittäytyvät tasaisemmin kuitujen pintaan. Partikkelien vahva elektrostaattinen stabiliteetti parantaa liiman penetroitumista kartonkiin. Partikkelien migraatioon voi johtaa liian suuri kuivauslämpötila, jolla voi olla myös vaikutusta liimafilmin muodostumiseen kartongin pintaan. (Iselau ym. 2018, 95-96; Paltakari 2009, 313.)

Hiukkassuspensiota laimennettaessa haluttuun konsentraatioon, laimennukseen käytetyn veden elektrolyyttien tyypillä ja pitoisuudella voi olla myös merkitystä. Pintaliimauksessa käytetty tärkkelys ja sen konsentraatio voivat myös vaihdella riippuen koneesta ja liimapuristimen tyypistä. (Iselau ym. 2018, 96.)

#### **5.5 Pintaliiman kuiva-ainepitoisuus**

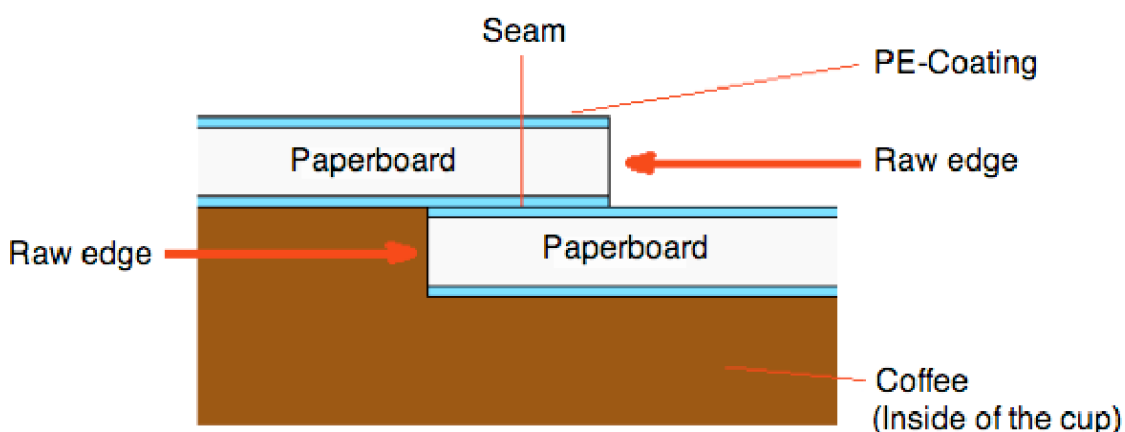
Pintaliiman kuiva-ainepitoisuus on tärkein hallintasuure pintaliimauksessa. Koneet, jotka ajavat vain harvoja eri lajeja, voivat säätää kuiva-ainepitoisuutta muuttamalla tärkkelyksen liettosakeutta, mutta useampaa lajia ajavat koneet vaativat kyvyn tehdä nopeasti muutoksia kuiva-ainepitoisuuteen esimerkiksi säätämällä lisälaimennusta pintaliiman konekierrossa. (Prowledge Oy 2023.)

Korkea kuiva-ainepitoisuus vähentää kartonkiradan kuivaukseen käytetyn energian määrää nostoen samalla pintaliiman viskositeettia. Kuiva-ainepitoisuuden ja viskositeetin kasvaessa myös kartonkiin jäävän pintaliiman määrä kasvaa, mutta korkea viskositeetti aiheuttaa kuitenkin ongelmia ajettavuudessa, joka määrittää kuiva-ainepitoisuudelle ylärajan. Liian korkea pitoisuus voi aiheuttaa huonosti sitoutuneen pintaliiman erottumisen kartongista valmiin konerullan jälkikäsitelyssä esimerkiksi pituusleikkauksessa. Toinen ongelma voi olla liiman tarttuminen liimapuristimen jälkeisiin kuivaussyylintereihin.

Liimapuristinmalli vaikuttaa myös siihen, miten suuri on pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden määrä. (Paltakari 2009, 310–313.)

## 6 REUNAIMEYTYMÄ

Reunaimeytymällä kartongissa tarkoitetaan nesteiden imeytymistä kartongin raakareunaan. Reunaimeytymä aiheuttaa visuaalista haittaa ja etenkin suuremmissa määrissä myös toiminnallisia vikoja kartonkiin. Se voi tapahtua neljällä eri tavalla; höyryn diffuusiolla huokosissa, kapillaaripenetraatiolla huokosissa, pintadiffuusiolla huokosissa tai veden imeytymisellä kuituihin. Usein kaikki tapahtuvat samanaikaisesti, yhden tavan ollessa dominoivassa asemassa. Nesteiden lämpötila, höyrynpaine ja kemiallinen koostumus sekä kuitujen rakenne ja kemialliset ominaisuudet ovat avainasemassa siinä, mikä neljästä tavasta on merkityksellisin. (Mark ym. 2012, 9; Harju 2018, 13.)



Kuva 9. Havainnekuva kahvikupin saumasta, jossa kartongin raakareuna jää alttiiksi reunaimeytymiselle (Nemez 2013)

Kyky vastustaa nesteiden imeytymistä on yksi tärkeimmistä nestepakkaus- ja kuppikartonkien ominaisuuksista. Kuppikartongissa kartongin reuna jää kupin saumakohtaan avoimeksi ja alttiiksi nesteelle kartongin ollessa muuten päällystettyä, kuten kuvassa 9 on esitetty.

Kartonki koostuu useasta kerroksesta, joista neste imeytyy kerrokseen, jolla on heikoin kyky vastustaa nesteiden imeytymistä. Tämän kerroksen kautta neste voi jatkaa penetroitumistaan myös muihin kerroksiin. Nesteiden paineen ollessa suurempi kuin virtausvastus, tällainen nesteiden penetraatio voi käynnistyä höyryn diffuusiolla tai kosteuden sorptiolla. (Harju 2018, 13.)



Nesteen imeytymistä kartonkiin ja sen liimausastetta voidaan seurata usealla eri testillä, kuten Cobb-testillä, kontaktikulman määrittämisellä, Klemm-testillä ja EWT-menetelmällä, joista viimeisin on nimenomaan reunaimetytymisen määrittämiseen käytetty testi. (Kirwan 2013, 235.)

Tufvesson (2006) on todennut, että kartongin liimauksen kuivumisaika vaikuttaa reunaimetytymään. Mitä lyhyempi aika liimauksesta on kulunut, sitä huomattavasti EWT-tulokset saadaan ja havaittu tulos korostuu erityisesti kuumilla nesteillä. (Harju 2018, 25–26.)

Kartongin kykyä vastustaa reunaimetytymistä pyritään parantamaan liimauksella, jolla vahvistetaan kartongin hydrofobisuutta ja nesteenvastustuskykyä. Myös raakareunan kyky vastustaa reunaimetytymistä paranee. Liimausprosesseissa kartonkikoneen määssä päässä tehtävä massaliimaus on merkittävässä asemassa kuin pintaliimaus. (Kirwan 2013, 44–45.)

## 7 EWT

EWT eli edge wicking-testi on lähinnä nestepakkaus- ja kuppikartonkien reunaimetytymisen vastustuksen määrittämiseen tarkoitettu menetelmä. Nestepakkauskartongeilla testissä käytetään useimmiten maitohappoa tai kuumaa vetyperoksidia, kun taas kuppikartongeilla Coca Colaa tai kuumaa kahvia. Näytteenä voidaan käyttää joko päällystettyä tai päällystämätöntä kartonkia, mutta päällystämätön kartonki vaatii näytteen laminoinnin. Testi toteutetaan leikkamalla näytteet haluttuun kokoon ja punnitsemalla ne, jonka jälkeen ne upotetaan nesteeseen tietyksi ajaksi, jolla testi suoritetaan. Halutun ajan kuluttua näytteistä pyyhitään ensin neste ja ne punnitaan uudestaan. (Gess & Rodriguez 2005, 325–327.)

EWT:n mitattu arvo lasketaan ja ilmoitetaan yhtälön 1 mukaisesti, josta piiri lasketaan yhtälön 2 mukaan.

$$EWT \left( \frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{märkäpaino (kg)} - \text{kuivapaino (kg)}}{\text{paksuus (m)} * \text{piiri (m)}} \quad (1)$$

$$piiri (m) = \frac{4*(2*38+2*80)}{1000} \quad (2)$$

Stora Enson Imatran tehtailla EWT-testi suoritetaan 93 °C:ssa Espresso-kahvissa sekä 80 °C:ssa kahvikermassa, joissa molemmissa näytteitä pidetään 10 minuutin ajan. Näytteet laminoidaan teipillä. Yllä kuvatun menetelmän lisäksi näytteet arvioidaan visuaalisesti ja luokitellaan silmämääräisesti asteikolla 1–3 hyvästä huonoon. Huonon luokituksen saaneet näytteet määritetään uudestaan vain luokituksen osalta, jolloin luokitus useasti paranee.

## KOKEELLINEN OSUUS

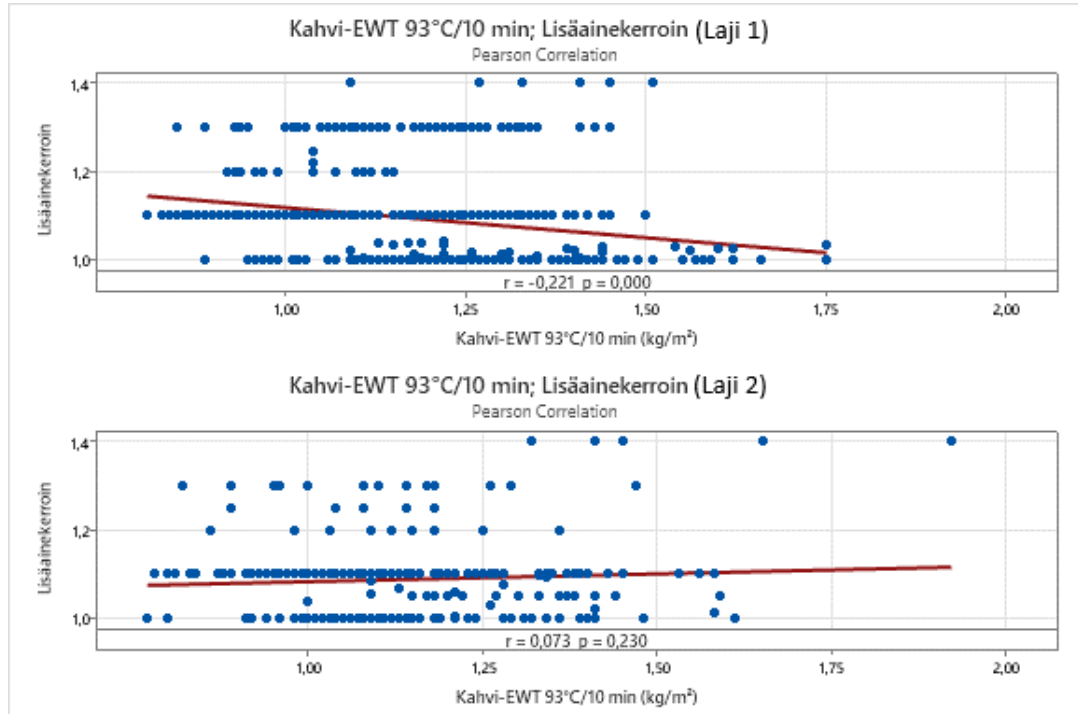
### 8 HISTORIADATAN ANALYSOINTI

Historiadan kartoitus aloitettiin tutkimalla KA1:lla ajettavien lajien 1 ja 2 historiatietoja kokonaisen vuoden ajalta 1.1.2022 – 31.12.2022. Dataa tutkittiin lähinnä Wedge-prosessianalyysijärjestelmän kautta hyödyntäen samalla tuotannonohjausjärjestelmä Seitin kautta saatavissa olevia ajotietoja ja merkintöjä. Korrelaatiot laskettiin ja kuvaajat piirrettiin tilasto-ohjelmisto Minitabilla, joista voi tarkastella korrelaatiokerrointa ja p-arvoa. Korrelaatiokerroin on merkitty kuvaajissa r-lukuna.

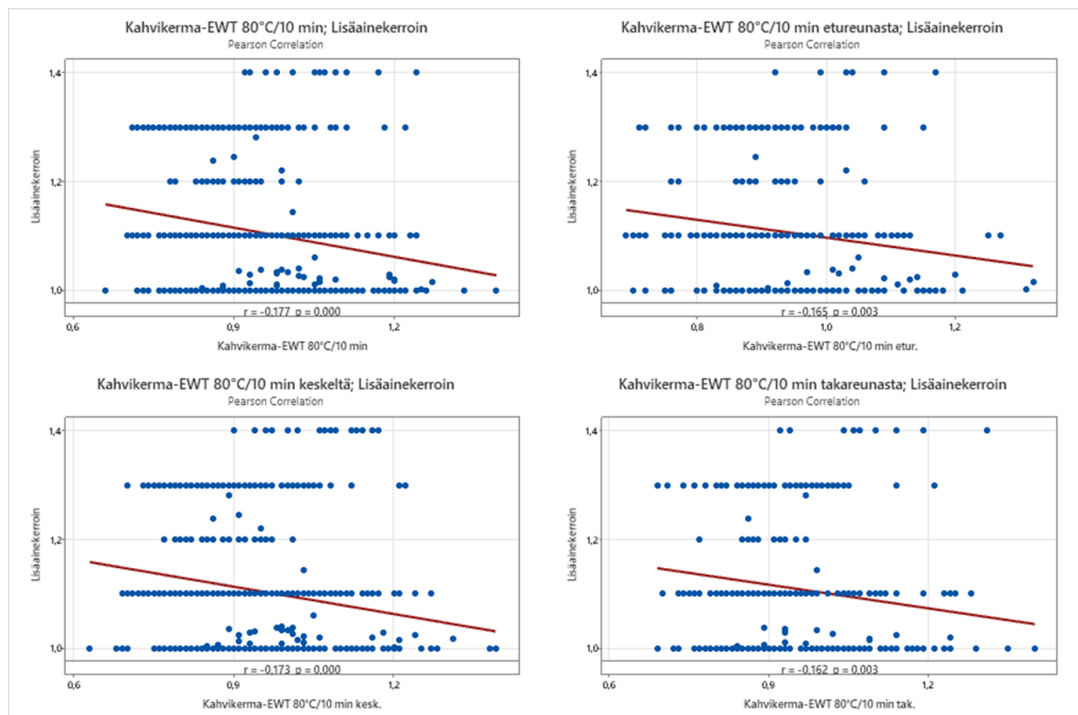
Tutkinnan alla olivat pääsääntöisesti tavoitteiden mukaisesti EWT:n korrelaatio lisäainekertoimeen ja kuiva-ainepitoisuuden eli KAP:n vaihteluun. Näiden lisäksi kartoitettiin lukuisia muita tekijöitä, jotka olisivat voineet mahdollisesti vaikuttaa reunaimeytymään, kuten pintaliiman viskositeetti, pH ja lämpötila, liimapuristimen ajo-olosuhteet, kuten kuormitukset ja kosteus, kartongin huokoisuus ja kartongin kerrosten tiheydet. Edellä mainituilla kartoitetuilla tekijöillä ei kuitenkaan havaittu olevan mitenkään merkityksellistä korrelaatiota EWT-tulosten kanssa.

Lineaarista kahden muuttujan välistä korrelaatiota tutkittiin 80 °C kahvikerman ja lisäainekertoimen sekä 93 °C espressokahvin ja lisäainekertoimen välillä EWT-tuloksissa sekä mitatun arvon, että visuaalisesti tehdyn luokituksen kautta. Korrelaatiokertoimia laskettaessa ja kuvaajia piirtäessä havaittiin, että

koko vuoden ajalta tarkasteltuna korrelaatiota ei juurikaan lisäainekertoimien ja EWT-tulosten välillä ollut kummallakaan lajilla, jota kuvat 10 ja 11 havainnollistavat.

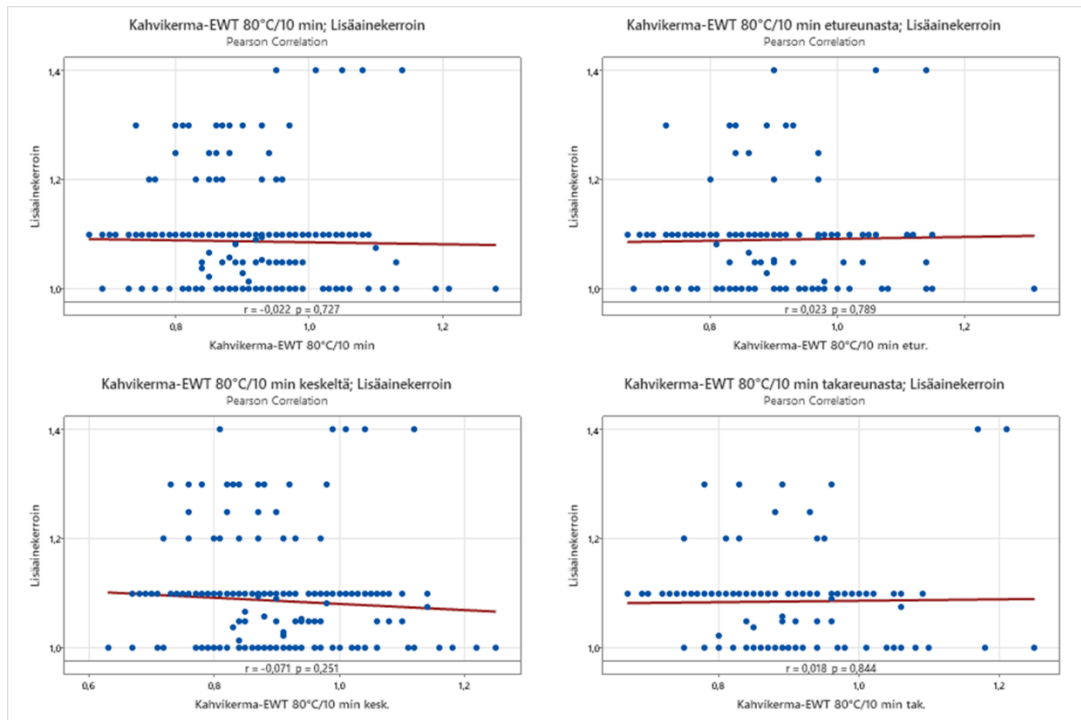


Kuva 10. Kahvi-EWT 93 °C ja lisäainekertoimen korrelaatiot vuoden 2022 ajalta



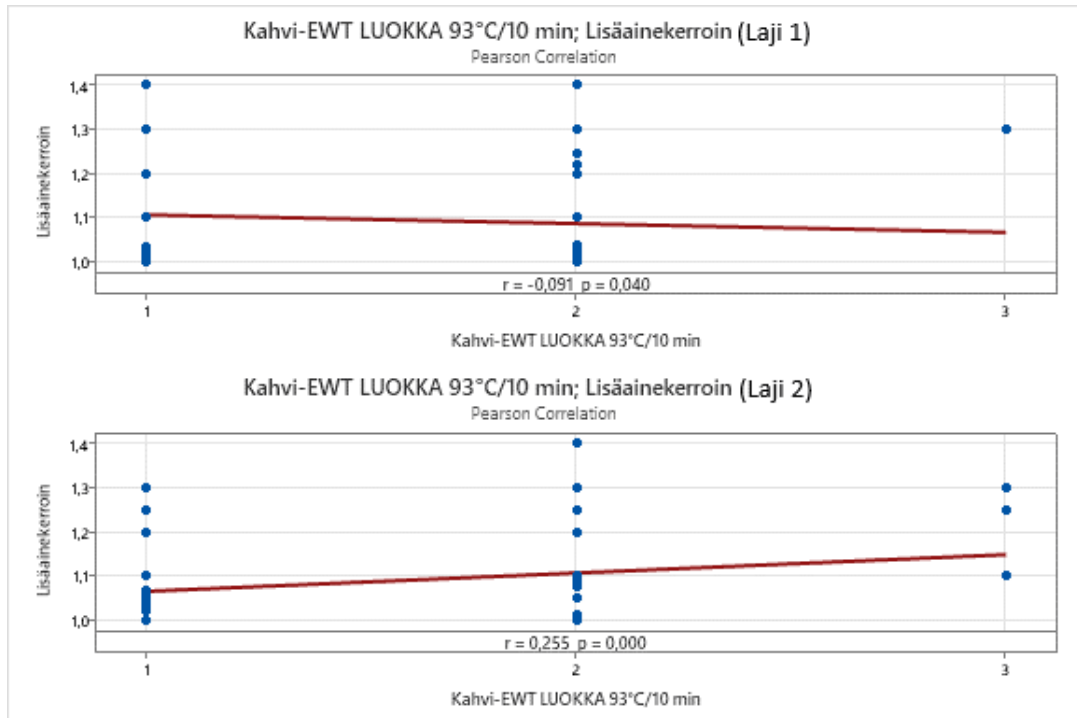
Kuva 11. Kahvikerma-EWT:n korrelaatiot lisäainekertoimeen vuoden 2022 ajalta lajilla 1

Lajilla 2 tehdyt kahvikerma-EWT:n ja lisäainekertoimen korrelaatiot ja kuvaajat ovat esitettyinä kuvassa 12. Määrittelyssä ei havaittu korrelaatiota.



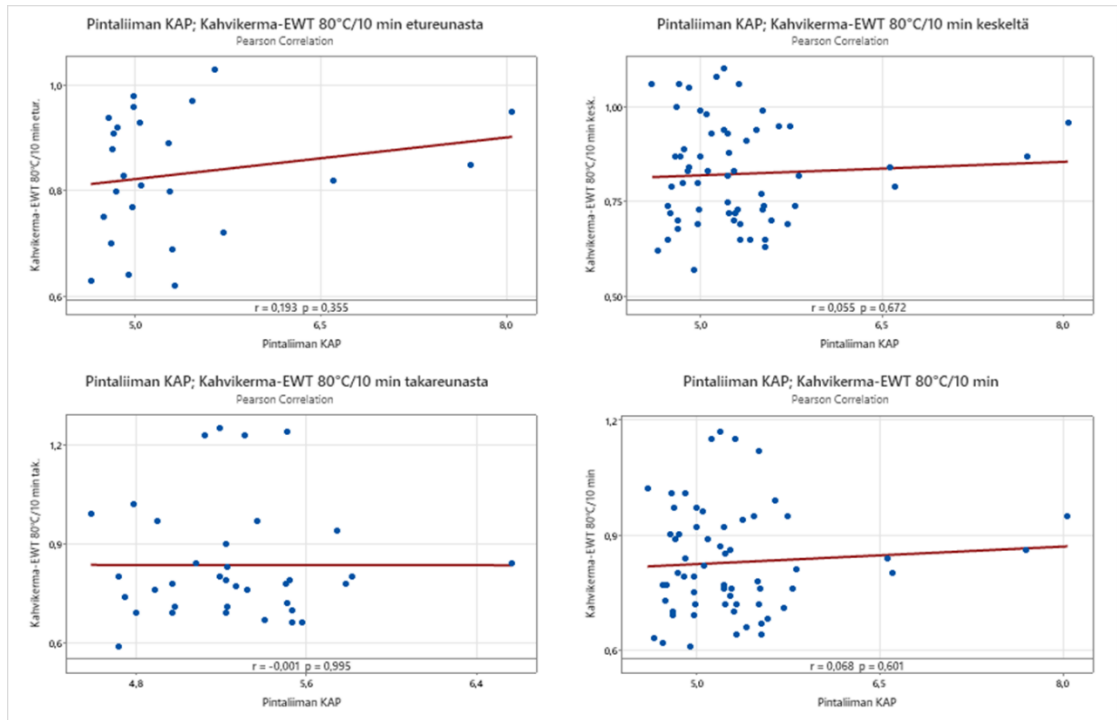
Kuva 12. Kahvikerma-EWT:n korrelaatiot lisäainekertoimeen vuoden 2022 ajalta lajilla 2

Lisäksi huomioon oli otettava, että EWT-luokituksissa huonoksi, eli luokaksi 3 saatu luokitus otettiin uudestaan, jolloin hyvin usein tulos parani luokkaan 1 tai 2. Nämä uudelleenmitoitettut testit eivät selvinneet käytetystä historiadatasta. EWT-luokitusten ja lisäainekertoimen välisiä korrelaatioita on esitelty kuvassa 13.

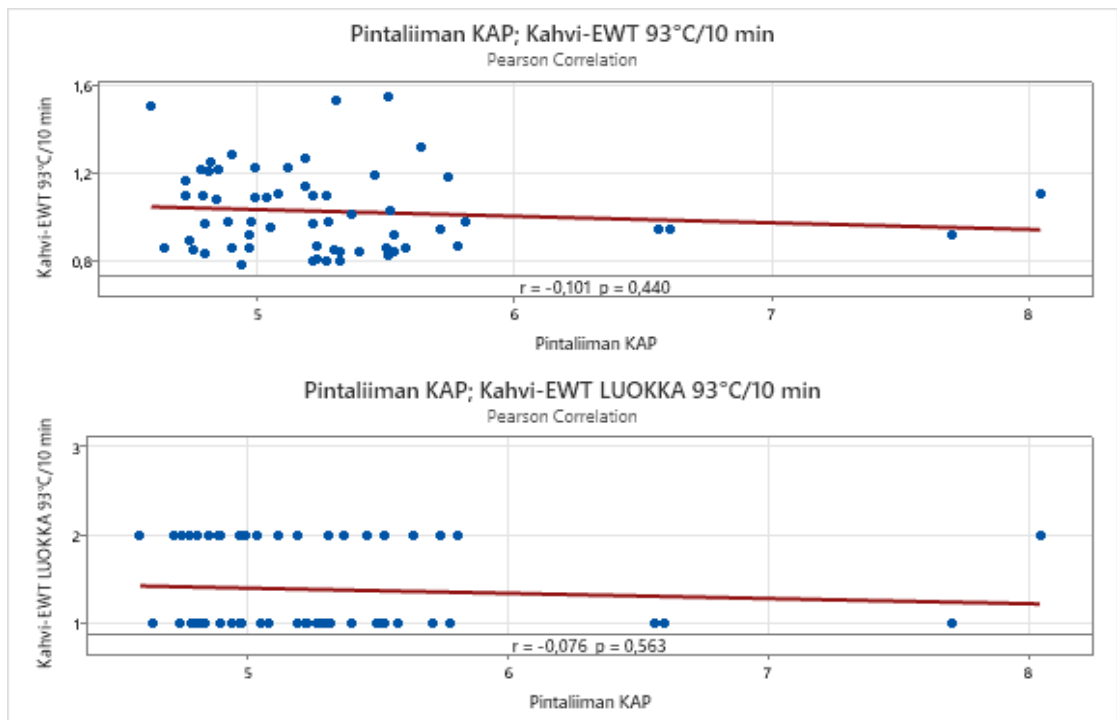


Kuva 13. EWT-luokituksen ja lisäainekerroimen välinen korrelaatio vuoden 2022 ajalta

Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden suhteen otantaa laajennettiin kattamaan kaikki Kartonkikone 1:llä ajettavat lajit vuoden 2022 osalta, sillä historiadatan määrä olisi ollut pelkästään lajeilla 1 ja 2 tutkittaessa todella pieni ja näin ollen tuloksen luotettavuus olisi kärsinyt. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden korrelaatioita tarkasteltiin tässäkin tapauksessa sekä kahvikerma-EWT:n että espressokahvi-EWT:n ja luokituksen osalta. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja EWT:n välisiä korrelaatioita on kuvattuna kuvissa 15 ja 16.



Kuva 14. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja kahvikerma-EWT:n korrelaatiot



Kuva 15. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja espressokahvi-EWT:n korrelaatioita

Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja kahvikerma-EWT:n välinen korrelaatio-kerroin asettui myös pieneen tasoon, mutta tulkitsemisen ja tilastollisen merkitsevyyden kannalta on huomioitava korkea p-arvo, eli yhtäläisyyttä ei suoraan ole.

## 9 KOEAJO 1

Pintaliiman lisäainekerroinkoeajo ajettiin 13.2.2023. Tavallisesti pintaliiman lisäainekerroina on KA1:lla käytetty kerrointa välillä 1,0–1,3, joten tarkoituksena oli koeajaa laajemmalla skaalalla lisäainekerrointa, jotta mahdollisia selkeitä eroja saataisiin näkyville. Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty käytetyt lisäainekerroimet koeajopisteittäin.

Taulukko 1. Lisäainekerroinkoeajossa käytetyt arvot

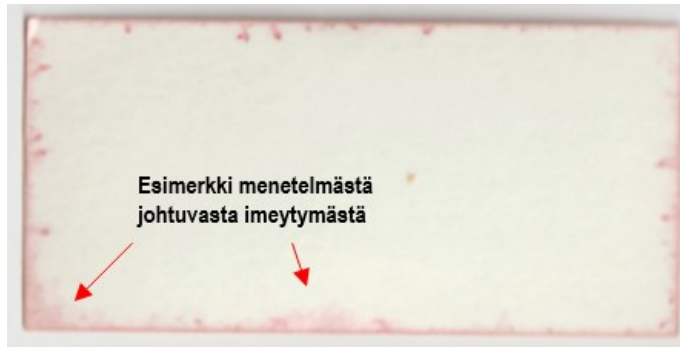
Koepiste	Lisäainekerroin
Referenssipiste	Alkuperäinen arvo (1,3)
Koepiste 1	0,0
Koepiste 2	0,5
Koepiste 3	1,0
Koepiste 4	1,5

Koeajon tarkoituksena oli havaita käytetyn lisäainekerroimen vaikutus reunaimeytymään ja tavoitteena oli löytää soveltuva toimintatapa kartonkikoneelle, jolla vältettäisiin lisäainekerroimen turhaa säätelyä. Pienempi lisäainekerroin luonnollisesti toisi myös kustannussäästöjä, kun pintaliimauksessa kuluvan lisäaineen määrää pystyttäisiin vähentämään.

Koeajo suoritettiin niin, että lisäainekerrointa nostettiin jokaisessa koepisteessä konerullan vaihdon yhteydessä, jotta muutos saataisiin näkymään valmistuvassa konerullassa. Juuri ennen konerullan vaihtoa otettiin sekä pintaliima- että massanäytteet perälaatikolta, jotta saataisiin vertailukelpoiset tulokset samasta konerullasta otettaviin näytteisiin. Pintaliima- ja poikkiratanäytteet konerullasta toimitettiin kuivan pään laboratorioon ja massanäytteet märän pään laboratorioon.

Jokaisen koepisteen konerullasta otettiin kaksi ylimääräistä poikkiratanäytettä, jotka leikattiin arkeiksi. EWT-mittauksia tehtiin kolme kappaletta rinnakkain aina samasta etulaidan arkista saman henkilön toimesta. EWT:t määritettiin sekä noin 80 °C:lla kahvikermalla että noin 93 °C:lla espressokahvilla. Jokaisen koepisteen kohdalla otettiin myös pintaliimanäyte pH-, KAP- ja viskositeettimittauksia varten sekä näyte perälaatikon massoista pH:n mittaukseen.

Koeajon näyteliuskosten reunaimetyymää eli EWT:iä tarkastellessa visuaalisesti on huomioitava käytetystä mittausmenetelmätavasta johtuva imeytymä liuskosten toisessa puolikkaassa, joten näyteliuskasta tulkitaan lähinnä toinen puolisko, joka antaa oikean kuvan reunaimetyymästä. Menetelmästä johtuvaa imeytymää on havainnoitu kuvassa 16.



Kuva 16. Havainnekuva EWT-mittauksessa syntyvästä imeytymästä, jota ei huomioida luokitusta arvioidessa

Kaukopään kartonkitehtaan kuivan pään laboratoriosta jäljelle jääneet koeajot toimitettiin Stora Enson Imatran tutkimuskeskukselle, jossa otettiin ensimmäisen koeajon näytteistä pintaenergiamittaus.

Jokaisen koepisteen kohdalla on esitetty EWT-näyteliuskosten kuvat, joita käytettiin 93 °C espressokahvilla tehdyssä mittauksessa. Kahvikermalla otetut näyteliuskat ovat kuvattuina työn lopussa liitteissä.

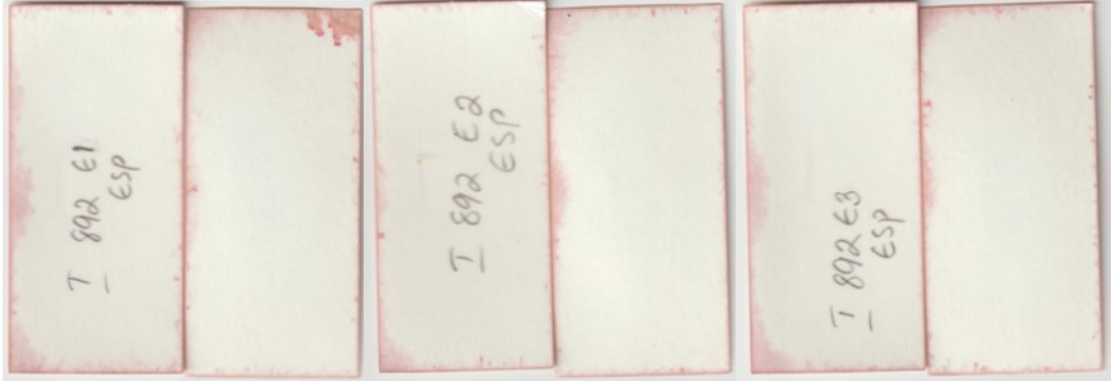
### 9.1 Referenssipiste

Ensimmäisenä ennen varsinaisten koepisteiden ajamista ajettiin referenssipiste muuttamattomilla parametreilla. Referenssipisteessä lisäainekerroin oli asetettu arvoon 1,3. Referenssipisteen reunaimetyymätulokset on esitetty taulukossa 2 ja näyteliuskakuvat espressokahvista on esitetty kuvassa 17.



Taulukko 2. Referenssipisteen reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
Referenssi	1,3	E1	1,04	1,22	3
Kr 892		E2	0,99	1,00	2
		E3	0,89	1,04	2
		Keskiarvo	0,97	1,09	2,33
		Hajonta	0,0624	0,0957	0,4714



Kuva 17. Referenssipisteen kahvi-EWT:n näyteliuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli

Kuvasta 18 on nähtävissä näyteliuskosten vertailu, jossa näyteliuska E1 on saanut huonon luokituksen ja kaksi muuta näyteliuskaa luokituksen 2.

## 9.2 Koepiste 1

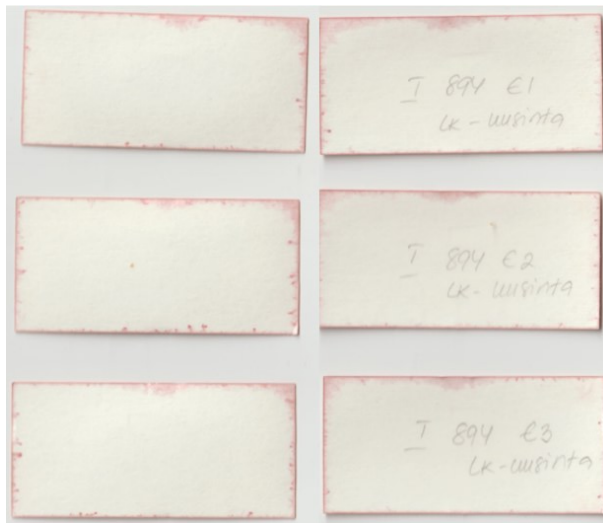
Varsinainen koeajo aloitettiin referenssipisteen ajamisen jälkeen. Rutiinitoimenpiteenä maanantaille kuului pintaliimasäiliön vaihto, jolloin säiliö tyhjenetään ja pestään ja pintaliima ajetaan toiseen, puhtaaseen säiliöön. Tällöin oli mahdollista ajaa uuteen liimasäiliöön koeajopisteen mukaisesti pintaliimaa ilman lisäainetta eli lisäainekerroin asetettiin nolnaan heti koeajon alettua liimasäiliötä vaihtaessa. Koepisteen reunaimeytymätulokset on esitetty taulukossa 3 ja näyteliuskakuvat espressokahvista on esitetty kuvassa 18.

Taulukko 3. Koepiste 1:n reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min	Kahvi-EWT-luokan uusinta
KP1	0,0	E1	0,82	1,13	3	2
Kr 894		E2	0,81	1,04	3	3
		E3	0,93	1,26	3	2
		Keskiarvo	0,85	1,14	3,00	2,33
		Hajonta	0,0544	0,0903	0	0,4714



Kuva 18. Koepiste 1:n kahvi-EWT:n näyteliuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli



Kuva 19. Koepiste 1:n kahvi-EWT:n uusintaluokitukset, vasemmalla pohja- ja oikealla pintapuoli

Huonon EWT-luokituksen vuoksi päätettiin ottaa vielä luokituksen määrittäminen uudestaan, joka on tavallisesti myös rutiinimittauksissa tehtävä toimenpide, mikäli luokka todetaan huonoksi. Koska EWT-luokitus tehdään vain espressokahvissa, tässäkään tapauksessa ei kahvikerma-EWT:tä uusittu. Näistä uudelleenmäärittämisistä saatiin ensimmäisiä luokituksia paremmat tulokset yhtä näyteliuskaa lukuun ottamatta, kuten taulukosta 3 voi tarkastella. Kuvasssa 19 on esitetty uusintaluokituksen näyteliuskat.

### 9.3 Koepiste 2

Toisessa koeajopisteessä lisäainekerroin nostettiin arvoon 0,5. Koepistettä edelsi ratakatko kartonkikoneella, mutta parametrit ehdittiin saada tasaisiksi koepisteen valmistuessa, eikä muutoksia katkoa edeltäneisiin arvoihin havaittu, jolloin koepiste pysyi vertailukelpoisena. Koepisteen

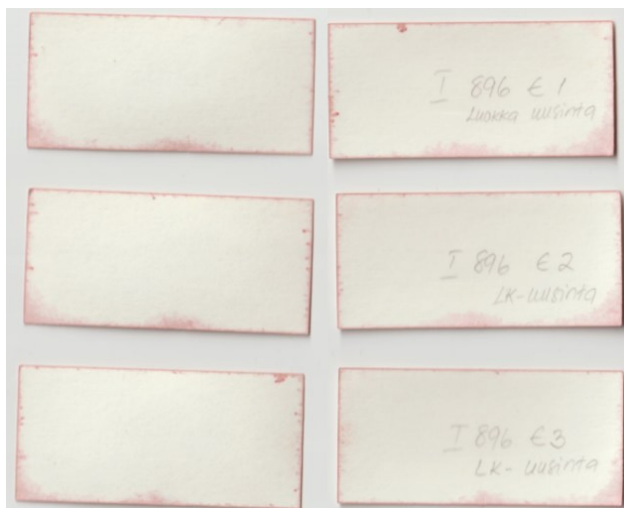
reunaimeytymätulokset on esitetty taulukossa 4 ja näyteliuskakuvat espresso-kahvista on esitetty kuvassa 20.

Taulukko 4. Koepiste 2:n reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min	Kahvi-EWT-luokan uusinta
KP2	0,5	E1	0,83	1,10	3	2
Kr 896		E2	0,85	1,09	3	2
		E3	0,94	1,05	2	2
		<b>Keskiarvo</b>	<b>0,87</b>	<b>1,08</b>	<b>2,67</b>	<b>2,00</b>
		Hajonta	0,0478	0,0216	0,4714	0,0000



Kuva 20. Koepiste 2:n kahvi-EWT:n näyteliuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli



Kuva 21. Koepiste 2:n kahvi-EWT:n uusintaluokitukset, vasemmalla pohja- ja oikealla pinta-puoli

Myös koepiste 2:n huonojen EWT-luokitusten vuoksi päätettiin tässäkin koepisteessä määrittää luokitus uudestaan. Uudelleenmäärytyksistä saatiin tässäkin tapauksessa ensimmäisiä luokituksia paremmat tulokset jokaisesta näyteliuskasta. Kuvassa 21 on esitetty uusintaluokitusten näyteliuskat.

## 9.4 Koepiste 3

Kolmannessa koeajopisteessä lisäainekerroin nostettiin arvoon 1,0. Koepisteeseen reunaimetytulos on esitetty taulukossa 5. Näyteliuskan E1 EWT-luokitus parani edellisiin koepisteisiin verrattuna ja kuvassa 22 on esitetty vertailu koepisteeseen kahteen muuhun näyteliuskaan, jotka saivat huonomman luokituksen.

Taulukko 5. Koepiste 3:n reunaimetytulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
KP3	1,0	E1	1,01	1,03	1
Kr 897		E2	1,02	1,09	2
		E3	0,99	1,02	2
		Keskiarvo	1,01	1,05	1,67
		Hajonta	0,0125	0,0309	0,4714



Kuva 22. Koepiste 3:n kahvi-EWT:n näyteliuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli

Koepisteestä saatiin espressokahvin osalta paremmat tulokset kuin aiemmista, pienemmällä lisäainekertoimella ajetuista koepisteistä, tosin muutosten ollessa pieniä. Sen sijaan kahvikerma-EWT:ssä imeytymän suunta oli päinvastainen ja havaittavissa oli paljon suurempi harppaus kuin espressokahvi-EWT:ssä.

## 9.5 Koepiste 4

Neljännessä koeajopisteessä lisäainekerroin nostettiin arvoon 1,5. Koepisteeseen reunaimetytulokset on esitetty taulukossa 6. Molemmat EWT-arvot sekä luokitukset paranivat hieman edelliseen koepisteeseen verrattuna.

Taulukko 6. Koepiste 4:n reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
KP4	1,5	E1	0,87	0,95	1
Kr 898		E2	0,95	1,15	1
		E3	1,02	0,93	2
		Keskiarvo	0,95	1,01	1,33
		Hajonta	0,0613	0,0993	0,4714



Kuva 23. Koepiste 4:n kahvi-EWT:n näyteliuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli

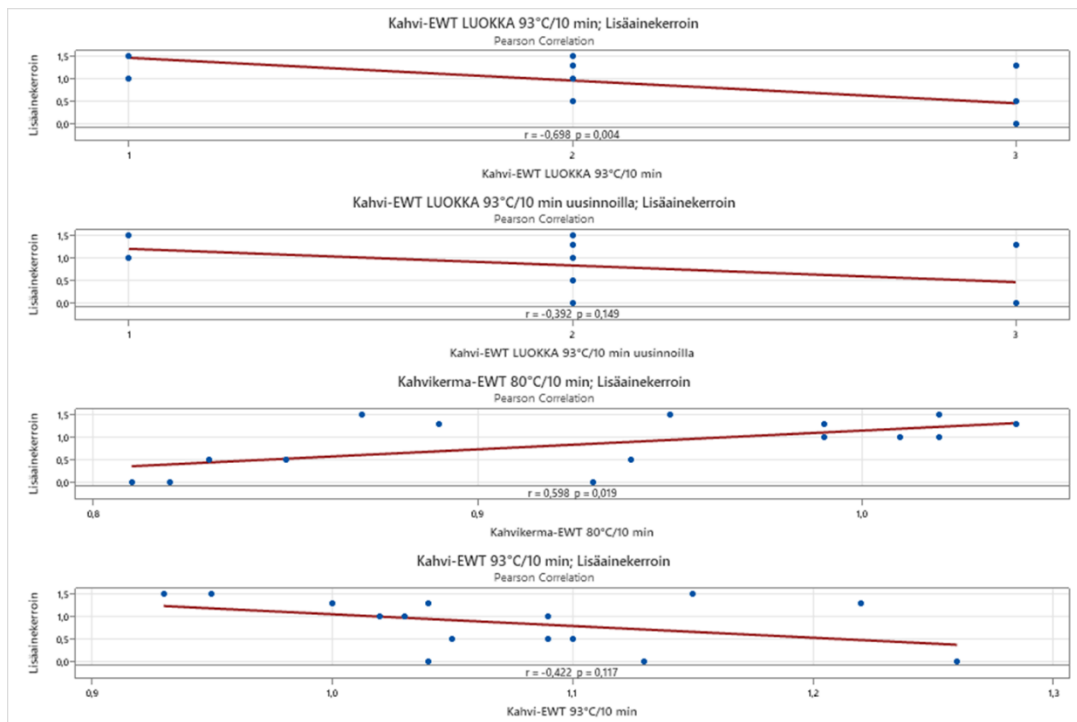
Näyteliuskakuvat espressokahvista on esitetty kuvassa 23, jossa liuskat E1 ja E2 ovat saaneet hyvän luokituksen ja E3 luokituksen 2.

## 9.6 Koeajon tulokset

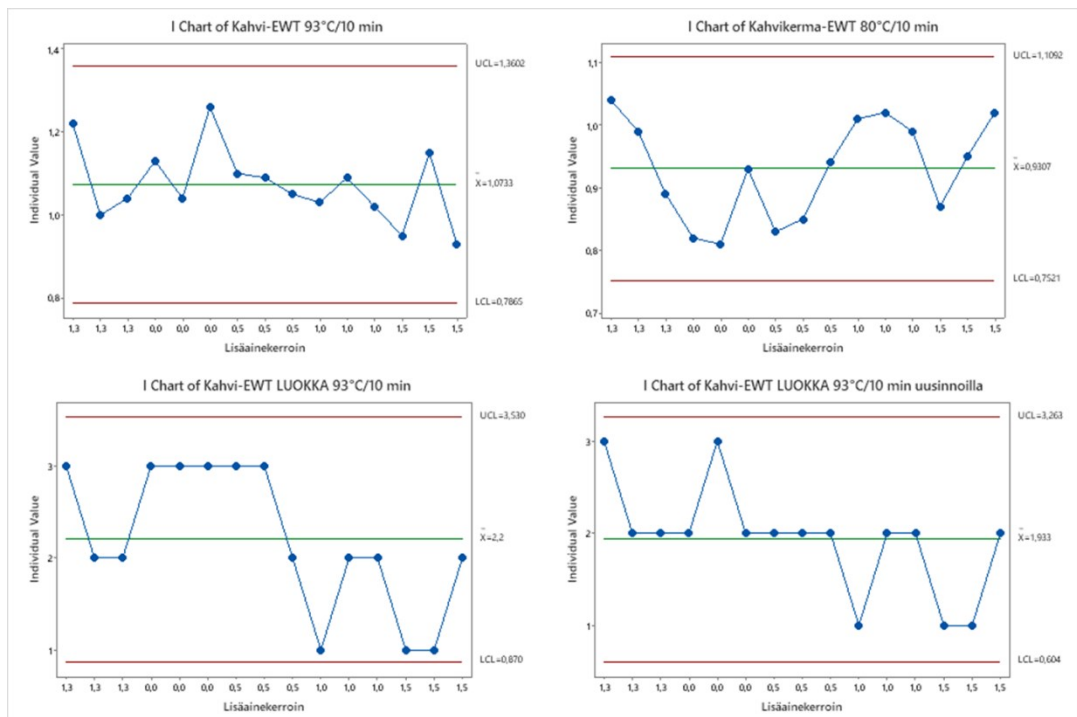
Koeajon tuloksena reunaimeytymästä saatiin ristiriitaisia tuloksia kahvikerman ja espressokahvin välillä otetuista EWT-mittauksista. Siinä missä 80 °C:lla kahvikermalla imeytymä oli vähäisintä mitä pienempi lisäainekerroin oli käytössä, 93 °C:lla espressokahvilla saatu tulos oli päinvastainen. EWT-luokituksella oli taas havaittavissa korrelaatiota lisäainekertoimen suhteen, mutta silmällä visuaalisesti määritettävä luokitus on luotettavuudessaan kyseenalainen, sillä mahdollisesti tulokset olisivat voineet vaihdella nyt saaduista, mikäli luokittelevana henkilönä olisi toiminut joku toinen. Mikäli EWT-luokituksissa käytettiin koepisteistä 1 ja 2 käytettyjä uusintaluokituksia, korrelaatiokerroin putoaa huomattavasti, mutta myös tilastollista merkitsevyyttä kuvaava p-arvo kasvaa.

Lisäainekertoimen ja EWT-mittausten välinen korrelaatio koeajossa oli kahvikerman osalta kohtalainen, mutta tulosten suunta oli odottamaton EWT:n

huonontuessa lisäainekerrointa nostaessa. EWT:n ja lisäainekertoimen välisiä korrelaatioita kuvattuna kuvassa 24.



Kuva 24. EWT:n ja lisäainekertoimen välisiä korrelaatioita koeajosta



Kuva 25. EWT:t lisäainekertoimen janalla

Kuvassa 25 on hahmotettu EWT-tulokset lisäainekertoimen janalle, josta on havaittavissa mittausten kehittyminen lisäainekertoimen mukaan. Kuvasta on

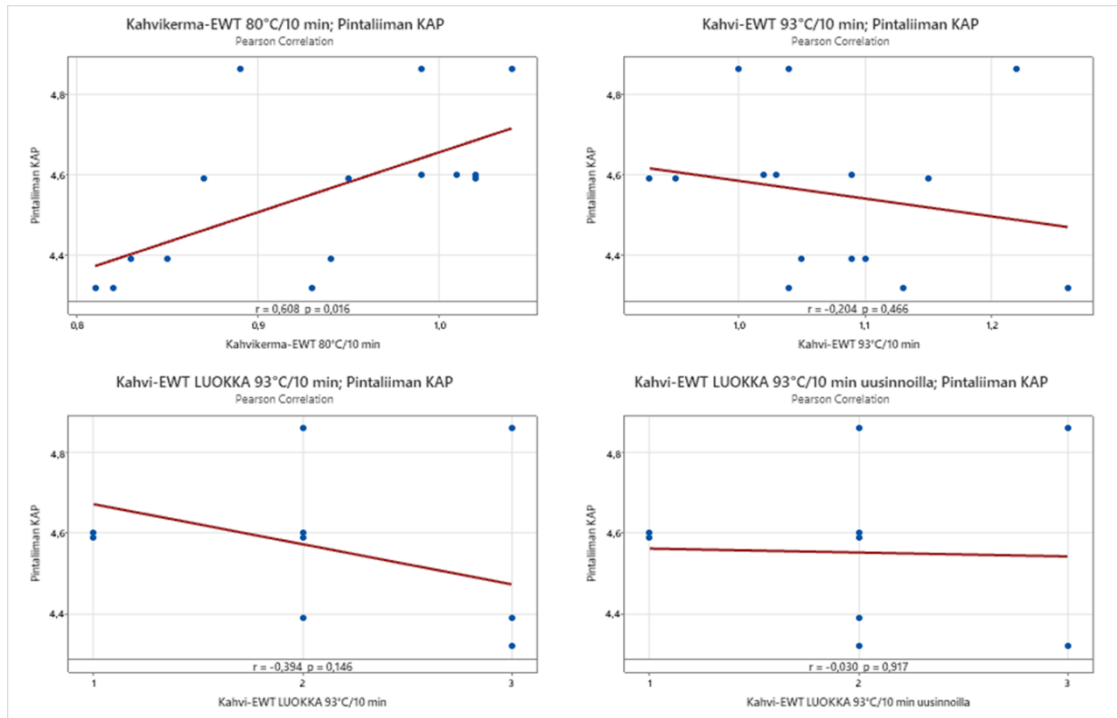
hyvin havaittavissa kahvikerman ja espressokahvin välisen EWT:n päinvastainen reagointi lisäainekertoimen nostoon.

Taulukko 7. Koeajossa otettujen pintaliimanäytteiden arvot

Koepiste	Lisäainekerroin	Pintaliiman KAP	Pintaliiman pH	Pintaliiman visko
Referenssi	1,3	4,86	3,5	17,5
Kr 892				
KP1	0,0	4,32	4,00	14,20
Kr 894				
KP2	0,5	4,39	3,80	13,60
Kr 896				
KP3	1,0	4,60	3,70	12,40
Kr 897				
KP4	1,5	4,59	3,50	16,30
Kr 898				

Pintaliimasta otetuilla mittauksilla ei havaittu korrelaatiota reunaimeytymän kanssa. Taulukossa 7 on esitetty koeajossa ajettujen pintaliimanäytteiden tulokset. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja EWT-tulosten osalta kohtalaista korrelaatiota on havaittavissa kahvikerma-EWT:n välillä, jonka osalta p-arvo asettui myös tilastollisesti lähes merkitsevään tasoon.

Koeajossa saaduista mittaustuloksista tehtiin korrelaatiot samaan tapaan kuin historiadataa analysoidessa. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja EWT-tulosten välillä ei havaittu korrelaatiota ja niiden korrelaatiokuvaajia koeajosta on esitetty kuvassa 26. Tässä tapauksessa on myös huomioon otettava KAP-mittausten pieni otanta.



Kuva 26. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja reunaimeytymien välisiä korrelaatioita

Tutkimuskeskuksella otetut pintaenergiamittaukset näytteistä paljastuivat epäluotettaviksi. Toisaalta suuntaa antavina tuloksina tulkittaessa tulokset ovat hyvällä tasolla, sillä yleisesti toimivana pidetty pintaenergian taso ennen päällystyskoneilla tapahtuvaa koronakäsittelyä on  $36 \text{ mJ/m}^2$  (Paakkunainen 2006, 19). Näytteiden tulokset ovat kuvattuna taulukossa 8.

Taulukko 8. Ensimmäisen koeajon pintaenergiamittaukset

	Referenssi	KP1	KP2	KP3	KP4
Pintaenergia, pinta (mJ/m <sup>2</sup> )	34,1	34,5	33,4	33,4	33,7
Pintaenergia, pohja (mJ/m <sup>2</sup> )	37,0	37,2	36,1	36,5	36,9

Tuloksista voi tehdä alustavan johtopäätöksen, ettei korkeampi lisäainekerroin paranna kartongin kykyä vastustaa reunaimeytymistä. Lisäainekerroimesta riippumatta EWT-tulokset pysyttelevät aika lailla samalla alueella jopa koepisteessä 1, jossa lisäainetta ei syötetty ollenkaan pintaliimaan. EWT-luokitusten paraneminen uusimisten myötä herättää myös kysymyksen, jatkaako liima kypsymistään tai vaikuttavatko ympäröivät olosuhteet kartongin vähäisempään visuaaliseen reunaimeytymään pidemmän ajan kuluttua näytteenotosta ja ensimmäisestä EWT:stä. Toisaalta myös EWT-luokitukset perustuvat visuaaliseen arviointiin, jolloin luonnollisesti luokittelevalla henkilöllä on merkityksellinen rooli siinä, minkä luokituksen näyte saa.



Näin pienellä otannalla on kuitenkin omat epävarmuutensa tuloksissa ja sen toteaminen täysin luotettavaksi vaatisi vielä laajempaa seuranta-aikaa pidemmältä ajalta. Etenkin lisäaineen jättäminen kokonaan pois pintaliimasta tuntuisi hyvinkin epävarmalta yhden koeajon perusteella, mutta kertoimen vakiinnuttaminen tiettyyn, pienempään tasoon voisi tämän perusteella olla mahdollista.

Reunaimeytymisen kannalta olisi tärkeää seurata koeajopisteissä ajettuja rullia myös PE-jatkokäsittelyyn saakka, sillä päällystetty kartonki on asiakkaalle päätyvä lopullinen tuote. Päällystetyn lopputuotteen huonontunut reunaimeytymä raakakartonkiin tehtyjen lisäainekerroinmuutosten takia eväisi mahdollisuuden lisäaineen annoksen pienentämiseen.

## 10 KOEAJO 2

Aiemman pintaliiman lisäainekerroinkoeajon tulosten perustella tehtiin toinen koeajosuunnitelma, jossa tavoitteena oli selvittää optimaalista lisäainekerrointa ja mahdollisuutta sen alentamiseen käytössä olevasta tasosta 1,0–1,3 entistä pienemmäksi. Koeajossa haluttiin selvittää laajemmalta otannalta pienemmän lisäainekertoimen vaikutusta reunaimeytymään. Koeajo ajettiin torstaina 9.3.2023.

Toista koeajosuunnitelmaa lähdettiin rakentamaan edellisen koeajon pohjalta. Alla olevassa taulukossa 9 esitetty koeajoon suunnitellut lisäainekertoimen arvot sekä ajettavien konerullien määrä koepisteittäin.

Taulukko 9. Toisen koeajon konerullien määrät ja lisäainekertoimen arvot

Koepiste	Konerullien määrä	Lisäainekerroin
Referenssi	1	Alkuperäinen arvo
Koepiste 1	3	0,5
Koepiste 2	3	0,8
Koepiste 3	1	1,0

Koepisteistä 1 ja 2 ajettiin kolme konerullaa, joista jokaisesta otettiin edellisen koeajon tapaan kahdet ylimääräiset poikkiradat EWT:tä varten. Koepisteestä 3

ajettiin vain yksi konerulla, sillä lisäainekerroimen arvo oli ajoarvotaulukon mukainen ajatussajissa. Pintaliimanäyte otettiin kerran yhden koepisteen aikana.

Koeajossa ajettuja rullia seurattiin myös mahdollisuuksien rajoissa PE-koneille, joilla ne päällystetään. Tarkoituksena oli verrata reunaimeytymätuloksia myös päällystyksen jälkeen. Koeajon seurannassa olleet rullat päällystettiin PE5:lla Imatran tehtailla.

### 10.1 Referenssipiste

Ensimmäisenä ennen varsinaisten koepisteiden ajamista ajettiin referenssipiste muuttamattomilla parametreilla. Referenssipisteessä lisäainekerroin oli asetettu arvoon 1,2.

Taulukko 10. Referenssipisteen reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
Referenssi	1,2	E1	0,78	1,03	2
Kr 1307		E2	0,78	0,92	2
		E3	0,79	1,01	2
		Keskiarvo	0,78	0,99	2,00

Referenssipisteessä tulokset olivat jo varsin hyvältä näyttäviä, vaikka luokitus olikin keskitasoa. Referenssipisteen reunaimeytymätulokset on esitetty taulukossa 10. Reunaimeytymät olivat lähtökohtaisesti jo referenssipisteessä hyvässä tasossa.

### 10.2 Koepiste 1

Ensimmäisessä koepisteessä lisäainekerrointa laskettiin arvoon 0,5. Koepisteestä ajettiin kolme konerullaa. Pintaliimanäyte otettiin koepisteen toisen konerullan 1309 kohdalla. Ensimmäisen koepisteen kolmannen konerullan 1310 kohdalla jouduttiin tekemään alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen määrässä pieni muutos puristinkuormitukseen. Kolmannen konerullan ja koepisteen 2 ensimmäisen konerullan 1311 aikana on nähtävissä pieni piikki EWT:ssä, joka voisi johtua tästä muutoksesta tai olla vain satunnaisvaihtelua.

Taulukko 11. Koepiste 1:n reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min	
KP1	0,5	E1	0,76	1,02	2	
Kr 1308		E2	0,76	0,98	2	
		E3	0,79	1,01	2	
		Kr 1309	E1	0,75	0,95	2
E2			0,71	0,94	2	
E3			0,80	1,00	2	
Kr 1310		E1	0,72	0,99	2	
		E2	0,72	0,96	2	
		E3	0,74	1,09	2	
			<b>Keskiarvo</b>	<b>0,75</b>	<b>0,99</b>	<b>2,00</b>

Taulukossa 11 on esitetty ensimmäisen koepisteen reunaimeytymätuloksia. Kahvikerma-EWT:n tulos keskiarvallisesti jopa parani referenssipisteen selvästi korkeampaan lisäainekertoimeen verrattuna. Espresso-kahvi-EWT:n osalta tulos pysyi samana, kuten myös luokituksen määrittäminen.

PE5:lla päällystettyjen koeajorullien EWT-tulokset ovat esitetty taulukossa 12, jossa vertailuna myös edeltävän vuoden ajalta EWT:n keskiarvot PE5:llä otetuista näytteistä. Tulosten mukaan päällystykseen jälkeen reunaimeytymätasot ovat hieman korkeammat kuin raakakartongilla otetuissa näytteissä, mutta EWT-luokka on pysynyt samassa tasossa. PE5:n EWT-tasojen keskiarvoihin verrattaessa tulokset ovat keskiarvoa paremmat.

Taulukko 12. Päällystettyjen koeajorullien EWT:t koepisteestä 1

Konerulla (PE5)	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
1736	0,91	1,23	2
1737	0,93	1,28	2
1738	0,94	1,21	2
1874	1,09	1,41	2
1877	1,11	1,21	2
<b>Keskiarvo</b>	<b>1,00</b>	<b>1,27</b>	<b>2,00</b>
Hajonta	0,0857	0,0755	0
<b>Keskiarvo (21.3.2022-21.3.2023)</b>	<b>1,06</b>	<b>1,40</b>	



Kuva 27. Vasemmalla PE5:lla päällystetty näyteliуска ja oikealla KA1:n päällystämätön näyteliуска koepisteestä 1, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli

Vertaillessa päällystämätöntä näyteliuskaa päällystettyyn, nähdään, että visuaalisesti liuskat ovat hyvin samankaltaisia. Kuvassa 27 havainnollistetaan tätä.

### 10.3 Koepiste 2

Toisessa koepisteessä lisäainekerroin nostettiin arvoon 0,8. Tästäkin koepisteestä ajettiin kolme konerullaa. Pintaliimanäyte otettiin koepisteen toisen konerullan 1312 kohdalla. Koepisteen reunaimetyt tulokset ovat esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Koepiste 2:n reunaimetyt tulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min	
KP2	0,8	E1	0,78	1,19	2	
Kr 1311		E2	0,73	1,09	2	
		E3	0,75	1,07	2	
		Kr 1312	E1	0,72	1,03	2
E2			0,74	1,00	2	
E3			0,70	1,01	2	
Kr 1313		E1	0,71	1,10	2	
		E2	0,73	1,01	2	
		E3	0,71	1,04	2	
			Keskiarvo	0,73	1,06	2,00

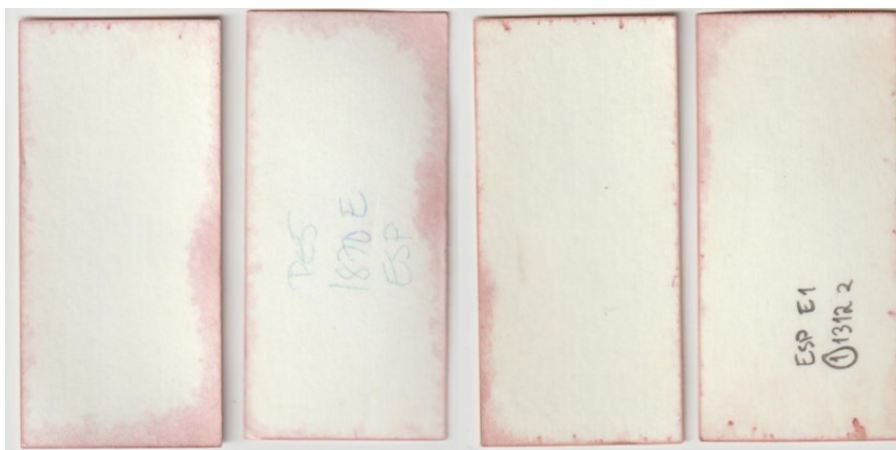
Myös toisessa koepisteessä kahvikerma-EWT parani keskiarvallisesti. Espresso-kahvi-EWT:ssä oli taas havaittavissa pientä nousua ja luokitus pysyi samana läpi tämänkin koepisteen.

Toisessa koepisteessä PE5:lle päällystykseen seurattujen rullien otanta jäi pienemmäksi kuin ensimmäisessä koepisteessä. Taulukossa 14 on kuvattu

PE5:n jälkeiset EWT-tasot koeajorullista. Tuloksissa oli nousua verrattavissa ensimmäisen koepisteen tuloksiin ja toisessa koepisteessä EWT-tasot olivatkin hieman keskiarvoa suuremmat. Luokitukset pysyivät samassa tasossa myös päällystyksen jälkeen.

Taulukko 14. Päällystettyjen koeajorullien EWT:t koepisteestä 2

Konerulla (PE5)	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
1870	1,12	1,56	2
1876	1,09	1,37	2
<b>Keskiarvo</b>	<b>1,11</b>	<b>1,47</b>	<b>2</b>
Hajonta	0,0150	0,0950	0
<b>Keskiarvo (21.3.2022-21.3.2023)</b>	<b>1,06</b>	<b>1,40</b>	



Kuva 28. Vasemmalla PE5:lla päällystetty näyteliуска ja oikealla KA1:n päällystämätön näyteliуска koepisteestä 2, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli

Vertaillessa päällystämätöntä näyteliuskaa päällystettyyn, nähdään, että visuaalisesti liuskat ovat hyvin samankaltaisia. Kuvassa 28 havainnollistetaan tätä.

#### 10.4 Koepiste 3

Kolmannessa koepisteessä lisäainekerroin nostettiin arvoon 1,0, joka on yksi tavallisestikin käytetyistä lisäainekertoimen arvoista. Ensimmäisistä koepisteistä poiketen kolmannesta koepisteestä ajettiin vain yksi konerulla, jonka kohdalla otettiin myös pintaliimanäyte juuri ennen konerullan vaihtumista. Konerullia ajettiin vain yksi johtuen em. syystä, ettei lisäainekerroin poikennut normaalitasosta ja kolmen konerullan otannan ei katsottu olevan tarpeellista. Koepisteen reunaimeytymätulokset ovat esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Koepiste 3:n reunaimeytymätulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Näyteliuskat	Kahvikerma-EWT 80 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT 93 °C/10min (kg/m <sup>2</sup> )	Kahvi-EWT luokka 93 °C/10min
KP3	1,0	E1	0,72	1,04	2
Kr 1314		E2	0,73	0,97	2
		E3	0,73	1,10	2
		Keskiarvo	0,73	1,04	2,00

Kahvikerma-EWT pysyi keskiarvillisesti samana kuin toisessa koepisteessä, kun taas espressokahvi-EWT otti pienen askeleen parempaan suuntaan edelliseen koepisteeseen verrattuna. EWT-luokitus pysyi viimeisessäkin koepisteessä samana.

### 10.5 Koeajon tulokset

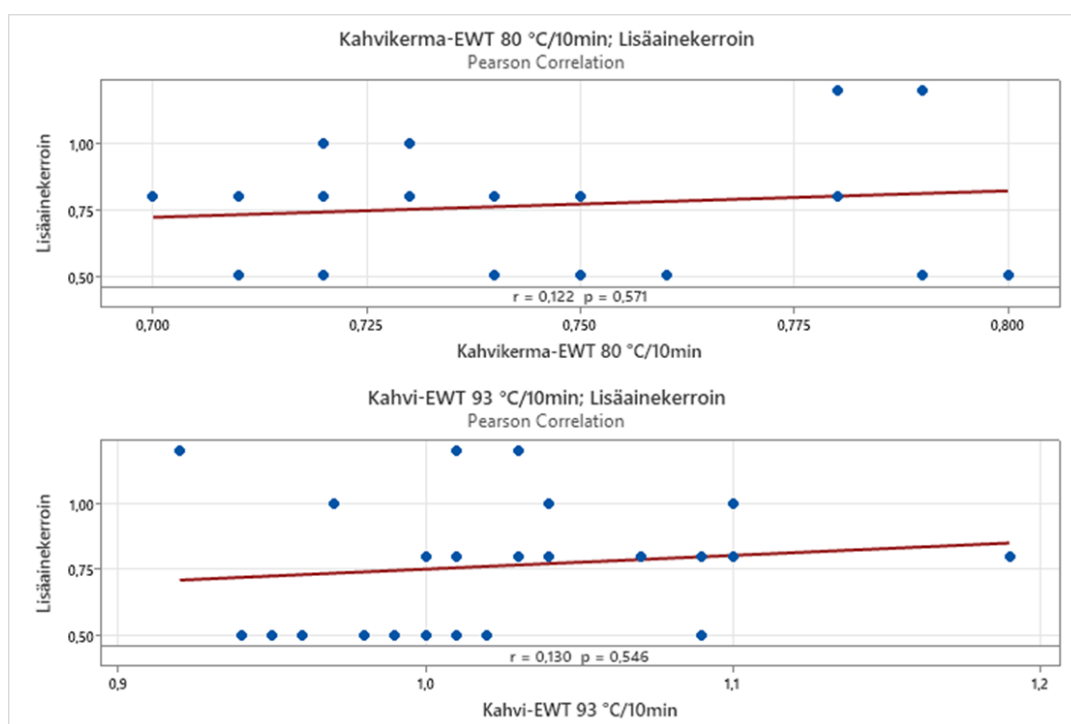
Toisesta koeajosta saaduista tuloksista voidaan tehdä johtopäätös, ettei lisäainekerroimen säätely vaikuta reunaimeytymään asiaa seurattaessa pidemmälläkään otannalla. Kahvikerma-EWT:n osalta oli havaittavissa samaa ilmiötä kuin ensimmäisessä koeajossa, jossa tulos jopa parani pienemmällä lisäainekerroimella. Tässä koeajossa muutokset arvoissa olivat kuitenkin hyvin pieniä. Espressokahvi-EWT:n osalta tulokset pysyivät myös aika lailla pienellä vaihteluvälillä, eikä imeytymässä ollut havaittavissa selkeää paranemista tai huononemista.

EWT-luokitukset jatkuivat hyvin tasaisesti samana läpi koeajon, mutta kuten työssä on aiemmin käyty läpi, kyseiseen luokitukseen on suhtauduttava myös pienellä epävarmuudella. Luokituksen pysyessä samana korrelaatiota ei luokituksille laskettu. Kuvassa 29 on havainnollistettu referenssipisteen ja koepiste 1:n näyteliuskat, joista voidaan huomata, ettei visuaalista eroa liuskassa juurikaan ole.



Kuva 29. Referenssipisteessä ja koepisteessä 1 ajetut näyteliuskat

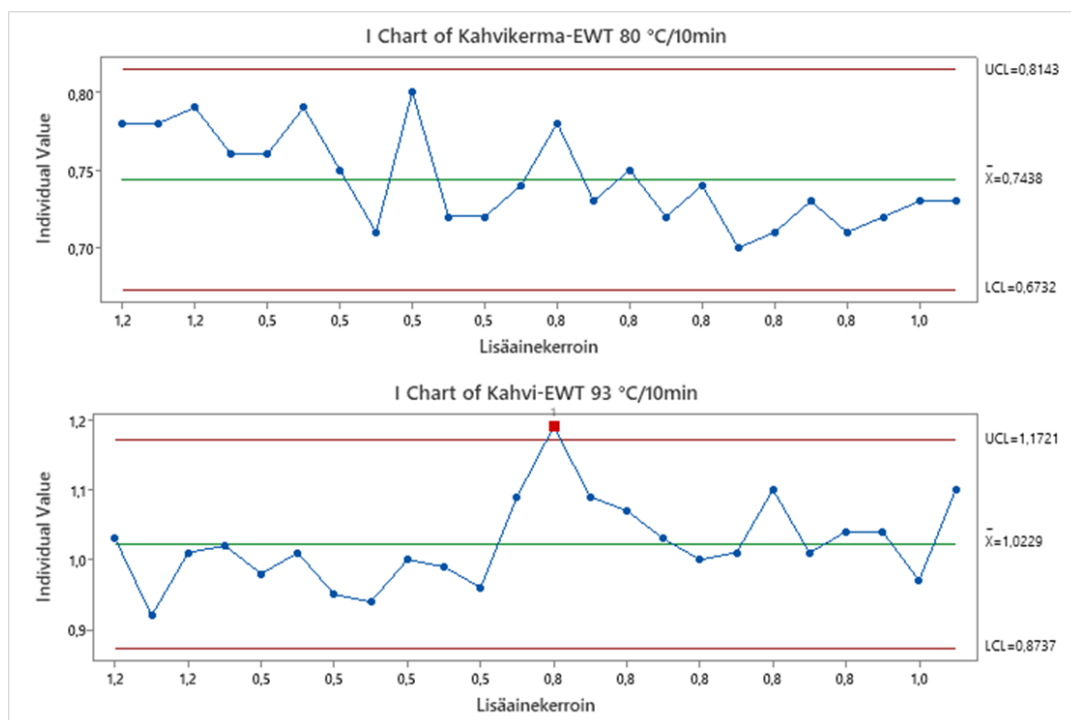
EWT-tulokset pysyivät hyvin pitkälti samassa tasossa kuin referenssipisteessä huolimatta normaalista pienemmästä pintaliiman lisäainekertoimesta. Lisäainekertoimen ja EWT-mittausten väliset korrelaatiot ovat kuvattuina kuvassa 30, josta on havaittavissa, ettei korrelaatiota lisäainekertoimen ja reunaimeyty-  
män välillä ole.



Kuva 30. EWT:n ja lisäainekertoimen välisiä korrelaatioita toisesta koeajosta

Kuvassa 31 on havaittavissa, ettei toisessa koeajossa tapahtunut samaa ilmiötä kuin ensimmäisessä koeajossa, jossa kahvikerman ja espressokahvin osalta EWT-arvot kulkivat eri suuntiin. EWT-arvot pysyivät suhteellisen

samassa tasossa, josta on myös pääteltävissä sama johtopäätös kuin korrelaatiokertoimista.



Kuva 31. EWT:t lisäainekertoimen janalla

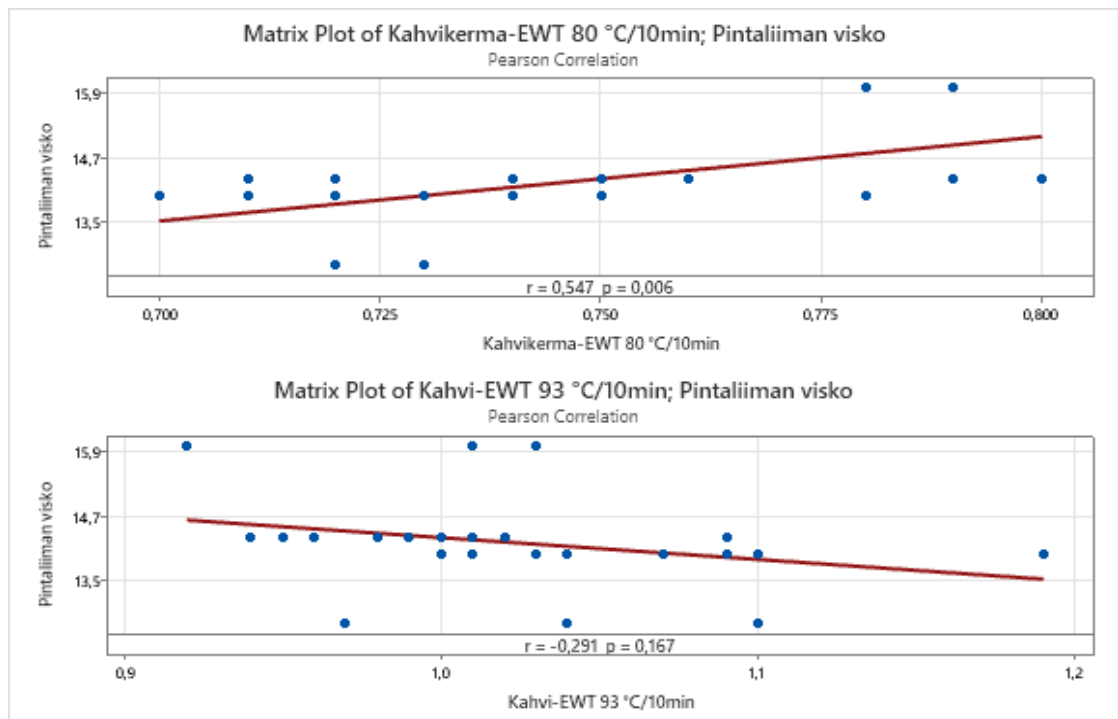
Koeajorullia seurattaessa päällystyskoneille havaittiin, että reunaimetytymätasot pysyivät myös päällystysten jälkeen suhteellisen hyvässä tasossa. PE5:lla päällystetyistä rullista EWT-tuloksia vertailtiin edeltävän vuoden ajalliseen keskiarvoon PE5:n EWT:stä, joista pystyi havaitsemaan, että EWT:t olivat jopa keskiarvoa paremmat ensimmäisessä koepisteessä, jossa rullia pystyttiin seuraamaan päällystykseen laajalla otannalla. Toisessa koepisteessä ei ollut mahdollista saada yhtä useaa poikkiratanäytettä EWT:tä varten, joten otanta jäi pienemmäksi kuin ensimmäisessä koepisteessä. Tulokset toisesta koepisteestä olivat hieman keskiarvoa huonommat.

Taulukossa 16 on esitetty koeajosta otettujen pintaliimanäytteiden mittaustulokset, jotka pysyivät myös suhteellisen tasaisina. Viskositeetti oli ainoa arvo, joka muuttui huomattavasti pintaliimassa ja korrelaatiokerroin viskositeetin ja kahvikerma-EWT:n välillä olikin kohtalainen. Sen sijaan kahvi-EWT:n ja viskositeetin välillä korrelaatiokerroin oli paljon pienempi, kuten on esitetty kuvassa 32. Pintaliiman pH:n ja EWT:n välillä ei havaittu korrelaatiota.

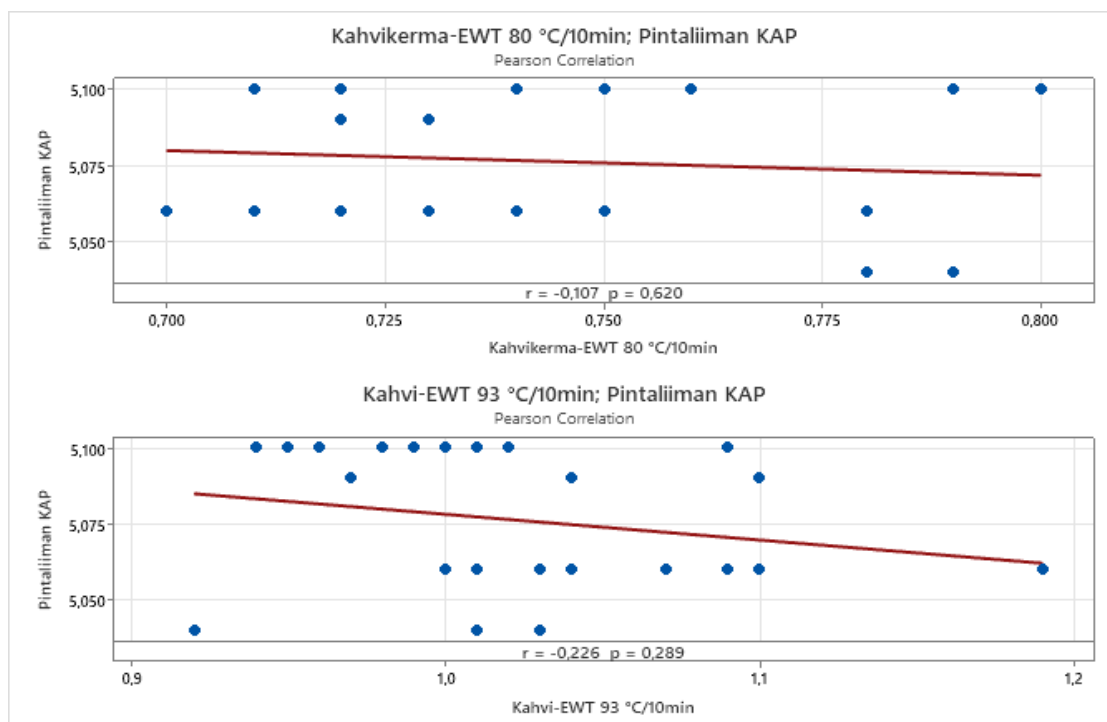


Taulukko 16. Toisen koeajon pintaliimanäytteiden tulokset

Koepiste	Lisäainekerroin	Pintaliiman KAP	Pintaliiman pH	Pintaliiman visko
<b>Referenssi</b>				
Kr 1307	1,2	5,04	3,6	16,0
<b>KP1</b>				
Kr 1308-1310	0,5	5,1	3,8	14,3
<b>KP2</b>				
Kr 1311-1313	0,8	5,06	3,7	14,0
<b>KP3</b>				
Kr 1314	1,0	5,09	3,6	12,7



Kuva 32. Pintaliiman viskositeetin ja EWT:n korrelaatioita toisesta koeajosta



Kuva 33. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja reunaimeytymän välisiä tuloksia toisesta koeajosta

Kuvassa 33 on esitetty pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja EWT:n välinen korrelaatio. Korrelaatiokerroin on pieni, joten yhtäläisyyttä ei näiden tekijöiden välillä ole.

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koeajojen tulokset vastasivat historiadatasta tehtyä analysointia ja opinnäytetyön kokeellisen osuuden perusteella voidaan todeta, ettei lisäainekertoimella tuntuisi olevan suoraa konkreettista vaikutusta reunaimeytymään. Koeajojen perusteella lisäainekertoimen pienentäminen nyt käytetystä tasosta 1,0-1,3 voisi olla mahdollista. Optimaalista tasoa on tietysti vielä näinkin lyhyellä ajalla vaikea määrittää, mutta reunaimeytymän puolesta lisäainekerroin voisi olla tasossa 0,5-1,0 muuttumatta sen suuremmin niistä reunaimeytymätuloksista, joita saadaan suuremmalla lisäainekerrointitasolla.

Toinen kiinnostava asia olisi selvittää, jatkaako liima todella kypsymistään, kuten työn kirjallisuusosiossa on esitetty ja johon EWT-luokitusten paraneminen uusimisten myötä viittaa, jota käsiteltiin myös kokeellisen osuuden aikana. Aiheesta olisi hyvä suorittaa tarkempi koeajo.

Ligniini pohjaisen liiman käyttö voisi olla varteenotettava vaihtoehto tulevaisuudessa, mikäli sen todetaan täyttävän vaadittavat standardit. Potentiaalia ligniinipohjaisten liimojen käytölle myös paperi- ja kartonkikoneiden liimausprosesseissa on siis selkeästi havaittavissa, mutta kysymyksenmerkeiksi ja haasteiksi asettuvat kustannukset ja kannattavuus niin ligniinin käyttökohteiden kuin vaadittavien elintarvikepakkauksen kontaktisäädösten vuoksi.

Tulevaisuuden mahdollisia investointeja ajatellen nykyisen lammikkoliimapuristimen päivittäminen esimerkiksi kovanippiliimapuristimeen voisi olla yleisesti koko pintaliimausprosessia ja kartongin ominaisuuksia ja laatua parantava tekijä lisäten tuotantotehokkuutta. Kovanippiliimapuristin pystyisi tarjoamaan paremmat liimapuristimen ominaisuudet menettämättä kuitenkaan niitä etuja, joita lammikkoliimapuristin on tuonut verrattuna muihin pintaliiman applikointimenetelmiin.

Lopuksi haluan kiittää KA1:n käyttöpäällikköä Anna Veijalaista mahdollisuudesta opinnäytetyön suorittamiseksi ja hyvästä ohjauksesta työn suhteen. Kiitokset myös KA1:n toimihenkilöstölle, erityisesti Paula Muhoselle korvaamattomasta avusta ja tuesta työn tekemisen aikana sekä tuotannon työntekijöille ja laboratorion henkilöstölle erinomaisesta työskentelystä koeajojen aikana ja Imatran tutkimuskeskuksen henkilökunnalle.

## LÄHTEET

Alén, R. 2007. Papermaking Science and Technology, Book 4: Papermaking Chemistry. 2. uudistettu painos. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy.

Divisioonat s.a. Stora Enso. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-divisions> [viitattu 9.1.2023].

Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. 2009. Pulp and Paper Chemistry and Technology, Volume 3: Paper Chemistry and Technology. Berliini: Walter de Gruyter.

Gess, J. & Rodriguez, J. 2005. The Sizing of Paper. 3. painos. Atlanta: Tappi Press.

Harju, S. 2018. Liquid penetration in food service boards. Tampereen teknillinen yliopisto. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201811192608> [viitattu 6.2.2023].

Historia s.a. Stora Enso. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-history> [viitattu 9.1.2023].

Holik, H. 2013. Handbook of Paper and Board. 2. painos. Weinheim: Wiley-VCH. E-kirja. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/xamk-ebooks/detail.action?docID=1161328&query=The+Sizing+of+Paper> [viitattu 27.2.2023].

Hubbe, M. 2014. A Review of Ways to Adjust Papermaking Wet-End Chemistry: Manipulation of Cellulosic Colloidal Behavior. Lignocellulose. PDF-dokumentti. Julkaistu 30.6.2014. Saatavissa: <http://lignocellulose.sbu.ac.ir/Issue%2006/Prof.%20Hubbe.pdf> [viitattu 21.2.2023].

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Kemiallinen metsäteollisuus II Paperin ja kartongin valmistus. 5. painos. Jyväskylä: Opetushallitus.

Imatran tehtaat s.a. Stora Enso. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/imatramill> [viitattu 9.1.2023].

Iselau, F., Malmberg-Nyström, K., Holmberg, K. & Bordes, R. 2018. Parameters influencing hydrophobization of paper by surface sizing. *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 33, 1. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://doi.org.ezproxy.xamk.fi/10.1515/npprj-2018-3015> [viitattu 21.2.2023].

Kirwan, M. 2013. Handbook of paper and paperboard packaging technology. 2. painos. Wiley-Blackwell: Chichester. E-kirja. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/xamk-ebooks/detail.action?docID=1120828&query=Handbook+of+paper+and+paperboard+packaging+technology> [viitattu 23.2.2023].

Mark, A., Berce, A., Sandboge, R., Edelvik, F., Glatt, E., Rief, S., Wiegman, A., Fredlund, M., Amini, J., Rentzhog, M., Lai, R., Martinsson, L., Nyman, U. & Tryding, J. 2012. Multi-scale simulation of paperboard edge wicking using a

fiber-resolving virtual paper model. *Tappi Journal*. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/12/JUN/12JUN09.aspx> [viitattu 6.2.2023].

Paakkunainen, J. 2006. Paperin ja kartongin pintaenergian mittaaminen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Paperitekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003064241> [viitattu 20.3.2023].

Paltakari, J. 2009. Papermaking Science and Technology, Book 11: Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. 2. painos. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy.

Pelzer, R., Tausche, J., Jianhu, M., Fuzy, M. & Polste, J. 2021. Fixation and other stickies control options. Forestbiofacts. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.11.2021. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/recycled-fibre/additives/sticky-control-detackification/fixation-and-other-sticky-control-options/> [viitattu 18.1.2023].

Prowledge Oy. 2023. KnowPap - Paperinvalmistuksen oppimisympäristö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.knowpap.com/> [viitattu 4.1.2023].

Rinkinen, A. 2020. Stora Enso Imatran tehtaot 85 vuotta: mukana maailman muutoksessa. Imatra: Stora Enso Imatran tehtaot.

Räisänen, A. 2020a. New application methods and technologies. Forestbiofacts. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.11.2020. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/natural-fibre-products/production-of-paper-and-board/surface-sizing/new-application-methods-and-technologies/> [viitattu 9.1.2023].

Räisänen, A. 2020b. Surface sizing. Forestbiofacts. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.11.2020. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/natural-fibre-products/production-of-paper-and-board/surface-sizing/> [viitattu 10.1.2023].

Stora Enso. 2023. Imatran tehtaotn tuotanto. Intranet.

Stora Enso. 2022a. Stora Enso Annual Report 2021. PDF-dokumentti. Päivitetty 28.2.2022. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/annual-reports/2021/storaenso-annual-report-2021.pdf> [viitattu 9.1.2023].

Stora Enso. 2022b. Stora Enso pysäyttää kaiken tuotannon ja myynnin Venäjällä. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.3.2022. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/regulatory-and-investor-releases/2022/3/storaenso-pysayttaa-kaiken-tuotannon-ja-myyntin-venajalla> [viitattu 9.1.2023].

Strengell, R., Hiltunen, J. & Valkealaakso, T. 2020. Internal sizing. Forestbiofacts. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.11.2020. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/natural-fibre-products/papermaking-chemistry/internal-sizing/> [viitattu 12.1.2023].

Tietoa ja lukuja s.a. Stora Enso. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/facts-and-figures> [viitattu 9.1.2023].

Valmet. 2023a. Optisizer Film. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/optisizer-film-application/> [viitattu 9.1.2023].

Valmet. 2023b. Optisizer Hard. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/optisizer-hard-nip-sizing/> [viitattu 13.1.2023].

Valmet. 2023c. Optisizer Pond. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/optisizer-pond-application/> [viitattu 5.1.2023].

Valmet. 2023d. Optisizer Spray. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/optisizer-spray-application/> [viitattu 9.1.2023].

## KUALUETTELO

Kuva 1. Imatran tehtaat, Kaukopää. Stora Enso. 2022. Stora Enso investoi 10 miljoonaa euroa Imatran tehtaiden energiatehokkuuden parantamiseen ja hiilijalanjäljen pienentämiseen. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.5.2022. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/news/2022/5/stora-enso-investoi-imatran-tehtaille-10-miljoonaa-euroa> [viitattu 9.1.2023].

Kuva 2. Kartonkikone 1:n layout-kuva. Stora Enso. 29.5.2015.

Kuva 3. A) amyloosi ja b) amylopektiini. Alén, R. 2007. Papermaking Chemistry. 2. painos. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy.

Kuva 4. Lammikkoliimapuristin OptiSizer Pond. Valmet 2023a. OptiSizer Pond. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/optisizer-pond-application/> [viitattu 5.1.2023].

Kuva 5. Havainnekuva lammikkoliimapuristimen applikointimenetelmästä. ForestBioFacts. 2022. Coating and converting of paper and board. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.9.2022. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/learning-path-b-2/coating-and-converting-of-paper-and-board/> [viitattu 10.1.2023].

Kuva 6. Havainnekuva filmiliimapuristimesta. ForestBioFacts 2020a. Traditional surface sizing technologies. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.11.2020. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/natural-fibre-products/production-of-paper-and-board/surface-sizing/traditional-surface-sizing-technologies/> [viitattu 12.1.2023].

Kuva 7. Sprayapplikoinnin toimintaperiaate. Valmet 2023b. OptiSizer Spray. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/sizing/optisizer-spray-application/> [viitattu 9.1.2023].

Kuva 8. OptiSizer Hardin layout-kuva, jossa radan kulkusuunta sinisellä nuolella esitettyinä. ForestBioFacts 2020b. New application methods and technologies. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.11.2020. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/natural-fibre-products/production-of-paper-and-board/surface-sizing/new-application-methods-and-technologies/> [viitattu 13.1.2023].

Kuva 9. Havainnekuva kahvikupin saumasta, jossa kartongin raakareuna jää alttiiksi reunaimetyymiselle. Nemez, E. 2013. Substitution of amaranth as dye in edge wicking test. Linköping University. Department of physics, chemistry and biology. Bachelor's thesis. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:634831/FULLTEXT01.pdf> [viitattu 6.2.2023].

Kuva 10. Kahvi-EWT 93 °C ja lisäainekertoimen korrelaatiot vuoden 2022 ajalta. Raijas, T. 8.2.2023.

Kuva 11. Kahvikerma-EWT:n korrelaatiot lisäainekertoimeen vuoden 2022 ajalta lajilla 1. Raijas, T. 21.2.2023.

Kuva 12. Kahvikerma-EWT:n korrelaatiot lisäainekertoimeen vuoden 2022 ajalta lajilla 2. Raijas, T. 24.2.2023.

Kuva 13. EWT-luokituksen ja lisäainekertoimen välinen korrelaatio vuoden 2022 ajalta. Raijas, T. 8.2.2023.

Kuva 14. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja EWT:n korrelaatiot. Raijas, T. 22.2.2023.

Kuva 15. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja espressokahvi-EWT:n korrelaatioita. Raijas, T. 28.2.2023.

Kuva 16. Havainnekuva EWT-mittauksessa syntyvästä imeytymästä, jota ei huomioida luokitusta arvioidessa. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 17. Referenssipisteen EWT-liuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 18. Koepiste 1:n EWT-liuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 19. Koepiste 1:n EWT:n uusintaluokitukset, vasemmalla pohja- ja oikealla pintapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 20. Koepiste 2:n EWT-liuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 21. Koepiste 2:n EWT:n uusintaluokitukset, vasemmalla pohja- ja oikealla pintapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 22. Koepiste 3:n EWT-liuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 23. Koepiste 4:n EWT-liuskat, vasemmalla pinta- ja oikealla pohjapuoli. Raijas, T. 3.3.2023.

Kuva 24. EWT:n ja lisäainekertoimen välisiä korrelaatioita koeajosta. Raijas, T. 16.2.2023.

Kuva 25. EWT:t lisäainekertoimen janalla. Raijas, T. 16.2.2023.

Kuva 26. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja reunaimetyymien välisiä korrelaatioita. Raijas, T. 28.2.2023.

Kuva 27. Vasemmalla PE5:lla päällystetty näyteliуска ja oikealla KA1:n päällystämätön näyteliуска koepisteestä 1, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli. Raijas, T. 1.4.2023.

Kuva 28. Vasemmalla PE5:lla päällystetty näyteliуска ja oikealla KA1:n päällystämätön näyteliуска koepisteestä 2, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli. Raijas, T. 1.4.2023.

Kuva 29. Koepiste 1:n kahvi-EWT:n näyteliuskat. Raijas, T. 15.3.2023.



Kuva 30. EWT:n ja lisäainekertoimen välisiä korrelaatioita toisesta koeajosta. Raijas, T. 13.3.2023.

Kuva 31. EWT:t lisäainekertoimen janalla. Raijas, T. 13.3.2023.

Kuva 32. Pintaliiman viskositeetin ja EWT:n korrelaatioita toisesta koeajosta. Raijas, T. 13.3.2023.

Kuva 33. Pintaliiman kuiva-ainepitoisuuden ja reunaimeytymän välisiä tuloksia toisesta koe-ajosta. Raijas, T. 13.3.2023.

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Lisäainekerroinkoeajossa käytetyt arvot. Raijas, T. 10.2.2023.

Taulukko 2. Referenssipisteen reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 16.2.2023.

Taulukko 3. Koepiste 1:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 16.2.2023.

Taulukko 4. Koepiste 2:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 16.2.2023.

Taulukko 5. Koepiste 3:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 16.2.2023.

Taulukko 6. Koepiste 4:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 16.2.2023.

Taulukko 7. Koeajossa otettujen pintaliimanäytteiden arvot. Raijas, T. 16.2.2023.

Taulukko 8. Ensimmäisen koeajon pintaenergiamittaukset. Raijas, T. 20.3.2023.

Taulukko 9. Toisen koeajon konerullien määrät ja lisäainekertoimen arvot. Raijas, T. 8.3.2023.

Taulukko 10. Referenssipisteen reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 13.3.2023.

Taulukko 11. Koepiste 1:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 13.3.2023.

Taulukko 12. Päälystettyjen koeajorullien EWT:t koepisteestä 1. Raijas, T. 21.3.2023.

Taulukko 13. Koepiste 2:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 13.3.2023.

Taulukko 14. Päälystettyjen koeajorullien EWT:t koepisteestä 2. Raijas, T. 27.3.2023.

Taulukko 15. Koepiste 3:n reunaimetyt tulokset. Raijas, T. 13.3.2023.

Taulukko 16. Toisen koeajon pintaliimanäytteiden tulokset. Raijas, T. 13.3.2023.

**EWT-NÄYTELIUSKAT (KOEAJO 2)**

Kuva 34. Vasemmalla koepiste 1:n näyteliuska konerullasta 1309 ja oikealla koepiste 2:n näyteliuska konerullasta 1311, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli



Kuva 35. Vasemmalla koepiste 2:n näyteliuska konerullasta 1313 ja oikealla koepiste 3:n näyteliuska konerullasta 1314, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli



Kuva 36. PE5:llä päällystettyjä EWT-näyteliuskoja koepisteestä 1, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli



Kuva 37. PE5:llä päällystettyjä EWT-näyteliuskoja koepisteistä 1 ja 2, joissa oikealla pohja- ja vasemmalla pintapuoli