



IQWashboard-mittauksen ka- rakterisointi

Tanja Kushnir

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2021

Biotuote- ja prosessitekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka

KUSHNIR, TANJA:
IQWashboard-mittauksen karakterisointi

Opinnäytetyö 95 sivua, joista liitteitä 23 sivua
Elokuu 2021

Pyykkilautailmiö on aaltopahvin pinnassa esiintyvää aaltoilua, joka on epätoivottu ominaisuus. Ilmiön aiheuttavat lähinnä liiallinen liiman määrä aallotuskartongin ja pintakartongin välissä sekä kosteusolosuhteet. Opinnäytetyön tavoitteena oli kar- toittaa Valmet Automationin kehittämän IQWashboard online -mittalaitteen toimi- vuus sekä selvittää, muuttuuko pyykkilautailmiön voimakkuus aaltopahvikoneen jälkeen. Työn tavoitteena oli lisäksi määrittää aaltopahvin pyykkilautailmiölle hy- väksyttävät rajat, joiden avulla laatutarkastelu olisi yksinkertaisempaa. Opinnäy- tetyö on toteutettu yhteistyönä toimeksiantajan Valmet Automation Oy:n, kanssa Tampereella.

Laboratoriomittaukset tehtiin CORRCHECK-mittalaitteella. Saatuja mittaustulok- sia verrattiin tehtaalla suoritettuihin online-mittauksiin, joiden perusteella arvioitiin mittalaitteen toimintaa. Lisäksi tehtiin kosteusmittauksia, joiden perusteella arvi- oitiin pyykkilautailmiön kehitystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Koeajojen aikana huomattiin, että aaltopahviradan voimakkaat etäisyyden muu- tokset vaikuttivat saatuihin online-mittalaitteen mittaustuloksiin. Tästä syystä vain osalle laboratoriprofiileista saatiin vastaavat online-profiilit.

Ilmiön kehitystä seurattaessa havaittiin, että pyykkilautailmiö ei kehity merkittä- västi ajan kuluessa. Kosteusmittaukset eivät myöskään muuttaneet aaltopahvin pinnan washboardia merkittävästi. Aaltopahvikoneella sijaitsevan mittalaitteen paikka todettiin oikeaksi mittaustaikaksi.

Toteutunut tutkimus tarjoaa Valmet Automationille kattavat mittaustulokset jatko- tutkimuksia ja mittalaitteen kehittämistä varten. Saatujen tulosten perusteella on- nistuttiin tekemään merkittäviä havaintoja niin pyykkilautailmiöstä kuin uuden mit- talaitteen toimivuudesta. Hyväksyttävät rajat pyykkilautailmiölle jäivät määrittä- mättä, koska rajojen määrittämiseen tarvitaan huomattavasti enemmän tutkimuk- sia.

ABSTRACT

Asiasanat: aaltopahvi, fleksopainatus, painojäljen laatu, washboard

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and Process Engineering

KUSHNIR, TANJA:
Characterization of IQ Washboard Measurement

Bachelor's thesis 95 pages, appendices 23 pages
August 2021

Washboard is a wavy pattern on the surface of corrugated board. The main causes of washboard are mainly an excessive amount of glue between the liner and the fluting and humidity conditions. The effect is unwanted phenomenon which makes a printed or unprinted surface look poor. The purpose of this thesis was to characterize the functionality of the IQ Washboard measuring equipment which is developed by Valmet Automation Oy. The aim was also to investigate the change of washboarding and to set acceptable boundaries to it. The Valmet Automation Oy has commissioned the thesis.

The measurements were done with CORRCHECK equipment after the results were compared with online measurements. In addition, humidity measurements were carried out. With the help of these the maturation of the phenomenon could be observed.

Washboard profiles could not be measured from all corrugated board samples. The profile measuring was still successfully done from longitudinal direction from stable places. Longitudinal directions measuring results were compared with laboratory results.

It was noticed that the IQWashboard measuring equipment location at the corrugated machine was correct. By following the development of the phenomenon it was revealed that the washboard is not developing significantly by the time. Also, moisture did not change the washboard surface of corrugated board.

The research offers Valmet Automation the extensive results for follow-up examination and developing the equipment. As a result of this project interesting observation about the washboard effect and the measuring equipment were made. The acceptable limits for washboard effect were not found yet in this project.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	AALTOPAHVIN RAKENNE JA VALMISTUS	8
	2.1 Valmistusprosessi	8
	2.2 Rakenne.....	11
	2.2.1 Erilaiset aallotuskartongit.....	13
	2.2.2 Pintakartongit eli lainerit	15
	2.3 Valmet IQ laadunhallinta	19
3	PAINOMENETELMÄT	21
	3.1 Fleksopainatus yleistä	21
	3.2 Toiminta-periaate	23
	3.3 Painojäljen laatu.....	24
	3.4 Painoyksikkö	26
	3.4.1 Nostotela	26
	3.4.2 Raakeli	27
	3.4.3 Anilox-tela.....	27
	3.4.4 Painotela	28
	3.5 Painovärit	29
	3.6 Konetyypit	30
4	PYYKKILAUTAILMIÖ.....	32
	4.1 Pahvin pinnan aaltomaisuus	32
	4.2 Pyykkilautailmiön hallinta	35
	4.2.1 CORRCHECK- mittalaite.....	36
	4.3 Aikaisemmat mittausmenetelmät	38
5	IQWASHBOARD-MITTALAITTE.....	40
	5.1 Laitteisto.....	40
	5.2 Toimintaperiaate	41
6	MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN KÄSITTELY.....	43
	6.1 CORRCHECK-mittalaitteen toistettavuus	44
	6.2 CORRCHECK-mittaukset tehtaalla	48
	6.3 Online -mittausten vertailu laboratoriomittauksiin	53
	6.4 Washboard -ilmiön kehittyminen	57
	6.5 Kosteusmittaukset.....	63
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	68
	LÄHTEET.....	70
	LIITTEET	73
	Liite 1. BC1541 Mittaus 1	73

Liite 2. BC1541 Mittaus 2.....	74
Liite 3. BC1541 Mittaus 3.....	75
Liite 4. C1351 Mittaus 1	76
Liite 5. C1351 Mittaus 2	77
Liite 6. C1351 Mittaus 3	78
Liite 7. WBE B-aalto aaltopahvikoneella	79
Liite 8. WBE B-aalto painettu pinta	80
Liite 9. WBE B-aalto painokoneen läpi mennyt painamaton pinta.....	81
Liite 10. WBE C-aalto aaltopahvikoneelta.....	82
Liite 11. WBE C-aalto painettu pinta	83
Liite 12. WBE C-aalto painokoneen läpi mennyt painamaton pinta	84
Liite 13. EB 170 g/m ²	85
Liite 14. EB 130 g/m ²	86
Liite 15. WBE BC-aalto mittaus tehtaalla	87
Liite 16. WBE BC-aalto mittaus 5 päivän kuluttua.....	88
Liite 17. C-aalto mittaus tehtaalla.....	89
Liite 18. C-aalto mittaus 5 päivän kuluttua	90
Liite 19. C-aalto mittaus tehtaalla.....	91
Liite 20. C-aalto mittaus 5 päivän kuluttua	92
Liite 21. WBE C-aalto leikkaamaton.....	93
Liite 22. WBE C-aalto leikattu	94
Liite 23. Lajien kireys-, liima- ja kosteustietoja	95

ERITYISSANASTO

Fluting	Aallotuskartonki
Liner	Suora ja tasainen pahvilevy aaltopahvissa, jonka välissä aallotuskartonki on
Prepress -vaihe	Ennen painamista tehtävät työvaiheet
Preprint	Esipainatus
Postprint	Suorapainatus
Stanssaus	Muotoleikkausta, jossa materiaali leikataan halutun geometrian mukaisesti
Nuuttaus	Taiveurien muodostus pakkauslaatikkoon
SH	Suhteellinen kosteus

1 JOHDANTO

Aaltopahvin ominaisuudet, kuten lujuus, kestävyys ja keveys tekevät aaltopahvista maailman suosituimman pakkausmateriaalin. Aaltopahvia käytetään pakkausmateriaalin lisäksi myyntitelineinä ja -esitteinä, kääreenä sekä arkkeina. Sen suosio kasvaa jatkuvasti ja lisääntynyt verkko-ostaminen kiihdyttää entisestään aaltopahvin kysyntää.

Lujan ja kestäväen rakenteensa lisäksi aaltopahvi on ekologinen valinta muiden pakkausmateriaalien joukossa. Perusraaka-aine puu on uusiutuva ja kierrätettävä raaka-aine. Aaltopahvin valmistukseen käytetään uusiutuvia luonnonvaroja, uusio- tai ensikuituja sekä liimaa. Valmistukseen käytettävä liima tehdään tarkkelyksestä, kuten maissista tai viljasta.

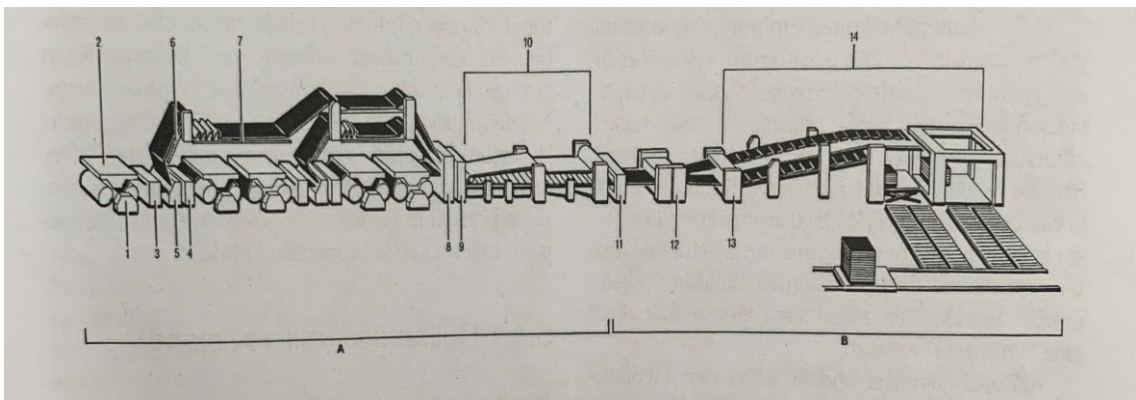
Täydelliset ominaisuudet omaavalta aaltopahvilta edellytetään lisäksi korkealaatuisista painatuspintaa. Aaltopahvin yleisimpiä käyttökohteita ovat kuluttaja- ja kuljetuspakkaukset. Kuluttajapakkausten ulkonäöllä herätetään asiakkaan mielenkiinto tuotetta kohtaan. Tästä johtuen pakkausten tulee olla virheettömiä etenkin painatuksen osalta. Washboard eli pyykkilautailmiö tarkoittaa pahvin pinnan aaltomaisuutta. Ilmiö on ei-toivottu ominaisuus aaltopahvin pinnassa, joka vaikeuttaa onnistuneen painatusjäljen toteutusta.

Tässä työssä selvitetään eri mittausmenetelmiä hyödyntäen washboardia mittaavan IQWashboard -mittalaitteen toimintaa. Online -mittauksia verrataan laboratoriossa tehtäviin mittauksiin, joiden pohjalta verifioidaan mittalaitteen toimivuus. Tavoitteena on saatujen mittaustulosten perusteella määrittää hyväksyttävät rajat washboardille. Opinnäytetyön aihe on mielenkiintoinen, sillä ilmiö on hyvin yleinen aaltopahvin pinnassa ja se aiheuttaa haasteita painatuksessa.

2 AALTOPAHVIN RAKENNE JA VALMISTUS

2.1 Valmistusprosessi

Aaltopahvikoneen perusrakenne on pysynyt muuttumattomana lähes 100 vuotta siitä huolimatta, että koneen koot, nopeudet sekä automaatio ovat kehittyneet. Aaltopahvikonetta kutsutaan tuotantolinjaksi, joka käyttää raaka-aineinaan kartonkirullia ja liimaa valmistaakseen niistä aaltopahviarkkeja. Kuviossa 1 on esitetty aaltopahvikoneen kaavio yksinkertaistettuna. (Laakso & Rintamäki 2003, 33.)



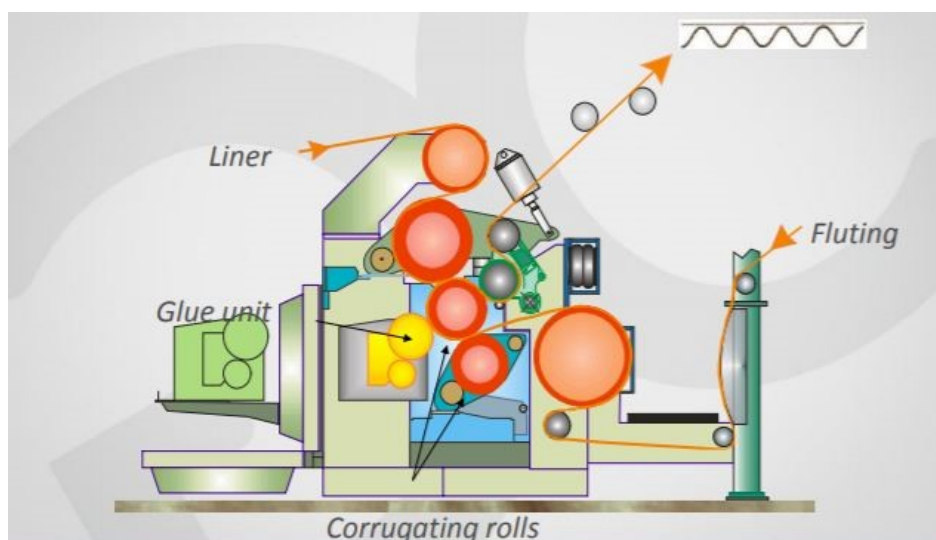
KUVIO 1. Aaltopahvikoneen kaavio. (Laakso & Rintamäki 2003, 33.)

Aaltopahvikone jaotellaan tavallisesti kahteen osaan. Osa A esittää (Kuviossa 1) märkä päätä ja osa B esittää kuivaa päätä. Molemmat termit ovat saaneet alkunsa kartongin märkyydestä prosessin eri vaiheissa. Märän ja kuivan pään raja kulkee kuivausosan kohdalla. Termi märkä pää liittyy kartongin kosteuteen ja vesipohjaiseen liimaan. Kartonkia kostutetaan vesihöyryllä, jotta siihen saadaan aikaiseksi haluttu olomuoto aallon muodostamiseksi. Lisäksi vesihöyryllä taataan pitävä liimasauma aallotuskartonkiin. Taulukosta 1 nähdään, että märkä pää koostuu rullapukeista, rullanvaihtajista, aallottajasta, sillasta sekä liimausyksiköstä. Kuiva pää koostuu pitkäleikkurista, pituus- sekä poikkileikkurista ja vastaanottolaitteesta. (Laaksoniemi 2019, 12, 17.)

TAULUKKO 1. Aaltopahvikoneen osat. (Laakso & Rintamäki 2003, 33.)

A	Märkä pää	7	Silta
B	Kuiva pää	8	Esilämmittimet
1	Rullapukki	9	Liimausyksikkö
2	Rullanvaihtaja	10	Arina
3	Pintakartongin esilämmitin	11	Tilauksenvaihtoleikkuri
4	Aallotuskartongin esilämmitin	12	Pituusleikkuri
5	Aallottaja	13	Poikkileikkuri
6	<u>Ylösvetokuljetin</u>	14	Vastaanottolaitteet

Aaltopahvin valmistus aloitetaan rullalta purkautuvan aallotuskartongin kostutuksella ja lainerin esilämmityksellä. Esikäsitelty aallotuskartonki aallotetaan telojen välissä. Välittömästi tämän vaiheen jälkeen aallonharjoille levitetään tärkkelysliima. Samanaikaisesti toiselta puolelta aallottajaa puretaan rullalta pintakartonkia, joka liitetään yhteen aallotuskartongin kanssa (Kuva 1). Näin muodostuu liimasauma ja syntyy yksipuolinen aaltopahvirata. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 177; Rintamäki & Laakso 2003, 33 – 34.)



KUVA 1. Aallotusyksikkö, jossa laineri ja aallotuskartonki yhdistetään. (Corrugated Technical Overview, n.d.)

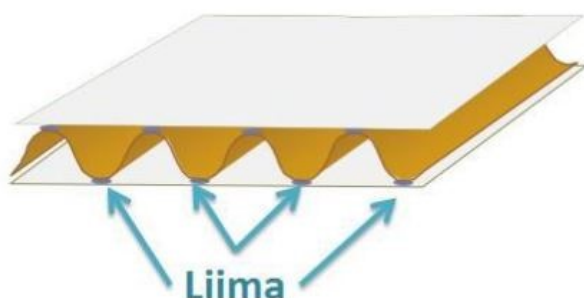
Yksipuolinen aaltopahvirata ohjataan esilämmityksen kautta liimaukseen, jossa aallotuskartongin toisille aallonharjoille vuorostaan sivellään liimaa. Esilämmitetty pintakartonki liitetään arinaosalla yhteen aallotuskartongin kanssa, jolloin muodostuu lopullinen luja aaltopahvirakenne. Kuumalla arinaosalla tärkkelysliima geeliiytyy ja aaltopahvirata kuivuu. Arinan jälkeen aaltopahvirata leikataan pituusleikkurilla ajosuunnassa halutun levyisiksi radoiksi. Lisäksi pituusleikkurilla voidaan tehdä nuuttaukset. Ennen kuin radat ohjataan poikkileikkurille, rata leikataan reunoilta puhtaaksi eli siitä otetaan reunanauhat pois. Lopuksi poikkileikkuri leikkaa radat määrämittäisiksi arkeiksi, jotka pinotaan vastaanottolaitteilla. Arkkipinot siirretään välivarastoon odottamaan jalostamista. (Järvi-Kääriäinen & Lepänen-Turkula 2002, 177; Rintamäki & Laakso 2003, 33 – 34.)

Aaltopahvikoneen toiminta koostuu selvästi erillisistä työvaiheista, vaikka kyseessä on yksi yhtenäinen prosessi. Yksiköt, jotka muodostavat aaltopahvikoneen ovat tavallaan itsenäisiä koneita. Tämä puolestaan helpottaa eri koneiden modernisointia ja vaihtamista uudempiin yksi tai useampi yksikkö kerrallaan. Aaltopahvikoneita valmistetaan myös eri suuntiin ajaviksi eli koneita tehdään joko vasen- tai oikeakätisinä. Kätisyyden määritelmä kuitenkin poikkeaa eri maissa, joten määrittely on syytä tehdä yksiselitteisesti. Euroopassa koneen ajosuunta ilmoitetaan koneen käyttömootorien sijainnilla. Ajosuunta valitaan sen mukaan, miten se sopii kyseisen tehtaan pohjakaavioon. (Laakso & Rintamäki 2003, 34.)

Nykyaikainen aaltopahvikone on yli 100 metriä pitkä tuotantolinja. Tuotantolinjan ajonopeus on jo yli 300 m/min ja nopeudet tulevat edelleen kasvamaan. Kone pystyy tänä päivänä tuottamaan aaltopahviarkit miljoonaa keskikokoista laatikkoa varten vuorokaudessa. Sen sijaan kapeammat koneet ovat ajonopeuksiltaan huomattavasti hitaampia ja rakenteeltaan yksinkertaisempia. Kapeammat koneet on tarkoitettu erikoistarkoituksiin ja niitä käytetään lähinnä kehitysmaissa. Muutamia 2,8 metriä leveitä koneita on toimitettu aaltopahvitehtaisiin, jotka sijaitsevat välittömässä läheisyydessä kartonkitehtaiden kanssa. Tällöin aaltopahviarkkien suuri leveys ei hankaloita kartonkirullien maantiekuljetuksia. Leveät koneet näyttäisivät kuitenkin yleistyvän myös niissä tehtaissa, jotka sijaitsevat kaukana kartonkitoimittajista. Vuonna 2002 on asennettu ensimmäinen 3,3 metriä leveä aaltopahvikone. (Laakso & Rintamäki 2003, 34.)

2.2 Rakenne

Aaltopahvit eroavat selkeästi rakenteellisilta ominaisuuksiltaan muista pahvilaa-
duista kolmikerrosrakenteensa vuoksi (Kuva 2). Aaltopahvin etuja on materiaalin
keveys suhteessa saavutettaviin lujuusominaisuuksiin. Keskimmäisenä kerrok-
sena aaltopahvissa on valkaisemattomasta kemiallisesta massasta tai kierrätys-
kuidusta valmistettu aallotuskartonki, jonka molemmille puolille liimataan sa-
masta tai eri massasta valmistettu pintakartonki. (Koskinen 2001, 46.) ”Aallotet-
tua kartonkia kutsutaan aallotuskartongiksi (fluting), joka on puristamalla pako-
tettu aallon muotoon. Suorat pintakartongit ovat lainereita tai muita kartonkeja.
Liimana käytetään normaalisti viljatärkkelyksen vesilietettä.” (Laakso & Rintamäki
2003, 14.) Aallotuskartongin tehtävänä on yhdistää pintakartongit keskenään
sekä pitää ne etäällä toisistaan tietyllä aallonkorkeudella. Pintakartongit on lii-
mattu toisiinsa aallonharjojen ja kartonkien kosketuskohdista, niin kuin kuvassa
2 näkyy. Tämän tyyppinen rakenne tekee aaltopahvista erittäin jäykkä- ja vahva-
rakenteisen painoonsa nähden. (Palmroos 2015, 4.)



KUVA 2. Aaltopahvin perusrakenne. (Palmroos 2015, 4.)

On olemassa useita erilaisia rakenteita omaavia aaltopahveja. Yksipuoleinen aal-
topahvi koostuu vain yhdestä pintakartongista eli lainerista ja siinä on vain yksi
aalto (Kuva 3). Tämän kaltaisia aaltopahvirakenteita käytetään esimerkiksi huo-
nekaluteollisuudessa suojaamaan esineitä. Yksipuoleista aaltopahvia käytetään
myös lahjapakkauksissa ja myymälöissä somistepahvina. (Jokela n.d., 6.)



KUVA 3. Yksipuoleinen aaltopahvi. (Jokela n.d., 6.)

Suosituin pakkausmateriaali on tällä hetkellä yksiaaltoinen aaltopahvi (Kuva 4). Aaltopahviin käytetään valkopintaista tai päällystettyä kartonkia silloin, kun pintaan halutaan näyttäviä ja tyylikkäitä painatuksia. Valkopintaista kartonkia voidaan käyttää myös sisäpinnoissa, mikäli laatikon tulee olla erittäin edustuskelpoinen myös avattuna. Muutoin laatikko on väriltään ruskea. (Jokela n.d., 6.)



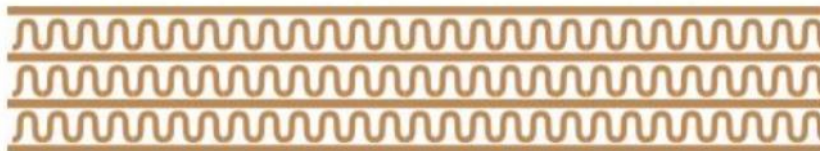
KUVA 4. Yksiaaltoinen aaltopahvi. (Jokela n.d., 6.)

Suurta kestävyyttä vaativissa esineissä käytetään kaksiaaltoista (Kuva 5) aaltopahvia. Se muodostuu viidestä eri kerroksesta: kahdesta pintakartongista, niiden sisäpuolella olevista kahdesta aallotuskartongista sekä suorasta kartonkikerroksestä, joka erottaa kaksi aallotuskartonkia toisistaan. (Jokela n.d., 6.)



KUVA 5. Kaksiaaltoinen aaltopahvi. (Jokela n.d., 6.)

Seitsemästä kerroksesta muodostuva kolmiaaltoinen aaltopahvi (Kuva 6) koostuu: kahdesta pintakartongista, niiden sisäpuolella olevista kolmesta aallotuskartonkikerroksista sekä niiden välissä olevista kahdesta suorasta kartongista. (Jokela n.d., 6.)



KUVA 6. Kolmiaaltoinen aaltopahvi. (Jokela n.d., 6.)

Mitä useampi aalto aaltopahvissa on, sen lujempi on pakkauksen rakenne. Kaksiaaltoiset pahvit ovat yksiaaltoisia pahveja jäykempiä, vahvempia ja niillä on paremmat suojausominaisuudet. Pahvin paksuus parantaa laatikon pinoamislujuutta sekä kestävyyttä. Samaan aikaan aaltopahvin neliömassa ja paino kasvavat, mutta kyseisten suureiden kasvu ei ole radikaalia. Myös lainereiden lukumäärä sekä aaltopahvilaatikon kokonaisneliömassa parantavat laatikon suojausominaisuuksia. (Jokela n.d., 6.)

2.2.1 Erilaiset aallotuskartongit

Aallotuskartongin eli flutingin tehtävänä on pitää pintakartongit sopivalla etäisyydellä eli aallonkorkeudella toisistaan. Tämän rakenteen ansiosta aaltopahville saadaan toivottu luja ja jäykkä rakenne. Aallotuskartonkia on olemassa kahta eri lajia: ensikuidusta tai kierrätyskuidusta valmistettua aallotuskartonkia. (Palmroos 2015, 7.)

Aallotuskartonkia, joka valmistetaan puolikemiallisesta eli SC lehtipuumassasta kutsutaan ensikuituiseksi aallotuskartongiksi. Ensikuituinen aallotuskartonki antaa kartongille erinomaisen litistys- ja puristuslujuuden aallotuksessa. Neliömasaltaan ensikuituinen aallotuskartonki on yleisesti luokkaa 105, 112, 127, 140, 170 g/m^2 . SC-aallotuskartonkia käytetään erityisesti vaativimmissa käyttökohdeissa, kuten Pohjoismaissa ja Pohjois-Amerikassa. Kosteissa olosuhteissa sekä vaikeissa kuljetus- ja varastointiolosuhteissa ensikuidusta valmistettu aallotuskartonki pystyy säilyttämään jäykkyytensä paremmin kuin kierrätyskuidusta valmistettu fluting. Kierrätyskuidusta valmistettua aallotuskartonkia käytetään paljon Euroopassa ja Kaukoidässä. Kaukoidässä kierrätyskuitufluting voi olla jopa olkeen tai lumppuun pohjautuvaa aallotuskartonkia. Suomessa kierrätyskuidusta valmistettua aallotuskartonkia käytetään mini- ja mikroalloissa eli E-, F-, G&N-

ja O-aalloissa. Rakenteeltaan lujuus ja jäykkyys ovat heikommät kierrätyskuidusta valmistetulla aallotuskartongilla kuin ensikuidusta valmistetulla aallotuskartongilla. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 176; Palmroos 2015, 7.)

Taulukkoon 2 on listattu yleisimpiä aallonkorkeuksia aallotuskartongissa. Aallonkorkeudet ovat esitettynä korkeusjärjestyksessä korkeimmasta matalimpaan aaltoon. Aallonkorkeuksilla sekä pintakartonkien paksuudella voidaan vaikuttaa valmiin aaltopahvin paksuuteen. Aaltopahvin paksuus muodostuu käytetystä aallonkorkeudesta, aallotus- sekä pintakartonkien paksuuksista. (Jokela n.d., 7.)

TAULUKKO 2. Yleisimmät aallonkorkeudet aallotuskartongissa. (Laakso & Rintamäki 2003, 15; Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 175.)

Aallon nimi	Aallon korkeus, mm	Yhden aallon pituus, mm	Aallon paksuus, mm
A karkea aalto	5,0	9	4–4,8
C karkea aalto	3,8	7	4
B hienoaalto	2,6	6	3
E miniaalto	1,2	3	1,5
F mikroaalto	0,7	2	1
G&N mikroaallot	0,5	1,8	0,8

Eri aalloilla on omat ominaisuutensa sekä soveltuvuus eri käyttökohteisiin. A-aalto on ominaisuuksiltaan suhteellisen paksua, jäykkää ja sillä on hyvä pinoamislujuus. Paksun rakenteensa vuoksi A-aaltoiset aaltopahvit vievät paljon tilaa valmistuksessa, kuljetuksessa sekä varastoinnissa. Kyseinen aalto ei myöskään ole paras aalto -valinta hyvää painatuspintaa vaativille käyttökohteille. C-aaltoa käytetään eniten laatikkomateriaalina eli se soveltuu hyvin erilaisten pakkausten aallotuskartongiksi. Hienoaaltainen B-aalto ei vie paljoa tilaa pienen aallonkorkeutensa ansiosta. Sillä on myös hyvät painatus- sekä stanssausominaisuudet. E- ja F-aaltoisia aaltopahveja käytetään pieniin koteloihin ja laminoitaviin tuotteisiin. Molemmilla aalloilla on hyvät painatusominaisuudet, mutta suurempiin aaltoihin verrattuna heikommät pinoamisominaisuudet. Mikroaallot G-, N- ja O

ovat ominaisuuksiltaan hyvin pienialtoisia ja tästä johtuen omaavat myös erinomaiset painatusominaisuudet. (Laakso & Rintamäki 2003, 15–16.)

2.2.2 Pintakartongit eli lainerit

Pintakartonkien tarkoituksena on pitää aaltopahvi koossa sekä toimia painatuspintana. Lisäksi niiden tehtävänä on antaa lujuutta pakkaukselle. Täydellisen pakkauksen saamiseksi käytetään siihen tarkoitukseen luotuja erikoiskartonkeja, kraftlaineria ja testlaineria. Kartongit muodostuvat kahdesta eri kerroksesta, jossa pintakerros on sileämpää ja tarvittaessa valkaistua massaa. Parhaan painatustuloksen aikaansaamiseksi pinta voidaan lisäksi päällystää kaoliinipitoisella päällysteellä. Erityistarkoituksiin pintakartonkina voidaan käyttää myös esimerkiksi taivekartonkia, voimapaperia tai muuta ominaisuuksiltaan vastaavaa paperi- ja kartonkimateriaalia. (Jokela n.d., 8.)

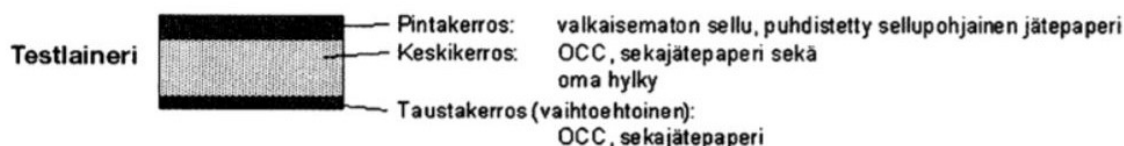
Kraftlainerit on valmistettu sulfaattisellusta. Osa sulfaattisellusta voidaan myös korvata kierrätyskuidulla, mutta kraftlainerin pintakerroksessa käytetään yleensä vain puhdasta sulfaattimassaa. Pintakerroksessa käytetty ensikuitumassa muodostaa oikeanvärisen ja sileän pinnan sekä antaa riittävän pintalujuuden ja hyvät painatusominaisuudet aaltopahville. Valkopintaisissa lainereissa käytetään valkaistua sellua ainoastaan pintakerroksessa, kun taas täysvalkaistua kraftlaineria valmistetaan kokonaan valkaistusta sulfaattisellusta. Pilvipintaiset kraftlainerit valmistetaan kierrätyskuidusta ja pintakerrokseen käytetään puhdasta, valkaistua sulfaattisellua. Pilvimäisyys laineriin saadaan säätämällä pintakerroksen paksumutta ja pintamassan jauhatustasetta. (Laakso & Rintamäki 2003, 28; Palmroos 2015, 6; Jokela n.d., 8.)

Kraftlainerit ovat rakenteellisilta ominaisuuksiltaan kaksi- tai kolmekerroskartonkeja, joilla on hyvät veto-, puhkaisu- ja repeytymislajuudet. Kraftlainerit sopivat sileän pintansa ansiosta hyvin vaativiin käyttökohteisiin. (Palmroos 2015, 6; Jokela n.d., 8.) Kraftlainerit voidaan päällystää, mikäli lainerilta vaaditaan erityisen korkealaatuista ulkonäköä ja painatusominaisuuksia. Valkopintaisen tai täysin valkaistun lainerin päällystämiseen käytetään kaoliinia ja mineraalipigmenttejä si-

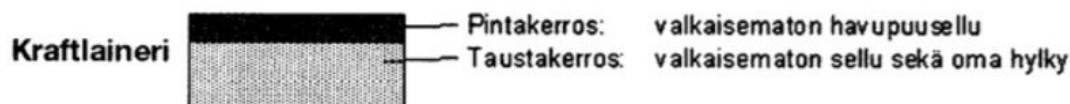
sältävää päällystettä eli päällystyspastaa. Pastan tarkoituksena on täyttää kuitujen väliset kolot ja saada aikaiseksi tasainen ja sileä pinta päällystystä varten. (Palmroos 2015, 6; Jokela n.d., 8.)

Kraftlainerien neliömassat ovat suuruusluokaltaan 80 – 400 g/m^2 . Tavallisimmin käytetyt kraftlainerien neliömassoja ovat 80, 125, 140, 150, 175, 200 ja 225 g/m^2 . Suuret kontit ja bulkkipakkaukset voivat olla neliömassaltaan jopa 300 – 440 g/m^2 . (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 176.)

Testlaineri eroaa joiltakin osin kraftlainerista. Suurin osa testlainerista valmistetaan kierrätyskuidusta. Kartongin pintakerros on valmistettu uusiokuidusta tai sulfaattisellusta ja pohjakerros on valmistettu aina kierrätyskuidusta. Lisäksi testlainerin rakenne eroaa kraftlainerista. Testlaineri koostuu (Kuva 7) pinta-, keski- ja taustakerroksesta. Kraftlaineri koostuu (Kuva 8) ainoastaan pinta- ja taustakerroksesta. (Poutala 2005, 18; Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 176.)



KUVA 7. Testlainerin rakenne. (Poutala 2005, 18.)



KUVA 8. Kraftlainerin rakenne. (Poutala 2005, 18.)

Testlainerin puhkaisu- ja vetolujuus eivät ole yhtä hyvät kuin kraftlainerilla. Tämä ominaisuus on kuitenkin helposti korjattavissa käyttämällä suurempia neliömassoja testlainerin valmistuksessa. Neliömassaltaan testlainerit ovat 80 – 300 g/m^2 . (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 176.)

TAULUKKO 3. Pintakartonkina käytettäviä kartonkityyppejä. (European list of corrugated base papers 2017, 6–11; Jokela n.d., 8–9.)

Laineri -tyyppi	Raaka-aineet	Käyttökohde
Kraflaineri: ruskea-, pilvi- tai valkopintainen, päällystetty valkopintainen ja täysvalkoinen	ensikuitu, (uusiokuitu)	elintarvike-, kuluttaja- ja kuljetuspakkaukset
Ruskea kraflaineri	ensikuitu	aaltopahvilaatikot, kuljetuspakkaukset
Valkoinen kraflaineri	ensikuitu	kuluttajapakkaukset
Valkoinen päällystetty kraflaineri	pääosin ensikuitu, päällystetään pigmenttejä sisältävällä päällystyspastalla	korkealuokkaista painojälkeä vaativat pakkaukset, esimerkiksi kosmetiikkapakkaukset
Eurokraft	pintakerros ensikuitua ja pohjakerros uusiokuitua	kuljetuspakkaukset, jotka eivät vaadi pitkää säilytystä tai kuljetusta
Testlaineri: ruskea-, pilvi- tai valkopintainen ja päällystetty valkopintainen	uusiokuitua pääosin myös ensikuitua	kuluttaja- ja kuljetuspakkaukset vähemmän vaativiin käyttötarkoituksiin
Ruskea testlaineri	uusiokuitu	vähemmän lujuutta vaativat pakkaukset
Valkoinen päällystämättömän testlaineri	päällystämätön valkoinen pintakerros uusiokuitua ja pohjakerros ensikuitua	edustavat myymäläpakkaukset
Valkoinen päällystetty testlaineri	uusiokuitua, päällystetty valkoisella pigmenttejä sisältävällä päällystyspastalla	korkealuokkaista painojälkeä vaativat pakkaukset
Muut kartongit	ensi- ja uusiokuitu	kuluttajapakkaukset

Taulukossa 3 on lueteltuna eri kartonkityyppejä, joita käytetään pintakartonkina. Kraflaineri on turvallinen ja puhdas vaihtoehto pintakartonkina, koska se on val-

mistettu pääosin ensikuidusta. Ensikuidut ovat puhtaita ja niiden alkuperä voidaan tarvittaessa selvittää. Lisäksi ensikuidut eivät sisällä tuntemattomia kemikaaleja. Ensikuidusta valmistettua kraftlaineria käytetään korkealuokkaista painojälkeä vaativiin pakkauksiin, elintarvikepakkauksiin sekä muihin kuluttajapakkausoihin kuten lääkepakkauksiin. (Metsä Board n.d.) Pääasiassa kraftlaineria kuitenkin käytetään aaltopahviin. Lisäksi sen käyttökohteita ovat erilaiset pakkaukset kuten pesupulveripaketit ja erilaiset pullonkantokartongit. (Poutala 2005, 19.)

Eurokraft on pintakartonki, jonka pohjakerros on valmistettu kierrätyskuidusta ja pintakerros ensikuidusta. Eurokraftin käyttökohteita ovat pakkaukset, jotka eivät vaadi pitkiä kuljetuksia, erikoisia olosuhteita ja joissa pakkauksen sisältö ei vaadi pitkiä säilytysaikoja. Pintakartonkina eurokraft soveltuu hyvin vähemmän vaativiin käyttökohteisiin kuten teollisuustuotteiden tai lyhyttä säilytysaikaa vaativien tuotteiden pakkausmateriaaliksi. Lisäksi eurokraft soveltuu elintarvikemateriaaliksi, sillä se täyttää lailliset vaatimukset suorasta kosketuksesta elintarvikkeisiin. Eurokraft saa olla suoraan kontaktissa rasvaisen, nestemäisen ja kuivan ruuan sekä kuorittujen ja pestyjen elintarvikkeiden kanssa. (SCA n.d.)

Ensikuidusta valmistettu laineri mahdollistaa paremman painatusjäljen aaltopahvin pinnassa kuin kierrätyskuidusta valmistettu testlaineri. Testlainerin loppukäyttökohteita ovat pakkaukset, joissa turvallisuus ja hygieniatekijät eivät ole niin oleellisia. (Metsä Board n.d.) Muina kartonkeina taulukossa x tarkoitetaan pintakartonkeja, joita voidaan käyttää joihinkin määrättyihin tarkoituksiin. Aaltopahvin pintana voidaan käyttää esimerkiksi ohutta voimapaperia, joka on sitkeää ja taipuu hyvin käärittäessä. Aallotuskartonkia voidaan käyttää sekä pinta että välikartonkina. Aallotuskartongin lujuusominaisuudet ovat kuitenkin pintakartonkia heikommat, jonka vuoksi sen käyttö pintakartonkina on vähäisempää. (Laakso & Rintamäki 2003, 29.)

2.3 Valmet IQ laadunhallinta

Valmet IQ yhdistää paperikoneen, jalostuksen ja koko tuotantoprosessin laadunhallinnan keskenään. Sen tavoitteena on lisätä automaatiota ja tällä tavoin helpottaa sekä samalla vähentää ihmisen roolia prosessissa. Valmet IQ rakentuu QCS- tekniikasta, skannereista, mittauksista, profiloijista, konenäöstä sekä ohjaussovelluksista. Laadunhallintajärjestelmän pääasiallinen tehtävä on parantaa tuotantoprosessin laatua ja vähentää rikkoutumis- ja tuotantokustannuksia. Tavoitteena on antaa muun muassa operaattoreille, laboratoriolle ja hallinnolle riittävät tiedot oikeiden päätösten tekemiselle välittömästi. Laadunhallintajärjestelmän kautta saatujen tietojen ansiosta prosessia voidaan parantaa ja tällä tavoin välttää kuitujen, kemikaalien ja energian tuhlaamista. Valmet IQ soveltuu sellu-, paperi-, kartonki- pehmopaperi- sekä kartonkiteollisuuden laatuluokkakohtaisiin suorituskyky- ja vastuullisuusvaatimuksiin. (Laadunhallinta n.d.)

Valmet IQ tuotevalikoimaan kuuluvat ohjaimet ja sovellukset ovat QCS- järjestelmän pääsisältö. Ohjaimilla ja sovelluksilla on käytössä yhteinen käyttöliittymä sekä ohjaussovellukset, joiden kautta on mahdollista seurata ja tehostaa koneen toimintaa. Valmet IQ skannerit (Kuva 9) ja mittaukset tarjoavat sisällön ohjaimille ja sovelluksille. Skannereilla voidaan suorittaa tarkat ja halutut laatumittaukset. Valmet IQ- mittaukset on kehitetty tarkalleen massan, pehmopaperin, paperin ja kartongin tarkasteluun. (Sellun, kartongin, paperin ja pehmopaperin laadunvalvontajärjestelmä n.d.)



KUVA 9. Valmet IQ -skanneri. (Valmet IQ -skannerit n.d.)

IQ- skannerit ovat älykkäitä ja nopeita mittaustulosten tuottajia, jotka sopeutuvat hyvin tehtaan kosteisiin ja pölyisiin olosuhteisiin. Skannerit yhdistetään järjestelmiin Ethernet- kaapelilla, mikä mahdollistaa ylimääräisten laitteistojen poiston esimerkiksi valvomosta. Ethernet- kaapelin ansiosta skannereiden huolto ja asennus on vaivatonta ja yksinkertaista. (Valmet IQ -skannerit n.d.)

Nykyisin paperi-, kartonki-, pehmopaperi- ja sellunvalmistajat tarvitsevat täsmällisiä online-mittauksia vaihteleviin tarpeisiin. Laatumittausjärjestelmään kuuluvat Valmet IQ mittaukset ovat merkittävä keino laadun ja tuotantotehokkuuden parantamiseksi sekä kustannusten minimoiseksi. Aaltopahvitehtaissa yleisimmin käytetyt kosteusmittaukset ovat pintakosteus- ja kokonaiskosteusmittaukset. Kokonaiskosteuden mittaamiseen käytetään IQ MW Moisture mikroaaltomittaria. Pintakosteuksiin käytetään IQ Moisture infrapunaan perustuvia mittauksia.

Aaltopahvin käyryys on yksi keskeisin laatuvirhe aaltopahvissa. Se vaikuttaa aaltopahvin jalostusvaiheeseen kuten pahvin painatukseen negatiivisesti sekä aiheuttaa ylimääräistä hylkyä aaltopahvitehtailla. IQ Warp (Kuva 10) on mittalaite, jonka avulla käyryyttä voidaan mitata ja hallita. Mittalaite tunnistaa pienimmätkin käyryyden vaihtelut aaltopahvissa. Mittaus perustuu mittausasetelmaan, jossa pahvin pintaa valaistaan kohtisuoraa pintaa vasten laserviivalla ja kuvataan eri kulmasta. Laserviiva käyristyy, jos pahvi on käyrää. Laservalon sekä kameran oikean sijoittelun ansiosta, aaltopahvissa esiintyvät muut rypistymät tai varjostetut reunat eivät vääristä mittaustuloksia. (Valmet IQ Warp n.d.)

IQ Warp -mittalaite koostuu kamera- ja laseryksiköstä sekä kenttälaitteesta. Mittauksesta saatuja tarkkoja tietoja voidaan seurata online-ohjaussovelluksesta, johon voidaan liittää myös muita mittauksia. (Valmet IQ Warp n.d.)



KUVA 10. IQ Warp -mittalaite. (Valmet IQ Warp n.d.)

3 PAINOMENETELMÄT

Fleksopainatus on yleisin aaltopahvin painamiseen soveltuva painomenetelmä. Fleksopainokone voi olla myös yhdistelmäpainokone, jossa aaltopahviin tehdään nuuttauksia painamisen ohella. Painomenetelmästä voi aiheutua aaltopahvin liistymistä, joka heikentää sen lujuus ja kestävyys ominaisuuksia. Sen seurauksena digitaalisen painomenetelmän osuus on kasvussa. Painomenetelmä soveltuu hyvin etenkin pienten painosmäärien ja korkealaatuisten tuotteiden painamiseen. Digitaalinen painaminen tarkoittaa menetelmää, jonka avulla kuva saadaan muodostettua painettavalle pinnalle suoraan digitaalisesta lähteestä. (Graafinen 2015). Aaltopahvin painatukseen soveltuva mustesuihku- eli inkjet-tulostus on jo käytössä aaltopahvitehtaissa. PageWid:in markkinoille tuoma Inkjet-painokone on tarkoitettu pintakartonkien painamiseen. Kehitteillä on myös post print:iin soveltuva inkjet-painokone. (Packnews 2016.)

Xeikonin uusi digitaalinen painokone käyttää painatukseen vesipohjaisia värejä, jotka ovat elintarviketurvallisia. Xeikonin kehittämä mustesuihkupainokone mahdollistaa painatuksen sekä päällystämättömälle että päällystetylle aaltopahvin pinnalle. Huonona puolena digipainamisessa ovat inkjet-painatukseen soveltuvat painovärit. Värit ovat kalliita ja tuotevalikoima niiden osalta on vielä niukkaa. (Print & Media 2020.)

Tässä työssä pääpaino aaltopahvin painatusmenetelmistä keskittyy fleksopainatukseen. Fleksopainatus on edelleen ylivoimaisesti yleisin aaltopahvin painomenetelmä.

3.1 Fleksopainatus yleistä

Fleksopainatus on yleisin pakkausten painatusmenetelmä. Painatusmenetelmänä fleksopainatus on edullista ja monipuolista. Sen avulla voidaan painattaa hyvin monenlaisille eri materiaalin pinnoille. Painatustekniikkaa voidaan käyttää minkä tahansa paperin tai kartongin painamiseen kuten paperipusseihin, aaltopahvilaatikkoon, paineherkille- ja märkäliima -tarroille sekä erikoispakkauksille

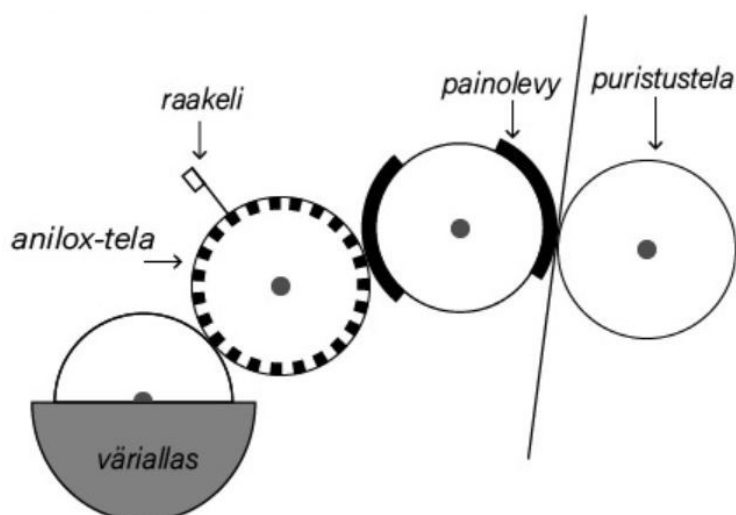
kuten lahjapakkauksille. (Twede & Selke 2005, 302, 303, 304.) Joustavasta painolevystä johtuen painettava pinta voi olla karhea tai sileä, päällystetty tai päällystämätön. Painettaessa aaltopahvia fleksolla, voidaan painatus tehdä sekä pintalainerin esipainatuksena että valmiin aaltopahvin jälkipainatuksena. (Viluksela, Ristimäki & Spännäri 2010, 76.)

1800-luvun lopulla fleksopainomenetelmän esiastetta hyödynnettiin yksinkertaiseen pussien merkintään. Painoaiheena käytettiin leimasimen tapaista kumilaattaa nykyisen painolevyn sijaan. Painoväreinä oli käytettävissä ainoastaan yhtä värilaatua, spriiiluokoista väriä. Eniten käytetty värisävy oli aniliininpunainen, jonka johdosta painomenetelmää kutsuttiin myös aniliinipainoksi. (Viluksela ym. 2010, 76.)

Fleksopainatus kehitettiin 1900-luvulla pakkausteollisuuden kanssa. Flexopainatuksen nimi tulee siitä, että painoyksikön painolevyt ovat joustavia. Painolevy siirtää toivotun kuvan paperille painosylinterin taustaa vasten. Painatustekniikkaa käytettiin aikoinaan enemmän pakkausten painamiseen kuten aaltopahvin painamiseen, kun taas nykyään fleksopaino -menetelmä sopii monenlaisten eri materiaalien painamiseen jopa muovi- ja metallipakkausten painamiseen. Yleisesti fleksopainatusta on pidetty heikkolaatuisena painatusmenetelmänä muiden painatustekniikoiden joukossa, mutta nykyaikaisempi tekniikka on mahdollistanut laatuparannuksia fleksopainossa. (Twede & Selke 2005, 302,303, 304.)

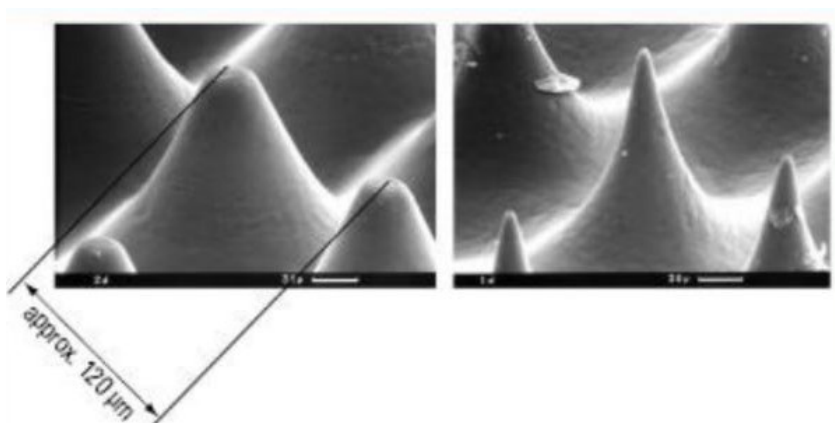
3.2 Toiminta-periaate

Fleksopainon painoaihe on kohokuviona eli reliefinä joustavasta materiaalista valmistetulla painolevyllä tai laatalla. Matalaviskoosinen, juokseva painoväri siirretään värikaukalosta painolevylle käyttäen apuna rasteri- eli anilox -telaa (Kuvio 2). Anilox -telan yhteyteen on liitetty raakeli joissakin koneissa, jonka tehtävänä on kaapia ylimääräinen väri pois telan pinnalta. Tällä tavoin väriä siirtyy ainoastaan rasterikupeista painotelalle. Rasterikupeista väri siirtyy painolevyn koholla oleville pinnoille ja siitä painettavalle paperille. (Viluksela ym. 2010, 76.)



KUVIO 2. Flexopainossa on kohotettu painolevy. (Tila 2020)

Joustavan painolevyn ansiosta flexopainomenetelmä soveltuu hyvin karheapintaisten materiaalien kuten aaltopahvin painamiseen. Painolevyn joustavuudessa on myös huonoja puolia. Se rajoittaa yksityiskohtien toistoa ja rasterisävyjen painamista. Toisin sanoen tämä tarkoittaa painojäljen pisteenkasvua (Kuva 11), joka heikentää tarkkojen kohtien toistamista. Rasterisävyjen painamisella taas tarkoitetaan vaaleiden sävyjen toistoa, joka on haastavaa painolevyn ollessa joustavaa materiaalia. Vaalean pään sävyntoisto on yksi flexopainon ongelmia. Painojäljen häiriöt aiheutuvat usein pehmeän painolevyn ja nippipuristuksen yhteistoiminnasta. (Viluksela ym. 2010, 76.)



KUVA 11. Pisteiden kasvu fleksopainossa. (Kipphan 2001)

Tämän seurauksena painonipin puristuksen hallinta on erittäin tärkeää hyvän painolaadun osalta. Pisteenkasvu ja painolevyn muodonmuutoksia aiheuttaa liian suuri puristus. Flexopainolle tavallista on painovärin pakeneminen painoaiheen reunalle puristuksen seurauksena. Usein puristuksen vaikutus on suurimmillaan kirjainten, linjojen tai rasteripisteiden reunoissa, joka näkyy vaaleana rajana. Reunan ulkopuolelle jäänyt painoväri saa aikaiseksi tummemman ääriviivan. Mitä suurempi puristus sen voimakkaampaa on pisteenkasvu. (Karhuketo, Seppälä, Törn & Viluksela 2004, 126.) Toisaalta liian pieni puristus ei ole hyvä painojäljen lopputuloksen kannalta. Nippipuristuksen ollessa liian alhainen painojäljessä voi näkyä rasteripisteiden puuttumista tai muutoin viallista värinsiirtoa. Puristusta ei voida alentaa liikaa, sillä silloin etenkin vaaleat sävyt eivät paina kunnolla "ulos" painokoneesta. (Viluksela ym. 2010, 76.)

3.3 Painojäljen laatu

Aaltopahvipakkauksiin painetaan mitä erilaisimpia kuvia, tekstejä sekä kansainvälisten direktiivien ja viranomais määräysten määräämiä merkintöjä. Onnistunut painatusjälki ja rakenne helpottavat kuljetuspakkausten valmistamista. Aaltopahvipakkauksia käytetään erittäin moneen eri tarkoitukseen kuten kuljetus- ja kuluttajapakkauksiin sekä edustaviin myyntipakkauksiin. (Palmroos 2015, 24.)

Pakkauksen lopullisen painojäljen on oltava virheetön ja tuotetta edustava. Painojäljen laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa pahvin pinnan aaltomai-

suus, densiteetti, väriarvo, kiilto, harmaatasapaino ja pisteen kasvu sekä värikohdistuksen tarkkuus. Aaltomainen pahvin pinta aiheuttaa painatusjäljen epätasaisuutta. Painojäljen epätasaisuus antaa huonon yleisvaikutelman painetusta kuvasta. Epätasainen painojälki on myös merkki laadun epätasaisuudesta ajon aikana tai toistuvan työn eri ajojen välissä. (Laakso & Rintamäki 2003, 77.)

Densiteettiä eli painojäljen tummuutta voidaan mitata densitometrin avulla. Tavoitteena on saada hyvä väritasapaino aaltopahvin pinnassa. Densitometrin tulos ei ole yhteydessä silmämääräisen tarkastelun kanssa. Tämä johtuu siitä, että tuloksissa ei huomioida ihmissilmien taipumusta mieltää eri värien vaaleuseroja. Densitometri on hyvä työkalu säätämään värikerroksen paksuutta. Väriarvo saadaan laskettua spektrofotometrin avulla, joka mittaa näkyvän valon aallonpituusalueen. Laskettu mittaustulos ilmoitetaan yleensä Lab- arvoina. Lab- arvojen perusteella saadaan selville värin vaaleus, puhtaus ja sävy painatuspinnassa. Spektrofotometriä käytetään sävyjen laadunvalvontaan ja reseptilaskentaohjelmien mittaustyökaluna. (Laakso & Rintamäki 2003, 77.)

Painojäljen kiilto on erityisen tärkeä ominaisuus painatuksessa. Sen avulla voidaan saavuttaa mahdollisimman korkea tummuuskontrasti ja suuri värikylläisyys väripainatuksessa. Harmaatasapaino tarkoittaa alkuperäisten harmaiden sävyjen toistumista harmaina neljällä värillä painettuna. Erilaisten koepainatusten ja testikuvien avulla voidaan tutkia harmaatasapainoa painojäljessä. (Laakso & Rintamäki 2003, 77.)

Pisteen kasvu on myös yksi tärkeimpiä laatutekijöitä painojäljessä. Painatuksessa kuva jaetaan rasteripisteisiin, jotka levyltä painojälkeen mentäessä kasvavat. Pisteen kasvua mitataan myös densitometrillä. Pisteen kasvu suurella rasteritiheydellä aiheuttaa helposti tukkeutumista ja pisteen kasvu pienellä rasteritiheydellä heikentää kuvan yksityiskohtien toistoa. Pisteen kasvua aiheuttavat painatuspuristus, värin rakenne, painolaatan ja rasteritelan rasterointi. Värikohdistuksen tarkkuus on myös yksi painojäljen laatuun vaikuttava tekijä. Pääasiallisesti kohdistus mitataan visuaalisesti kohdistusristikoiden avulla. Nykypäivänä kohdistuksen mittaukseen on myös kehitetty automaattisia on-line-mittauslaitteita. On-line-mittauslaitteet havaitsevat kohdistusmerkit optisesti ja sen perusteella pystyvät säätämään värikohdistusta automaattisesti. (Laakso & Rintamäki 2003, 77.)

3.4 Painoyksikkö

Painoyksiköllä tarkoitetaan painolaitetta, joka koostuu pääosin kolmesta eri osasta. Tavallisesti painoyksikkö sisältää useampia painolaitteita. Painolaitteiden määrä voi vaihdella yhdestä viiteen painolaitteeseen. Painoyksikkö koostuu värilaitteesta, painotela- eli painosylinteristä ja painonipistä. (Viluksela ym. 2010, 79.) Fleksopainon painoyksiköissä erikokoisten painotelojen käyttö on yleensä mahdollista. Käytettävien painotelojen koko riippuu painettavasta tuotteesta. Muutettaessa painotelan kokoa, värilaitetta ja anilox-telaa siirretään vastaavasti. (Karhuketo, Seppälä, Törn & Viluksela 2004, 124.)

Väri-laite on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen, sillä fleksopainossa käytettävä painoväri on rakenteeltaan juoksevaa. Väri-laitteen tehtävänä on siirtää väriä painolevylle. Täydellinen värinsyötön tasaisuus, sopiva värinmäärän säädettävyys sekä säätöjen vaikutusnopeus voidaan saavuttaa värilaitteen ansiosta. (Viluksela ym. 2010, 79.) Väri-laite muodostuu värialtaasta ja siinä pyörivästä nostotelasta sekä painotelalle väriä siirtävästä anilox -telasta. Lisäksi joissakin koneissa on värinmäärän tasaisuutta säätävä raakeli. Siirtyvään värinmäärään voidaan vaikuttaa säätämällä nostotelan ja anilox -telan nippipuristusta. Huonona puolena värilaitteen rakenteessa on se, että korkeammilla painonopeuksilla syntyy epätaisaista värin annostelua. (Karhuketo ym. 2004, 120.)

3.4.1 Nostotela

Allas- eli nostotelan tehtävänä on nimensä mukaisesti nostaa painoväri värialtaasta ja siirtää se eteenpäin anilox -telalle. Nostotela on valmistettu teräksestä, joka on päällystetty luonnonkumilla tai synteettisellä kumiseoksella. Päällysteen paksuus nostotelan pinnalla on 10 – 15 mm ja kovuus 50 – 90 Shorea. Telan pyörimistarkkuuden olisi hyvä olla alle 0,05 mm.

Telan kovuudella on suuri merkitys värinsiirrossa anilox -telalle. Mitä pehmeämpi nostotela on käytössä, sitä enemmän väriä siirtyy anilox -telalle. Kovempia, vä-

hemmän väriä siirtäviä teloja käytetään tiheämpirasteristen telojen kanssa. Tiheämpirasterisissa anilox -teloissa kuppien tilavuus ja värimäärä ovat pienemmät. (Viluksela ym. 2010, 83.)

3.4.2 Raakeli

Raakeli on anilox -telassa oleva kaavin, jonka tehtävänä on kaapia ylimääräinen väri telan pinnalta. Tällä tavoin raakeli pystyy vakioimaan värimäärän siirtymistä painotelalle nopeudesta riippumatta. Raakeliterä on ohutta noin 0,1–0,2 mm pak-sua ja leveydeltään 2–5 cm. Materiaaliltaan se on muovin, lasikuidun ja metallin yhdistelmä. (Viluksela ym. 2010, 83.)

Raakelointitulokseen vaikuttaa usea tekijä. Yksi vaikuttava tekijä on raakelikulma, joka voi olla joko negatiivinen tai positiivinen. Positiivisella raakelikulmalla tarkoi-tetaan tilaa, jossa anilox -telan pyörimisnopeudesta ja värin tiheydestä riippuva kasautumispaine pyrkii saamaan raakelin nousemaan telan pinnasta. Värimää-rää voidaan hallita alhaisilla nopeuksilla eli konenopeuksilla. Suuremmat pyöri-misnopeudet aiheuttavat sen, että väriä joutuu raakelin alta myös kuppien välisille alueille. Tämä aiheuttaa värimäärän säädön häiriintymisen. Negatiivista raakeli-kulmaa käytetään tämän vuoksi enemmän. Edellä mainittua positiivisen raakeli-kulman ongelmaa ei ole negatiivisella raakelikulmalla. Sen avulla päästään ha-luttuun värimäärän säätöön suuremmillakin painonopeuksilla. Huonona puolena negatiivisessa raakelikulmassa on raakeli- ja anilox -telan pintojen kuluminen. (Viluksela ym. 2010, 83.)

3.4.3 Anilox-tela

Anilox -telan eli rasteritelan tehtävänä on siirtää painoväriä nostotelalta painote-lan pinnalle. Anilox -telasta voidaan käyttää myös nimitystä rasteritela sen pin-nassa olevien rasterikuppien vuoksi. Rasterikuppien muoto ja koko eivät ole va-kioita, vaan ne voivat vaihdella haluttujen värinsiirto-ominaisuuksien ja valmistus-tekniikan mukaan. Rasterikuppien tilavuus on kuitenkin tärkein ominaisuus, joka

vaikuttaa siirtyvään värimäärään. Muita ominaisuuksia kupeissa ovat kuppi- eli linjatiheys sekä telan pintamateriaalin ominaisuudet. (Viluksela ym. 2010, 81.)

Anilox -telalta edellytetään täsmällisempää pyörimistarkkuutta kuin nostotelalta. Pyörimistarkkuuden tulisi olla alle 0,01 mm. Lisäksi telan täytyy olla rakenteeltaan tukeva ja halkaisijaltaan sopivan kokoinen. Anilox -telan halkaisija saa vaihdella, mutta liian pieni halkaisija aiheuttaa telan turhaa kulumista sekä ongelmia värin-siirrossa. (Viluksela ym. 2010, 81.)

Telan valmistusmateriaalilla on suuri merkitys telan käyttöikänsä ja kestävyytensä. Anilox -telan materiaaleina voidaan käyttää terästä, messinkiä, kuparia tai keraamisia aineita. Kestävimmät telat valmistetaan keraamisista aineista, mutta vastaavasti ne ovat hintaluokaltaan kalliimpia, kuin muista materiaaleista valmistetut telat. (Viluksela ym. 2010, 81.)

3.4.4 Painotela

Kohokuviona olevasta painolevystä väri siirtyy lopuksi painettavalle paperille. Paino- eli laattatela on teräsvaippainen, kiinteällä tai irrotettavalla akselilla varustettu tela. Painotuotannossa edellytetään tarpeeksi nopeaa ja tehokasta pyörimisnopeutta. Sen saavuttaminen onnistuu paremmin kiinteällä akselilla varustetulla telalla kuin irtoakselitelalla. Painotelan koko voi vaihdella, sillä monissa fleksokoneissa voidaan käyttää erikokoisia painoteloja. Telan koko valitaan tuotteen mukaan. Painotelan koon muuttuessa värilaitetta ja anilox -telaa on siirrettävä vastaavasti. Telan pyörimistarkkuus on sama kuin nostotelalla eli 0,05 mm. (Viluksela ym. 2010, 84.)

Painolaattojen tai levyjen asennus telan pinnalle tapahtuu optisten tai mekaanisten apulaitteiden avulla. Laattojen asennuksen helpottamiseksi telan pinnassa on usein pitkittäis- ja poikittaisviivoitus. Yleisin laattojen kiinnitystapa on kaksipuoleinen teippi. Kiinnitysvaiheessa syntyy laatan venymistä, kun se kiinnitetään kaarevalle telapinnalle. Venyminen otetaan huomioon painoaiheen pienentämisellä prepress -vaiheessa. (Viluksela ym. 2010, 84.)

3.5 Painovärit

Painoväriin pääasiallinen tehtävä on jäljentää painettava luomus paperin pinnalle. Painoväreiltä edellytetään sopivia optisia ominaisuuksia, joilla vaikutetaan paperin densiteettiin ja sävyntoistoon. Lisäksi väreiltä edellytetään adheesiota painoalustaan, mekaanista kestävyyttä, ajettavuutta painokoneella sekä kierrätettävyyttä ja terveysriskittömyyttä. (Laakso & Rintamäki 2003, 130.)

Fleksopainovärit ovat koostumukseltaan ohuita ja nestemäisiä. Niiden koostumus on lähes samanlainen kuin syväpainoväreissä, mutta viskositeetiltaan ne ovat hieman alhaisempia. Flexopainossa käytettävät värit voidaan jakaa alkoholihenteisiin, vesiohenteisiin sekä asetaatti- ja ketonipohjaisiin flexoväreihin. Aaltopahvin painatukseen käytetään vesiohenteisiä painovärejä. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.)

Painovärit sisältävät väri-, side-, liuotin- sekä lisäaineita. Jokaisella komponentilla on oma tehtävänsä painoväriin rakenteessa. Väriaineen tehtävä on antaa oikeanlainen värisävy painotuotteelle. Värikerroksen paksuus flexopainossa on 2 – 4 µm. Sideaineiden tehtävä on antaa värille kirkas kalvo. Aaltopahvin flexopainatuksessa liuotinaineena käytetään aineita, joiden koostumuksesta noin puolet on vettä. Liuotinaineita käytetään parantamaan värin tasoittumista, vähentämään vaahtoamista sekä säätämään värin viskositeettia ja kuivumista. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.) Lisäksi liuotin ei saa kemiallisesti vahingoittaa painolevyissä ja allasteloissa käytettyjä kumi- ja polymeerilaatuja (Karhuketo ym. 2004, 131). Lisäaineita eli apuaineita on erilaisia ja niiden osuus painoväristä on hyvin pieni. Niitä käytetään parantamaan ja säätämään painoväriin haluttuja prosessiominaisuuksia. Flexopainossa lisäaineina käytetään yleensä täyteaineita sekä pehmittimiä. Täyteaineen tehtävänä on parantaa materiaalin painettavuutta kohentamalla paperin optisia ominaisuuksia. Pehmittimien tehtävänä on antaa joustavuutta sideaineelle sekä parantaa kiinnipysyvyyttä tietyillä painomateriaaleilla. (Laakso & Rintamäki 2003, 72.)

3.6 Konetyypit

Yleisimpiä fleksopainatuksessa käytettyjä koneita ovat rullalta rullalle eli rainalle painavat koneet. Rainalle painavia koneita ei kuitenkaan käytetä aaltopahvin painamiseen. Kyseisiin painokoneisiin on mahdollisuus lisätä jälkikäsitteilytoimintoja kuten päällystys, laminointi tai arkitus. (Karhuketo ym. 2004, 125.) Koneita on saatavana myös erikokoisina, laajasta leveydestä kapeisiin leveyksiin. Koneita, joissa koneleveydet ovat pieniä, voidaan käyttää yksin tai ryhmissä. Käytettäessä painokoneita yhdessä, kukin niistä voidaan asettaa linjalle tai pois linjalta erikokoisille materiaaleille sopiviksi. (Pannier.com) Molemmissa fleksopainokoneissa koneleveydet voivat vaihdella 200 – 1500 mm. (Karhuketo ym. 2004, 125.)

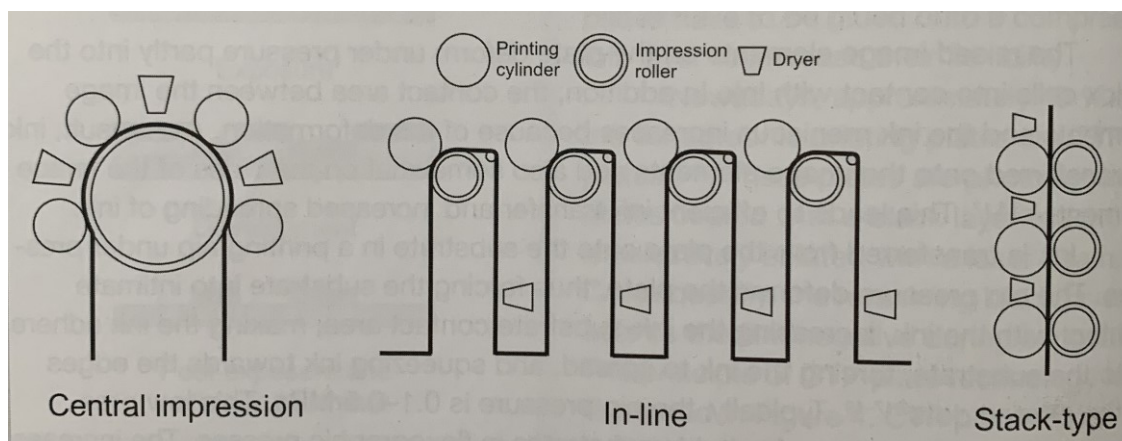
Fleksopainokoneita on rullalle painavien lisäksi myös arkille painavia koneita. Nämä arkkisyöttöiset koneet soveltuvat tavallisesti hyvin aaltopahvin painamiseen. Painokoneissa voi olla jopa 12 painolaitetta. Nelivärisarjan lisäksi fleksopainotuotteiden painamiseen tarvitaan peittovalkoinen läpikuultaville tai metallipintaisille materiaaleille sekä lisävärit. (Karhuketo ym. 2004, 125.)

Rainapainokoneita on kolmea eri tyyppiä: stack -kone, keskussylinterikone ja in-line -kone (Kuvio 3). Koneen lopulliseen valintaan vaikuttaa painettava tuote, väriällisyys, koko ja laatuvaatimukset, käytettävät materiaalit, painosmäärät sekä kustannukset. Papereiden, muovikalvojen ja kartonkien esipainamiseen (preprint) käytetään rainapainokoneita. Painoväriä imemättömien materiaalien kuten muovikalvojen painamiseen tarkoitettut koneet on varustettu kuivaimilla, joissa painoväriin liuotin haihdutetaan pois. Aaltopahvien suorapainamiseen (postprint) käytetään arkkisyöttöisiä in-line koneita. (Laakso & Rintamäki 2003, 73; Karhuketo ym. 2004, 125.)

Stack- eli tornityyppisissä koneissa on 4 – 8 painolaitetta päällekkäin. Tämän tyyppinen koneen rakenne mahdollistaa painamisen materiaalin molemmille puolille. Painatuslaatu on kuitenkin heikkoa huonon tarkkuuden vuoksi. Tornityyppisiä painatuskoneita käytetään pääasiassa yksinkertaisten töiden kuten erilaisten pakkausten painamiseen. (Oittinen & Saarelma 2009, 46.) Stack -koneella voidaan painaa säkkejä, rullakääreitä ja preprinttinä laineria.

Keskussylinteri- eli satelliittikoneissa painolaitteet on sijoitettu yhden suuren keskussylinterin ympärille. Painolaitteiden lukumäärä on yhteensä 4 – 8. Keskussylinterikoneita käytetään yleisesti painettaessa joustavia ja venyviä materiaaleja. Konetyypin suurin etu onkin erinomainen kohdistustarkkuus, joka perustuu siihen, että materiaali on kontaktissa keskussylinteriä vasten jokaisen osaväriin painamisen ajan. Keskussylinterikoneella on suuri kapasiteetti, korkea tulostuslaatu sekä hyvä soveltuvuus pitkiin tulostusajoihin. Lisäksi suuren tulostusnopeuden vuoksi painatuksessa voidaan käyttää nopeasti kuivuvia liuotinpohjaisia väriä. (Oittinen & Saarelma 2009, 46.) Keskussylinterikone ei sovellu aaltopahvin painamiseen aaltopahvin paksun rakenteen vuoksi.

Inline -koneissa painoyksiköt ovat asennettuna peräkkäin. Painoyksiköitä voi olla rajoittamaton määrä. Tämän tyyppinen painolaite soveltuu hyvin myös kapeiden materiaalien kuten tarrojen painatukseen. Arkkisyöttöisiä inline -koneita käytetään jäykkien materiaalien kuten aaltopahvin painamiseen. Painatusnopeutta joudutaan tällöin laskemaan minkä seurauksena myös painatuslaatu heikkenee. (Oittinen & Saarelma 2009, 46 – 47.) Lisäksi koneisiin on usein yhdistetty jalostus- ja jälkikäsittelytoimintoja. Näillä toiminnoilla tarkoitetaan esimerkiksi arkkien leikkausta, stanssausta tai nuuttausta. (Karhuketo ym. 2004, 126.)



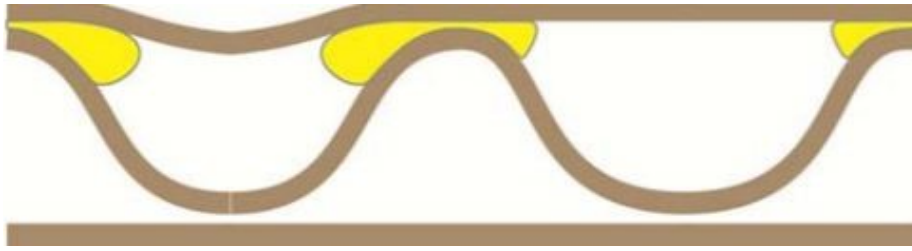
KUVIO 3. Fleksopainokoneet (Oittinen & Saarelma 2009)

4 PYYKKILAUTAILMIÖ

Kuidun mittapysyvyysongelmat liittyvät aaltopahvissa esiintyviin laatuhäiriötekijöihin. Lainerin aaltoilu ja käyristyminen ovat muun muassa seurauksia kuitujen mittapysyvyydestä. Kuidun turpoaminen tai kutistuminen johtuu kuiva-ainepitoisuuden muuttumisesta. Kuivuessaan kuidut kutistuvat, joka aiheuttaa kuidun lyhenemistä ja ohenemista. Kuidun mittapysyvyyssuutokset vaikuttavat kuitujen muodostamaan kuituverkostoon ja aiheuttavat niissä muutoksia kartongin kone-, poikki- ja paksuussuunnassa. (KnowPap)

4.1 Pahvin pinnan aaltomaisuus

Washboard eli pyykkilautailmiö tarkoittaa pahvin pinnan aaltomaisuutta eli korkeuseroa aallon pohjan ja flutingin huipun välillä. Pyykkilautailmiö on epätoivottu ominaisuus pahvin pinnassa, joka syntyy aaltopahvin valmistusprosessissa. Ilmiö on selkeästi erottuva ominaisuus aaltopahvin pinnassa ja aiheuttaa erilaisia laatuongelmia aaltopahville esimerkiksi painatuksessa. (Netz 1998, 146; Wendler 2006, 3.) Pyykkilautailmiön aiheuttajia on ainakin kaksi. Liiman kuivumisen yhteydessä tapahtuva kutistuminen pintakartongin ja aallotuskartongin välissä vetää pintakartonkia laaksole alaspäin. Pyykkilautailmiön aiheuttaa myös liiman vapauttama kosteus, joka saa aikaan pintakartongin venymisen. Kuivauksen aikana pintakartonki ei enää palaudu saman pituiseksi, jolloin pintakartongin ylijäämä saa aikaan laakson pahvin pinnassa. Abhinishin (2015, 15–17) projektin tulosten perusteella liiman kutistuminen on kuitenkin suurin syy pyykkilautailmiö aiheutumiselle. Aaltopahvin pinnalla olevan aaltomaisuuden syvyys riippuu flutingille levitetyn liiman määrästä. Usein liimaa on levitetty liikaa (Kuva 12) ja tästä aiheutuu pahvin pinnan aaltomaisuus. (Netz 1998, 146; Wendler 2006, 3.)



KUVA 12. Liika liiman levitys flutingille. (Wendler 2006)

Washboardia esiintyy sekä painetulla että painamattomalla pinnalla aaltopahvissa. Ilmiö on kuitenkin yleisempi painamattomilla pahvin pinnoilla. Se näyttäytyy epätasaisena aaltoilevana kuviona, jonka voi havaita myös tunnustelemalla käsin pahvin pintaa. Epätasainen pinta ei ole aina kuitenkaan havaittavissa ja sen huomaamiseen voi liittyä eri kuvakulmat ja pahvin ominaisuudet. Ilmiö olisi kuitenkin tärkeä havaita ajoissa, sillä se voi olla hyvin häiritsevä ja ongelmallinen ominaisuus painatuksessa. Washboardia esiintyy pahvin molemmilla puolilla sekä etu- että kääntöpuolella. Luonnollisesti ilmiö aiheuttaa eniten ongelmaa sille pahvin pintapuolelle, jolle painatus tehdään. Ilmiö ei kuitenkaan ole koskaan ylöspäin ilmenevää, vaan ainoastaan laaksoina eli aaltona alaspäin esiintyvää. Tämä johtuu siitä, että liimaa on ainoastaan pintakartongin alapinnalla. (Netz 1998, 146.)

Ruskeilla aaltopahvin pinnoilla washboardista on vähemmän ongelmaa kuin valkopintaisilla aaltopahvin pinnoilla. Matalan kiiltävyyden vuoksi aaltoileva kuvio ei ole kovin erottuva ruskeilla pahveilla. Lisäksi painatusvaatimukset eivät ole kovin korkeat ruskeapintaisilla aaltopahveilla. Valkopintaisilla aaltopahveilla pyykkilautailmiö aiheuttaa raidallista aaltoilevaa kuviota, joka voi hallita painetun pinnan kuvaa. Painettu pinta ikään kuin katoaa aaltoilevan kuvion sekaan ja ilmiö voi näyttää hyvinkin voimakkaalta joissakin katselukulmissa. (Netz 1998, 146–147.)

Pyykkilautailmiöön ei vaikuta ainoastaan flutingille levitetyn liiman määrä. Ympäristön suhteellinen kosteus on myös yksi merkittävä tekijä, joka vaikuttaa pahvin pinnalla olevien aaltojen syvyyteen. Suhteellinen kosteus (RH) ilmaisee tarkasteltavassa lämpötilassa absoluuttisen kosteuden suhteen ja ilman kyllästyskosteuden suhteen (Kosteus-mittaus.fi). Silloin, kun ympäristössä vallitsee korkeampi suhteellinen kosteus, johtaa tämä kartongin korkeampaan kosteuspitoisuuteen. Tämä taas tarkoittaa joustavampaa sekä paksumpaa aaltopahvia kuitujen

turvotessa. Tämän seurauksena liimaa ei tarvitse levittää niin paljoa, kun sitä tarvitsisi levittää matalan suhteellisen kosteuden vallitessa. Näin ollen pyykkilautailmiö vähenee lineaarisesti suhteellisen kosteuden lisääntyessä, mikäli liimaa ei ole levitetty liikaa aallotuskartongille. (Wendler 2006, 4.)

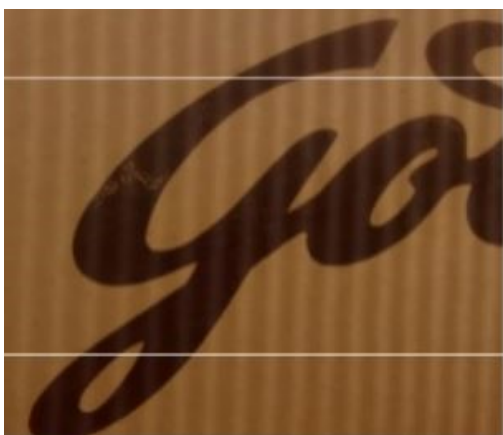
Suhteellisen kosteuden vaikutuksen havaitsee hyvin myös varastoitaessa aaltopahvia. Matalassa suhteellisessa kosteudessa washboard-ilmiö näkyy aaltopahvin pinnalla selkeämmin kuin korkeassa suhteellisessa kosteudessa. Suhteellisen kosteuden ollessa korkea, paperin ja liiman väliset jännitteet vapautuvat. Tästä johtuen pahvin pinta on sileämpää ja vähemmän aaltoilevaa korkeassa suhteellisessa kosteudessa. (Netz 1998, 160.)

Kaikkein hallitsevin tekijä washboardiin on käytetyn liiman määrä flutingin ja pintakartonkien välissä. Mitä enemmän liimaa käytetään, sen ilmeisempää on washboard -ilmiö. Pienikin liika liiman määrä voi aiheuttaa merkittävää washboard -ilmiön kasvamista. Pääasiallinen syy liimasta johtuvaan washboardiin on liiman kutistuminen kuivuessa. Kutistuminen saa aikaan pintakartongin löystyminen laaksoksi aaltopahvissa, jota kutsutaan aaltoiluksi. (Netz 1998, 160.)

4.2 Pyykkilautailmiön hallinta

Lähes kaikkien pakkausten menestyminen markkinoilla on vahvasti sidoksissa pakkauksen ulkonäköön. Pakkauksen ulkomuoto antaa mahdollisuuden erottua muista markkinoilla olevista lukuisista eri pakkauksista. Sopivia materiaaleja pakkaukselle ovat muovit, lasi, metalli, pahvi ja aallotettu kartonki, joihin lisäarvoa tuo mahdollinen painatus ja laminointi. (Pescoller n.d., 1.)

Aaltopahvi on erinomainen pakkausmuoto verrattuna muihin materiaaleihin. Valmistukseen liittyvät alhaiset kustannukset, hyvät lujuusominaisuudet sekä tuotteen täydellinen suojaus tekevät aaltopahvista hyvän pakkausmateriaalin. Aaltopahvin pinta on kuitenkin usein haastava painatusta varten. Pyykkilautailmiö on yksi ongelmallinen ominaisuus (Kuva 13), joka voi tehdä painatusjäljestä epätaisaista. Sen hallitseminen on pakkauksen onnistuneen ulkomuodon vuoksi tärkeää. (Pescoller n.d., 1.)



KUVA 13. Pyykkilautailmiön aiheuttama huono painatuspinta. (Abhinish, 2015)

Aaltopahvin, ilman ja tärkkelyksen kosteuspitoisuus vaikuttaa lopputuotteen laatuun. Korkea ilmankosteus sekä korkea kosteuspitoisuus pahvissa ja käytetyssä tärkkelyksessä paisuttaa pahvia. Tämän seurauksena levitetyn liiman määrä aallotuskartongin huipuilla vähenee. Kosteuspitoisuuden ja pyykkilautailmiön välillä on lineaarinen suhde – mitä korkeampi kosteuspitoisuus sen alhaisempi on pyykkilautailmiö. Käyttämällä enemmän vettä prosessissa voidaan paremmin hallita pyykkilautailmiötä. Veden käyttö prosessissa ei kuitenkaan ole rajatonta. Prosessissa käytetyn veden täytyy haihtua kuivumisen aikana, sillä muutoin se hidastaa

prosessia ja voi vahingoittaa aaltopahvin pintaa. Jokainen aaltopahvikone on erilainen, joten koneen koko, ikä ja monet muut parametrit vaikuttavat optimaalisten asetusten löytämiseen. Prosessivaihtelut ja pyykkilautailmiö voivat aiheuttaa korkeita kustannuksia hylyn määrän, koneen tyhjäkäynnin sekä asiakkaiden palautteiden selvittelyn seurauksena. (Pescoller n.d., 1.)

Pyykkilautailmiön hallintaan tarvitaan yksinkertainen luku, jolla voi mitata ilmiön toistuvuutta. Tähän tarpeeseen on kehitelty Corrcheck- mittalaite, jonka toiminta perustuu laitteen ottamiin kuviin aaltopahvin pinnasta. (Pescoller n.d., 1.)

4.2.1 CORRCHECK- mittalaite

CORRCHECK-mittalaite (Kuva 14) on pyykkilautailmiön eli aaltopahvissa esiintyvien aaltojen mittaukseen soveltuva laite. Se on pieni, käsissä pidettävä mittalaite, joka soveltuu hyvin laboratorio käyttöön. Mittalaitteen toiminta perustuu laitteen ottamiin kuviin ja se mittaa aaltoilua kosketuksettomasti. Laite määrittelee muutamassa sekunnissa mikroskooppisen aaltoilevan pinnan ottamalla pinnasta yli 6 000 syvyysmittausta. Tuloksena saatu pyykkilautailmiön numero WBE esitetään 1 µm resoluutiolla. (Pescoller n.d., 1–2.) Laite ottaa pahvin pinnasta yhteensä 5 peräkkäistä kuvaa, joista se laskee WBE numeron. Mittauksia voidaan suorittaa peräkkäin niin monta kuin on tarpeellista, jonka jälkeen laite laskee WBE numerolle keskiarvon. Mittaustuloksista saadaan raportti, jossa näkyvät mittaus tulokset sekä laitteen ottama kuva pahvin pinnan aaltomaisuudesta.

CORRCHECK-mittalaite on suunniteltu mittaamaan pahvin pinta suoraan sellaisena, kuin se tulee ulos aallotusyksiköstä. Mittalaitetta varten ei tarvitse erikseen valmistella sopivan kokoisia tai oikeanlaisia pahvinäytteitä. Mittaus voidaan aloittaa suoraan asettamalla mittalaite pahvin pintaan ja suorittaa mittaus. Tulokseksi saatu WBE numero kertoo, onko mitattu pyykkilautailmiö sallittua suurempi. Näin ollen korjaavat toimenpiteet voidaan aloittaa välittömästi pyykkilautailmiön minimoimiseksi. Pyykkilautailmiötä määrittelevä WBE- numero riippuu käyttökohteesta sekä aalto tyypistä. CORRCHECK-mittalaitteen avulla määritetään sopivat

laatuparametrit, joiden avulla ilmiön seuraaminen ja laatutarkastelu on yksinkertaista. Päälystämättömän E -aaltoisen pahvin WBE numero, joka on yli 0,007 on hyväksyttävän määritysrajan ulkopuolella. (Pescoller n.d., 2, 7.)

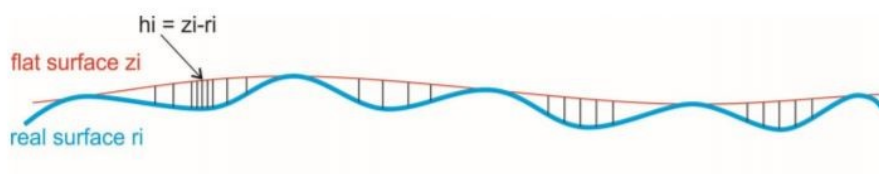


KUVA 14. CORRCHECK-mittalaite.

Pyykkilautailmiö on poikkeamaetäisyys tasaisesta aaltopahvin pinnasta aallon huipulle. Korkeuden poikkeama, jota nimetään WBE:ksi voidaan laskea myös seuraavan kaavan avulla

$$WBE = \frac{3}{2n} \sum_{i=1}^n h_i$$

jossa h_i on teoreettisen ja todellisen pinnan erotus (Kuva 15).

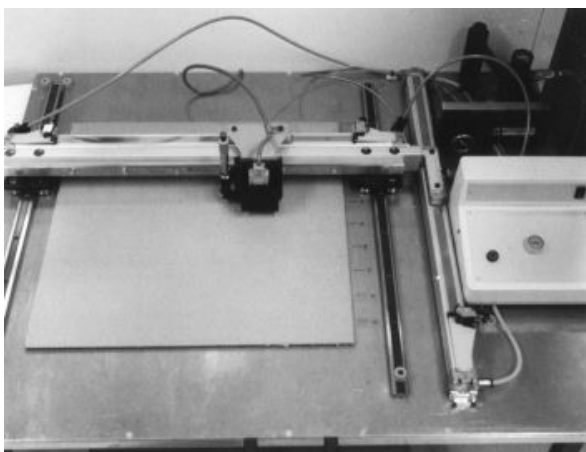


KUVA 15. CORRCHECK preliminary user manual v1.5.5.0

4.3 Aikaisemmat mittausmenetelmät

Pyykkilautailmiötä on mitattu aikaisemmissa tutkimuksissa subjektiivisia menetelmiä hyödyntäen tai laitteilla, jotka mittasivat aaltomaisuutta koskettamalla pahvin pintaa. Nämä tekniikat eivät kuitenkaan olleet riittävän tarkkoja pyykkilautailmiön määrittämiseksi. Subjektiiviset menetelmät kuten yksilön omakohtainen tulkinta voivat vääristää pyykkilautailmiön todellista ilmentymää. Mittaukseen kehitetty laite oli myös suhteellisen epätarkka ja saattoi toisinaan vääristää mitattuja alueita. (Netz 1998, 155–156.)

Laite mittasi 1 mm:n tarkkuudella etäisyyttä arkkiin infrapuna- mittauspäällä kulmien edestakaisin arkkia pitkin (Kuva 16). Mittalaite koostui suodattimesta, tietokoneesta sekä mittapöydästä, jossa oli optinen sensori. Laite suunniteltiin mittaamaan aaltopahvin aihioita, joiden koko sai olla enintään 500x500 mm. Tarkka näytteen koko oli asetettu sen vuoksi, koska arkkia mitattiin sille tarkoitettulla mittapöydällä. Lisäksi mitattavan arkin oli oltava suhteellisen tasainen ja sen piti pysyä paikallaan koko mittauksen ajan. Mäntään kiinnitetty valoanturi skannasi aaltopahvin pintaa noin minuutin ajan, mitaten jatkuvasti etäisyyttä pahville. Valoanturin mittaus tarkkuus ei kuitenkaan ollut kovin tarkka, $\pm 0,5$ mm. (Netz 1998, 156.)



KUVA 16. Pyykkilautailmiötä mittaava laite. (Netz 1998)

Mittausanturi ei huomionnut mittauksessa pahvin pinnalla olevia värejä tai vaa-leutta. Lisäksi mittausanturin signaali kulki pahvin läpi tavoitteenaan torjua liian

korkeiden tai matalien taajuuksien häiriövaikutukset. Mitattujen arkkien aaltomaisuus ja epätasaisuudet käsiteltiin sille erikseen suunnitellussa tietokoneohjelmassa. Ohjelma laski pyykkilautailmiölle keskiarvon, joka oli ilmiötä kuvaava numero. (Netz 1998, 156.)

Pyykkilautailmiön mittaukseen on aikaisemmin käytetty myös silmämääräistä arviointia. Arviointitavassa on kuitenkin esiintynyt ongelmia ja epätarkkuutta. Silmän objektiivinen signaali muuttuu aivoissa subjektiiviseksi, jonka vuoksi arviot pahvin pinnan aaltomaisuudesta vaihtelevat. Netzin (1998, 157) tutkimuksessa mittalaitteen lisäksi silmämääräiset arvioinnit, kuva-analyysit sekä tiheysmittaukset olivat myös työkaluja, joilla pyykkilautailmiötä mitattiin. Luotettavimpana menetelmänä pidettiin kuitenkin ihmisen silmämääräistä arviointia pahvin pinnan aaltomaisuudesta. Verrattuna kuva-analyysiin tai tiheysmittauksiin ihmisen silmä oli ainoa menetelmä, joka pystyi arvioimaan suuria alueita kerralla. Kuva-analyysien ja tiheysmittausten avulla pystyttiin mittamaan melko pieniä alueita aaltopahvista. (Netz 1998, 157.)

Silmämääräinen arviointi tarkoittaa painettujen arkkien aaltomaisuuden ja epätasaisuuden tarkastelua ja arviointia mitta-asteikolla. Mitta-asteikossa käytettiin arviointina yhdestä viiteen annettua arvosanaa. Mitta-asteikkoa käytettiin ainoastaan painettujen arkkien tarkasteluun. Lisäksi kokonaan painetut alueet ja puolisävyiset alueet arvioitiin erikseen. Kaikkia silmämääräisesti kirjattuja tuloksia verrattiin arvioinnin lopuksi standardeihin. Tällä tavoin pyrittiin säilyttämään jonkinlainen järjestys ja luotettavuus silmämääräisissä arvioinneissa. (Netz 1998, 158.)

Joitakin painettuja arkkeja voitiin arvioida myös kuva-analyysin avulla. Pyykkilautailmiö mitattiin rasterikentistä ja todettiin, että mittauksen antama tulos oli visuaalista arviointia huonompi. Ihmissilmä on hyvin herkkä ja havaitsi aaltomaisuuden pahvin pinnalla paremmin kuin mittalaite. Lisäksi pahvin pinnan aaltomaisuuden arviointiin käytettiin densitometriä. Useiden mittausten jälkeen kuitenkin havaittiin, että korrelaatio silmämääräisen arvostelun kanssa oli matala. Densitometrillä pyykkilautailmiö mittauksia voitiin tehdä hyvin pienellä alueella. (Netz 1998, 158.)

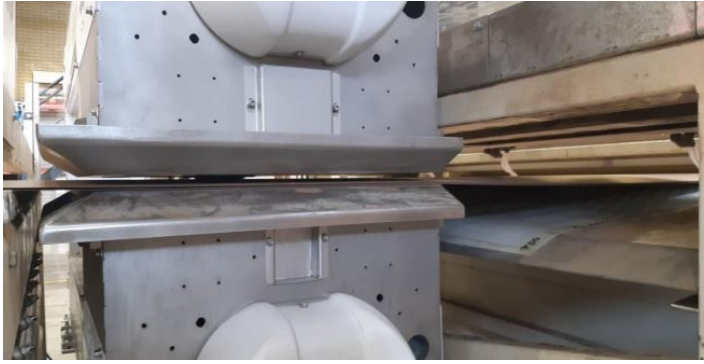
5 IQWASHBOARD-MITTALAITTE

5.1 Laitteisto

IQwashboard mittalaite sijoitetaan scanneriin, johon voidaan asiakkaan tarpeen mukaan sijoittaa muitakin mittalaitteita, kuten esimerkiksi aaltopahvin paksuus- ja kosteusmittaukset. Nopea laseranturi sijaitsee toisen mittapään sisällä (Kuva 17). Toista mittapäätä voidaan käyttää radan tukemiseen. Laitteessa oleva laseranturi lähettää etäisyysdatasta tietoa Ethernet liittymän kautta järjestelmään. Aaltopahvin pyykkilautailmiötä mittaava washboard -mittalaite sijoitetaan yleensä mittaamaan pahvin ulkopintaa. Vastakkaisessa mittapäässä on vastinlevy, joka tukee rainaa puhalluksilla syntyvillä alipaineilla. Ylä- ja alakelkkojen läpi kulkee aaltopahvi, josta mittalaite suorittaa tarpeelliset mittaukset (Kuva 18). (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)



KUVA 17. Mittalaite (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)



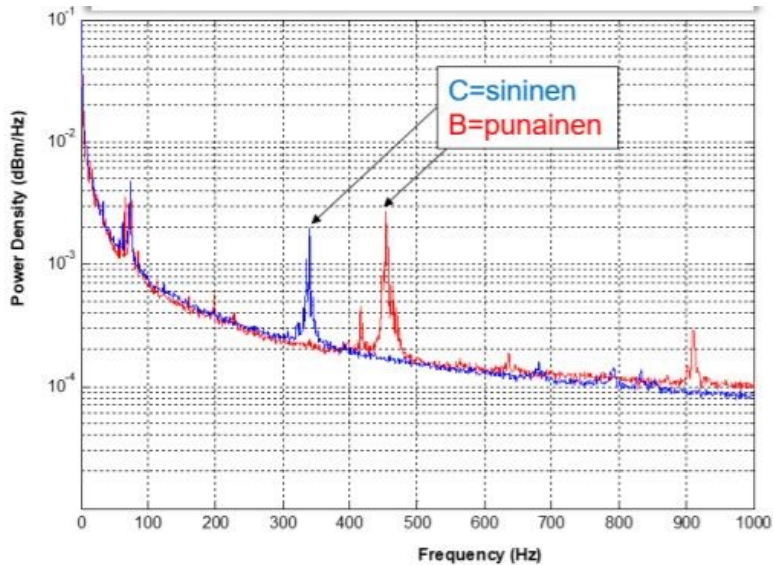
KUVA 18. Mittapääät sijaitsevat mittauskelkoissa. Aaltopahvi kulkee mittakelkkojen välistä. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)

5.2 Toimintaperiaate

Mittaus perustuu laserkolmiomittaukseen. Laite mittaa pahvin pinnan aaltomaisuutta pistemäisellä laser-etäisyysanturilla 30 kHz nopeudella ja 0.15 resoluutiolla. Jokaisesta aallosta mitataan 20–100 pistettä ja sen perusteella saadaan laskettua aaltojen muodot. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)

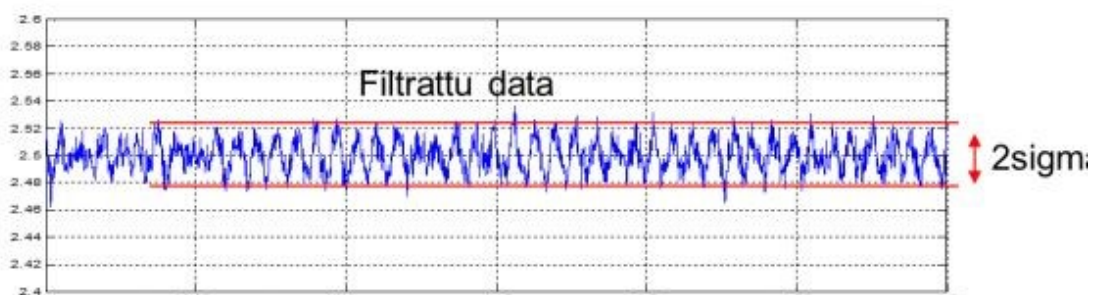
Spektri ja aaltojen muodot nähdään Web-käyttöliittymästä. Web-liittymän laskennan jälkeen saadut tulokset lähetetään sovellukseen. Sovelluksesta nähdään piikkien tiedot kuten taajuus, leveys, pinta-ala ja hajonta. Lisäksi sovelluksessa tehdään tarpeelliset muokkaukset, kuten valitaan laskettavan vektorin pituus (NPT), aaltotyyppi sekä asetetaan taajuuksille ylä- ja alarajat. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)

Mittauksessa seurataan kahta muuttujaa: taajuuspiikin pinta-alaa ja siitä laskettua pahvin pinnan vaihtelun 2-sigma-arvoa. Taajuuspiikki voidaan laskea käyttämällä Fourier -muunnosta. Kuviossa 4 näkyy spektri, josta lasketaan washboardin aiheuttamien piikkien pinta-alat. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)



KUVIO 4. Fourier -muunnosta hyödyntäen laskettu spektri. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)

Pyykkilautailmiö saadaan myös suodattamalla piikin taajuusalue etäisyysdatasta eli matalat ja korkeat taajuudet rajataan pois (Kuvio 5). Tämän jälkeen tehdään käänteismuunnos ja saadusta etäisyys-signaalista lasketaan pahvin pinnan vaihtelu ja vaihtelulle tunnusluvut. Pahvin pinnan muodon vaihtelu on kuvattuna mikrometreinä. Pahvin pinnalla olevaa muutosta on helpompi tarkastella ylipäästösudatuksen jälkeen. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)



KUVIO 5. Pahvin pinnan vaihtelu ylipäästösudatettuna signaalina. (Valmetin sisäinen koulutusmateriaali 2021)

6 MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN KÄSITTELY

Tehtaalla mitattiin eri aaltopahvilajien washboardia. Mitattavat aaltopahvilajit valikoituivat tehtaan tuotantoajosuunnitelman mukaan. Mittaustuloksia saatiin eri aaltolajeista, kuten yksiaaltoisista C ja B aaltopahveista sekä kaksiaaltoisista BC ja EB aaltopahveista.

TAULUKKO 4. Aaltopahvissa käytetyn lainerin ja aallotuskartongin lyhenteiden selitykset.

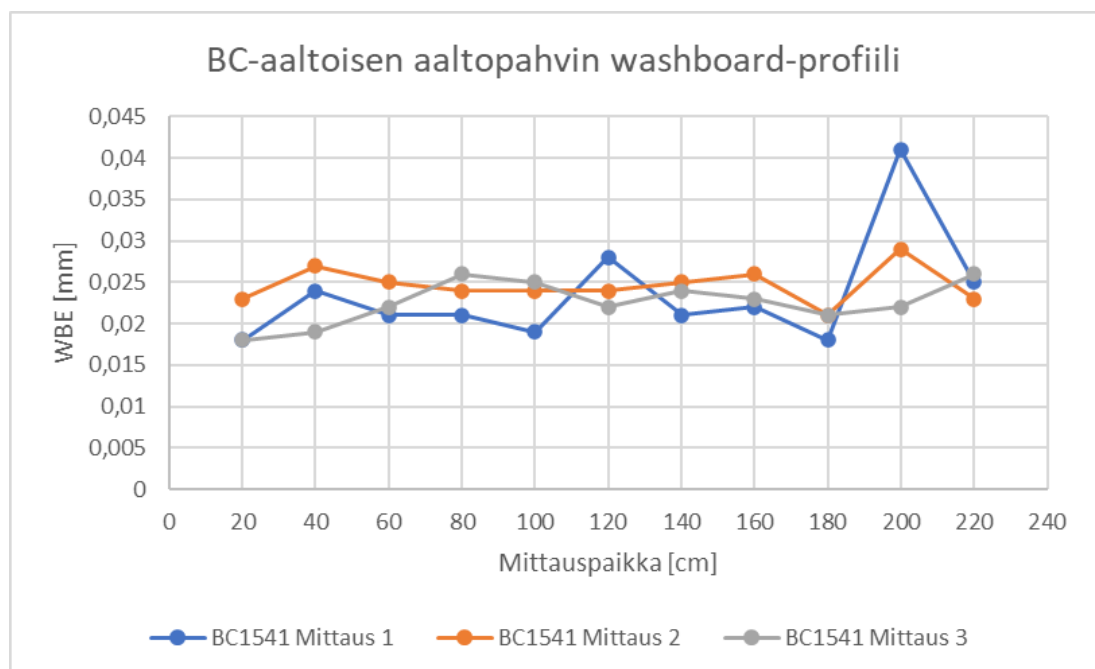
Lyhenne	Selite
KR	kraftlaineri
KC	päällystetty kraftlaineri
KV	valkoinen kraftlaineri
3R	testlaineri
UF	kierrätyskuitu fluting
EF	neitseellinen fluting

Mittaustuloksia arvioidaan seuraavissa kappaleissa diagrammien ja mittaustulostaulukoiden avulla. Käytetyt lyhenteet myöhemmissä mittaustulostaulukoissa ovat selitettynä Taulukossa 4.

6.1 CORRCHECK-mittalaitteen toistettavuus

Aluksi CORRCHECK-mittalaitteen toistettavuus tarkastettiin mittaamalla saman aaltopahvin profiili kolme kertaa. Profiilit mitattiin BC ja C-aaltoisesta aaltopahvista. Laitteen tarkkuuteen vaikuttaa kohina ja mittauspaiikka aaltopahvilla, koska washboard aaltopahvin pinnalla vaihteli välillä voimakkaasti mittauskohdan mukaan. Mittausta suoritettaessa oli valittava tarkoin mittauspaiikka aaltopahvilla. Tästä seuraa myös lähes muuttumattomat mittaustulokset taulukoissa 5 ja 6. Toistettavuusmittauksiin valittiin mahdollisimman tasalaatuiset pahvit, jotta pahvin pinnan vaihtelu ei vaikuttaisi toistettavuustuloksiin ja laboratoriolaitteen tarkkuus saataisiin tällä tavoin selville.

Kuviossa 6 on mitattu kolme kertaa BC-aaltoisen aaltopahvin washboard-profiili. Kuvion WBE-arvot ovat liitteissä 1–3.



KUVIO 6. Kolme kertaa CORRCHECK-laitteella mitattu BC-aaltoisen pahvin washboard-profiili.

TAULUKKO 5. BC-aaltoisen aaltopahvin washboard mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Mittauskerta	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
BC 1541	KR170-UF80-3R90-UF80-KR135	1	0,025	0,041	0,018	0,007
BC 1541	KR170-UF80-3R90-UF80-KR135	2	0,024	0,029	0,021	0,002
BC 1541	KR170-UF80-3R90-UF80-KR135	3	0,023	0,028	0,018	0,003

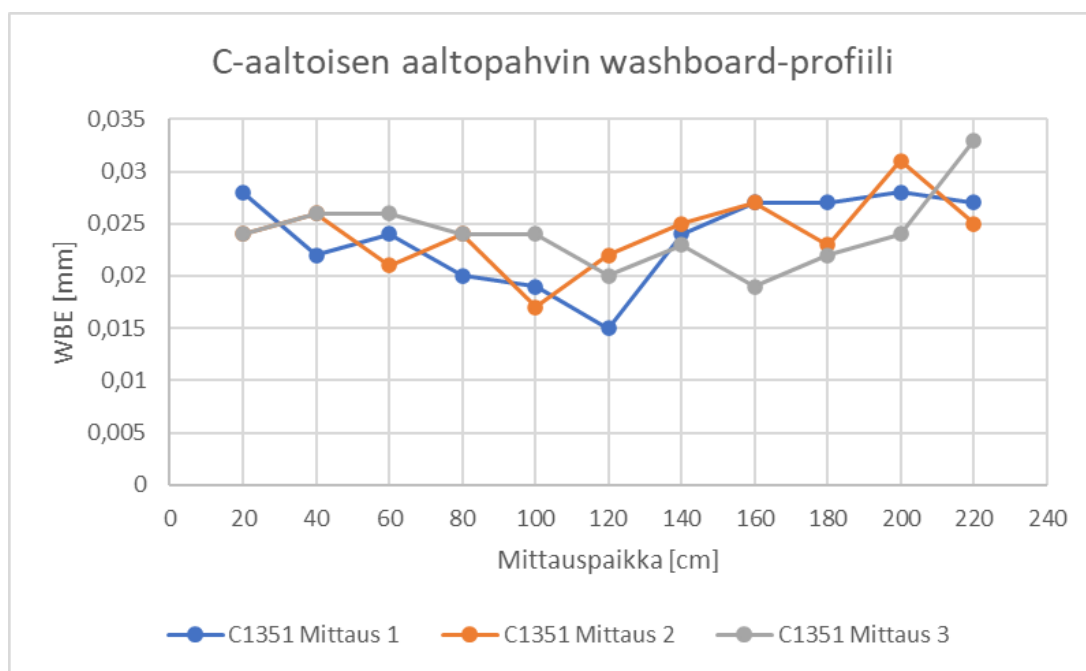
Taulukossa 5 lajin merkintä koostuu aaltotyypistä ja kellonajasta, milloin lajia on ajettu. Resepti sisältää aaltopahvissa käytettyjen lainereiden ja pintakartonkien neliömassat, joiden lyhenteet on aikaisemmin selitetty taulukossa 4. Taulukosta 5 nähdään, että WBE:n keskiarvot pysyvät lähes samana.



KUVA 19. BC-aaltopahvi, josta mitattiin washboard profiili kolme kertaa.

Kuvassa 19 on CORRCHECK-mittalaitteen toistettavuusmittauksessa käytetty BC-aaltoinen aaltopahvi, josta mitattiin washboard-profiili kolme kertaa.

Mittalaitteen toistettavuus varmistettiin myös C-aaltoisella pahvilla. Kuviossa 7 on mitattu kolme kertaa C-aaltoisen aaltopahvin washboard-profiilit. Kuvioista nähdään, että aaltopahvin profiilin muutos eri mittauskertojen välissä on vähäistä ja washboardin voimakkuus on lähes samanlaista kaikissa kolmessa mittauskerroissa. Kuvion WBE-arvot ovat liitteissä 4–6.

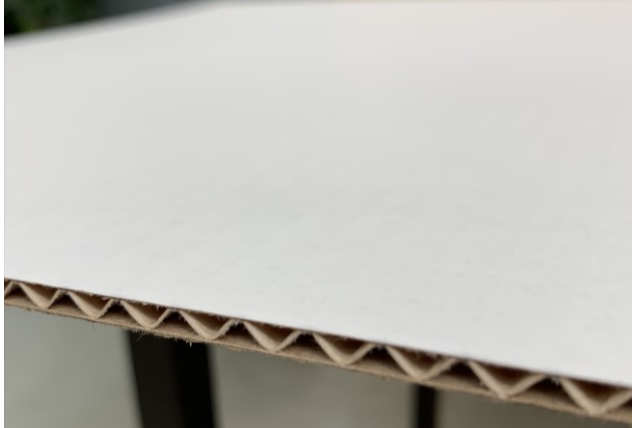


KUVIO 7. Kolme kertaa CORRCHECK-laitteella mitattu C-aaltoisen pahvin washboard-profiili.

TAULUKKO 6. C-aaltoisen aaltopahvin washboard-mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Mittauskerta	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
C 1351	KV-175-EF190-KK250	1	0,025	0,033	0,015	0,005
C 1351	KV-175-EF190-KK250	2	0,024	0,031	0,017	0,004
C 1351	KV-175-EF190-KK250	3	0,024	0,033	0,019	0,004

Taulukossa 6 on C-aaltoisen aaltopahvin kolme kertaa mitatut washboard -profiilin tulokset. Saaduista tuloksista nähdään, että CORRCHECK-laitteen toistettavuus toimii hyvällä tavalla tämän työn tarkoituksen osalta. Kolmen eri mittauskerran keskiarvotulokset ovat lähes samanlaisia keskenään. Yhden pisteen mittauksen toistettavuuden keskihajonta oli luokkaa 0,005 mm.

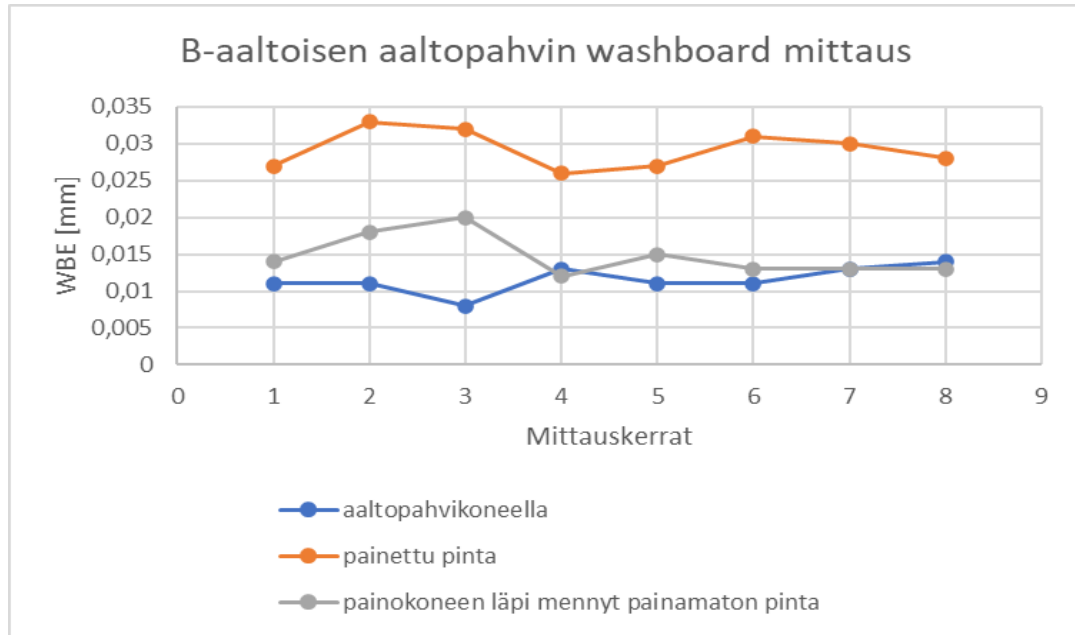


KUVA 20. C-aaltopahvi, josta mitattiin washboard profiili 3 kertaa.

Kuvassa 20 on CORRCHECK-mittalaitteen toistettavuusmittauksessa käytetty C-aaltainen aaltopahvi, josta mitattiin washboard-profiili kolme kertaa.

6.2 CORRCHECK-mittaukset tehtaalla

Aaltopahvin washboardia mitattiin aaltopahvikoneelta tulleesta pahvista, painetusta sekä painatusprosessin läpikäyneen painamattoman aaltopahvin pinnasta. Kuviosta 8 voidaan nähdä, että painatus vaikuttaa washboardiin haitallisesti. Washboard on suurempaa painetun aaltopahvin pinnassa kuin suoraan aaltopahvikoneelta tulleen pahvin pinnassa. Kuvion WBE-arvot ovat liitteessä 7–9.

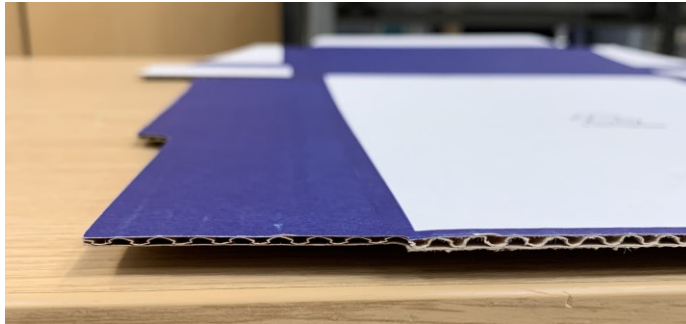


KUVIO 8. B-aaltoisen aaltopahvin washboard-mittaustulokset CORRCHECK-laitteella mitattuna kolmelta eri pinnalta.

TAULUKKO 7. B-aaltoisen aaltopahvin washboard-mittaustulokset CORRCHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
B-aalto aaltopahvikoneella	0,011	0,014	0,008	0,002
B-aalto painettu pinta	0,029	0,033	0,026	0,003
B-aalto painokoneen läpi mennyt painamaton pinta	0,015	0,02	0,012	0,003

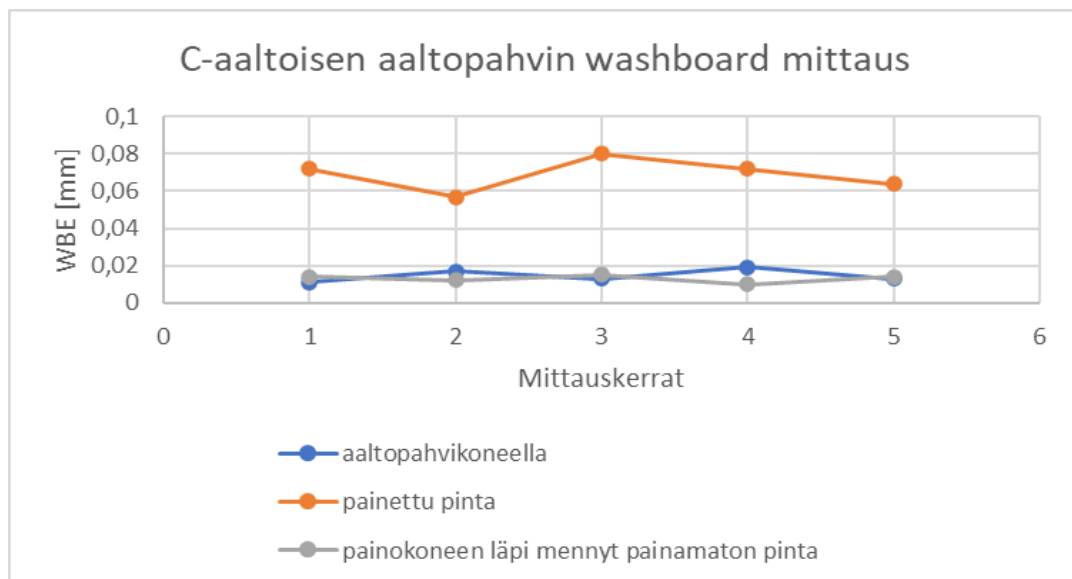
Taulukkoon 7 on koottu aaltopahvikoneelta tulleen, painetun ja painatusprosessin läpikäyneen aaltopahvin washboard -mittauksen tulokset. Taulukon tuloksista on havaittavissa, että washboard on voimakkainta painetun aaltopahvin pinnassa verrattuna aaltopahvikoneelta tulleen aaltopahvin pintaan.



KUVA 21. Painettu B-aaltoinen aaltopahvi.

Kuvassa 21 on B-aaltoinen aaltopahvi, josta mitattiin washboard painetulta pinnalta sekä painokoneen läpi tulleelta painamattomalta pinnalta.

Kuviossa 9 on mitattu aaltopahvin washboard aaltopahvikoneelta tulleesta pahvista, painetusta sekä painatusprosessin läpikäyneen painamattoman aaltopahvin pinnasta. Kuvion WBE-arvot ovat liitteessä 10–12.



KUVIO 9. C-aaltoisen aaltopahvin washboard-mittauksitulokset CORRCHECK-laitteella mitattuna kolmelta eri pinnalta.

TAULUKKO 8. C-aaltoisen aaltopahvin washboard -mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
aaltopahvikoneella	0,015	0,019	0,011	0,003
painettu pinta	0,069	0,08	0,057	0,009
painokoneen läpi mennyt painamaton pinta	0,013	0,015	0,01	0,002

Taulukon 8 tuloksista nähdään edelleen, kuinka painatus lisää washboardin voimakkuutta aaltopahvin pinnassa. Ero painetun ja painamattoman aaltopahvin washboardilla on merkittävä. Painetun aaltopahvin washboardin voimakkuuteen on voinut vaikuttaa painokoneella käytetty väri, painettu kuvio sekä painatuksen voimakkuus. Jos washboard on ollut hyvin voimakasta jo ennen painokoneelle tuloa, on tämä voinut vaikuttaa siihen, että painetun aaltopahvin mitattu washboard on suurta.

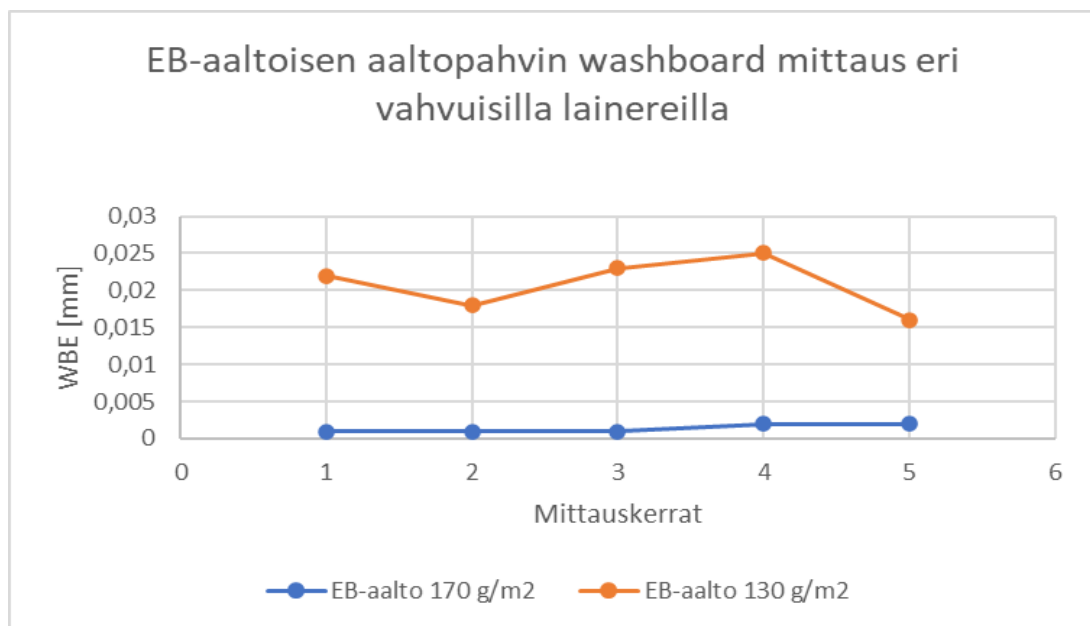


KUVA 22. Painettu C-aaltoinen aaltopahvi.

Kuvassa 22 on C-aaltoinen aaltopahvi, josta mitattiin washboard painetulta pinnalta sekä painokoneen läpi tulleelta painamattomalta pinnalta.

Verrattuna kuvioon 8 pyykkilautailmiö painetun aaltopahvin pinnassa on suurempaa kuviossa 9. Huomattava ero washboardissa kahden painetun aaltopahvin pinnassa voi johtua aaltopahvilajeista. Kuviossa 8 painatus on tehty B-aaltoiselle aaltopahville ja kuviossa 9 painatus on tehty C-aaltoiselle aaltopahville. Lisäksi painatustulokseen on voinut vaikuttaa painettu väri.

Pyykkilautailmiö mitattiin kahdesta EB-aaltoisesta aaltopahvista, joissa pintakartonkina käytettiin eri vahvuista päällystettyä kraftlaineria. CORRCHECK-mittaukset tehtiin painokoneen läpi menneeltä painamattomalta pinnalta, koska laboratoriomittalaite välillä harhaantui värikkäiden pintojen mittauksesta. Kuvioista 10 nähdään, että pyykkilautailmiö oli pienempi siinä EB aaltopahvissa, jossa oli käytetty vahvempaa pintakartonkia. Mittausten aikana myös huomattiin, että painatustuloksessa B-aalto näkyi E-aallon läpi pahvin pinnalla. Kuvion WBE-arvot ovat liitteessä 13–14.



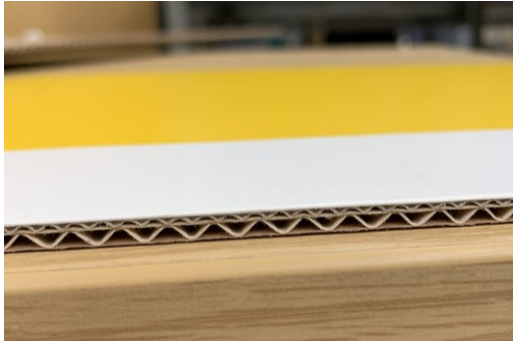
KUVIO 10. Kahden EB-aaltoisen aaltopahvin washboard -mittaus CORRCHECK-mittalaitteella.

TAULUKKO 9. EB-aaltoisen aaltopahvin washboard -mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
EB 170 g/m ²	KC170-UF80-3R100-EF120-KR115	0,001	0,002	0,001	0,001
EB 130 g/m ²	KC130-EF120-EF120-EF120-KR170	0,021	0,025	0,016	0,004

Taulukosta 9 nähdään, että molemmissa EB-aaltoisissa aaltopahveissa käytettiin päällystettyä kraftlaineria. Toisessa EB-aaltoisessa pahvissa käytettiin 170 g/m²

laineria ja toisessa kevyempää 130 g/m² laineria. Saatujen mittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että vahvemman lainerin käyttö pintakartonkina pienentää washboardin voimakkuutta. Vahvemman materiaalin käyttö kuitenkin lisää aaltopahvin valmistuskustannuksia.



KUVA 23. EB 170 g/m²



KUVA 24. EB 130 g/m²

Kuvissa 23 ja 24 ovat washboard mittauksessa käytetyt EB-aaltoiset aaltopahvit, jotka eroavat toisistaan eri vahvuisista pintakartongeista.

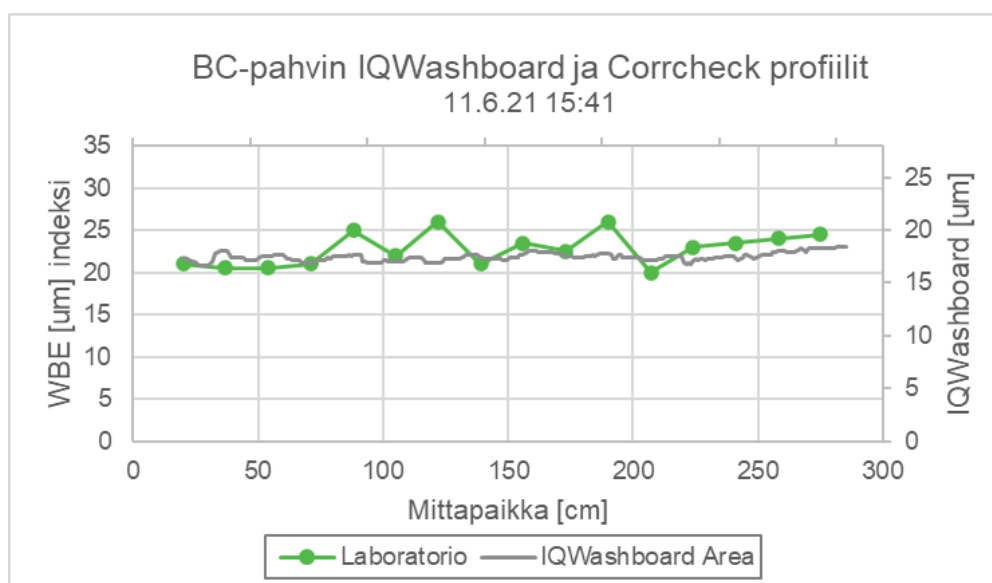
6.3 Online -mittausten vertailu laboriomiittauksiin

Aaltopahvin washboardia mitattiin CORRCHECK-laboriomiittalaitteella sekä IQWashboard-mittalaitteella aaltopahvikoneella. Online- ja laboriomiittauksien mittauksien tulokset ovat taulukossa 10.

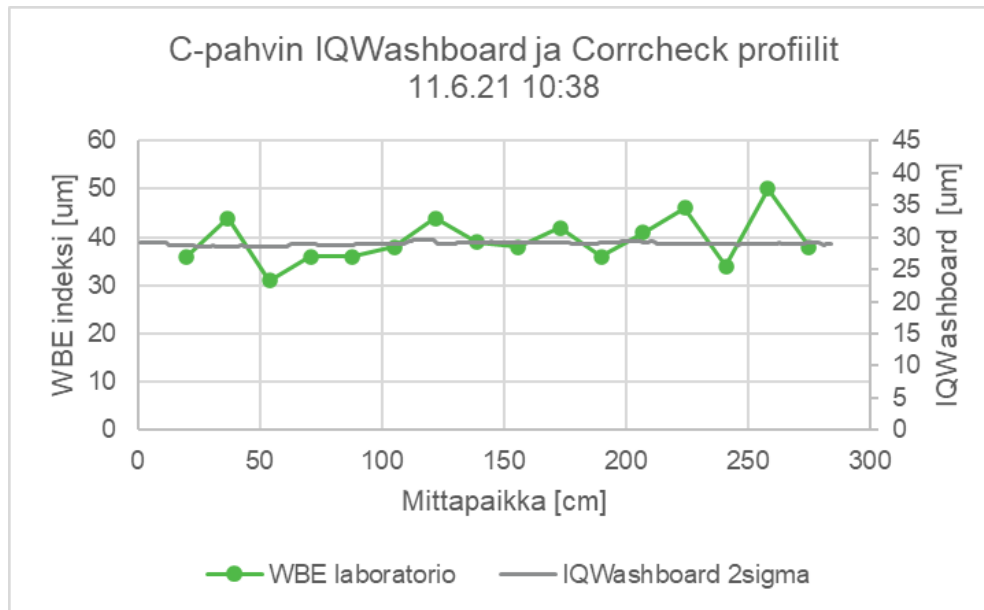
TAULUKKO 10. Online- ja laboriomiittauksien washboard mittauksien tulokset.

Näytteen nimi	Aalto	Resepti	Ka	max	min	stdev	Area	2sigma
C1022c	C	17 C VR 1 KV175-EF160-KR150	0,020	0,05	0,012	0,011	28	19
C1115b	C	15 C RR 4 3R100-EF140-3R100	0,055	0,062	0,044	0,005	64	45
EB1312a	EB	26 EB CR 1 R ML KC130-EF120-EF120-EF120-KR170	0,008	0,011	0,007	0,002	0,2	0,2
EB1425	EB	25 EB CR 1 KC170-UF80-3R100-EF120-KR115	0,001	0,002	0,001	0,001	0,1	0,1
BC1710a	BC	26 BC VR 1 KV175-UF120-3R100-EF120-KR135	0,013	0,019	0,009	0,003	12	12
BC1732	BC	26 BC VR 1 KV175-UF120-3R100-EF120-KR135	0,014	0,02	0,011	0,003	11	9
BC1745	BC	26 BC VR 1 KV175-UF120-3R100-EF120-KR135	0,012	0,016	0,008	0,003	8	9
C1824	C	19 C RR 1 R KR170-EF190-KK250	0,028	0,036	0,023	0,004	25	22
C0933	C	15 C RR 9 KR115-UF120-KR115	0,035	0,049	0,027	0,006	66	51
C1041	C	15 C RR 9 KR115-UF120-KR115	0,036	0,043	0,028	0,004	46	38
C1134	C	14 C RR 2 KR115-UF100-KR110	0,035	0,045	0,028	0,004	45	25
BC1454	BC	27 BC VR 2 R KV175-EF160-EF120-EF160-KR150	0,01	0,016	0,007	0,003	14	8
BC1515	BC	27 BC VR 2 R KV175-EF160-EF120-EF160-KR150	0,012	0,026	0,007	0,005	18	11
BC1541	BC	24 BC RR 1 KR170-UF80-3R90-UF80-KR135	0,023	0,03	0,018	0,004	21	29

IQWashboard-mittalaitteen toimintaa kartoitettiin vertaamalla laboriomiittauksia online-profiiliin. Kuviossa 11 ja 12 harmaa käyrä kuvastaa online-profiilin mittauksista ja vihreä käyrä on laboriomiittalaitteella mitatun profiilin mittauksista.



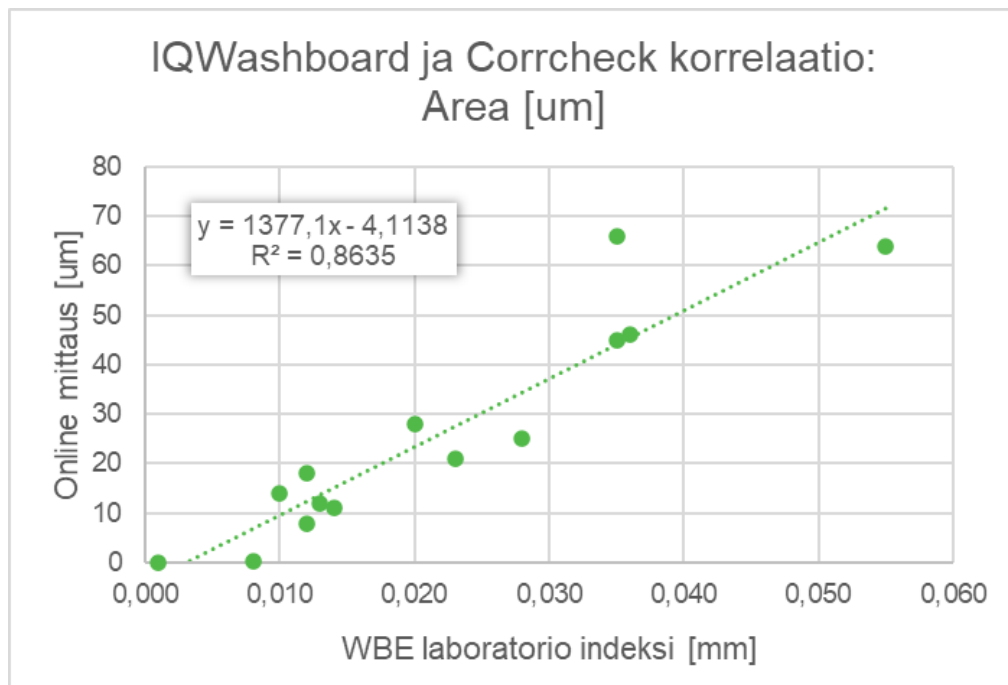
KUVIO 11. BC-aaltoisen aaltopahvin IQWashboard online-profiilin ja CORRCHECK-mittalaitteella mitatun profiilin mittauksien tulokset.



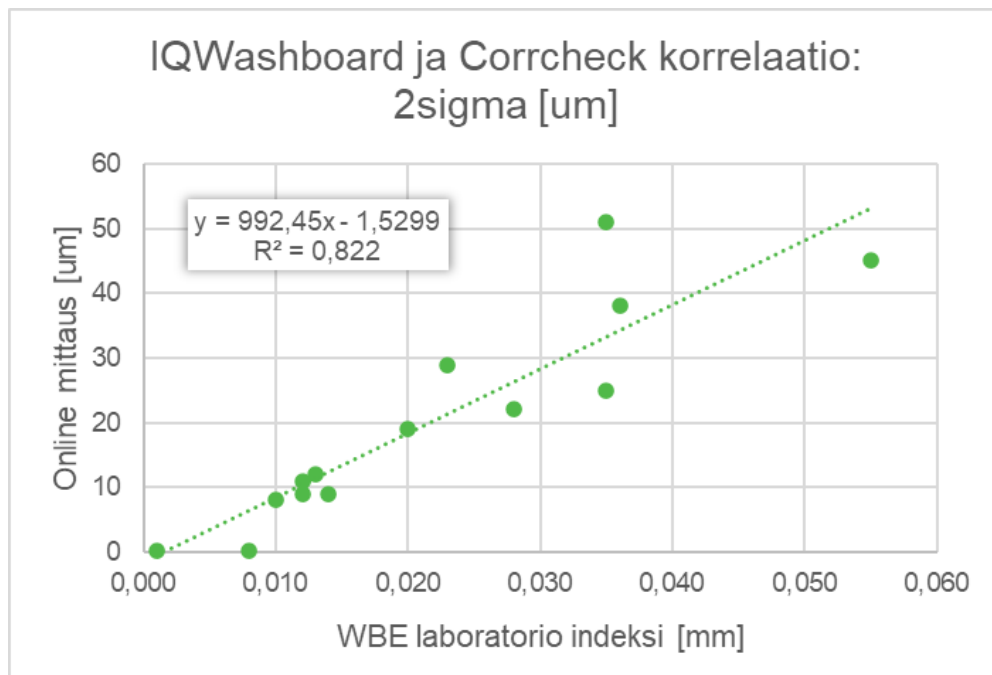
KUVIO 12. C-aaltoisen aaltopahvin IQWashboard online-profiilin ja CORR-CHECK-mittalaitteella mitatun profiilin mittaustulokset.

Kuvioista 11 ja 12 nähdään, että IQWashboard-mittalaitteen ja CORRCHECK-mittalaitteen tulokset vastaavat melko hyvin toisiaan.

Online-profiilin ja laboratorioprofiilin mittaustuloksia verrattiin keskenään laske-
 malla mittausten välinen korrelaatio. Kuviossa 13 ja 14 on IQWashboard-mitta-
 laitteen ja CORRCHECK-mittalaitteen korrelaatio kuvattuna. Kuvioista voidaan
 nähdä, että IQWashboard mittalaitteen ja laboratoriomittalaitteen välinen riippu-
 vuus on suhteellisen hyvä. Vähäiset poikkeavuudet mittalaitteen ja laboratorio-
 laitteen välisessä korrelaatiossa johtuvat mittalaitteiden erilaisesta mittausmene-
 telmästä. Online- ja CORRCHECK-mittalaite mittaavat washboardia eri kohdasta
 pahvin pinnalta. Online-mittalaite mittaa koko aaltopahviradan ja keskiarvostaa
 mittauksia, kun taas laboratoriomittalaitteella mitattiin pahvin pintaa vain muuta-
 masta kohdasta.



KUVIO 13. IQWashboard-mittalaitteen ja CORRCHECK-laboriomittalaitteen korrelaation pinta-ala arvo.



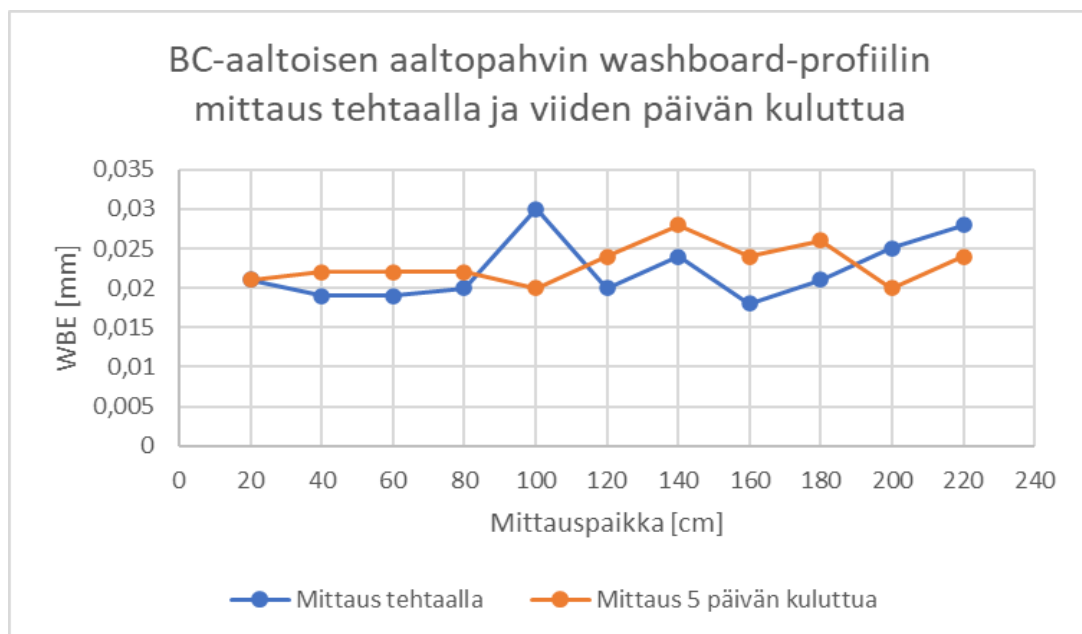
KUVIO 14. IQWashboard-mittalaitteen ja CORRCHECK-laboriomittalaitteen korrelaation 2sigma arvo.

Molemmissa kuvioissa 13 ja 14 olevat vertailuluvut, pinta-ala ja 2sigma kuvastavat hyvin pahvin pinnan washboardia. Pinta-ala arvo osoittautui hieman tarkemmaksi, mutta tehtaalla 2sigma -arvo on todennäköisesti helpompi mieltää, koska se kertoo pinnan vaihtelun korkeuden mikrometreissä.

6.4 Washboard -ilmiön kehittyminen

Ilmiön kehittymistä mitattiin toistamalla CORRCHECK-mittaukset viiden päivän kuluttua suoritetuista ensimmäisistä mittauksista. Osa näytteistä käyristyi viiden päivän aikana, joka on voinut vaikuttaa saatuihin mittaustuloksiin. Näytteet mitattiin Valmet Automationin laboratoriotiloissa Tampereella, jossa ei ollut ilman kosteuden säätöä.

Kuviossa 15 pyykkilautailmiö ei ole muuttunut lähes ollenkaan viiden päivän aikana. Kuvion WBE-arvot ovat liitteissä 15–16.



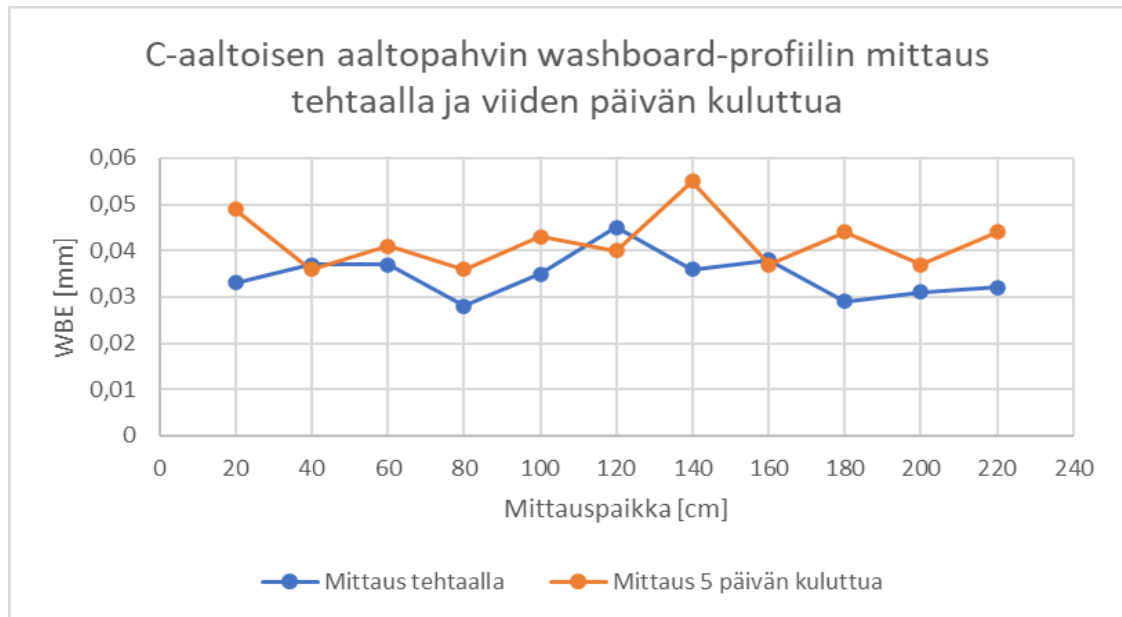
KUVIO 15. BC-aaltoisen aaltopahvin washboard -profiilin mittaus tehtaalla ja mittaus viiden päivän kuluttua.

TAULUKKO 11. BC-aaltoisen aaltopahvin washboard -mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
Mittaus tehtaalla BC 1541	KR170-UF80-3R90-UF80-KR135	0,023	0,030	0,018	0,004
Mittaus 5 päivän kulluttua BC 1541	KR170-UF80-3R90-UF80-KR135	0,022	0,028	0,016	0,003

Taulukon 11 mittaustuloksista voidaan nähdä, että washboard ei ole kehittynyt viiden päivän aikana lähes ollenkaan. Tehtaalla ja viiden päivän jälkeen mitatun washboardin keskiarvot ovat lähes samat.

Washboardin kehitystä mitattiin myös yksiaaltoisesta C aaltopahvista. Siinä washboardin kehitystä oli havaittavissa enemmän verrattuna BC aaltoiseen aaltopahviin. WBE-arvot ovat liitteissä 17–18.



KUVIO 16. C-aaltoisen aaltopahvin washboard -profiilin mittaus tehtaalla ja viiden päivän kuluttua.

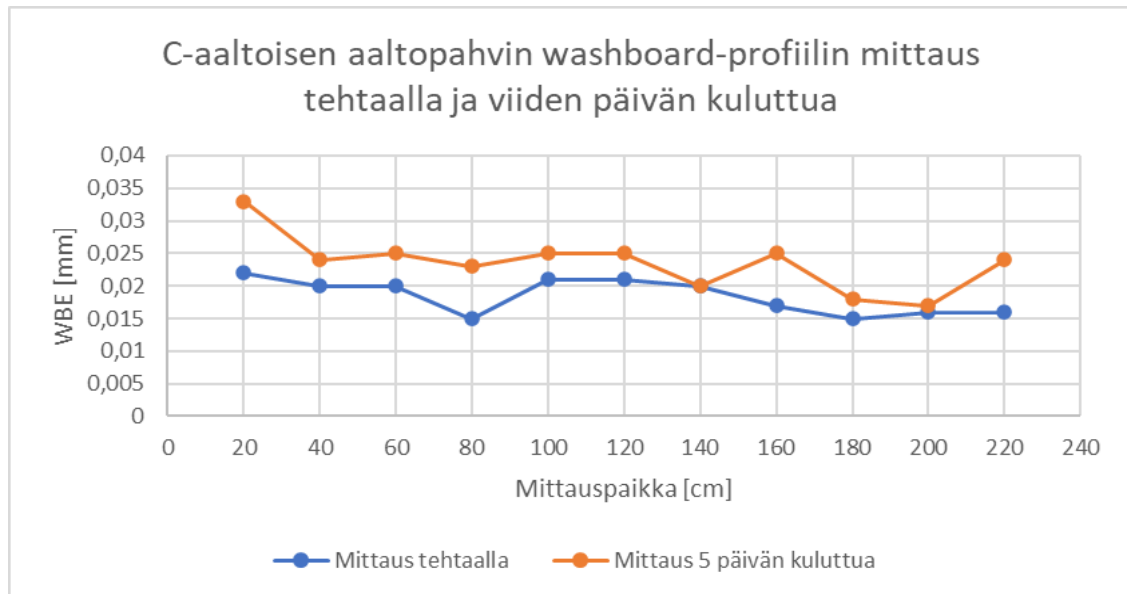
TAULUKKO 12. C-aaltoisen aaltopahvin washboard-mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
Mittaus tehtaalla C 1134	KR115-UF100-KR110	0,035	0,045	0,028	0,004
Mittaus 5 päivän kuluttua C 1134	KR115-UF100-KR110	0,042	0,055	0,035	0,006

Taulukon 12 tuloksista nähdään washboardin vähäistä voimistumista viiden päivän aikana. Mittaustuloksissa on vain pientä eroa tehtaalla tehdyn ja viiden päivän jälkeen tehdyn mittauksen välillä. Saatujen tulosten perusteella washboard

on muuttunut voimakkaammaksi aaltopahvin pinnassa viiden päivän jälkeen tehdyssä mittauksessa. Saatuihin tuloksiin on voinut vaikuttaa mittaustilanteissa vallinneet eri kosteusolosuhteet.

Lisäksi suoritettiin toinen C-aaltoisen pahvin pyykkilautailmiön kehityksen mittaust. Ilmiön kehitys on havainnollistettu Kuviossa 16. Kuvion WBE-arvot ovat liitteissä 19–20.



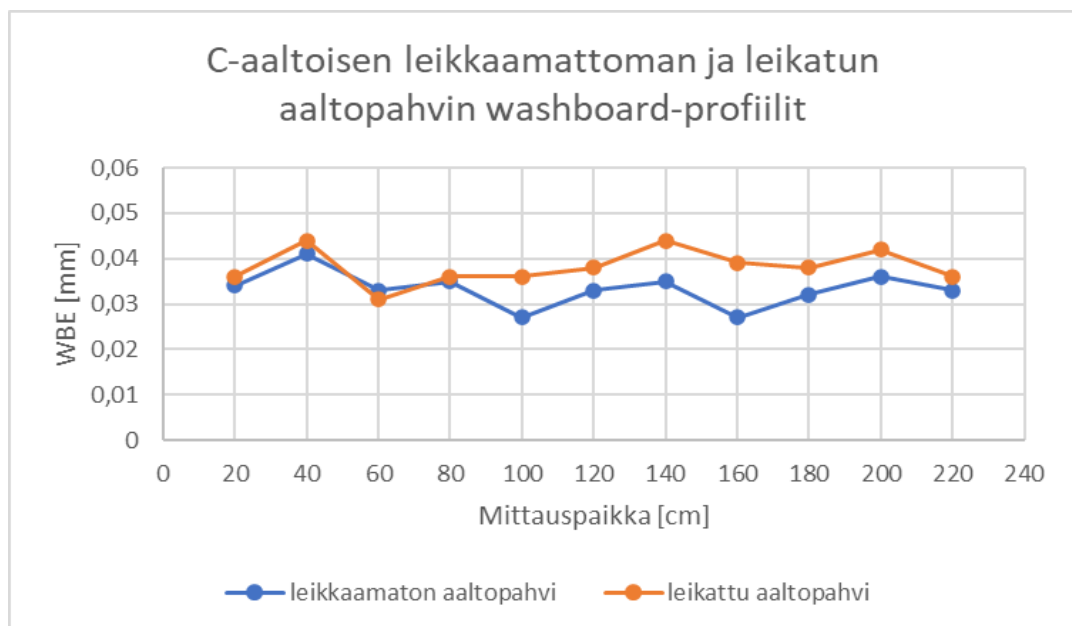
KUVIO 17. C-aaltoisen aaltopahvin washboard -profiilin mittaus tehtaalla ja viiden päivän kuluttua.

TAULUKKO 13. C-aaltoisen aaltopahvin washboard -mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
Mittaus tehtaalla C1352	KV175-EF190-KK250	0,019	0,025	0,015	0,003
Mittaus 5 päivän kuluttua C 1352	KV175-EF190-KK250	0,025	0,036	0,017	0,005

Taulukossa 13 nähdään, että washboardin kehitys viiden päivän aikana ei ole suurta, mutta havaittavaa. Tämä voi johtua myös ympäristön kosteusolosuhteiden muutoksesta. Washboardin mittausta tehtäessä tapahtui kosteammassa olosuhteissa verrattuna viiden päivän jälkeisiin mittauksiin laboratorioissa. Kosteus on merkittävä tekijä washboardin syntymisen kannalta aaltopahvin pinnassa.

Aaltopahvi leikataan kuivatusosan jälkeen leveysuunnassa, jonka jälkeen se leikataan pituusleikkurilla halutun mittaiseksi pituussuunnassa. Washboard mitattiin leikkaamattomasta sekä leikatusta aaltopahvista. Tarkoituksena oli tutkia aaltopahvin leikkaamisen vaikutusta washboardiin. Leikkaamattoman ja leikatun C-aaltoisen aaltopahvin profiilit ovat Kuviossa x. Kuvioista voidaan nähdä, että aaltopahvin leikkaaminen pituusleikkurilla ei vaikuta merkittäväällä tavalla pyykkilautailmiöön. Kuvion WBE-arvot ovat liitteessä 21–22.



KUVIO 18. C-aaltoisen leikkaamattoman ja leikatun aaltopahvin profiilin mittaaminen CORRCHECK-mittalaitteella.

TAULUKKO 14. C-aaltoisen leikkaamattoman ja leikatun aaltopahvin washboard-mittaustulokset CORRCHECK-laitteella mitattuna.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
C leikattu	KR115-UF120-KR115	0,039	0,05	0,031	0,005
C leikkaamaton	KR115-UF120-KR115	0,035	0,049	0,027	0,006

Taulukon 14 mittaustuloksista nähdään, ettei aaltopahvin leikkaaminen vaikuta merkittävästi washboardin kehitykseen. Leikkaamisen ajateltiin vapauttavan kuitujen välisiä jännityksiä ja tällä tavoin pienentäen washboardia. Saatujen mittaustulosten perusteella ilmiö ei kuitenkaan muuttunut aaltopahvin leikkaamisen seurauksena lähes ollenkaan. Molemmissa mittaustuloksissa washboardin keskiarvo on lähes sama.

6.5 Kosteusmittaukset

Muutamasta tehtaalla mitatusta aaltopahvinäytteestä tehtiin kosteusmittaukset laboratoriossa (Kuva 25). Kosteusmittausten perusteella mitattiin washboardin kehitystä tilanteessa, jossa valmis aaltopahvipakkaus altistuu kosteudelle. Kosteusmittauksen jälkeen washboard mitattiin uudestaan CORRCHECK-mittalaitteella. Kosteusmittauksen jälkeisiä tuloksia verrattiin alkuperäisiin washboard mittaustuloksiin. Kosteustestit tehtiin kahdessa eri kosteustasossa. Ensimmäisessä kosteustestissä aaltopahvien kosteudet olivat noin 6,5 % ja toisessa noin 10,5 %.



KUVA 25. Kosteusmittauksissa käytetyt pahvinäytteet Tehtaalta X.

Aaltopahvinäytteet leikattiin A4 -kokoisiksi arkeiksi. Jokainen näyte punnittiin kuivana, kosteustestin jälkeen ja CORRCHECK-mittauksen jälkeen. Kosteusmittauksen ja CORRCHECK-mittauksen jälkeisestä punnitustuloksesta laskettiin keskiarvo. Kosteustesti suoritettiin laittamalla pahvinäytteet umpinaiseen saaviin, jonka pohjalla oli vettä (Kuva 26). Näytteet olivat suljettuna saavissa noin tunnin ajan.



KUVA 26. Näytteiden kostutus saavissa.

Taulukossa 15 on koottuna washboardin mittaustulokset ennen kosteustestiä ja kosteustestin jälkeen. Mitattujen pahvinäytteiden lajit on nimetty taulukkoon järjestyksessä, jossa ensimmäisenä on ennen kosteustestiä saatu mittaustulos ja toisena on kosteustestin jälkeinen mittaustulos. Ensimmäisessä testissä näytteiden annettiin olla saavissa noin tunnin ajan, jotta näytteet kostuisivat 2 – 3 % lisää verrattuna laboratoriossa vallinneeseen kosteustasoon, jonka arvioitiin olevan 4 %.

TAULUKKO 15. Ensimmäisen kosteustestin washboard-mittaustulokset CORR-CHECK-laitteella mitattuna. Taulukossa ovat tulokset ennen kosteustestiä ja kosteustestin jälkeen.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
BC 1454	KV175-EF160-EF120-EF160-KR150	0,010	0,016	0,007	0,003
BC 1454 kostutettu	KV175-EF160-EF120-EF160-KR150	0,008	0,01	0,006	0,001
C 1134	KR115-UF100-KR110	0,035	0,045	0,028	0,004
C 1134 kostutettu	KR115-UF100-KR110	0,031	0,04	0,026	0,005
C 1351	KV175-EF190-KK250	0,019	0,025	0,015	0,003
C 1351 kostutettu	KV175-EF190-KK250	0,014	0,019	0,011	0,003
EB painettu	KC170-UF80-3R100-EF120-KR115	0,005	0,007	0,003	0,001
EB painettu kostutettu	KC170-UF80-3R100-EF120-KR115	0,001	0,001	0	0

Taulukossa 15 olevista mittaustuloksista selviää, että washboard ei voimistu pahvin altistuessa kosteudelle, pikemminkin päinvastoin. Kosteuden kasvaessa washboard vähenee CORRCHECK-mittalaitteella mitattuna. Saaduista kosteusmittaustuloksista voidaan arvioida, että kosteus tasoittuu kuitujen välissä ja vähentää siten liiman kuivumisen yhteydessä tapahtunutta kutistumista, josta washboard ilmiö syntyy.

TAULUKKO 16. Kosteustestin 1 mittaustulokset.

Laji	Kosteus alussa %	Kosteus lopussa %
BC 1454	4 %	6,4 %
C 1134	4 %	6,5 %
C 1352	4 %	6,7 %
EB painettu	4 %	6,6 %

Taulukossa 16 on ennen kosteustestiä ja kosteustestin jälkeen lasketut kosteudet. Alkukosteudeksi valittiin huoneessa vallitseva huonekosteus, joka oli noin 4 %. Näytteet kostuivat alkuperäiseen kosteuteen verrattuna noin 2–3 % lisää. Kosteustesti suoritettiin uudestaan samoille aaltopahvinäytteille, joita käytettiin myös ensimmäisessä kosteustestissä. Näytteitä pidettiin umpinaisessa saavissa noin neljä tuntia ja saatujen tulosten perusteella washboardin kehitystä arvioitiin tilanteessa, jossa aaltopahvi altistuu kosteudelle erityisen paljon.

TAULUKKO 17. Toisen kosteustestin washboard-mittaustulokset CORRCHECK-laitteella mitattuna. Taulukossa ovat tulokset ennen kosteustestiä ja kosteustestin jälkeen.

Lajit	Resepti	Average (mm)	Max	Min	Std.Dev.
BC 1454	KV175-EF160-EF120-EF160-KR150	0,010	0,016	0,007	0,003
BC 1454 kostutettu	KV175-EF160-EF120-EF160-KR150	0,007	0,009	0,005	0,002
C 1134	KR115-UF100-KR110	0,035	0,045	0,028	0,004
C 1134 kostutettu	KR115-UF100-KR110	0,032	0,040	0,026	0,005
C 1351	KV175-EF190-KK250	0,019	0,025	0,015	0,003
C 1351 kostutettu	KV175-EF190-KK250	0,015	0,027	0,009	0,008
EB painettu	KC170-UF80-3R100-EF120-KR115	0,005	0,007	0,003	0,001
EB painettu kostutettu	KC170-UF80-3R100-EF120-KR115	0,002	0,004	0,000	0,001

Taulukon 17 tuloksista nähdään, että washboard ei voimistu kosteudelle altistuksessa, vaan ilmiö pikemminkin vähenee kosteuden kasvaessa.

TAULUKKO 18. Kosteustestin 2 mittaustulokset.

Laji	Kosteus alussa %	Kosteus lopussa %
BC 1454	4 %	10,6 %
C 1134	4 %	10,8 %
C 1352	4 %	11,2 %
EB painettu	4 %	11,1 %

Taulukossa 18 on ennen kosteustestiä ja kosteustestin jälkeen lasketut kosteudet. Tässä kosteustestissä aaltopahvinäytteet olivat kosteussaavissa neljä tuntia, joka näkyy myös kosteuden huomattavana kasvuna tuloksissa. Näytteet kostuivat noin 6–7 % lisää alkuperäiseen kosteuteen verrattuna eli huonekosteuteen, jonka arvioitiin olevan 4 %.

Saadut kosteustestien tulokset osoittavat, että washboard vähenee kosteuden kasvaessa. Ensimmäisessä kosteustestissä aaltopahvinäytteiden kosteutta nostettiin noin 2–3 % alkuperäiseen kosteuteen nähden, josta laboratoriomittausten perusteella seurasi washboardin vähenemistä. Toisessa kosteustestissä samoja ensimmäisen kosteustestin näytteitä kostutettiin lisää noin 6–7 %. Saatujen mittaustulosten perusteella suurempi näytteiden kostutus ei enää vaikuta merkittävästi washboardiin. Washboard pysyi lähes samana siitä huolimatta, että näytteitä kostutettiin enemmän toisessa kosteustestissä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä oli tavoitteena karakterisoida IQWashboard mittalaitteen toimintaa aaltopahvikoneella ja tutkia washboardin kehitystä valmistuksen jälkeen. IQWashboard online -mittalaitteen mittauksia verrattiin CORRCHECK-laboratoriolaitteen tuloksiin.

Koeajojen aikana huomattiin, että aaltopahviradan voimakkaat etäisyyden muutokset vaikuttivat saatuihin online -mittalaitteen mittaustuloksiin. Tästä syystä vain osalle laboratorioprofiileista saatiin vastaavat online -profiilit.

Pituussuuntaiset online -mittaukset onnistuttiin määrittämään stabiileista mittaustilanteista. IQWashboardin ja CORRCHECK-laboratoriomittalaitteen tulokset vastasivat melko hyvin toisiaan. Washboardin mittaaminen laboratoriossa oli hankalaa, koska laboratoriomittalaite mittaa pieneltä alueelta hyvin paikallisesti, kun taas washboard usein vaihtelee voimakkaasti sekä poikkiprofiili- että kone-suunnassa. Online -mittalaitteessa ei näitä ongelmia ole, koska mittalaite mittaa jatkuvasti edustavaa otosta rainan leveydeltä.

Tärkeänä tavoitteena työssä oli myös määrittellä mittalaitteen oikea paikka aaltopahvitehtaalla. Haluttiin selvittää, onko nykyinen aaltopahvikone parempi paikka mittalaitteelle, kuin esimerkiksi painokone. Tätä varten tutkimuksen aikana seurattiin washboardin kehittymistä ajan ja kosteuden funktiona.

Tutkittaessa ilmiön kehitystä ilmeni, että washboardin muuttuminen oli hyvin vähäistä. Ilmiön muuttumiseen voi olla syynä se, että vertailut mittaukset tehtiin eri kosteusolosuhteissa: tehtaalla vallitsivat kosteammat olosuhteet verrattuna laboratorion olosuhteisiin. Tätä tukee myös kosteusmittauksen antamat tulokset, joissa havaittiin, että washboard aluksi väheni kosteuden kasvaessa. Kosteuden kasvaessa vielä enemmän, washboard pysyi lähes muuttumattomana. Tämä havainto tehtiin suorittamalla toinen kosteustesti, jossa näytteitä kostutettiin ensimmäiseen kosteustestiin verrattuna enemmän. Saatujen tulosten perusteella washboardin mittaaminen on järkevää jo aaltopahvikoneella. Mikäli washboard olisi muuttunut merkittävästi seuranta- tai kosteusmittauksissa, pyykkilautailmiön

online-mittauksesta aaltopahvikoneella ei olisi hyötyä. Mikäli washboardiin voidaan vaikuttaa ennen painokonetta, painokone ei joudu puristamaan pahvin pintaa niin voimakkaasti, jolloin pahvin lujuusominaisuudet eivät kärsi.

Seuraava askel washboardin tutkimisessa voisi olla liiman ja kosteuden vastetestit. Vastetestien avulla nähtäisiin miten liiman ja kosteuden vaihtelut vaikuttavat washboardin voimakkuuteen. Tulosten avulla washboardia voitaisiin säätää ja hallita aaltopahvikoneella. Ilmiön hallitsemista varten olisi hyvä löytää hyväksyttävät määritysrajat washboardille, joita mahdolliset tulevaisuuden vastetestit tukisivat. Jokaiselle aaltopahvilajille on hyvä määrittää omat hyväksyttävät washboard -rajat. Asetettujen hyväksyttävien rajojen avulla washboardin laatu-tarkastelu olisi yksinkertaisempaa.

Lopuksi haluan kiittää opinnäytetyöpaikan tarjoamisesta ja taloudellisesta tuesta Valmet Automationia. Erityisesti haluan kiittää ohjaajaani TT Jussi Graeffea työn aiheeseen tutustuttamisesta, arvokkaista neuvoista sekä suuresta panostuksesta tutkimusprojektiin.

LÄHTEET

Abhinish, P. 2015. Quality improvement in corrugated box. Luettu 31.5.2021. <https://www.slideshare.net/abhinishpaul/corrugated-box-study>

CORRCHECK preliminary user manual v1.5.5.0. 2017. Luettu 21.6.2021. Julkaisematon. Valmet Automation Oy. Tampere.

Corrugated Technical Overview. n.d. Luettu 1.6.2021. https://www.cris-tini.com/vedit/15/img_download/CB-Corrugated-Technical-Overview.pdf

Graafinen. 2015. Painomenetelmät. Luettu 1.6.2021. <https://www.graafinen.com/tietopankki/painomenetelmat/>

Graeffe, J. 2021. IQ Washboard -mittaus. Julkaisematon. Valmet Automation Oy. Tampere.

Graeffe, J. 2021. IQ Washboard eli pyykkilautamittaus pistemittauksena. Julkaisematon. Valmet Automation Oy. Tampere.

Jokela, E. n.d. Aaltopahvista on enemmän kuin uskoisitkaan. Luettu 28.4.2021. https://docplayer.fi/1288337-Kayttajan-kasikirja-aaltopahvista-on-enemmaksi-kuin-uskoisitkaan-3-3-tarjouspyynto-ja-tilaus-toimitusprosessi-21.html#show_full_text

Järvenpää, J. 2018. Nuuttauksen optimointi. Biotuote- ja prosessitekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Järvi-Kääriäinen, T. & Leppänen-Turkula, A. 2002. Pakkaaminen. Helsinki: Hakapaino Oy.

Karhuketo, H., Seppälä, M., Törn, T. & Viluksela, P. 2004. Paperin ja kartongin jalostus. 2. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

KnowPap versio 22.0. 2014. AEL / Proledge Oy. Tuotteet ja ominaisuudet. Luettu 2.6.2021. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/know-pap_system/user_interfaces/knowpap.htm. Saatavilla rajoitetusti.

Koskinen, P. 2001. Hyvä painotuote. Helsinki: Inforviestintä Oy.

Laakso, O. & Rintamäki T. 2003. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Laaksoniemi, O. 2019. Aaltopahvikoneen prosessin hylyn vähentäminen. Biotuote- ja prosessitekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Metsä Board. n.d. Ensikuitukartongit kestävän kulutuksen tukena. Luettu 6.5.2021. <https://www.metsaboard.com/Sijoittajat/Toimintaymparisto#>

Netz, E. 1998. Washboarding and Print Quality of Corrugated Board. Luettu 7.5.2021. [Washboarding Netz-1998-Packaging Technology and Science.pdf](#)

NMC Cellfoam Oy. n.d. Stanssaus geometriseen valmistukseen. <https://cell-foam.fi/stanssaus>

Oittinen, P. & Saarelma, H. 2009. Papermaking Science and Technology. Teoksessa Print Media – Principles, Processes and Quality. Jyväskylä: Gummerus Oy, 46–47.

Packnews. 2016. HP aikoo mullistaa aaltopahvin painamista. Luettu 1.6.2021. <https://www.packnews.fi/hp-aikoo-mullistaa-aaltopahvin-painamista/>

Palmroos, M. 2015. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. Luettu 29.4.2021. <https://docplayer.fi/12985400-Aaltopahvin-valmistus-ja-jalostus.html>

Pescoller, L. n.d. Control The Washboard Effect. Luettu 10.5.2021. <http://acca-website.org/wp-content/uploads/2015/04/Control-The-Washboard-Effect.pdf>

Poutala, J. 2005. Paperin liimausasteen määrittäminen. Biotuote- ja prosessitekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Print&Media. 2020. Aaltopahvin painatukseen uusi digiratkaisu. Luettu 1.6.2021. <https://pmllehti.fi/uutiset/laitteet/aaltopahvin-painatukseen-uusi-digiratkaisu/>

Pursiainen, T. 2018. Suhteellinen ilmankosteus. Luettu 15.4.2021. <https://kos-teus-mittaus.fi/suhteellinen-ilmankosteus/>

SCA Eurokraft. n.d. Always ready to do the job. Luettu 2.6.2021. <https://origin.sca.com/globalassets/papper/containerboard/produktblad/sca-eurokraft-eng-pdf-600kb.pdf>

Suomen Metsäyhdistys. n.d. Laineri (liner). Luettu 26.4.2021. <https://smy.fi/sanasto/laineri-liner/>

Tila, L. 2020. Painomenetelmät fleksopaino ja syväpaino. Luettu 19.4.2021. <https://tilainspired.wordpress.com/2020/09/18/painomenetelmat-fleksopaino-ja-syvapaino/>

Twede, D. & Selke, S. 2005. Cartons, Crates and Corrugated Board. Lancaster: DEStech Publications, Inc.

Valmet. n.d. a. Laadunhallinta. Luettu 8.5.2021. <https://www.valmet.com/automation/quality-management/>

Valmet. n.d. b. Valmet IQ -skannerit. Luettu 8.5.2021. <https://www.valmet.com/automation/quality-management/quality-control-system-qcs/scanners/>

Valmet n.d. c. Warp. Luettu 20.5.2021. <https://www.valmet.com/automation/quality-management/quality-control-system-qcs/measurements/warp-measurement/>

Viluksela, P., Ristimäki, S. & Spännäri, T. 2010. Painoviestinnän tekniikka. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Wendler, S. 2006. Washboarding Of Corrugated Board. Luettu 15.4.2021.
http://www.fag.ch/products/pdf/FAG_CORRCHECK-GB.pdf

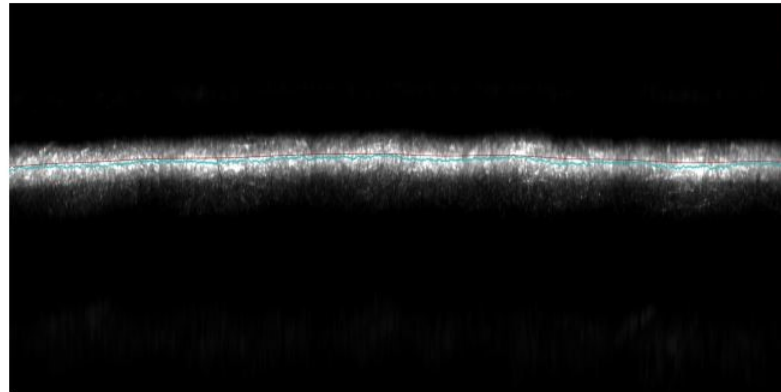
LIITTEET

Liite 1. BC1541 Mittaus 1

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

18.06.2021-11:09:49

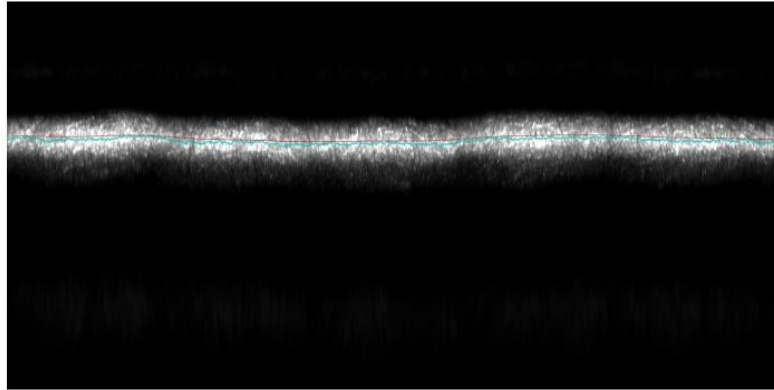
**WBE: 0.027 mm**

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:									
	0.025	0.041	0.018	0.007		+									
0.018	0.024	0.021	0.021	0.019	0.028	0.021	0.022	0.018	0.041	0.025	0.025	0.028	0.039	0.022	0.027

Liite 3. BC1541 Mittaus 3

CORRCHECK WBE REPORT**CORRCHECK**

18.06.2021-11:31:37

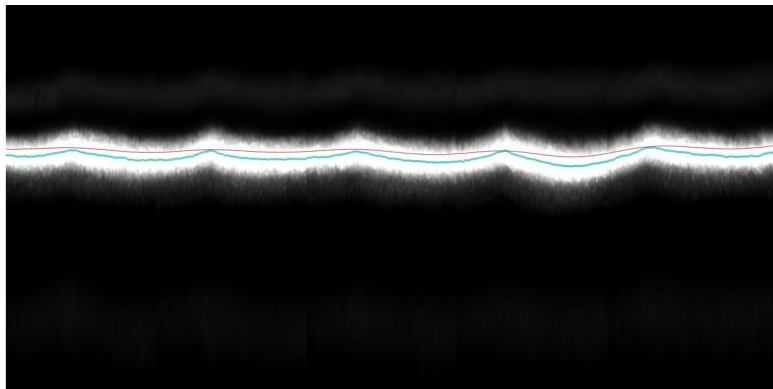
**WBE: 0.025 mm**

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:									
	0.023	0.028	0.018	0.003		+									
0.018	0.019	0.022	0.026	0.025	0.022	0.024	0.023	0.021	0.022	0.026	0.023	0.028	0.028	0.021	0.025

Liite 4. C1351 Mittaus 1

CORRCHECK WBE REPORT**CORRCHECK**

18.06.2021-10:26:24

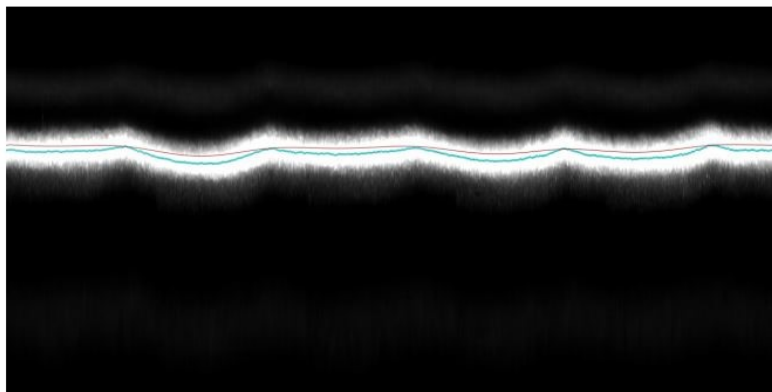
**WBE: 0.033 mm**

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:					
	0.025	0.033	0.015	0.005		+					
0.028	0.022	0.024	0.020	0.019	0.015	0.024	0.027	0.027	0.028	0.027	0.033

Liite 5. C1351 Mittaus 2

CORRCHECK WBE REPORT**CORRCHECK**

18.06.2021-10:34:47

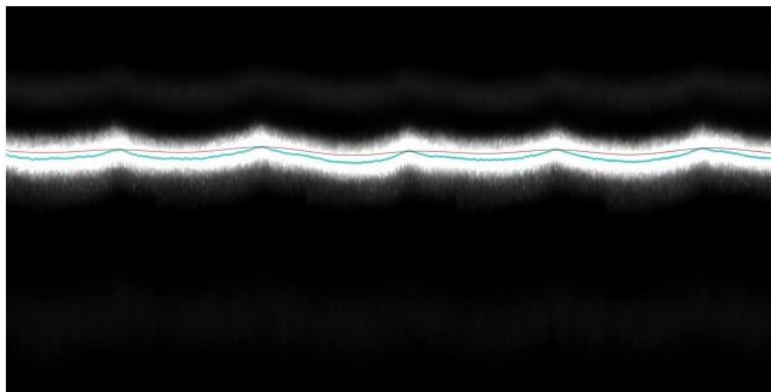
**WBE: 0.029 mm**

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:					
	0.024	0.031	0.017	0.004		+					
0.024	0.026	0.021	0.024	0.017	0.022	0.025	0.027	0.023	0.031	0.025	0.029

Liite 6. C1351 Mittaus 3

CORRCHECK WBE REPORT**CORRCHECK**

18.06.2021-10:44:03

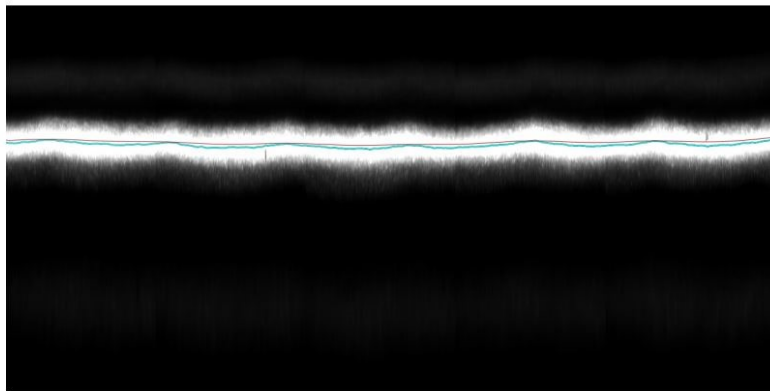
**WBE: 0.026 mm**

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:					
	0.024	0.033	0.019	0.004		+					
0.024	0.026	0.026	0.024	0.024	0.020	0.023	0.019	0.022	0.024	0.033	0.026

Liite 7. WBE B-aalto aaltopahvikoneella

CORRCHECK WBE REPORT**CORRCHECK**

15.06.2021-13:40:37

**WBE: 0.014 mm**

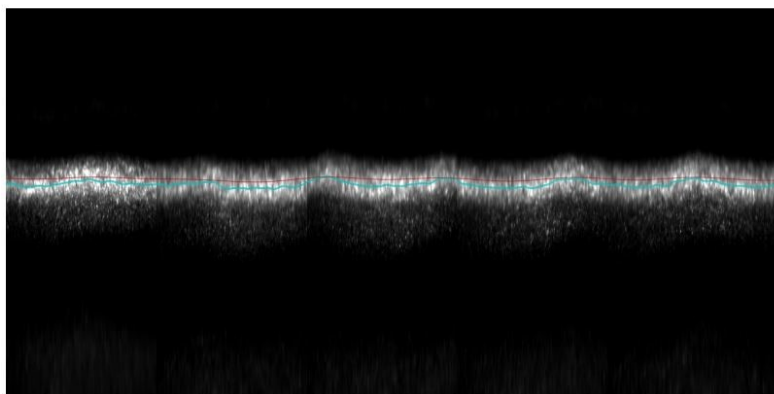
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:	
	0.011	0.014	0.008	0.002		+	
0.011	0.011	0.008	0.013	0.011	0.011	0.013	0.014

Liite 8. WBE B-aalto painettu pinta

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

15.06.2021-13:05:35



WBE: 0.028 mm

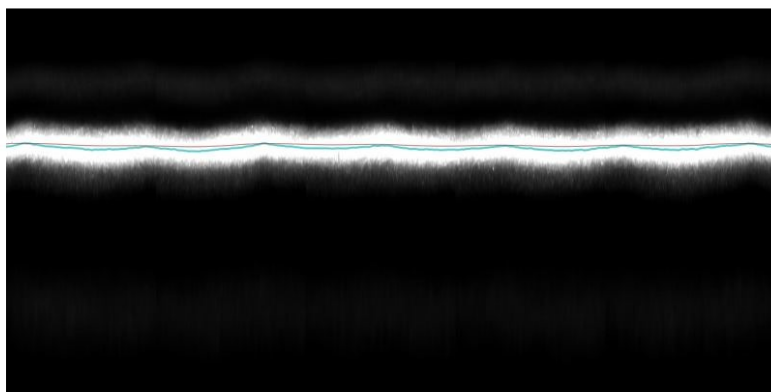
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:	
	0.029	0.033	0.026	0.003		+	
0.027	0.033	0.032	0.026	0.027	0.031	0.030	0.028

Liite 9. WBE B-aalto painokoneen läpi mennyt painamaton pinta

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

15.06.2021-13:51:33



WBE: 0.013 mm

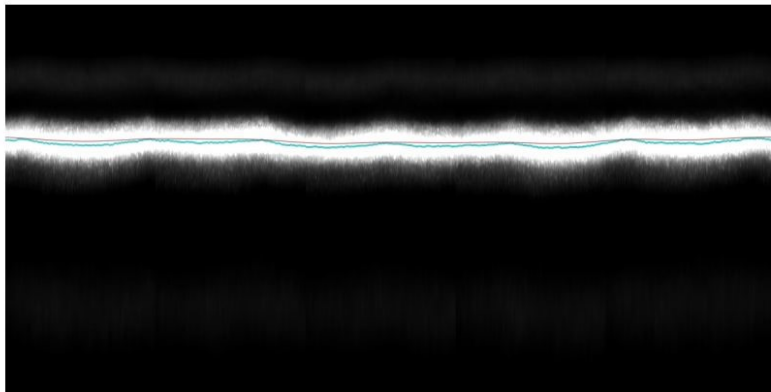
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.015	0.020	0.012	0.003		+
0.014	0.018	0.020	0.012	0.015	0.013	0.013

Liite 10. WBE C-aalto aaltopahvikoneelta

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

15.06.2021-12:02:27



WBE: 0.013 mm

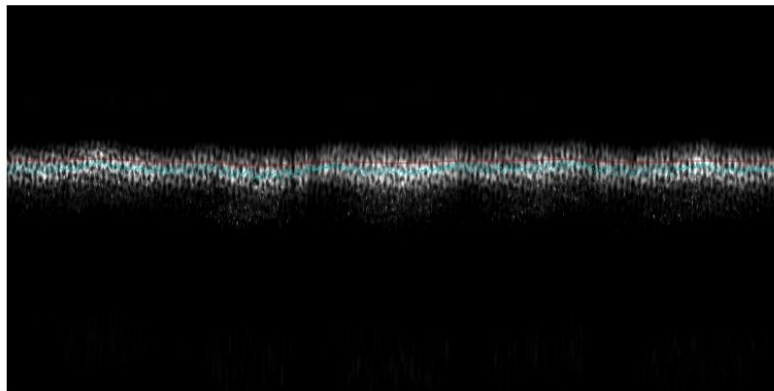
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.015	0.019	0.011	0.003		+
0.011 0.017 0.013 0.019 0.013						

Liite 11. WBE C-aalto painettu pinta

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

15.06.2021-11:58:05



WBE: 0.064 mm

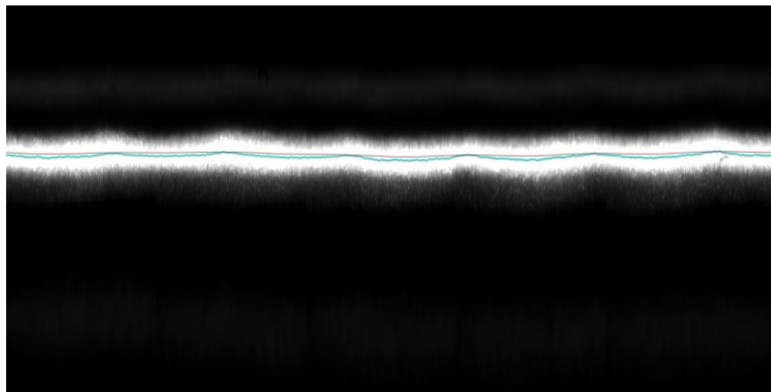
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.069	0.080	0.057	0.009		+
0.072 0.057 0.080 0.072 0.064						

Liite 12. WBE C-aalto painokoneen läpi mennyt painamaton pinta

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

15.06.2021-12:29:05

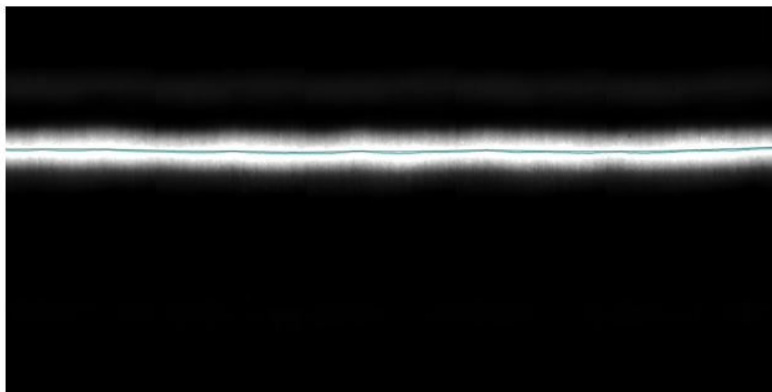


WBE: 0.014 mm

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.013	0.015	0.010	0.002		+
0.014 0.012 0.015 0.010 0.014						

Liite 13. EB 170 g/m²**CORRCHECK WBE REPORT****CORRCHECK**

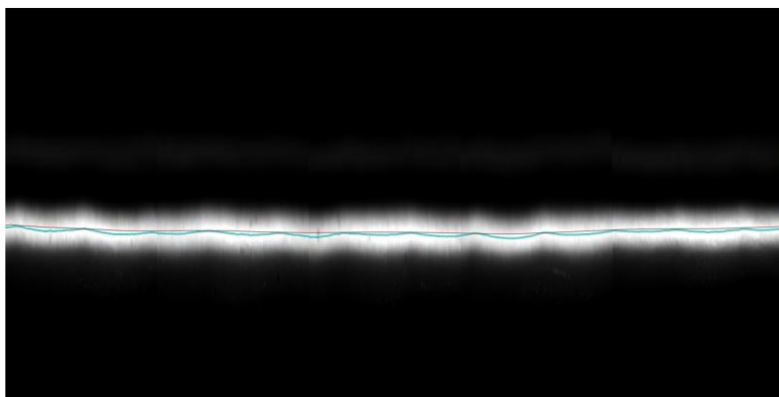
10.06.2021-14:32:30

**WBE: 0.002 mm**

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.001	0.002	0.001	0.001		+
0.001	0.001	0.001	0.002	0.002		

Liite 14. EB 130 g/m²**CORRCHECK WBE REPORT****CORRCHECK**

16.06.2021-15:08:33

**WBE: 0.016 mm**

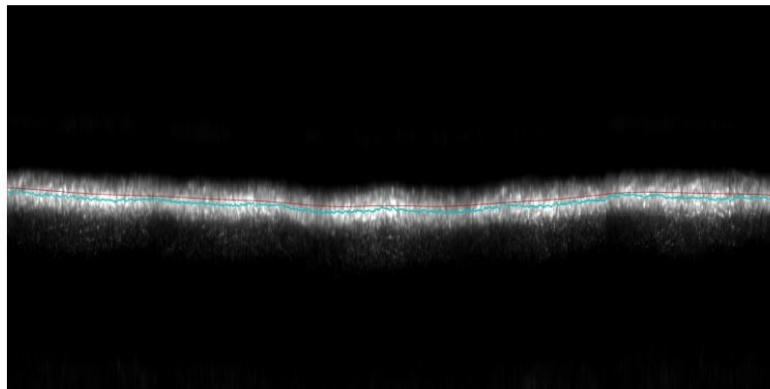
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.021	0.025	0.016	0.004		+
0.022 0.018 0.023 0.025 0.016						

Liite 15. WBE BC-aalto mittaus tehtaalla

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

11.06.2021-15:55:46



WBE: 0.028 mm

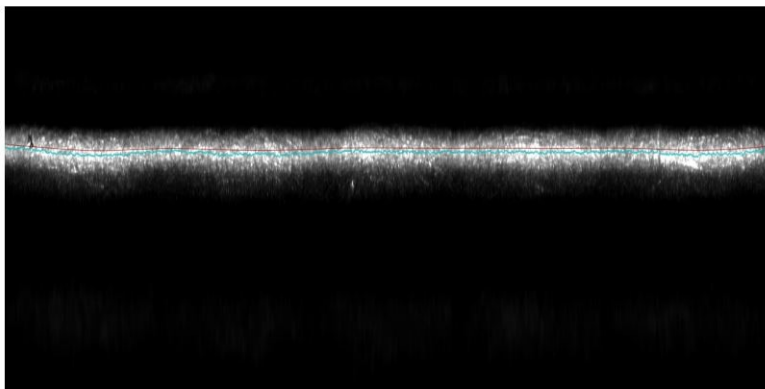
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:										
	0.023	0.030	0.018	0.004		+										
0.021	0.019	0.019	0.020	0.030	0.020	0.024	0.018	0.021	0.025	0.028	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.028

Liite 16. WBE BC-aalto mittaus 5 päivän kuluttua

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

15.06.2021-12:23:58



WBE: 0.021 mm

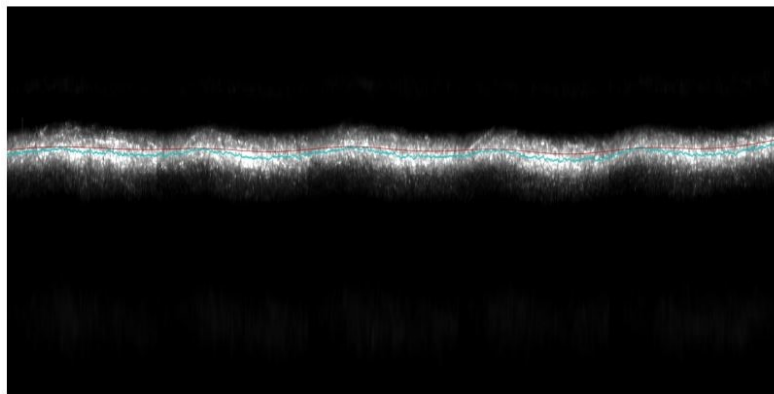
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.022	0.028	0.016	0.003		+
0.021	0.022	0.022	0.020	0.024	0.028	0.024
				0.026	0.020	0.024
					0.016	0.021
						0.022
						0.023
						0.021

Liite 17. C-aalto mittaus tehtaalla

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

11.06.2021-11:46:51



WBE: 0.036 mm

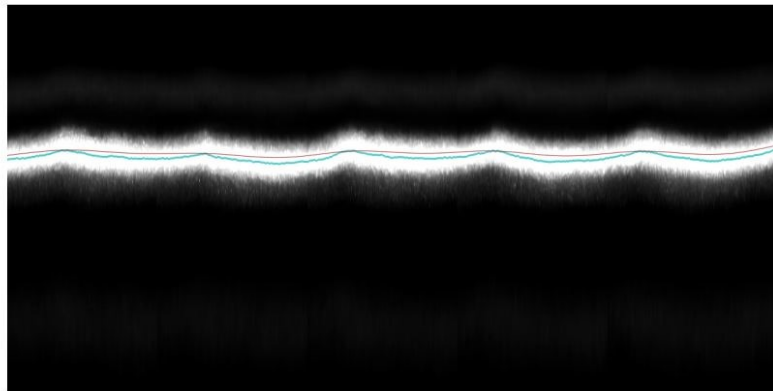
WBE:		Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:							
		0.035	0.045	0.028	0.004		+							
0.033	0.037	0.037	0.028	0.035	0.045	0.036	0.038	0.029	0.031	0.032	0.034	0.036	0.036	0.036

Liite 19. C-aalto mittaus tehtaalla

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

11.06.2021-14:06:18



WBE: 0.000 mm

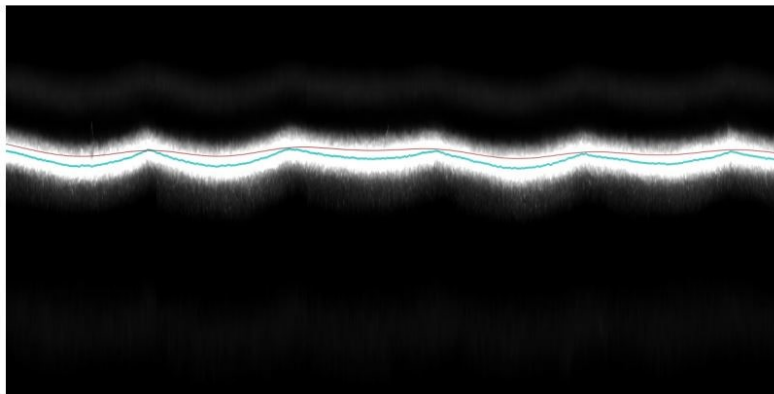
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.019	0.025	0.015	0.003		+
0.022 0.020 0.020	0.015 0.021 0.021	0.020 0.017	0.015 0.016 0.016	0.025		

Liite 20. C-aalto mittaus 5 päivän kuluttua

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

16.06.2021-12:08:52



WBE: 0.036 mm

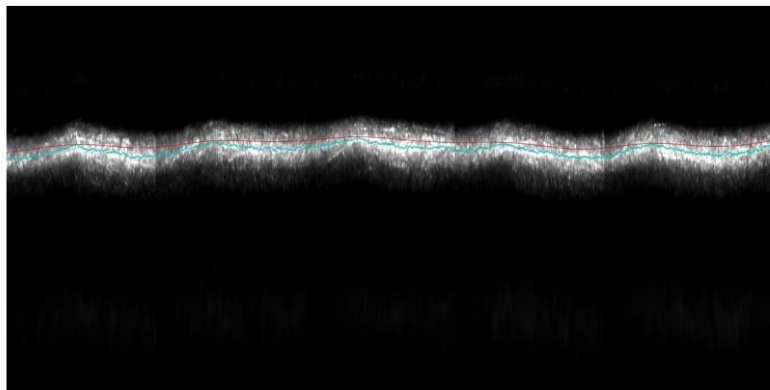
WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:
	0.025	0.036	0.017	0.005		+
0.033 0.024 0.025 0.023 0.025 0.025 0.020 0.025 0.018 0.017 0.024 0.036						

Liite 22. WBE C-aalto leikattu

CORRCHECK WBE REPORT

CORRCHECK

11.06.2021-11:11:55



WBE: 0.038 mm

WBE:	Average	Max	Min	Std.Dev.	Flute	WBE:									
	0.039	0.050	0.031	0.005		+									
0.036	0.044	0.031	0.036	0.036	0.038	0.044	0.039	0.038	0.042	0.036	0.041	0.046	0.034	0.050	0.038

Liite 23. Lajien kireys-, liima- ja kosteustietoja

Lajit	Kireys				Liima			Kosteus							
	(N/m)	Bridge break high	DF splicer break	SF2 Fluting Break	SF2 Liner Break	DFGU High	SF1 Glue Gap	SF2 Glue Gap	Liner Moist. SF 2	Fluting Moist.	Moist. Top Triplex	Moist. Bot. Triplex	Scanner Top Moist.	Scanner Bot. Moist.	Total Moist.
KV175-EF160-KR150 C1022	10	300	222	253	0,173			0,262	6,6	10,5	6,5	8,8	5,6	1,8	9,1
3R100-EF140-3R100 C1115	10	250	222	237	0,153			0,206	5,8	10,4	6,2	9,4	3,2	4,5	7,3
3R100-EF140-3R100 C1121	10	250	222	237	0,153			0,206	6,2	11,2	6,5	8,7	3,2	4,9	8,2
KC130-EF120-EF120-EF120-KR170 EB1312	65	169	222	250	0,193	0,195	0,266	6,1	11,5	5,8	8,4	5,4	3	10,3	
KC130-EF120-EF120-EF120-KR170 EB1330	65	169	222	250	0,193	0,195	0,266	6,6	11	6,6	8,4	5,8	2,8	10,5	
KC170-UF80-3R100-EF120-KR115 EB1425	10	300	212	252	0,253	0,206	0,266	6,3	11,8	6,5	6,8	5,5	3,1	9,2	
KV175-UF120-3R100-EF120-KR135 BC1710	20	290	248	253	0,323	0,216	0,306	6,1	11	6	8	5	1,4	7	
KV175-UF120-3R100-EF120-KR135 BC1732	20	290	248	253	0,322	0,213	0,305	6,4	11,5	5,9	8	5	1,3	7,1	
KR170-EF190-KK250 C1824	10	251	248	300	0,452		0,452	4,5	10,3	4,8	7,9	4,5	1,6	7,8	
KR125-EF120-KR135 C856	5	230	222	237	0,162		0,25	6,2	9,8	6,4	7,5	5,6	3,7	7,5	
KR115-UF120-KR115 C933	10	250	222	253	0,163		0,218	6,2	6,6	5	8	5,3	3,2	5,6	
KR115-UF120-KR115 C1038	10	250	222	237	0,162		0,217	6	8,2	6	7,7	5	3,2	6,7	
KR115-UF120-KR115 C1041	10	250	222	237	0,162		0,216	6	8,3	6,1	7,8	5,1	3,1	6,9	
KR115-UF100-KR110 C1134	5	240	222	237	0,173		0,184	6,2	7,7	5,4	8,5	3,9	3,9	5,9	
KV175-EF160-EF120-EF160-KR150 BC 1454	10	280	222	237	0,383	0,325	0,454	6,6	11,6	6,4	7	5,4	1,1	8,2	
KV175-EF160-EF120-EF160-KR150 BC1515	10	280	222	252	0,383	0,325	0,454	5,6	11,7	6,2	7,2	5,1	0,94	7,4	
KR170-UF80-3R90-UF80-KR135 BC1541	15	240	222	252	0,273	0,276	0,306	5,9	5,9	4,3	7,1	3,3	0,94	5	
KV175-EF190-KK250 C1352	15	280	222	237	0,322		0,403	5,3	11,3	5,5	7,9	4,4	1,6	7,8	