

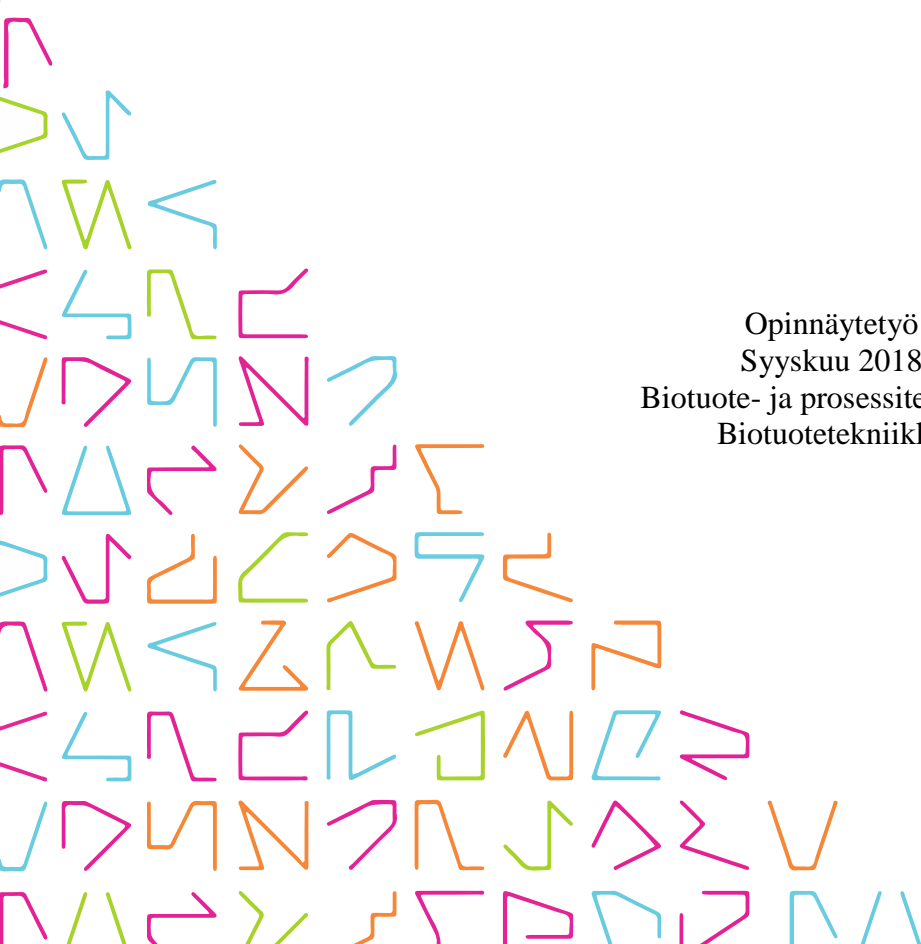


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

JALOSTUSLABORATORION KEHITTÄMINEN

Anssi Ojala

Opinnäytetyö
Syyskuu 2018
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka

OJALA, ANSSI:
Jalostuslaboratorion kehittäminen
Metsä Board Äänekosken teknologiakeskus

Opinnäytetyö 47 sivua
Syyskuu 2018

Tämä opinnäytetyö toimi osana Metsä Boardin suurempaa kehityskokonaisuutta, jossa pyritään kehittämään kartongin jalostettavuuteen liittyvää osaamista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Äänekoskella sijaitsevan Metsä Boardin teknologiakeskuksen laboratoriotyötilojen kartongin jalostettavuuden testauskokonaisuutta.

Tässä työssä muodostettiin teknologiakeskuksella olevista kartongin testausmenetelmistä kokonaisuus, jolla voidaan tutkia, miten eri kartongit suoriutuvat kotelon valmistuksen eri vaiheista. Työssä pyrittiin myös antamaan laitehankintaehdotus erilaisista testauslaitteista, joiden avulla voitaisiin laajentaa kartongin jalostettavuuden tutkimusmahdollisuuksia. Lisäksi työssä pyrittiin antamaan erilaisten mittaustutkimusten perusteella kehitysehdotuksia kotelon toimintakykyä mittaavaan BCT-menetelmään, jonka avulla testataan koteloiden puristuskestävyyttä.

Kartongin jalostettavuuden testauskokonaisuus koostuu pääosin laitteista, jotka mittaavat kartongin erilaisia lujuusominaisuuksia. Lujuusominaisuudet, kuten veto-, puristus- ja palstautumislujuus, ovat tärkeässä roolissa kotelonvalmistuksen eri vaiheiden ja valmiin lopputuotteen kannalta. Jalostettavuuden testauskokonaisuuteen liittyy myös muita menetelmiä, joiden avulla voidaan tutkia kotelokartonkien nuutattavuutta ja liimattavuutta. Laitehankintaehdotukset, joiden avulla voitaisiin laajentaa nykyistä testauskokonaisuutta, liittyvät kartongin formaation ja dimensiostabiliteetin mittaamiseen.

Kotelon puristuskestävyyden määrittämisen helpottamiseksi koteloon ensimmäisen visuaalisen vaurion aiheuttaman puristusvoiman määrittäminen voitaisiin tehdä puristustapahtuman nauhoittaneen videotallenteen avulla. Tällöin vaurion aiheuttama puristusvoima saataisiin määritettyä mahdollisimman tarkasti ja mittaustulokset ovat luotettavampia, jolloin eri kartongista valmistettujen tai eri mallisten koteloiden toimintakykyä voidaan vertailla entistä paremmin kotelon puristuskestävyyden perusteella.

Asiasanat: kartonki, kotelo, jalostettavuus, mittaus, testaus

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and Process Engineering
Bioproduct Engineering

OJALA, ANSSI:
Development of A Converting Laboratory in
Metsä Board Technology Centre Äänekoski

Bachelor's thesis 47 pages
September 2018

This thesis was part of Metsä Board's larger scale development entity which aims developing the know-how of convertibility of paperboard. The aim of this thesis was to develop the combination of testing methods which are used in researching the convertibility of paperboard in Metsä Board Äänekoski Technology Centre.

In this thesis a combination of testing methods was developed to make it possible to research the qualities of boxes made of different paperboard grades in the various phases of the manufacturing process. The combination of testing methods for convertibility of paperboard was formed mainly from the methods which already exist in laboratory of the Technology Centre. In addition, the proposal of purchasable testing methods was made to expand the possibilities of researching the convertibility of paperboard. In this thesis the improvements were also researched for the Box Compression Test method which measures the compression strength of box.

The combination of testing methods for convertibility of paperboard consists mainly the methods which are used in measuring different kind of strength properties of board. Strength properties such as tensile, compression and bonding strength are essential for the box making process. The combination of testing methods also includes methods which are used in researching the creasability and gluability of paperboard. The proposal of purchasable testing methods to expand the possibilities for researching convertibility of paperboard relate to measuring the formation and the dimension stability of paperboard.

To define accurately the compression force that causes the first visual damage in the box, the definition of the compression force could be made afterwards from the video recording of the measuring event. Then the value of the compression force that causes the first visual damage at the box would be more accurately defined and the results would be more reliable to compare the results between the boxes which are made of different grades of paperboard or have different kind of structure.

Key words: paperboard, box, convertibility, measuring, testing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KARTONKIKOTELOT.....	6
2.1	Kartonkikoteloiden raaka-aineet.....	6
2.1.1	Taivekartonki, FBB (Folding Boxboard).....	7
2.1.2	Sellukartonki, SBB (Solid Bleached Board).....	8
2.1.3	CUK- eli Carrier board -kartonki (Coated Unbleached Kraft)	9
2.1.4	Uusiokartonki, WLC (White-lined Chipboard)	9
3	KARTONKIKOTELOIDEN VALMISTUS.....	11
3.1	Painatus ja lakkaus.....	12
3.1.1	Offsetpainatus	12
3.1.2	Syväpainatus	13
3.1.3	Fleksopainatus.....	14
3.2	Kotelon koristelut	15
3.2.1	Foliopuristus.....	15
3.2.2	Embossaus.....	16
3.3	Stanssaus.....	17
3.4	Kotelon liimaukset.....	19
4	KOTELOKARTONGIN JALOSTETTAVUUDEN TESTAUSMENETELMÄT... 22	
4.1	Stanssauksen arviointiin liittyvät testausmenetelmät	22
4.2	Kotelon liimauksen arviointiin liittyvät testausmenetelmät	28
4.3	Valmiin kotelon toimintakykyä arvioivat testausmenetelmät	30
4.4	Laitehankintaehdotukset	31
5	ZWICK&ROELL BCT-MITTAUKSEN KEHITYSIDEOITA	33
5.1	Puristusvoiman määrittäminen videotallenteen avulla	34
5.2	Tukityökalu kotelon asettamiselle	37
5.3	Kansien sulkeminen teipillä.....	40
5.4	Puristusnopeuden hidastaminen.....	41
6	YHTEENVETO	46
7	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Metsä Board Äänekosken teknologiakeskuksella, joka tarjoaa useita erilaisia mittaus-, testaus- ja analysointipalveluja kartonkituotteisiin liittyviä tuotekehitysprojekteja ja erilaisten kartongin tuotannossa tai jalostuksessa ilmenevien ongelmatilanteiden ratkaisemista varten.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää teknologiakeskuksen kartongin jalostettavuuteen liittyvien testausmenetelmien muodostamaa laitekokonaisuutta, jolla voidaan tutkia kotelon valmistusta laboratoriomittausmenetelmin. Tässä työssä muodostetaan kartongin jalostettavuudelle keskeisten ominaisuuksien mittaamiseen ja kartonkipakkausten toimintakyvyn testaamiseen käytettävistä laitteista kokonaisuus, jonka avulla voidaan ennustaa miten eri tyyppiset kartongit soveltuvat jalostettaviksi erilaisten tuotteiden pakkauksiksi. Teknologiakeskuksella jo olevien kartongin mittaus- ja testausmenetelmien lisäksi työssä tehdään ehdotus uusista laitteista, joiden avulla voitaisiin laajentaa kartongin jalostettavuuden arviointiin liittyviä testaus- ja analysointimahdollisuuksia. Lisäksi työssä annetaan kehitysehdotuksia Zwick&Roell -monitoimimittalaitteella tehtävälle kartonkikotelon puristustestille, jolla testataan kartonkikoteloiden puristuskestävyyttä.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa kerrotaan kotelon valmistuksen eri vaiheista, jotka muodostuvat pääosin kartongin painatuksesta, stanssauksesta ja koteloaihion liimauksista. Teoriaosuudessa lisäksi kerrotaan eri valmistusvaiheiden asettamista vaatimuksista kartongin eri ominaisuuksien suhteen.

Opinnäytetyön kokeellisessa osuudessa muodostetaan laitekokonaisuus teknologiakeskuksen nykyisistä laitteista ja uusista mahdollisista laitehankinnoista, joiden avulla voidaan tutkia kartongin jalostettavuutta koteloksi. Kokeellisessa osuudessa on lisäksi tehty erilaisiin mittauksiin perustuvia tutkimuksia Zwick&Roell -mittalaitteella tehtävälle kotelon puristustestaukselle. Tutkimusten avulla on pyritty antamaan kehitysehdotuksia, joiden avulla kotelon puristustestausmenetelmää voitaisiin parantaa.

2 KARTONKIKOTELOT

Kartonkikotelot ovat kartongista valmistettuja yleisimmin kuluttajapakkauksina käytettäviä pakkauksia, joiden avulla tuote saadaan nopeasti, suojattuna ja tehokkaasti teollisen jakelun kautta kauppaan ja kuluttajalle. Kotelo on osa tuotetta, ja siksi kotelon välittämä visuaalinen vaikutelma on myös tärkeä tuotteen mielikuvan kannalta. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 143.) Tyypillisiä kartonkikoteloihin pakattavia tuotteita ovat erilaiset elintarvikkeet, kuten puurohiutalet, murot, keksit, riisit ja pakasteet. Elintarviketuotteiden lisäksi myös esimerkiksi monet elektroniikka-, pesuaine-, kosmetiikka-, lääke-, hammastahna- ja savuketuotteet on totuttu näkemään pakattuina kartonkikoteloihin kauppojen hyllyillä.



KUVA1. Kartonkikoteloita

2.1 Kartonkikoteloiden raaka-aineet

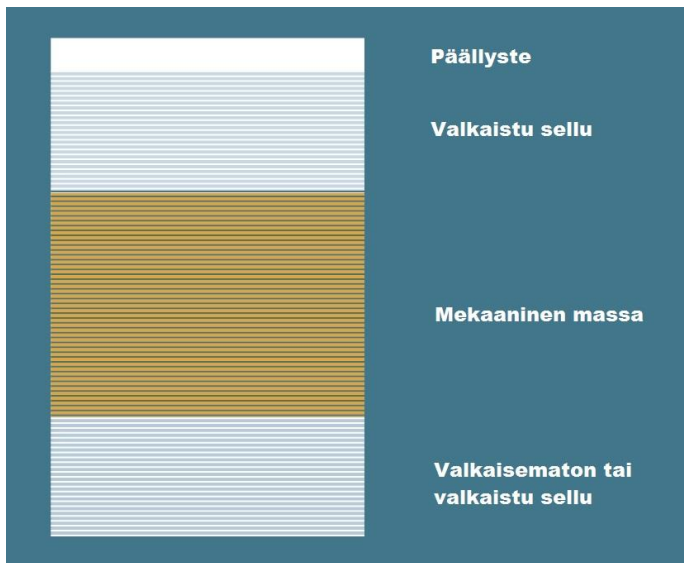
Kartonkikotelot valmistetaan nimensä mukaisesti kartongista, jonka pääraaka-aine on selluloosakuitu. Selluloosakuitu on peräisin puusta tai muusta biomassasta ja käsittelemällä sitä eri tavoin saadaan erilaisia massoja. Kartonkiin käytettäviä massoja on periaatteessa neljää eri lajia: sellua, hio-

ketta/hierrettä, kemihierrettä ja keräyskuitua. (Karhuketo ym. 2004, 169). Sellu on kemiallista kuitumassaa, jota saadaan valmistettua niin sanotulla keittomenetelmällä. Kemiallisen keittomenetelmän avulla puusta pyritään erottamaan lähes kaikki sen sisältämä kuituja toisiinsa sitova ligniini. Hioke ja hierre ovat mekaanista massaa, jolloin ligniiniä pehmennetään lämmön ja rasituksen avulla. Tämän jälkeen kuidut erotetaan toisistaan mekaanisen rasituksen avulla, mutta kemiallisesta massasta eroten mekaaninen massa sisältää runsaasti ligniiniä. Kemihierre, josta usein käytetään nimeä CTMP-massa, on lievästi kemiallisesti esikäsiteltyä ja mekaanisen kuidutuksen avulla valmistettua kuitumassaa. CTMP-massat sijoittuvat sellujen ja mekaanisten massojen välimaastoon. Keräyskuitu taas on kierätetystä paperi- ja kartonkituotteista pulpperoitua kuitumassaa. (KnowPap. 2018)

Erilaisiin käyttötarkoituksiin on olemassa runsaasti erilaisia kartonkilaatuja, jotka ovat yleensä pinnalta pigmenttipäällystettyjä. Jotkut elintarviketuotteet vaativat pakkaukselta barrier- eli läpäisemättömyyssuojaa, jolla voidaan estää, että ympäristön kosteus, kaasut, valo tai aromit eivät pääse pilamaan pakkauksen sisällä olevaa tuotetta ja myös ettei sisällä oleva tuote pääse pakkauksen ulkopuolelle. Tällöin kartongin taustassa voi olla suojakerroksena muovi tai alumiinifolio, jolla saadaan muodostettua tiiveyssuoja edellä mainittuja tekijöitä vastaan. Kartonkikoteloihin käytettävät kartongit jaetaan rakenteensa ja massakoostumuksensa mukaan yleisesti neljään kartonkilajiin, jotka rakentuvat yleisimmin kolmesta kuitukerroksesta. (Karhuketo ym. 2004, 168.)

2.1.1 Taivekartonki, FBB (Folding Boxboard)

Taivekartongin pintakerros on valkaistua sellua, runkokerros hioketta tai kemihierrettä ja taustakerros valkaistua sellua. Jäykkyydeltään taivekartonki on paras kotelokartonki ja sen ominaisuudet painatuksen, pakkauskoneajettavuuden sekä tukevuuden suhteen ovat optimaaliset. Taivekartonki on yleisin Suomessa käytetty kotelopakkauskartonki ja yleisimmät käyttöalueet taivekartongille ovat elintarvike-, savuke-, kosmetiikka-, ja lääkepakkaukset sekä graafiset tuotteet. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 143.)



KUVA2. Taivekartongin rakenne (Iggesund 2010, 20, muokattu)

2.1.2 Sellukartonki, SBB (Solid Bleached Board)

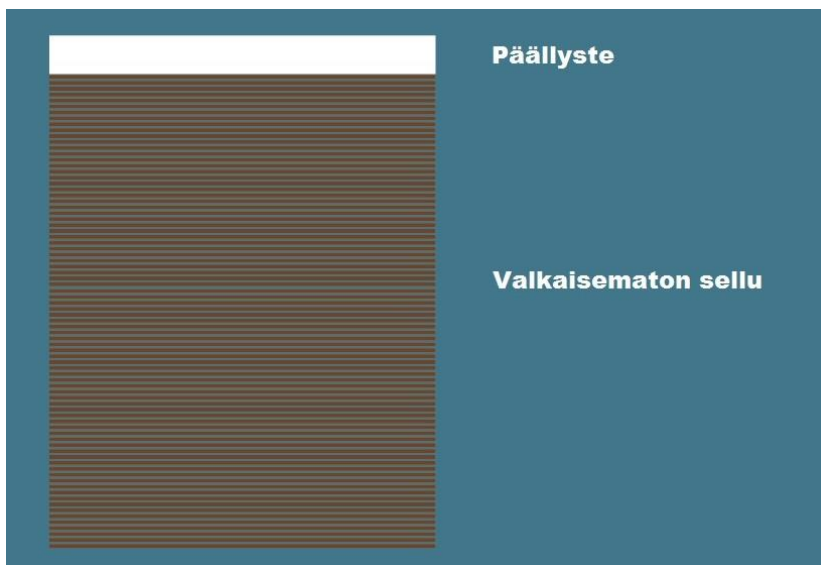
Sellukartonki on rakenteeltaan yksi- tai useampikerroksinen ja sen kerrokset ovat valkaistua sellua. Sellukartongin kosteuden kesto on parempi kuin taivekartongilla. Jäykkyydessä sellukartonki ei pääse samalle tasolle taivekartongin kanssa, mutta repäisyä vastaan se on taivekartonkia lujempaa. Painatus- ja koneajokelpoisuus ovat yleensä hyviä. Valkaistuja sellukartonkeja käytetään tupakka-, makeis-, kosmetiikka- ja lääkepakkauksissa sekä graafisen teollisuuden tuotteissa. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 144.)



KUVA3. Sellukartongin rakenne (Iggesund 2010, 20 muokattu)

2.1.3 CUK- eli Carrier board -kartonki (Coated Unbleached Kraft)

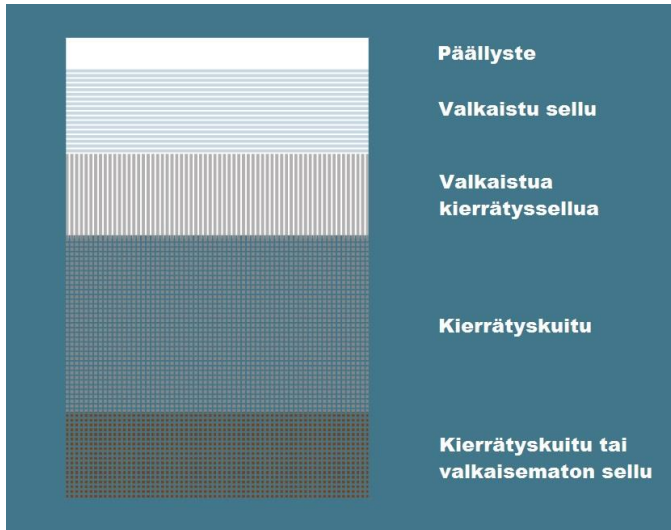
Carrier board -kartonki on valkaisuamatonta, kuitukerrokseltaan ruskeata sellukarttonkia. Painatusominaisuudet näissä kartongeissa jäävät jälkeen niin taive- kuin sellukartongeista, koska valkoisen painopinnan kartongille muodostaa vain päällystekerros. Carrier board -kartongin suurin käyttöalue on juomien ryhmäpakkauksissa, joissa vaaditaan märkälujuuutta ja suurta sitkeyttä. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 144.)



KUVA4. CUK-kartongin rakenne (Iggesund 2010, 20, muokattu)

2.1.4 Uusiokartonki, WLC (White-lined Chipboard)

Uusiokartongeissa käytetään kierrätyskuitua yleensä kaikissa kerroksissa. Tarvittavien lujuus-, painatus- ja jalostusominaisuuksien minitason saavuttamiseksi tarvitaan erityisesti pintakerrokseen joko korkealaatuista kierrätyskuitua tai sellua. Pintakerros on yleensä pigmenttipäällystetty ja taustakerros harmaa. Jäykkyysarvot jäävät selvästi jälkeen taivekartongeista käytetyn kuidun ominaisuuksista johtuen. Uusiokartonkien ajettavuus kotelovalmistuksessa ja pakkauslinjalla on usein selvästi ensikuitukartonkeja huonompi muun muassa pölyävyyden ja laatuvaihtelujen takia. Painettavuus WLC-kartongeilla on myös yleensä ensikuitukartonkeja heikompi. Suomessa uusiokartonkien yleisimpiä käyttökohteita ovat erilaiset display-esittelykotelot, pesuainepakkaukset ja vähäisessä määrin elintarviketotelot. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 144.)



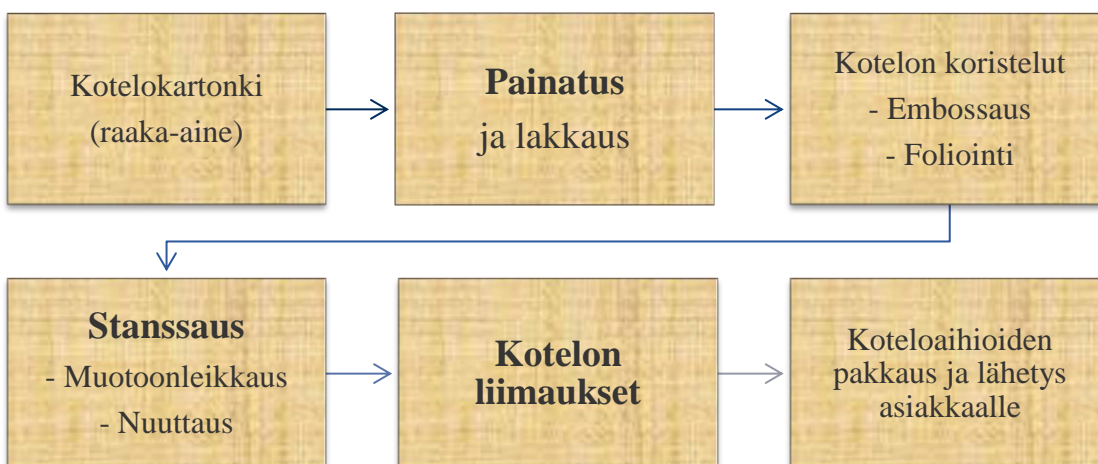
KUVA5. Esimerkkirakenne uusikartongista (Iggesund 2010, 21, muokattu)

3 KARTONKIKOTELOIDEN VALMISTUS

Suurin osa kartonkikotelotilauksista ovat asiakastilauksia, jolloin jokainen työ on suunniteltava erikseen ja tehtävä tarkkojen spesifikaatioiden mukaan. Tuotantoa varten tulee ensiksi määrittää rakenne ja mitat valmistettaville kotelolle. Kun kotelorakenne ja -mitat on lyöty lukkoon, voidaan työlle suunnitella painoarkki eli arvioida kuinka suurella painoarkilla kyseinen työ kannattaa tehdä. Kotelot asetetaan arkille niin, että kartonkia kuluu mahdollisimman vähän, eli kotelot yritetään mahdollisuuksien mukaan asetella limittäin. (Karhuketo ym. 2004, 171.)

Kartongin jalostajat ja kartonkikoteloiden käyttäjät vaativat kartongilta erilaisia asioita. Tärkeimmät ominaisuudet ovat kartongin lujuusominaisuudet, painettavuus, elintarvikekelpoisuus ja pakkausmekeltoisuus. Kotelon valmistuksen eri vaiheet kohdistavat kartonkiin erilaisia rasitteita, jolloin kartongin on täytettävä eri vaiheille asetetut tyypilliset vaatimukset hyvän jalostettavuuden saavuttamiseksi. (Karhuketo ym. 2004, 169)

Kartonkikoteloiden valmistus voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: painatukseen, stanssukseen ja liimaukseen. Painatuksessa kartongin pintaan painetaan halutut kuvat ja tekstit. Stanssauksessa koteloihio leikataan irti kartonkiarkista ja tehdään siihen tarvittavat taiteurat. Liimauksessa kotelon sivut yhdistetään liimaamalla, jonka jälkeen koteloihiot pakataan ja lähetetään asiakkaalle. (Karhuketo ym. 2004, 171.)



KUVIO1. Kotelon valmistusvaiheet

3.1 Painatus ja lakkaus

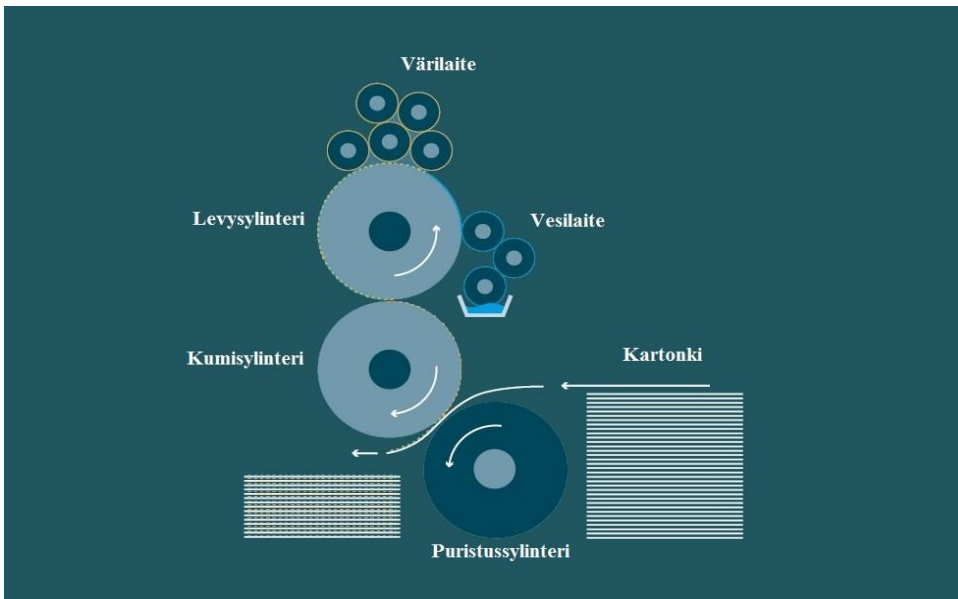
Lähes kaikki kotelopakkaukset sisältävät jonkinlaista painatusta. Painatuksen tehtävä on edistää tuotteen myyntiä, sisältää tietoa tuotteesta sekä toimia tuotteen tunnistena, sisältäen esimerkiksi viiva-koodin. Koska kartongit pinotaan päällekkäin varastointia ja kuljetusta varten, painatus usein suoja-taan mekaaniselta kulumiselta painatuksen päälle asetettavan suojaavan lakkakerroksen avulla. Lak-kauksen muita hyötyjä ovat kiillon paraneminen ja lyhyempi viipymäaika kotelon valmistuksessa, kun musteen ei tällöin tarvitse antaa kuivua. Yleensä lakkaus suoritetaan heti painatuksen jälkeen painokoneen lakkausyksiköllä. Yleisin lakkauksessa käytettävä lakkatyyppe on vesidispersiolakka. (KnowPap. 2018)

Kartonkikoteloille on olemassa erilaisia painomenetelmiä. Painomenetelmän valinta ja sen soveltu-vuus määräytyvät aina painotuotteen käyttötarkoituksen, tuotteelta vaadittavien ominaisuuksien ja painoskoon mukaan. Tärkeimpiä pakkauspainomenetelmiä ovat offset-, syvä- ja fleksopaino. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 172.) Seuraavissa alakappaleissa on kerrottuna lyhyesti edellä mainituista painomenetelmistä. Kustakin painomenetelmästä on olemassa erilaisia painokonerakenteita, joten alla olevat kuvat esittävät vain peruseriaatteet kyseisistä painomenetelmistä.

3.1.1 Offsetpainatus

Suurin osa kartonkikoteloista painetaan arkkisyöttöisillä offset-painokoneilla. Offset-tekniikka on edullinen tapa painaa kotelopakkauksia alhaisten aloituskustannusten takia verrattuna muihin paino-menetelmiin. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 147.) Offset-menetelmän toiminta perustuu fysikaalis-kemiallisiin ilmiöihin, joissa painoväriin, painolevyn ja menetelmälle tärkeän kostutusveden vuoro-vaikutuksilla on keskeinen merkitys. Painava ja painamaton pinta ovat koostumukseltaan eri materi-aalia, jolloin painamaton pinta ottaa vastaan kostutusvettä ja painavalle pinnalle siirtyy painoväriä. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 177.) Painoväri siirtyy ensin painolevyltä kumille ja lopulta kumilta kartongille. Tämän takia offset soveltuu myös epätasaiselle alustalle, kuten kohokuvioidulle karton-gille, koska kumi joustaa ja siirtää painoväriä myös kartonkipinnan syvennyksiin. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 147.) Offset-painovärit ovat tahmeampia kuin syvä- tai fleksopainossa. Koska paino-värikerros siirtyy painokumilta halkeamalla, tahmea painoväri vaatii painettavalta kartongilta suurta pintalujutta. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 177.)

Kartongin jalostukseen tarkoitettut arkkioffsetkoneet ovat yleensä 6-värisiä, ja väriyksiköiden jälkeen on yksi tai kaksi lakkayksikköä. Koneiden huippunopeudet ovat 15 000 arkkiä tunnissa. (Karhuketo ym. 2004, 171.) Rainaoffsetissa voidaan normaalisti painaa vain yhtä pakkauskokoa, mutta taivekartongin painatus rainaoffsetilla on yleistynyt suurissa tuotantoerissä, kuten kertakäyttökuppien ja tietyn kokoisten jäätelörsioiden valmistuksessa. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 177.)

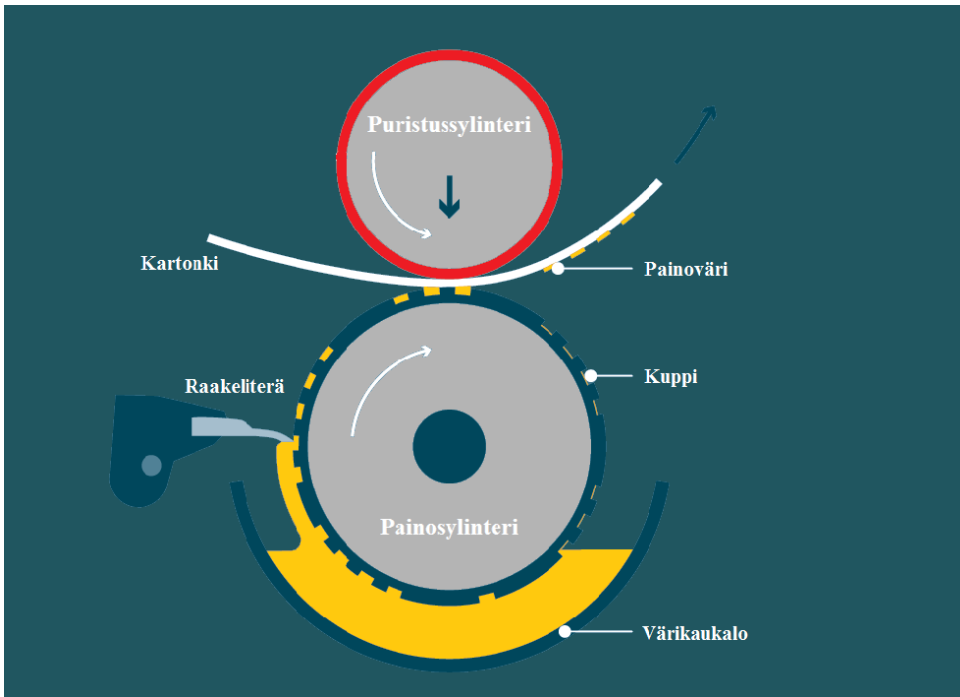


KUVA6. Offset-painomenetelmän periaatekuva (Iggesund 2010, 160, muokattu)

3.1.2 Syväpainatus

Pienekköjen koteloiden suuret painosmäärät, kuten savukepakkaukset, painetaan tyypillisesti syväpainomenetelmällä. Syväpainokoneet ovat pääasiassa ratamuotoisen kartongin painamista suoraan painosylintereiltä kartongin pintaan, sylinterien pintaan on syövytetty tai kaiverrettu painovärin siirtämistä varten pieniä kuppeja. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 147.)

Pakkaussyväpainokoneet koostuvat tyypillisesti 8-12 painoyksiköstä, jolla jokaisella on oma kuivain. Pakkaussyväpainokoneiden tuotantonopeudet ovat tyypillisesti luokkaa 200-500 m/min. Syväpainomenetelmän haitta on aikaa vievä ja korkea sylinterien valmistuskustannus. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 176.)

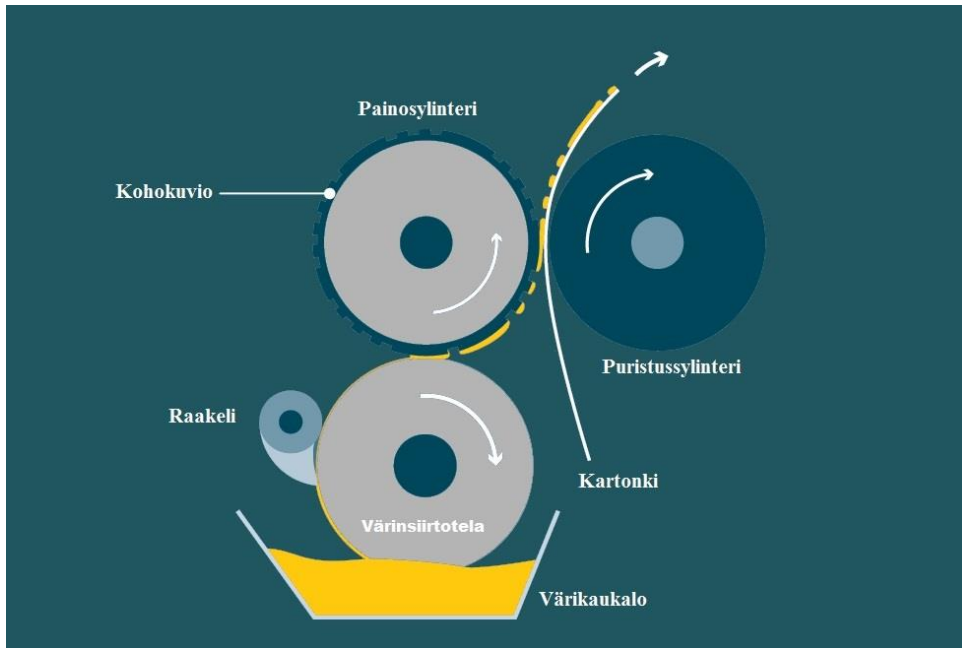


KUVA7. Syväpainomenetelmän periaatekuva (Iggesund 2010, 166, muokattu)

3.1.3 Fleksopainatus

Fleksopaino on rainamuotoisen materiaalin painomenetelmä, jota ei käytetä merkittävässä määrin kartonkikoteloiden painamiseen Suomessa. Fleksopainoa sanotaan myös kohopainomenetelmäksi, jossa painokuvio siirtyy kartonkiin kohokuvioisesta joustavasta materiaalista valmistetulta painolaa-talta painettavalle materiaalille. Joustavan painolevyn ja painettavan materiaalin välinen alhainen nip-pipuristus on eduksi painettaessa mekaaniselle puristukselle herkille painoalustoille, kuten aaltopah-ville. Fleksolla painetaan aaltopahvin lisäksi ns. bulkkituotteiden, kuten leipomo-, hiutale-, ja muro-tuotteiden pakkauksia. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 147.)

Fleksokoneissa voi olla 2-10 painoyksikköä ja koneet ovat yleensä nopeudeltaan 300-400 m/min luokkaa. Fleksopaino soveltuu pitkien painosmäärien valmistukseen. Painatuksen laatu sen sijaan ei yllä yhtä korkealle tasolle kuin offsetilla tai syväpainolla painettaessa. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 177.)



KUVA8. Flexopainomenetelmän periaatekuva (Iggesund 2010, 163, muokattu)

3.2 Kotelon koristelut

Painettuun kartonkiin voidaan halutessa tehdä visuaalista ulkoasua parantavia ja myyntiarvoa lisääviä yksityiskohtaisia koristeluja. Monesti esimerkiksi konvehtirasioiden tai kosmetiikkapakkausten ulkoasua voidaan koristella folioinnin ja embossauksen eli kohokuvioinnin avulla.

3.2.1 Foliopuristus

Foliopuristuksessa metalloidusta folionauhasta siirretään lämmön ja puristuksen avulla eri väreisiä koristenauhoja kartongin pintaan (KUVA9). Tavallisimmat värit ovat kulta tai hopea, mutta on mahdollista saada myös useita muita, yleensä voimakkaita sävyjä. Foliopuristus tehdään yleensä painetulle kartonkiarkille stanssautuskoneella joko erikseen tai stanssauksen yhteydessä. (Karhuketo ym. 2004, 175.)

Kartongin pinnan on oltava puhdas ja sileä laadukkaan ja tasaisen folioinnin aikaansaamiseksi, jolloin kartongin pintaan kiinnittyvän folionauhan alle ei jää epäpuhtauksia tai pinnan epätasaisuuden muodostamia kumpuja. (Iggesund 2010, 169)

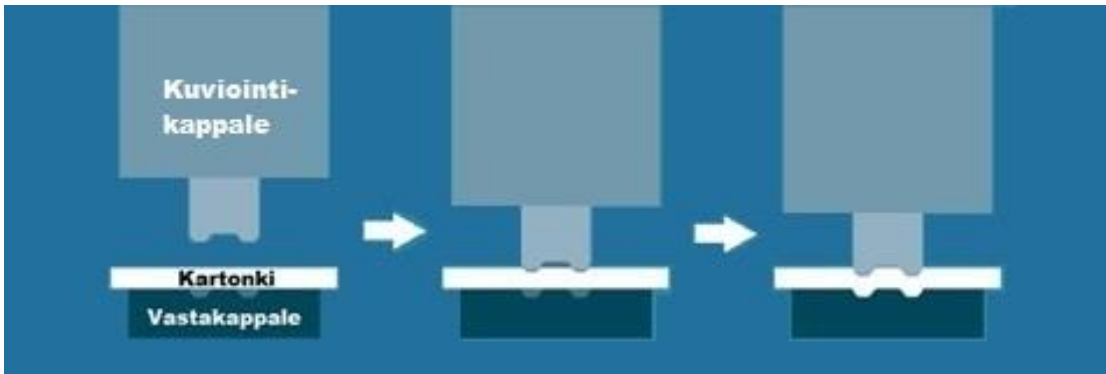


KUVA9. Foliopuristuksen periaate (Iggesund 2010, 169, muokattu)

3.2.2 Embossaus

Embossauksella eli kohokuvioinnilla tarkoitetaan kotelonvalmistuksessa kartongin pakottamista eri tasolle puristuksen avulla (KUVA10). Embossauksen avulla voidaan esimerkiksi korostaa jotakin yksityiskohtaa painatuksesta. Embossaus suoritetaan yleensä stanssauksen yhteydessä stanssityökaluun sijoitetulla kohokuviointityökalulla. (Karhuketo ym. 2004, 174.) Embossausajon tehdään usein erillisenä ajona, kun kyseessä on vaativa kuviointi tai kun kuvio on liian lähellä taivutuslinjaa (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 147).

Kohokuvioitavalta kartongilta vaaditaan hyvää muokattavuutta, jotta sen kerroksia voidaan pakottaa eri tasoille pintakerroksia rikkomatta. Tarkka ja pysyvä muodonmuutos saadaan parhaiten toteutettua lujalle ja tiheälle kartongille. Kerrosten välisten tiheyksien tulee olla mahdollisimman yhteneväiset ja kartongin murtovenymän tulee olla tarpeeksi vahvalla tasolla laadukkaan, ehjän kohokuvioinnin toteuttamiseksi. Kartongin hyvä muokattavuus saadaan aikaan pitkällä ja hyvin sitoutuvilla kuiduilla, jotka ovat tyypillisiä etenkin sellusta valmistetuille kartongeille. Siksi sellukartonki on tyypillisesti paras kartonkilaji jäljentämään vaativiakin kohokuviointeja. Taivekartonki on toinen laji, jolle saadaan myös hyvin jäljennettyä visuaalista ulkonäköä parantavia kohokuviointeja. (Iggesund 2010, 172)



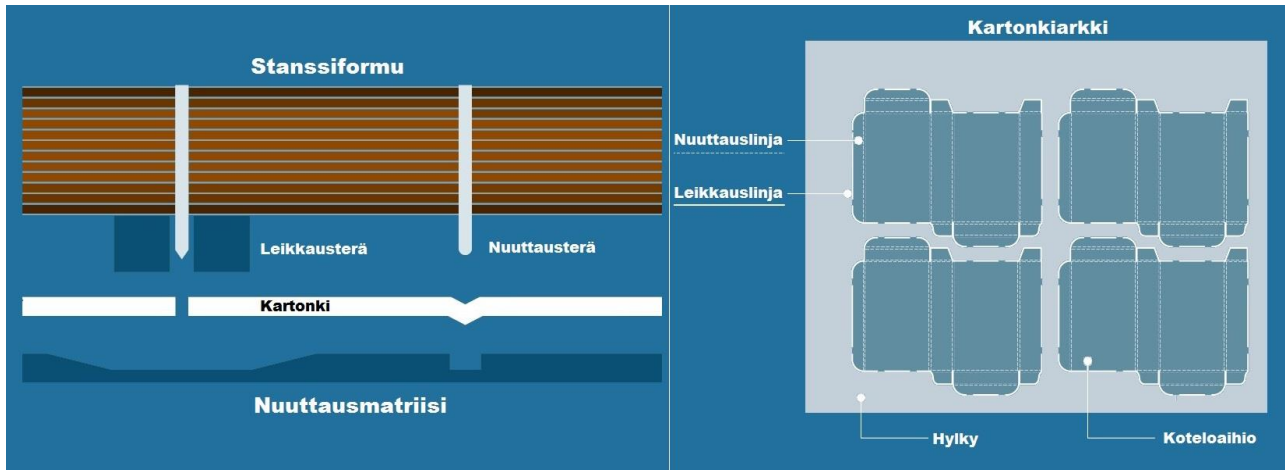
KUVA10. Embossauksen periaate (Iggesund 2010, 171, muokattu)

3.3 Stanssaus

Stanssautuskoneella koteloaihiot erotetaan kartonkiarkista tai -rullasta ja samalla aihioihin muodostetaan taiveurat hallitun taittamisen vuoksi. Kotelon muodostus tehdään muottityökalujen; stanssiformun ja nuuttausmatriisiin, avulla. Painettu kartonki ohjataan puristukseen muottityökalujen väliin, jolloin leikkausterät leikkaavat kartongin haluttuun muotoon ja nuuttausterät muodostavat koteloaihioon taiveurat eli nuutit. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 148).

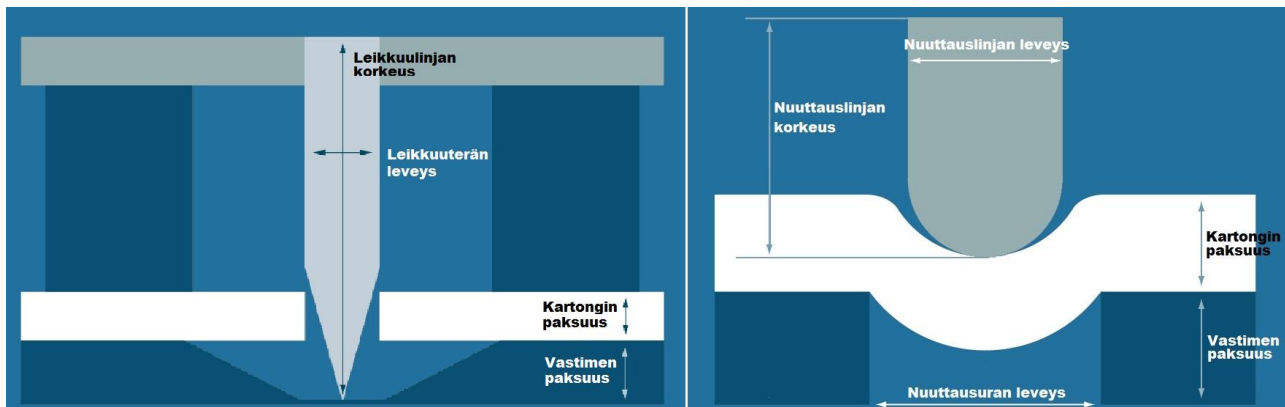
Arkkisyöttöisissä ns. laakastanssautuskoneissa on kolme työvaihetta. Ensin tapahtuu itse stanssaus eli koteloaihion muodostus, jonka jälkeen repijälaitteella poistetaan koteloaihioiden välissä olevat leikkausjätteet. Viimeisessä vaiheessa koteloaihiot irrotetaan toisistaan ja pinotaan suoraan kuljetuslavalle. (Karhuketo ym. 2004, 174.) Rainamuotoisen kartongin stanssaaminen tapahtuu rotaatiostanssilla, jolloin stanssityökalu on muotoiltu sylinterin ympärille. Tällöin stanssaus tapahtuu jatkuvana pyörivänä liikkeenä, jolloin päästään suuriin ajonopeuksiin. Rotaatiostanssautuskoneita käytetään vain todella suurten painosmäärien kohdalla, kuten aaltopahvin jalostuksessa sekä savuke- ja nestepakkausten valmistuksessa. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 148).

Stanssautuksessa eri kotelomalleja varten täytyy valmistaa aina erilliset muottityökalut. Stanssiformu rakennetaan yleensä sahaamalla erikoisvaneriin urat, joihin upotettavat terät muodostavat erilliset linjat muotoonleikkausta ja taiveurien muodostamista eli nuuttausta varten.



KUVA11. Stanssityökalut sekä niiden avulla muodostetut leikkaus- ja nuuttauslinjat (Iggesund 2010, 174, 175, muokattu)

Stanssiformun rakentamisen perusteet saadaan koteloaihion mallista sekä kartongin paksuudesta ja lajista. Eri kartonkilaaduille on olemassa stanssaussuositukset, joissa määritellään kullekin lajille soveltuvat terien korkeudet, vastimien leveydet ja paksuudet. (Karhuketo ym. 2004, 173.)



KUVA12. Stanssityökalujen mitat (Iggesund 2010, 174, 179, muokattu)

Kotelokartongin muotoonleikkaus ja nuuttaus on riippuvainen useasta eri tekijästä, jotta stanssauskooneen toisesta päästä saadaan vastaanotettua laadukkaita koteloaihioita seuraavia jalostusvaiheita varten. Ensinnäkin stanssaustyökalujen tulee olla hyvässä kunnossa ja niiden mitat tulee olla oikein suunniteltu stanssattavan materiaalin ja valmistettavan koteloaihiomallin mukaisesti, jotta koteloaihio irtaantuu arkista sujuvasti ja samalla aihioon syntyy kotelon hyvän taittavuuden kannalta juuri oikeanlaiset taiveurat.

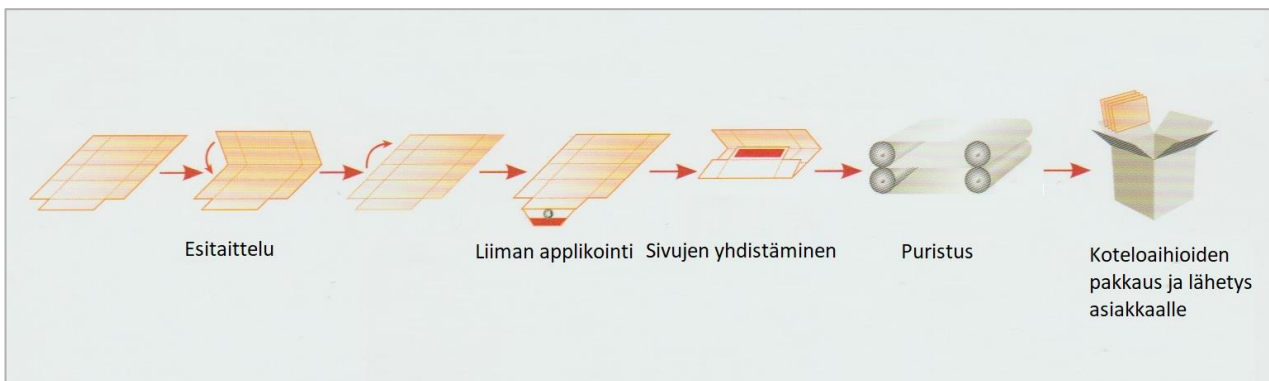
Onnistunut muotoonleikkaus vaatii kartongilta hyviä lujuusominaisuuksia, etenkin vetoluujuden ja repäisyjuuden suhteen. Stanssaustyökalun leikkuuteriin tehdään pieniä lovia leikkuulinjan eri kohtiin, jolloin koteloaihion ja arkin välille muodostuu ns. kapeita ”siltoja”. Koteloaihio irrotetaan arkista vasta irrotusvaiheen aikana yleensä puhalluksen avulla, jolloin koteloaihio kerätään talteen ja loppuosa kartonkiarkista kerätään hyllynä. Kartongin tulee olla tarpeeksi lujaa, jotta koteloaihio pysyy arkissa kiinni ohuiden ”siltojen” kannattamana eikä se irtoa ennenaikaisesti aiheuttaen häiriöitä stanssauskoneella. Kartongin kosteuspitoisuus vaikuttaa myös muotoonleikkaamiseen. Liian suuri kosteuspitoisuus tekee kartongista liian lujaa, mikä vaikeuttaa kartongin leikkaamista ja koteloaihion irrottamista arkista. Liian alhainen kosteuspitoisuus taas tekee kartongista hauraampaa, mikä usein aiheuttaa kuitujen rikkoontumista kartonkia käsiteltäessä ja voi aiheuttaa ennen aikaista koteloaihion irtaantumista arkista. (Iggesund 2010, 175)

Onnistuneiden taiveurien eli nuuttien muodostaminen stanssausten aikana vaatii kartongilta hyvää nuuttavuutta. Kartongin nuuttavuus on hyvä, kun se kestää nuuttauksessa rikkoontumatta ja kun se taivutettaessa taittuu helposti muodostuneen nuutin kohdalta. Erytyypiset kartongit käyttäytyvät nuuttauksessa eri tavoin, minkä vuoksi aiemmin sanotusti stanssaustyökalujen mitat tulee aina suunnitella stanssattavan materiaalin mukaan. Kartonkiin kohdistuu nuuttaessa vetojännitystä, puristusta ja venyttävää voimaa. Siitä johtuen kartongin hyvä nuuttautuvuus edellyttää etenkin kartongin pintakerrokselta hyvää lujuutta ja suurta murtovenymää sekä kartongin sisäkerroksilta suurta pysyvää muodonmuutosta puristettaessa, jotta kartonki kestää nuuttauksen murtumatta. Hyvien nuuttien muodostumiseksi kartongin palstautumislujuuden pitää myös olla sopivan alhainen. Mikäli kartongin sisäiset kerrokset ovat sitoutuneet toisiinsa liian lujasti, kartongin eri kerrokset eivät palstaudu halutunlaisesti. Kartongin jäykkyys myös olennainen tekijä, jotta koteloaihioon saadaan muodostettua jämäkät nuutit ja ne taipuvat halutunlaisesti jatkojalostus- ja pakkauslinjoilla antaen myös lopputuotteelle ryhtiä ja lujuutta. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 134)

3.4 Kotelon liimaukset

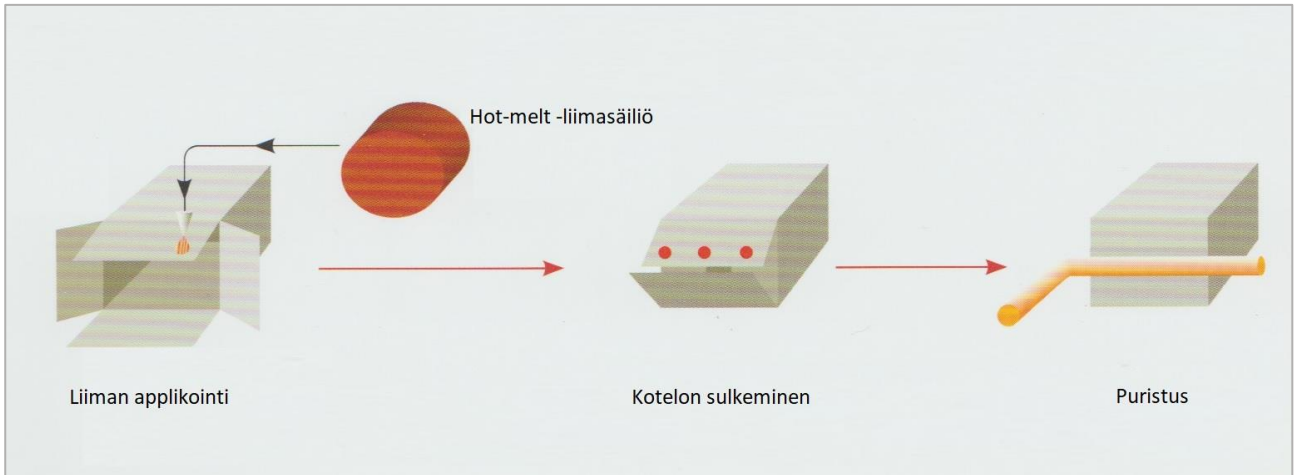
Useimmiten kartonkikotelot toimitetaan asiakkaille sivuliimattuina taittelemattomina koteloina. Siten kotelon valmistuksen viimeinen vaihe on sivuliimaus, jossa stanssattujen koteloaihioiden sivut yhdistetään toisiinsa sivuliimauskoneella. Sivuliimauksessa voidaan käyttää vesiohenteista dispersioli-

maa eli kylmäliimaa tai hot-meltia eli sulateliimaa. Dispersioliimauksessa liima nostetaan liimaukaskaukalosta ohuella levityspyörällä kotelon liimasaumaan, kun taas hot-meltin levittämiseen tarvitaan liiman sulattamiseen ja levittämiseen tarkoitettua erillistä hot-melt -laitteita. PE-taustaisten koteloiden, kuten jäätelökoteloiden, sivujen yhdistäminen voidaan tehdä myös niin sanotun kuumasaumausmenetelmän avulla. Kuumasaumauksessa koteloihion sivut yhdistetään toisiinsa joko lämpö- tai kuuma-ilmalaitteen avulla. Tällöin kotelokartongin taustapuolella oleva päällystemuovikerros sulatetaan ja toinen koteloihion sivuista lämmitetään, jolloin sula muovi tarttuu esilämmitetyn kartongin pintaan muodostaen nestetiiviin sauman kotelolle. Sivuliimauksessa ennen varsinaista liiman levitystä liimasaumaan tehdään kotelon esitaitot, jotka takaavat toimivuuden pakkauslaitteella. Varsinaisen liimauksen jälkeen kotelot menevät puristushihnojen väliin ja puristusmaton alle. Kotelot pakataan toimitusta varten yleensä aaltopahvilaatikkoon joko käsin tai automaattipakkauslaitteiden avulla. (Karhuketo ym. 2004, 175)



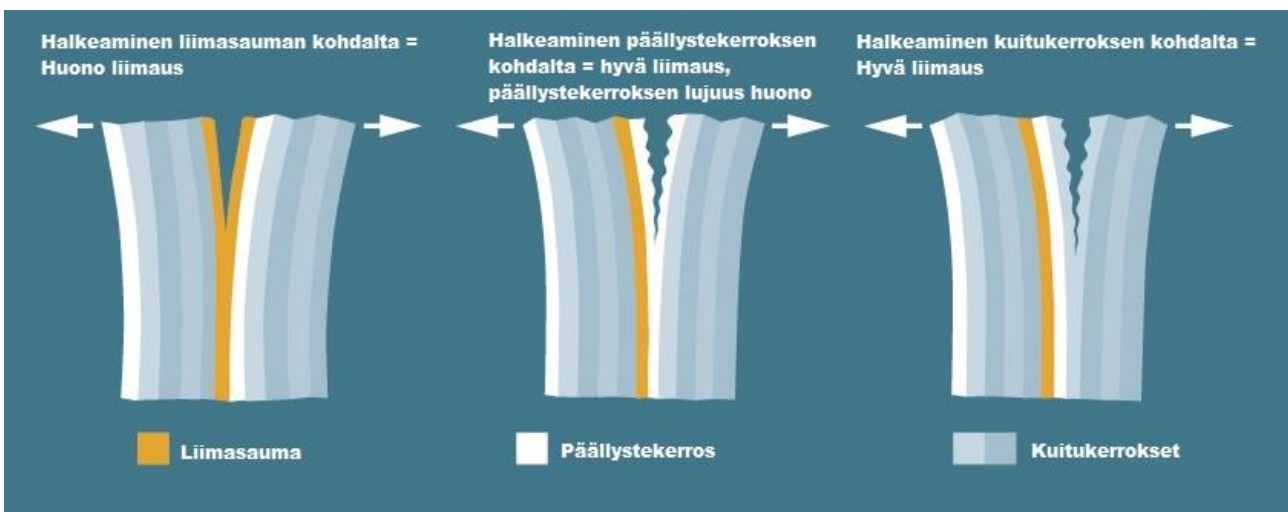
KUVA13. Sivuliimauksen periaate (Järvinen 2013, 33, muokattu)

Kartonkikoteloon voidaan halutessa lisätä ikkuna, josta näkee pakkauksen sisällä olevan tuotteen. Ikkunamateriaalina käytetään joko kelmua tai muovikalvoa. Ikkuna liimataan erillisellä ajolla ikkunanliimauksella kotelon stanssatun aukon päälle. (Järvi-Kääriäinen & Ollila 2007, 148). Pakkauslaitteella sivuliimattujen taittelemattomien koteloiden pohja- ja kansiläpät usein suljetaan vielä liiman avulla, kun kotelot on täytetty pakattavalla tuotteella. Kansien ja pohjien sulkeminen tapahtuu useimmiten pisteliimauksen avulla, jolloin liimaa kohdistetaan tiettyihin kohtiin pieninä pisteinä. Tiettyjen kotelomallien kohdalla, jolloin sivuliimausta ei tarvita, voidaan koteloa taiteltaessa yhdistää tietyt kohdat kotelosta pisteliimauksen avulla, jolloin saadaan muodostettua halutunlainen kotelo. Konvehtirasioiden rakenteet ovat tyypillisiä esimerkkejä, joiden liimaukset tehdään pisteliimauksen avulla. (Savolainen 1998, 238)



KUVA14. Koteloiden sulkeminen liimauksen avulla (Järvinen 2013, 35, muokattu)

Hyvässä liimauksessa liimasauma pitää hyvin kartonkipinnat yhdessä. (Savolainen 1998, 237.) Hyvän liimauksen aikaansaamiseksi on tärkeää, että käytettävä liima soveltuu hyvin liimattavalle kartongille. Hyvä liimattavuus edellyttää kartongilta hyvää pintalujuutta ja sopivaa palstautumislujuutta. Kartonkien päällystekerroksen tulee olla myös tarpeeksi vahvaa ja hyvin sitoutunut kuitukerrokseen, jotta liimaus ei petä päällystykseen kohdalta. Liimaus on hyvä silloin, kun liimattuja pintoja eri suuntiin vedettäessä sauma pettää kuitukerroksen kohdalta. (Iggesund 2010, 194)



KUVA15. Liimasauman testaamista (Iggesund 2010, 100, muokattu)

4 KOTELOKARTONGIN JALOSTETTAVUUDEN TESTAUSMENETELMÄT

Tämän opinnäytetyön kokeellisessa osuudessa muodostettiin laitekokonaisuus Metsä Boardin teknologiakeskuksen nykyisistä ja mahdollisesti uusista laboratoriotiloihin hankittavista mittalaitteista, joiden avulla voidaan arvioida miten erilaiset kartongit soveltuvat jalostettavaksi koteloiksi, tutkia miten kartonkien jalostettavuutta voidaan kehittää sekä tutkia erilaisten kotelomallien toimintakykyä tuotepakkauksena. Aiemmin tämän työn teoriaosuudessa on jo kerrottu kotelon valmistuksen eri vaiheista ja niiden asettamista tyypillisistä vaatimuksista jalostettavalle kartongille. Tässä osuudessa esitellään painatusta ja kotelon koristeluja lukuun ottamatta muiden kotelon valmistusvaiheille tärkeiden kartongin ominaisuuksien mittaamenetelmiä, joiden avulla voidaan muodostaa tarvittava laitekokonaisuus jalostettavuuden arviointiin.

4.1 Stanssauksen arviointiin liittyvät testausmenetelmät

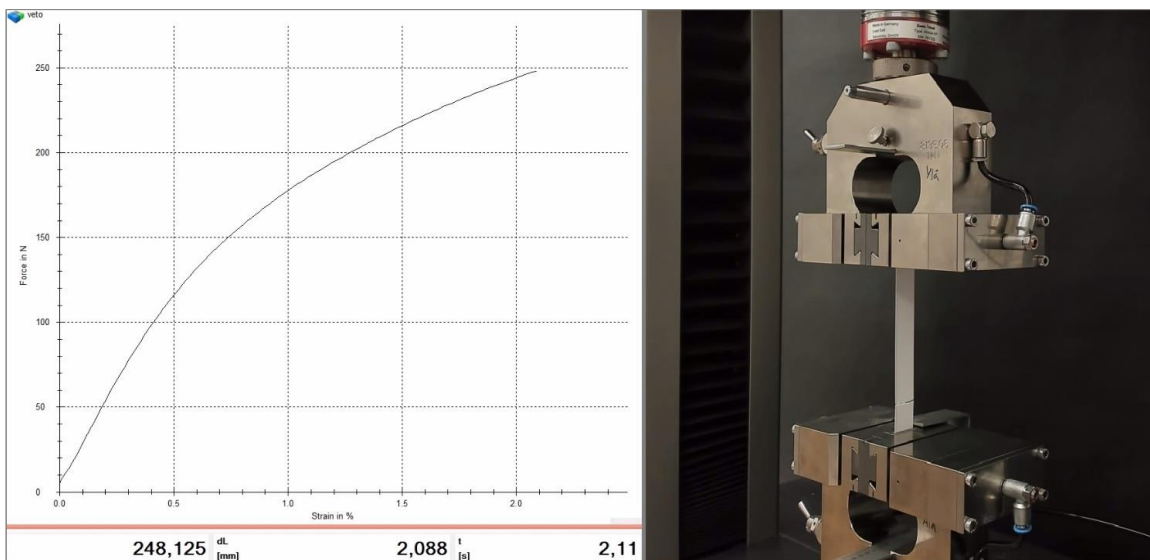
Stanssauksessa kartongilta vaaditaan terävän muotoonleikkuun ja hyvien nuuttausten aikaansaamiseksi etenkin hyviä lujuusominaisuuksia, jäykkyyttä ja sopivan alhaista palstautumislujuutta. Onnistunut koteloaihion leikkuu arkista edellyttää kartongilta hyvää vetolujuutta ja hyvää repäisyjuutta.

Vetolujuutta mitataan yleisesti L&W Tensile Strength -mittalaitteella, jolla vedetään 15 mm leveää kartonkiliuskaa tason suuntaisesti kummastakin päästä eri suuntiin. Mittauksen vetovälinä voi olla 10 cm tai 18 cm riippuen minkä standardin mukaan mittauksia suoritetaan. Mittalaite mittaa vetolujuuden maksimaalisena viivakuormituksena (kN/m), jonka kartonkiliuska kestää katkeamatta. Maksimikuorman lisäksi mittalaite mittaa samalla murtumiseen venytetyn kartonkiliuskan pituuden muutosta eli murtovenymää. Suuri murtovenymä on tärkeä ominaisuus hyvän vetolujuuden lisäksi kartongin hyvän nuutattavuuden kannalta.



KUVA16. Tason suuntainen vetolujuuden mittalaite, L&W Tensile Tester

Vetolujuutta voidaan mitata myös Zwick&Roellin vetolujuustesti -ohjelmalla, jossa 15 mm leveä kartonkinäyte kiinnitetään kahden vetoleuan väliin ja mittauksen käynnistyessä ylempi vetoleuka alkaa vetämään näytettä ylöspäin. Zwick&Roellin vetolujuustestissä mittausohjelma piirtää mittauksista kuvaajaa puristusvoimasta suhteellisen venymän funktiona.



KUVA17. Pystysuuntainen vetolujuusmittaus, Zwick&Roell -vetolujuustesti

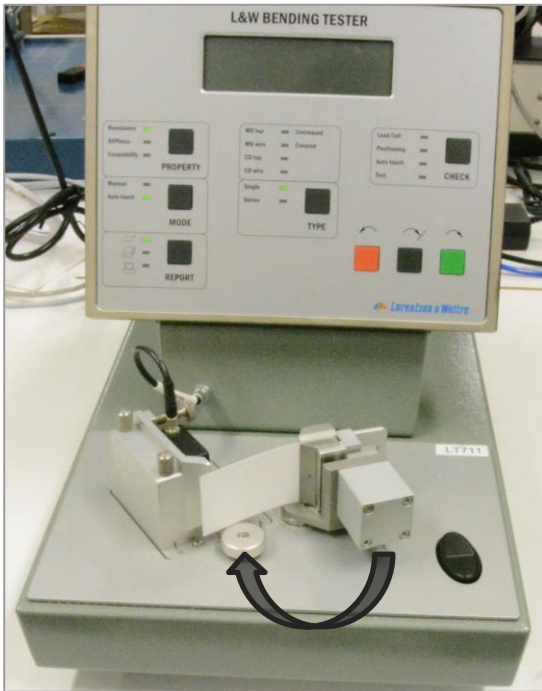
Hyvän vetolujuuden lisäksi kartongilta vaaditaan hyvää repäisylujuutta, jotta kartonkiaihio ei irtoa arkista ennen varsinaista irrotusvaihetta. Kartongin repäisylujuutta mitataan tyypillisesti heiluriperi-aattella toimivalla L&W Tearing Tester -laitteella. Mittalaitteeseen kiinnitettävä 62 mm x 53 mm

kokoiseen kartonkiliuskaan tehdään ensiksi laitteessa kiinni olevalla terällä viilto, jonka jälkeen heiluri laukaistaan. Heilurimainen liike saa kartongin repeämään ja mittalaite mittaa repäisyvastuksen sen perusteella kuinka paljon energiaa heilurienergiasta kuluu näytteen repäisyyn. Repäisylujuuden yksikkönä käytetään mN.



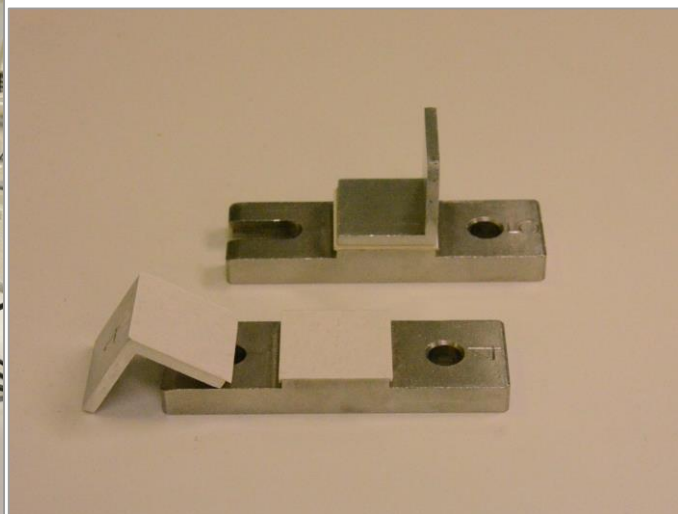
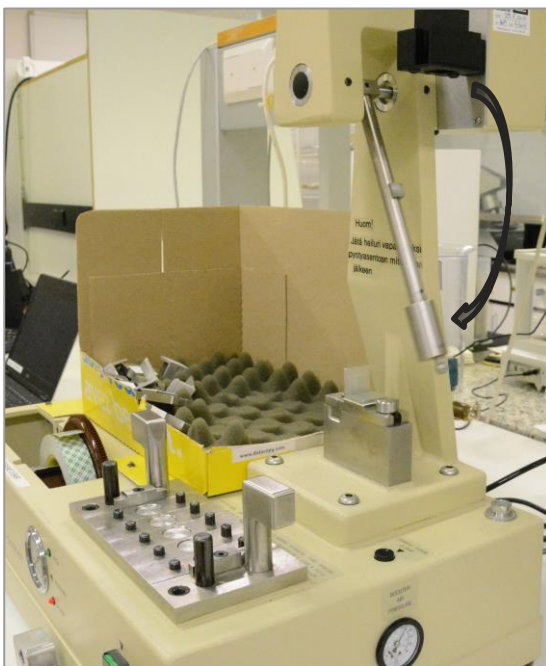
KUVA18. Repäisylujuuden mittalaite, L&W Tearing Tester

Kartongin hyvä nuutattavuus edellyttää hyvän vetolujuuden ja suuren murtovenymän lisäksi sopivan alhaista palstautumislujuutta sekä kartongin sisäkerroksilta suurta pysyvää muodonmuutosta puristettaessa. Kartongin taivutusjäykkyys on lisäksi olennainen ominaisuus, sillä nuuttauksen onnistumista arvioidaan taivutusjäykkyyden alentamisen perusteella. Tällöin kartonki taittuu helpommin ja hallitusti halutusta kohdasta. Taivutusjäykkyyttä mitataan yleisesti L&W Bending Testerillä taivuttaen 38 mm x 80 mm kokoista kartonkiliuskaa, jolloin mittalaite mittaa 5°:een ja 15°:een taivuttamiseen käytettävän voiman (mN). L&W Bending Testerillä voidaan testata jäykkyyden lisäksi kartongin taitettavuutta nuuttaamattomien ja nuutattujen kartonkiliuskojen avulla. Mittauksessa kartonkiliuska taivutetaan 90° kulmaan, jonka jälkeen se vielä palautetaan suoraksi.



KUVA19. Taivutusjäykkyyden mittalaite, L&W Bending Tester

Kartongin palstautumislujuutta eli kartongin paksuussuuntaista rakenteellista lujuutta mitataan Internal Bond Testerilla, joka repäisyluujusmittauksen tavoin toimii heiluriperiaatteen mukaisesti. Internal Bond Testerillä palstautumislujuusmittauksessa neliötuuman kokoinen kartonkinäyte kiinnitetään kaksipuolisella teipillä alumiinikulmaan ja alasimeen. Alumiinikulma isketään irti kartongista heilurin avulla, jolloin kartonki halkeaa tason suunnassa. Halkaisuun tarvittava energia mitataan heilurin energiahäviönä iskun vaikutuksesta eli niin sanottuna heilahduskulman pienenemisenä.



KUVA20. Palstautumislujuuden mittalaite, Huygen Internal Bond Tester

Nuuttauksessa tapahtuvan puristuksen aiheuttamaa sisäkerrosten pysyvää muodonmuutosta voidaan arvioida ottamalla mikroskooppikuvia kartongin nuuttien poikkileikkeestä ja arvioida sen perusteella kuinka hyvin nuutit ovat muodostuneet kartonkiin. Mikroskooppikuvien lisäksi kartonkiin muodostuneiden nuuttien laatua voidaan myös silmin visuaalisesti arvioida sekä sen lisäksi myöhemmin mainittavan Bobst Crease Checker -mittalaitteen avulla.



KUVA21. ESEM-mikroskopointilaite ja sen avulla otettu kuva nuuttisauman poikkileikkeestä

Nuuttaustyökalujen avulla määritetään syntyvien nuuttien syvyys ja leveys. Nuuttaustyökalujen oikeat asetukset suhteessa nuutattavalle kartongille ovat tärkeitä, jotta koteloaihiioon saadaan muodostettua hyvät nuutit taittamista varten. Eri kartongeille on usein erikseen annettu suositukset, joita noudattamalla kartonkiin saadaan hyvän taittavuuden antavat nuutit. Eri kokoisten nuuttien soveltuvuutta eri kartonkilajeille voidaan testata laboratorionuuttaustyökalujen avulla. Zwick&Roell -mittalaitteeseen asennetun laboratorionuuttaustyökalujen avulla voidaan muodostaa eri kokoisia nuutteja 38 mm x 80 mm kokoiseen näyteliuskkaan ja jälkepäin tutkia muodostuneita nuutteja muun muassa visuaalisesti silmin ja poikkileikkeen avulla, mittaamalla kartongin taittavuutta nuuttaamattoman ja nuutatut näytteen avulla L&W Bending Testerillä ja mittaamalla muodostuneiden nuuttien rakennetta ja dimensioita Bobst Crease Checker -mittalaitteella.



KUVA22. Laboratorionuuttausmenetelmä

Bobst Crease Checker -laitteella mitataan kartonkiin muodostuneiden taivuttamattomien nuuttien rakennetta ja dimensioita. Laitteen avulla nuutteja voidaan tarkastella sekä nuuttien sisäpuolelta mitaten nuuttien syvyyttä ja leveyttä ja ulkopuolelta vastaavasti nuuttien korkeutta ja leveyttä. Mittalaite mittaa myös nuuttien symmetrisyyttä, jolla on vaikutusta muun muassa muodostuneiden taitosten ulkonäköön.



KUVA23. Nuuttien dimensioiden ja rakenteen mittalaite, Bobst Crease Checker

4.2 Kotelon liimauksen arviointiin liittyvät testausmenetelmät

Kartongin hyvä liimattavuus edellyttää kartongilta hyvää pintalujuutta, palstautumislujuutta ja veden absorptiota, jotta liima asettuu ja imeytyy oikein kartonkien pinnalle. Hyvän ja kestävä liimasauman aikaansaamiseksi on myös tärkeää, että käytettävä kartonkilaji ja liimatyyppi soveltuvat yhteen. Palstautumislujuutta voidaan mitata jo aiemmin esitellyllä Huygen Internal Bond Testerillä. Veden absorptiota mitataan Cobb -menetelmän avulla, jossa kartonkinäytteen päälle asetetaan vesikerros tietyn ajaksi ja sen jälkeen verrataan kuinka paljon kartonkiin on imeytynyt vettä kuivaan näytteeseen nähden.



KUVA24. Veden absorbtion mittaaminen, Cobb-menetelmä

Kartongin pintalujuutta voidaan mitata Dennisonin vahapuikkosarjalla (KUVA 24) tai suorittamalla painatus IGT-koepainokoneen standardivärillä (KUVA 25). Dennisonin vahapuikkosarja on valmistettu sekoittamalla heikkoa ja kovaa vahaa eri suhteissa, ja puikot ovat numeroitu lisääntyvän kovuuden mukaan. Testauksessa vahapuikon päätä lämmitetään, kunnes se alkaa sulaa ja puikko painetaan kartonkia vasten. Vahan jäähtyttyä puikko vedetään irti kartongista ja tarkastetaan, onko kartongin pinta vahingoittunut. Korkein vahanumero, joka ei vielä vahingoita kartonkia, on pintalujuuden mitta. Koepainatuksen avulla määritettävä pintalujuus perustuu siihen, että kartonkiliuskaa painetaan kiihtyvällä nopeudella. Se voima, joka painettaessa rasittaa kartongin pintaa, on suoraan verrannollinen painatusnopeuteen ja painovärin tahmeuteen. Painatuksen jälkeen etsitään painojäljestä ensimmäiset

pinnan rikkoutumisen merkit, ja sitä kohtaa vastaava painatus nopeus on pintalujuuden mitta. Teknologikeskuksen laboratoriotiloissa ei ole IGT-koepainokonetta, mutta koepainatukseen perustuva pintalujuuden mittausta voidaan halutessa suorittaa samalla tehdasalueella sijaitsevan Metsä Boardin kartonkitehtaan laboratoriotyötiloissa, josta kyseinen laite löytyy.



KUVA25. Pintalujuuden määrittäminen Dennisonin vahapuikkosarjalla (Iggesund 2010, 106)



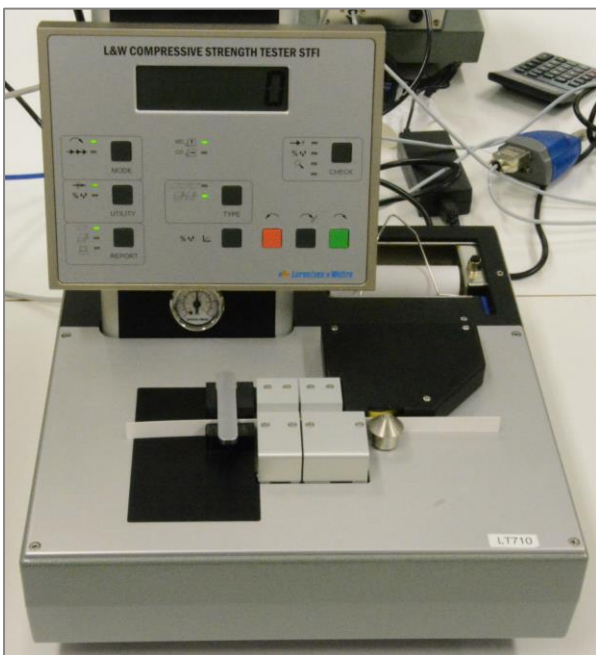
KUVA26. Pintalujuuden määrittäminen IGT-koepainatuksen avulla (Iggesund 2010, 105)

Kartongin soveltuvuutta dispersio- tai hot-melt -liimaukselle testataan niin sanotuilla rasiustesteillä. Kummankin liimausmenetelmän testaus perustuu siihen, että kartonkinäytteiden pinnalle asetetaan liimavana, jonka jälkeen toinen kartonkiliuska asetetaan liimapinnan päälle ja laitetaan liimasauma puristuksiin punnuksen alle. Liiman asettumisen jälkeen liimasaumaa rasietaan käsin tehtävän repäisyn avulla ja arvioidaan liimaus sen perusteella, kuinka paljon repäisy on aiheuttanut kuiturepeämää. Mitä suuremmalta alueelta repäisy on aiheuttanut kuiturepeämää, sitä pitävämpi liimaus

on. Zwick&Roell -mittalaitteella voidaan lisäksi tehdä liimasauman vetolujuustesti, jolla voidaan tutkia eri kartonkilaaduilla ja liimatyypeillä muodostuvien saumojen lujuuksia.

4.3 Valmiin kotelon toimintakykyä arvioivat testausmenetelmät

Tuotetta sisältävän kotelon tehtävänä on luoda kuluttajalle visuaalisen ulkonäön perusteella mielikuva tuotteesta sekä suojata tuotetta kuljetuksen, varastoinnin ja hyllytyksen aikana. Visuaalinen ulkonäköön vaikuttaa painatuksen lisäksi kotelon rakenne ja se, että kotelo ei ole vaurioitunut. Kotelo voi vaurioitua kuljetuksen tai varastoinnin aikana esimerkiksi kotelon päälle kasatun painolastin aiheuttaman puristuksen takia. Kotelon puristuskestävyyttä voidaan osittain ennustaa kotelokartongin jäykkyyden ja lyhyen matkan puristuslujuuden (SCT) avulla. Kartongin taivutusjäykkyyttä voidaan mitata aiemmin mainitulla L&W Bending Testerillä. SCT mitataan L&W Compressive Strength Testerillä, jossa 15 mm leveää kartonkiliuskaa puristetaan sen verran lyhyeltä matkaa, ettei näyte pääse nurjahtamaan.



KUVA27. Lyhyen matkan puristuslujuuden mittalaite, L&W Compressive Strength Tester

Jäykkyyden ja kartongin puristuslujuuden perusteella ei kuitenkaan voida täysin ennustaa kotelon puristuskestävyyttä sillä, koteloaihion muodostetut nuutit myös vaikuttavat kotelorakenteen lisäksi kotelon puristuskestävyyteen. Valmiin kotelon puristuskestävyyttä voidaan erikseen myös testata

Zwick&Roellin BCT-mittausohjelman avulla. Kotelon puristuskestävyydestä voidaan mitata kuinka paljon kotelo kestää puristusta ennen kuin siihen syntyy ensimmäinen visuaalinen vaurio. BCT:n tarkoituksena on selvittää minkä tyyppiset kartonkilajit ja kotelorakenteet kestävät parhaiten puristusta vaurioitumatta. Puristustestin avulla voidaan lisäksi selvittää, miten erilaiset kotelorakenteet vaikuttavat kotelon puristuskestävyyteen. Erilaisten rakenteiden, kuten koteloon aihioon muodostettujen avonaisten kohtien eli ikkunoiden, avulla voidaan parantaa kotelon ulkonäköä, mutta samalla ne voi laskea puristuskestävyyttä, jotka taas voivat aiheuttaa ajettavuusongelmia pakkauskohteilla tai koteloon voi muodostua herkemmin vaurioita kuljetuksen tai varastoinnin aikana.

4.4 Laitehankintaehdotukset

Kartongin tasalaatuisuudella on suuri merkitys kotelon valmistuksen eri vaiheille. Formaatiolla tiedetään olevan suuri vaikutus eri ominaisuuksiin, kuten lujuusominaisuuksiin, sileyteen ja absorptioon. Formaatiolla tarkoitetaan paperin tai kartongin pienimittakaavaista neliömassahajontaa, joka osittain kuvaa tasalaatuisuutta. Rasituksen alaisena kartongin kevyet kohdat ovat niin sanottuja ”heikkoja lenkkejä”, joiden ympäristöön muodostuu murtumisen aiheuttavia jännityshuippuja. Tällöin kartongin neliömassan liian suuri vaihtelu voi aiheuttaa jalostusprosesseissa häiriöitä ja ominaisuuksien vaihtelua lopputuotteessa. Mitä pienemmäksi kartongin neliömassahajontaa saadaan, sitä vähemmän hajontaa on myös kartongin eri kohtien ominaisuuksien välillä, eli sitä tasalaatuisempaa kartonki on. Formaation vaikutusta kartongin loppukäytön kannalta oleellisiin vaikutuksiin on tutkittu suhteellisen vähän, varsinkin siihen nähden, miten tärkeänä paperin rakennetekijänä formaatiota pidetään. Siitä syystä kartongin formaatiota mittaava laite olisi hyvä lisä täydentämään teknologiakeskuksen kartongin jalostettavuuden testauskokonaisuutta. Formaatiota mittaavalla laitteella voitaisiin tehdä laajempaa tutkimusta selvittääkseen, miten formaatio vaikuttaa kotelokartongin jalostettavuuden olennaisiin muihin ominaisuuksiin.

Formaation lisäksi toinen kartongin ominaisuus, jolla on suuri merkitys kotelon valmistuksen eri vaiheille, on kartongin dimensiostabiilitetti eli mittapysyvyys. Dimensiostabiilitetilla tarkoitetaan, sitä kuinka hyvin kartonki pystyy vastustamaan mittamuutoksia lämpötilan ja kosteuspitoisuuden vaihdellussa. Lämpötilan kasvaessa kartongissa tapahtuu lämpölaajenemista ja kosteuspitoisuuden kasvaessa kartongin kuidut laajentuvat, kun taas kosteuspitoisuuden laskiessa kuidut kutistuvat. Kuiduissa

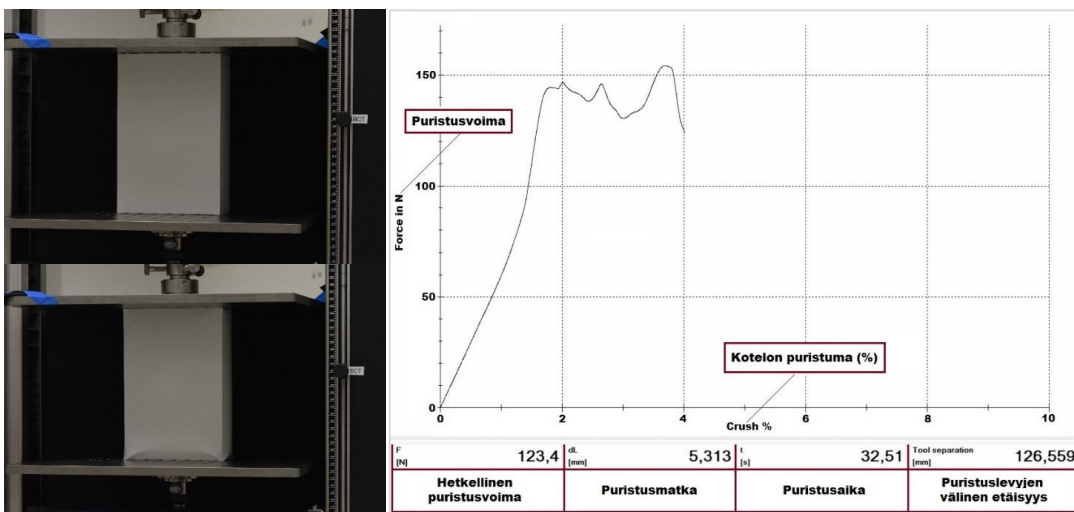
tapahtuvat mittamuutokset ilmenevät voimakkaammin kuidun poikkisuunnassa kuin pituussuunnassa. Kotelon valmistuksen aikana ympäristön olosuhteet, niin lämpötila kuin kosteus muuttuvat, mikä pakostikin aiheuttaa jonkin verran muutoksia myös kartongin kosteuspitoisuudessa. Onnistuneen jalostuksen kannalta on tärkeätä, että kartongin mitat niin pituus- kuin poikkisuunnassa pysyvät mahdollisimman samana koko jalostuksen ajan. Tällöin jalostuksen eri vaiheiden, kuten painatuksen, embossauksen ja folioinnin, toiminnot ovat helpompi kohdistaa koteloon oikein. Kartonkiin väärin kohdistetut kuvioinnit heikentävät kotelon ulkonäköä. Kartongin dimensiostabiliteettia mittavalla laitteella voitaisiin tutkia miten lämpötilan ja kosteuspitoisuuden muutokset vaikuttavat mittapysyvyyteen eri kartonkilajeilla. Mittalaitteella saatavien tulosten avulla voitaisiin ennustaa miten eri kartonkilajien mitat muuttuvat eri jalostusvaiheissa, jolloin kartongin kosteuspitoisuus tai lämpötila muuttuvat. Tällöin voitaisiin ohjeistaa kartongin jalostajia eri lajeilla tapahtuvien erilaisten mittamuutosten suhteen, jolloin jalostajan on helpompi ennakoida mittamuutoksia ja asettaa jalostuskoneiden säädöt siten, että eri vaiheiden toiminnot eivät kohdistu väärin kartongissa tapahtuvien mittamuutosten takia.

5 ZWICK&ROELL BCT-MITTAUKSEN KEHITYSIDEOITA

Opinnäytetyön kokeellisen osuuden aikana tutustuin teknologiakeskuksen mekaanisen testauslaboratoriotilan testaus- ja mittausmenetelmiin käytännön työtehtävien avulla. Tutuimmaksi testausmenetelmäksi koitui Zwick/Roell -laitteella tehtävä BCT-mittaus, jolla tein useita puristustestejä erilaisille kotelomalleille ja -kartongeille.

BCT eli Box Compression Test on tärkeä kartonkikotelon testausmenetelmä, jolla voidaan tutkia kuinka erilaiset kotelomallit ja kartonkilajit soveltuvat tiettyjen tuotteiden pakkauksiksi. BCT:n avulla mitataan kuinka paljon kartonkikotelo kestää puristusta ennen kuin se kärsii visuaalisia vaurioita. Kotelopakkaukset joutuvat usein puristuksen kohteeksi esimerkiksi tuotteiden varastoinnin ja kuljetuksen aikana, jolloin kotelon päälle kasataan kuormaa ja tällöin sen tulisi kestää kuormituksesta aiheutuva puristus vaurioitumatta. Pakkaus on aina osa tuotetta, joten pakkauksen visuaaliset vauriot aiheuttavat tuotteen arvon alenemista kuluttajan näkökulmasta ja voi johtaa usein siihen, että kaupassa asioidessaan asiakas jättää tuotteen ostamatta vaurioituneen pakkauksen vuoksi.

Zwick/Roellin BCT-mittauksessa kartonkikotelonäyte puristetaan kahden puristuslevyn välissä. Kartonkikotelo asetetaan alemmalle puristuslevylle, joka mittauksen käynnistyessä nousee vaikionopeudella kohti ylemmää puristuslevyä puristaen välissä olevaa koteloa kasaan. Zwick/Roell -mittalaite on kytketty tietokoneohjelmaan, joka näyttää reaaliaikaisen puristusvoiman ja piirtää kuvaajaa puristusvoimasta kotelon puristuman funktiona.



KUVA28. Kotelon puristuminen ja BCT-mittausohjelman piirtämää graafia puristustapahtumasta

BCT-mittauksia tehdessäni huomasin menetelmän olevan tällä hetkellä melko haastava, sillä tietokoneohjelmaan piirtyvä kuvaaja ei läheskään aina tunnista ensimmäistä koteloon syntyvää vauriota, jolloin visuaalisen haitan aiheuttavaa puristusvoiman arvoa ei voida määrittää kuvaajasta. Tällöin kyseessä oleva arvo on määritettävä siten, että testausta suorittavan henkilön tulee itse katseella havaita, milloin ensimmäinen vaurio kotelossa syntyy ja sen jälkeen katsoa tietokoneen näytöltä sen hetkisen puristusvoiman arvo. Havaintoon perustuva arvo syötetään joka mittauksen jälkeen ohjelmaan muistiin. Varsinkin tiettyjen kotelomallien ja kartonkilajien kohdalla testauksen suorittajan on lähes mahdotonta silmämääräisen havainnon perusteella määrittää tarkka puristusvoiman arvo koteloon syntyvälle ensimmäiselle vauriolla. Puristusvoima alkaa usein tietyssä vaiheessa kasvamaan todella nopeasti, jolloin ensimmäisen vaurion havaitsemisen ja katseen siirtämisen tiekoneen näytöllä näkyvään puristusvoimaan välisenä aikana puristusvoima on voinut kasvaa jopa useiden kymmenien Newtonien verran. Siten ensimmäistä koteloon vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvoa ei voida määrittää tarkasti silmämääräisen havainnoinnin perusteella.

Tarkan puristusvoiman haasteellinen määritettävyyys johtaa ajoittain melko suureen mittausvirheen osuuteen mittaustuloksissa ja voi aiheuttaa myös suurta hajontaa useista rinnakkaisnäytteistä koostuvan mittaussarjan mittaustulosten välillä. Seuraavassa alaluvussa ”1.1 Puristusvoiman määrittäminen videotallenteen avulla” kuvan 30 mittausesimerkin avulla on pyritty havainnollistamaan, miten puristusvoiman haasteellinen määritettävyyys aiheuttaa mittausvirhettä.

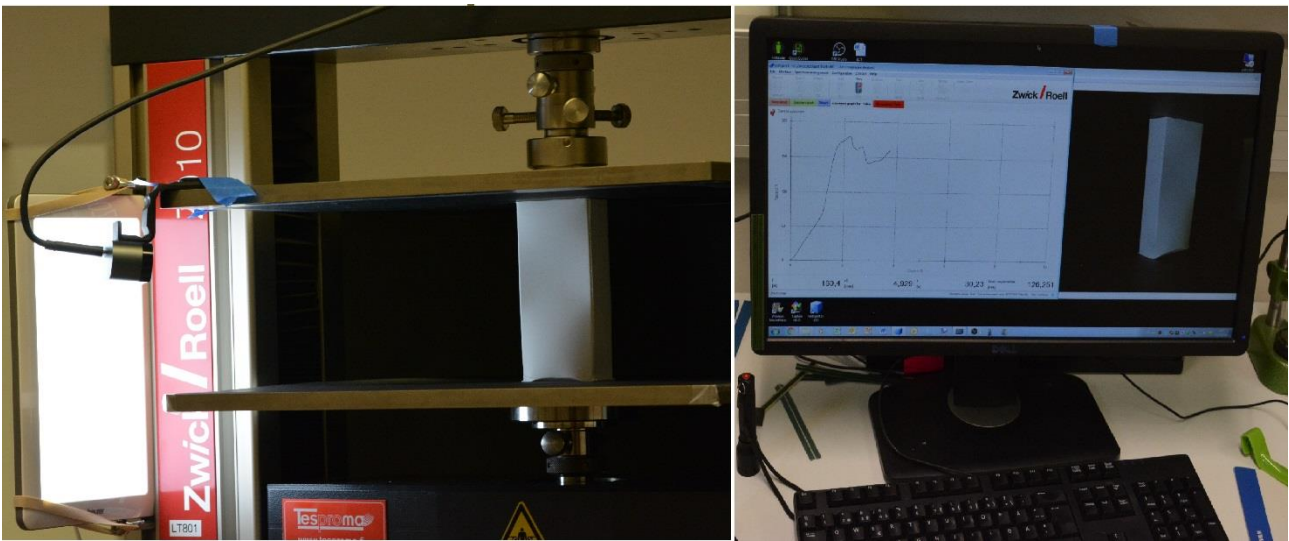
Zwick/Roell -mittalaitteen BCT-testauksessa oli visuaalisen haitan aiheuttaman puristusvoiman arvon haasteellisen määritettävyyden lisäksi myös muita tekijöitä, joiden koin aiheuttavan mittausvirhettä ja hajontaa mittaustuloksissa. Tämän vuoksi tein erilaisia tutkimuksia, joiden avulla voitaisiin selvittää miten nämä eri tekijät vaikuttavat testausmenetelmän mittaustuloksiin ja minkälaisin toimenpitein niiden häiritsevää vaikutusta voitaisiin minimoida.

5.1 Puristusvoiman määrittäminen videotallenteen avulla

Koska koteloon syntyvän vaurion havainnointi ja sen hetkisen puristusvoiman määrittäminen ovat nykyisin menetelmin melko hankalaa, pyrin kehittämään menetelmän, jolla puristusvoima arvo voi-

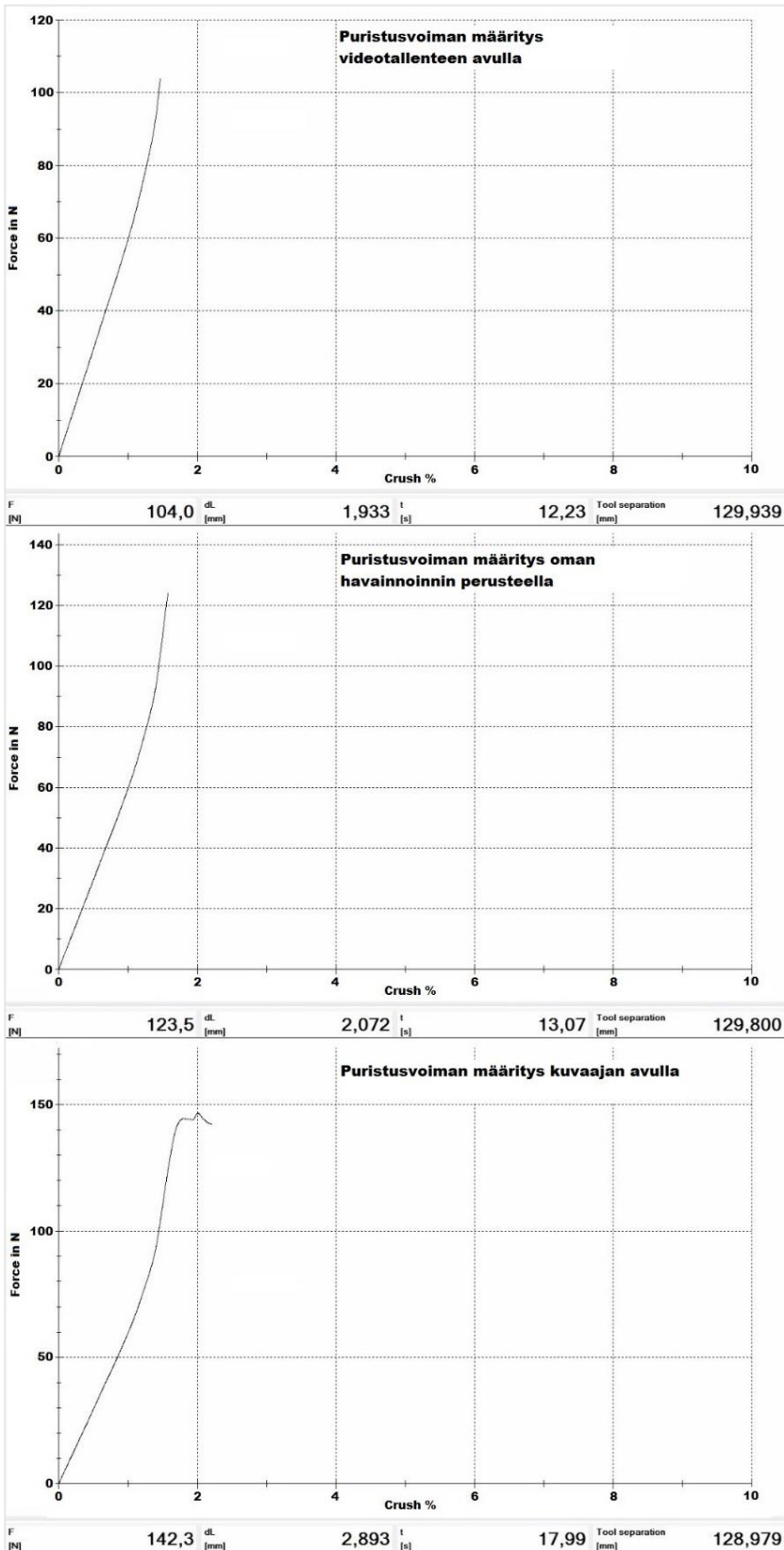
taisiin määrittää aiempaa tarkemmin. Menetelmä perustuu siihen, että kameralla nauhoitetaan videokuvaa puristustapahtumasta, jolloin koteloon syntyvän ensimmäisen vaurion aiheuttaman sen hetken puristusvoiman arvo voidaan myöhemmin määrittää videotallenteen avulla.

Mittausten videointia varten ylemmän puristuslevyn sivuun kiinnitettiin kamera, joka tallentaa videokuvaa puristustapahtumasta tietokoneen näytölle ja samalta tietokoneen näytöltä on nähtävissä myös mittausohjelman piirtämä kuvaaja sekä puristusvoima. Erillisellä ohjelmalla tallennettiin tietokoneen näyttökuvaa ja tallenteesta voitiin myöhemmin hidastetulla nopeudella määrittää tarkasti kunkin mittauksen koteloon ensimmäisen vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvo.



KUVA29. Zwick/Roell -laitteen BCT-mittauksen videointia

Seuraavalla sivulla oleva kuva 30 havainnollistaa, kuinka BCT-mittauksen puristusvoiman arvo saattaa vaihdella eri menetelmin tulkittuna. Kuvassa on ylhäältä alaspäin katsottaessa kuvattuna puristus-
hetket, jolloin koteloon on syntynyt ensimmäinen vaurio videotallenteen, oman havainnoinnin sekä tietokoneohjelmaan piirtyvän puristusvoimakuvaaajan perusteella tulkittuna.



KUVA30. Näyttökuvat puristushetkestä, jolloin koteloon on syntynyt ensimmäinen vaurio tulkittuna videotallenteen, oman havainnoinnin sekä puristusvoimakuvaaajan perusteella.

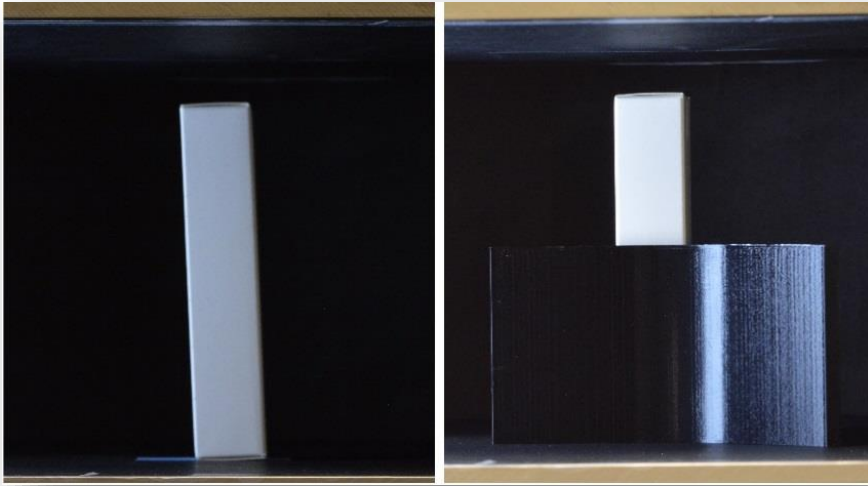
Kuvan 30 perusteella puristusvoiman arvo, joka aiheuttaa koteloon ensimmäisen vaurion, määritetään oman havainnoinnin sekä mittauksen piirtävän puristusvoimakuvaajan perusteella hieman myöhässä. Arvoksi ollaan oman havainnon perusteella saatu lukema 123 N ja kuvaajan perusteella puristusvoiman arvoksi on määritetty lukema 142 N. Sen sijaan videotallenteen avulla saatu tarkka ensimmäisen koteloon vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvo on 104 N. Näin ollen voidaan sanoa, että tämän mittausesimerkin kohdalla mittausvirheen osuus on melko suuri.

Myöhemmin alaluvussa ”1.4. Puristusnopeuden hidastaminen” on tutkittu puristusnopeuden vaikutusta mittaustuloksiin. Tutkimuksen mittaustulosten perusteella voidaan vertailla näitä kolmea eri puristusvoiman määrittystapaa ja niiden luotettavuutta eri puristusnopeuksien kohdalla. Kuvan 30 mittausesimerkki on otettu kyseisen tutkimuksen mittauksista, jolloin puristusnopeutena on ollut 10 mm/min ja rinnakkaisnäytteen numero on 3.

Puristustapahtuman videotallenteen perusteella koteloon ensimmäisen vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvo on määritettävissä huomattavasti tarkemmin ja luotettavammin kuin omaan havaintoon tai puristusvoimakuvaajaan perustuva määrittystapa. Tämän vuoksi suosittelisin harkitsemaan jatkossa videotallenteen avulla tehtävää puristusvoiman määrittystä, vaikka se onkin jonkin verran enemmän aikaa vievä menetelmä.

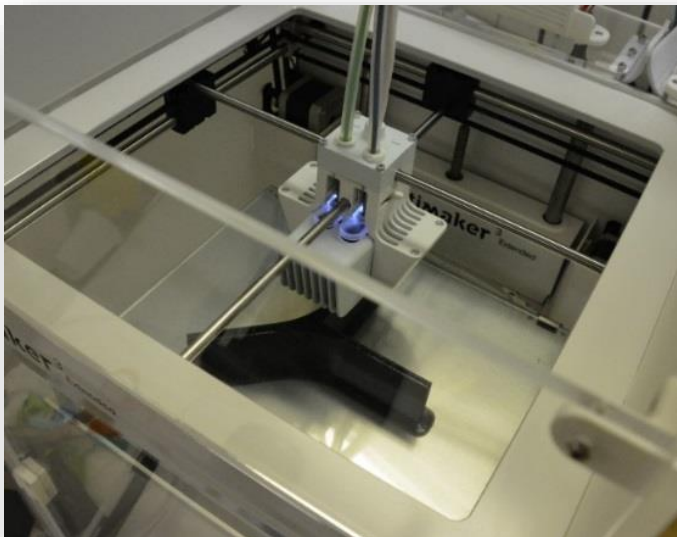
5.2 Tukityökalu kotelon asettamiselle

BCT-mittauksia tehdessäni huomasin yhtenä mittausta hankaloittavana tekijänä sen, että kotelon asettaminen puristuslevyjen väliin kohtisuorasti tasoon nähden oli ajoittain erittäin hankalaa. Varsinkin sellaiset kotelot, joiden pohja on hieman kaarellaan, asettuvat levyn päällä hieman vinoon ja sen korjaaminen käsin täysin kohtisuoraan on myös silmämääräisesti vaikea hahmottaa. Oman kokemuksen mukaan korkeat ja kapeat kotelot ovat kaikkein haastavimpia kohtisuoraan asetettavia kotelomalleja.



KUVA31. Vasemmalla kuvassa kotelo on vinossa ja oikealla kotelo on asetettu kohtisuoraan tukityökalun avulla

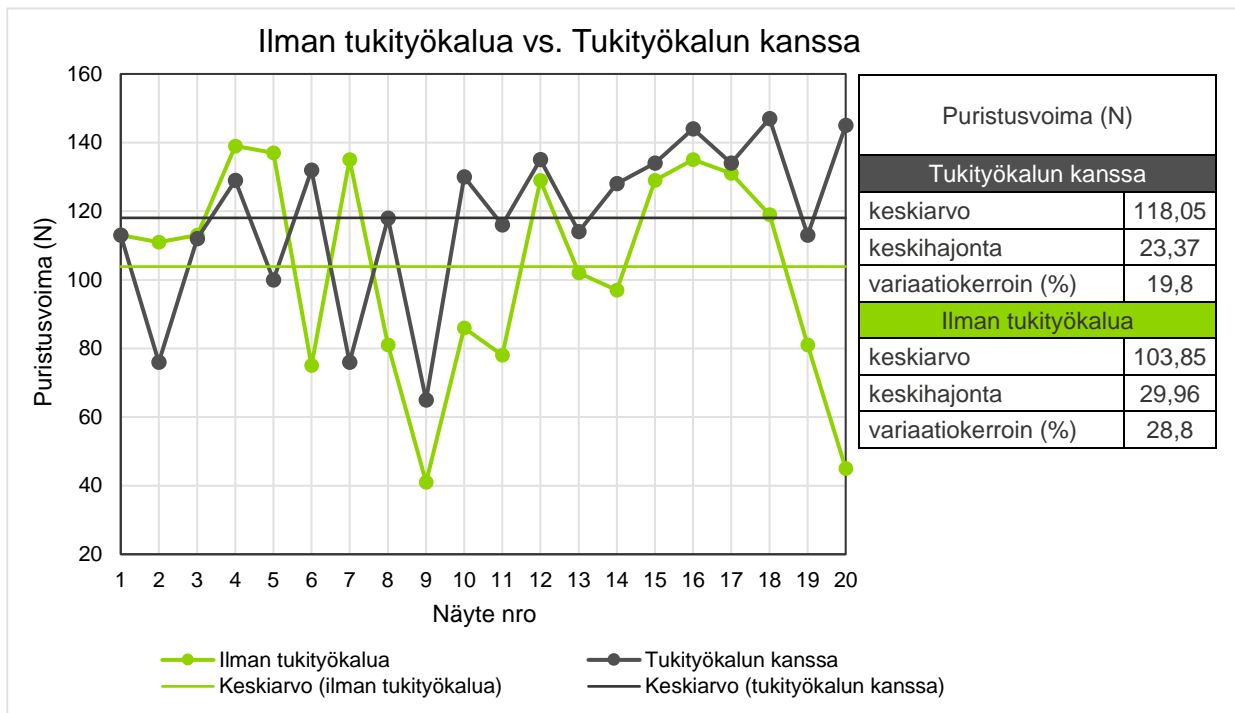
Koteloiden kohtisuoraan asettamisen helpottamiseksi suunniteltiin tukityökalun, jonka avulla kotelonäyte voidaan käsin painaa suorakulmamaista tukea vasten ja tällöin kotelon saa jätettyä helposti kohtisuoraan puristuslevyjen väliin. Tukityökalun valmistus toteutettiin teknologiakeskuksen laboratoriotyötiloissa olevan 3D-tulostimen avulla.



KUVA32. Vasemmalla kuvassa tukityökalu valmistuu 3D-tulostimen avulla ja oikealla on valmis versio.

Tukityökalun valmistumisen jälkeen tein testauksen, jolla pyrittiin selvittämään vähentääkö koteloiden asettaminen puristuslevyjen väliin tukityökalun avulla hajontaa mittaustuloksissa. Mittauksessa ensimmäinen mittaussarja koostui 20:stä kappaleesta koteloiden, jotka asetettiin puristuslevyjen väliin

käsin ilman tukityökalua. Toinen mittaussarja koostui myös samanlaisista 20:stä kappaleesta kotelaita, jotka taas asetettiin puristuslevyjen väliin tukityökalun avulla. Määritin ensimmäisen koteloon syntyvän vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvon mittaustapahtuman nauhoittaneen videotallenteen avulla. Alla olevan kuvion 2 avulla voidaan vertailla kummankin mittaussarjan mittaustulosten eroavuutta toisistaan.



KUVIO2. Ilman tukityökalua ja työkalun kanssa asetettujen koteloiden puristusvoimien mittaustulokset

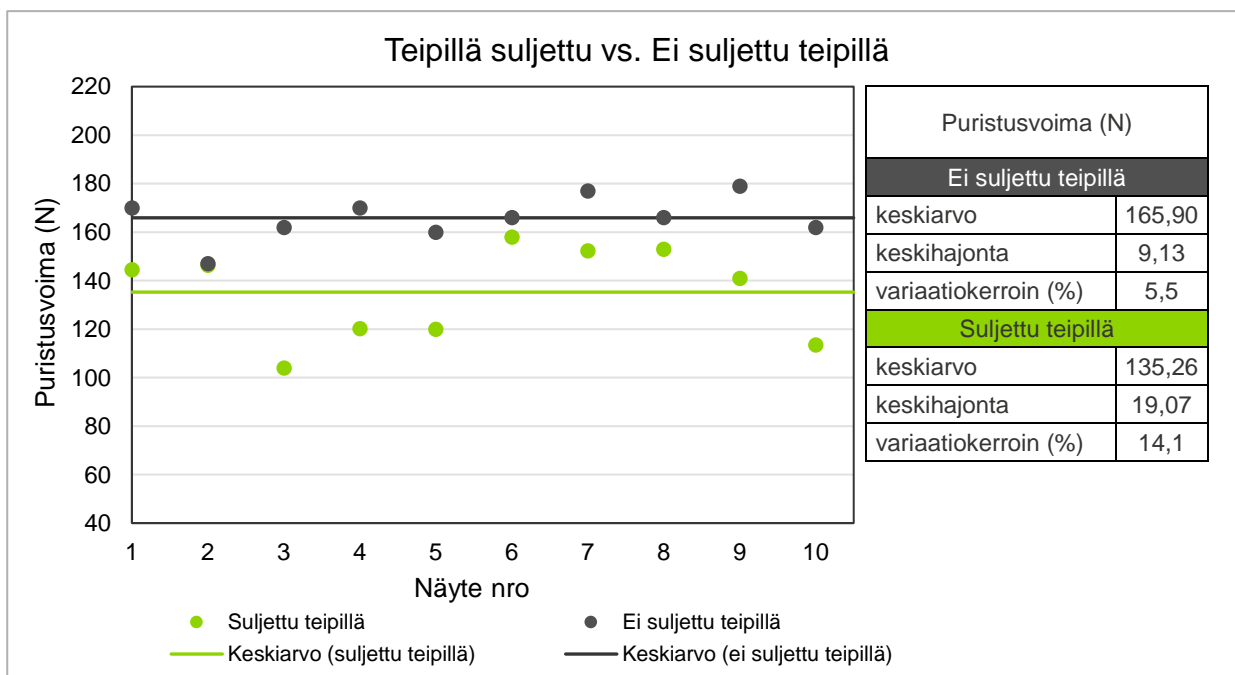
Mittaustulokset näyttävät, että tukityökalun avulla paremmin kohtisuoraan levyjen väliin asetetut kotelot kestävät keskimäärin hieman enemmän puristusta kuin ilman tukityökalua asetetut kotelot. Keskihajonnan osuus mittaustuloksissa on myös hieman pienempi tukityökalun kanssa asetetuilla koteloidilla.

Ilman tukityökalua kotelot asettuvat puristuslevyjen väliin jokaisen mittauksen kohdalla hieman eri tavoin, jolloin myös puristuslevyjen kohdistama puristusvoima jakautuu jokaisen mittauksen kohdalla kotelossa eri tavoin. Tällöin kotelot myös puristuvat hieman eri tavoin, mikä luultavasti aiheuttaa mittaussarjassakin esiintyneen koteloiden pienemmän keskimääräisen puristusvoiman kestävyys ja tuo tuloksiin enemmän hajontaa kuin tukityökalulla asetettujen koteloiden kohdalla.

5.3 Kansien sulkeminen teipillä

BCT-mittaukseen tutustuessani useimmat puristusmittaukset suoritettiin koteloille, joita taiteltaessa kansi- ja pohjaläpät suljettiin liimaamalla tai teippaamalla. Kauppojen hyllyillä samankaltaisten kotelopakkausten kansi- ja pohjaläpät ovat kuitenkin useimmiten suljettuina joko liimauksen tai teippauksen avulla. Tämän tutkimuksen avulla pyrin selvittää miten kotelon pohja- ja kansiläpän sulkeminen teipillä vaikuttaa puristusmittaustuloksiin verrattuna koteloihin, joiden läpät eivät ole suljettu teippauksen avulla.

Ennen tukityökalun käyttöä kotelot, joiden läppiä ei ollut suljettu teippauksen tai liimauksen avulla, oli haastavaa asettaa kohtisuorasti puristuslevyjen. Tällöin läpät jäävät varsinkin suurempikokoisten koteloiden kohdalla hieman kaarelleen, jolloin kotelo asettuu vinoon alemman puristuslevyn päälle (kuva 31). Teippauksen avulla kotelosta saadaan jäykämpi, jolloin läpät ei jää kaarelleen ja ne ovat myös helpompi asettaa kohtisuoraan puristuslevyjen väliin. Suoritin mittaukset siten, että ensiksi taittelin 10 kappaletta Metsä Boardin kartongista valmistettuja kotelaita sulkien kansi- ja pohjaläpät teipillä ja 10 kappaletta samanlaista koteloa taittelin ilman teippausta. Määritin ensimmäisen koteloon syntyvän vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvon mittaustapahtuman nauhoittaneen videotallenteen avulla. Alla olevassa kuviossa 2 on esitettynä mittaustulokset teipattujen ja ei-teipattujen koteloiden mittaussarjoista.



KUVIO3. Teipattujen ja ei-teipattujen koteloiden puristusvoiman mittaussarjojen tulokset

Kuviosta 3 huomaa teipillä suljettujen koteloiden kestäväen heikommin puristusvoimaa ennen kuin koteloon syntyy ensimmäinen vaurio. Teipillä suljetuilla näytteillä on lisäksi hieman suurempi hajonta kuin ei-teipatuilla. Mielestäni tutkimus pitäisi suorittaa vielä laajemmassa mittakaavassa rinnakkaisnäytteiden määrää kasvattamalla ja eri kotelomalleilla, jotta voitaisiin varmistua kansi- ja pohjaläpän teippaamisen aiheuttavan suurempaa hajontaa näytteiden välillä.

Teipillä suljettujen koteloiden heikompi puristuskestävyys voi johtua niiden jämekämmästä olemuksesta, jolloin puristusaine saattaa jakautua kotelossa eri lailla, jolloin kotelo myös puristuu eri tavoin kuin teippaamattomien näytteiden kohdalla. Alla oleva kuva 33 näyttää kuinka teippaamaton kotelo puristuu yläosasta sisäänpäin, kun taas teipattu kotelo puristuu yläosasta pullistuen ulospäin.



KUVA33. Teippaamattoman (vasen) ja teipatun (oikea) kotelon puristuminen eri tavoin

5.4 Puristusnopeuden hidastaminen

Zwick/Roell -mittalaitteen BCT-testausta tehdään niin, että testauslaitteen alempi puristuslevy nousee kohti ylempää puristuslevyä 10 mm/min nopeudella. Lähdin tutkimaan puristusnopeuden vaikutusta mittaustuloksiin neljällä eri nopeudella: 5 mm/min, 10 mm/min, 20 mm/min ja 40 mm/min. Puristettavana näytekappaleena toimi Metsä Boardin taivekartongista valmistettu pieni salmiakki-

raasiaksi suunniteltu kartonkikotelo, jonka pituus oli 57 mm, leveys 21 mm ja korkeus 132 mm. Rinnakkaisnäytteiden määrä mittauksissa oli 10 kappaletta. Tulkitsin koteloon ensimmäisen vaurion aiheuttaman puristusvoiman kolmella eri tavalla, tietokoneen ohjelman piirtämästä puristusvoimakuvasta, oman havainnoinnin sekä puristustapahtuman nauhoittaneen videotallenteen perusteella.

Mittauksista tehdyistä taulukosta 1 ja kuviosta 3 kannattaa pääosin vertailla havainnon ja kameran alle merkityjä tuloksia, sillä tällä hetkellä BCT-mittausten raportointi tehdään havaintoon perustuvien puristusvoimien arvojen perusteella, ja kameratallenteen avulla taas voidaan määrittää puristusvoiman arvot tarkimmalla mahdollisella tavalla. Alla olevassa taulukossa 1 on taulukoituna eri puristusnopeuksilla tehtyjen puristusvoimien mittausten keskiarvot ja keskihajonnat.

Puristusnopeus	Puristusvoima (N)					
	Keskiarvo			Keskihajonta		
	Kuvaaja	Havainto	Videotallenne	Kuvaaja	Havainto	Videotallenne
40 mm/min	157,5	161,6	137,8	6,49	5,85	20,88
20 mm/min	156,0	147,7	125,9	10,30	13,15	16,22
10 mm/min	149,6	146,7	135,3	8,26	13,61	19,07
5 mm/min	145,7	144,7	144,4	6,99	7,21	8,80

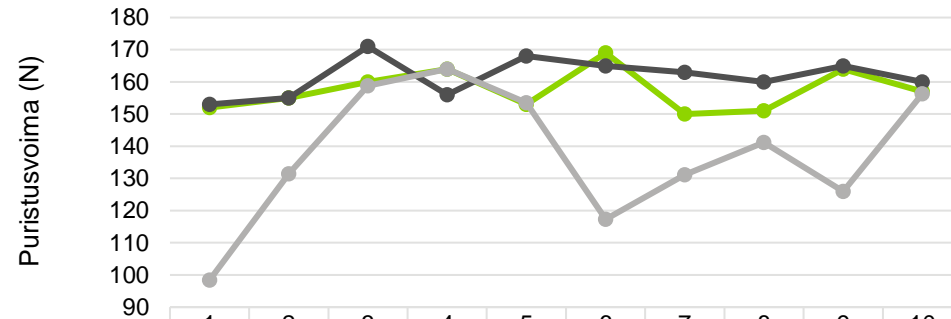
TAULUKKO1. Mittausten keskiarvot ja hajonnat eri puristusnopeuksilla

Taulukon 1 avulla huomaa hitaamman puristusnopeuden tasoittavan eri havainnointimenetelmin saatuja puristusvoiman arvoja. Hitaammalla puristusnopeudella ajettaessa puristusvoima kasvaa hitaammin, jolloin koteloon ensimmäisen vaurion aiheuttama syntyminen on helpommin havaittavissa ja sen hetkinen puristusvoima saadaan määritettyä tarkemmin kuin korkeammilla puristusnopeuksilla ajettaessa.

5 mm/min puristusnopeudella ajettaessa myös keskihajonta on selkeästi pienempi kuin nopeammilla puristusnopeuksilla ajettaessa. Videotallenteen perusteella määritettyjen tulosten keskihajonta näyttäisi myös muuten pienentyvän mitä pienemmällä puristusnopeudella ajetaan, paitsi 10 mm/min puristusnopeudella ajettaessa keskihajonnan osuus on suurempi kuin 20 mm/min nopeudella ajettaessa. Tulosten perusteella 5 mm/min puristusnopeudella ajettaessa myös ensimmäisen vaurion aiheuttaman sen hetkisen puristusvoiman keskiarvo on suurempi kuin muilla nopeuksilla. Näiden tulosten perusteella ei vielä kuitenkaan voida tehdä kovin pitkälle vietyjä johtopäätöksiä siitä, miten puristusnopeus todellisuudessa vaikuttaa mittaustulosten hajontaan tai puristusvoiman suuruuteen.

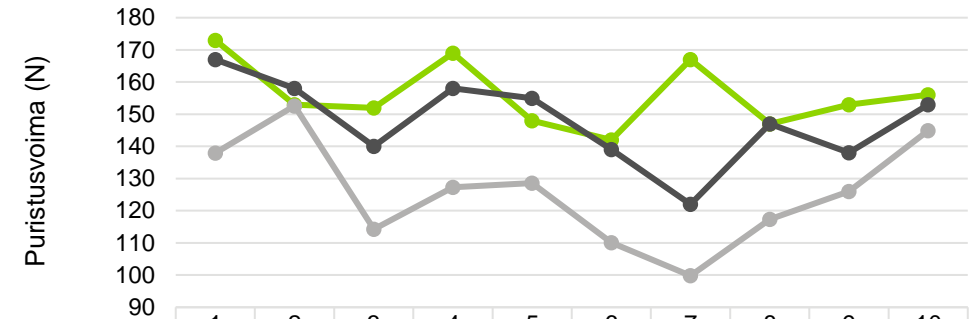
Seuraavalla sivulla oleva kuvio 4 näyttää kuvaajat jokaisesta eri puristusnopeudella tehdystä mittaus-sarjasta. Kuvaajien avulla voidaan vielä paremmin vertailla näitä aiemmin mainittua kolmea eri pu-ristusvoiman määrittäytapaa ja niiden luotettavuutta eri puristusnopeuksien kohdalla.

Puristusnopeus 40 mm/min



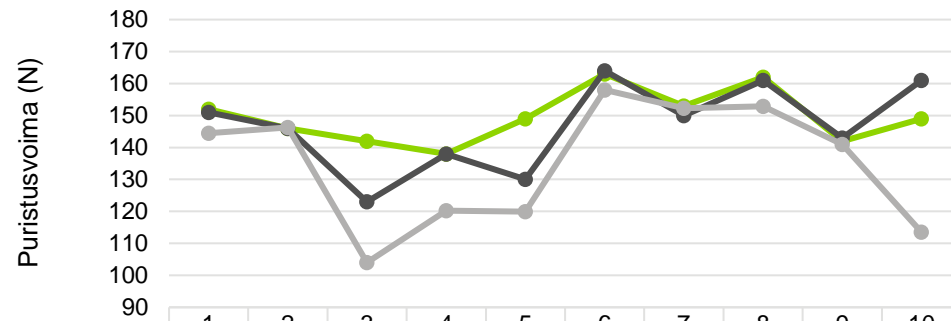
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—●— Kuvaaja	152	155	160	164	153	169	150	151	164	157
—●— Havainto	153	155	171	156	168	165	163	160	165	160
—●— Videotallenne	98	131	159	164	154	117	131	141	126	156

Puristusnopeus 20 mm/min



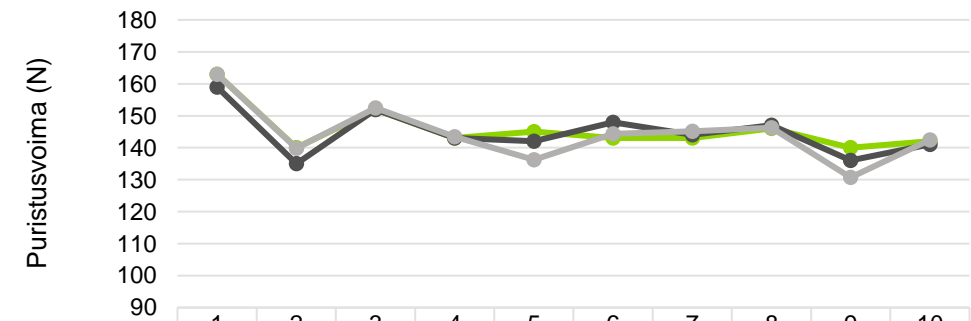
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—●— Kuvaaja	173	153	152	169	148	142	167	147	153	156
—●— Havainto	167	158	140	158	155	139	122	147	138	153
—●— Videotallenne	138	153	114	127	129	110	100	117	126	145

Puristusnopeus 10 mm/min



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—●— Kuvaaja	152	146	142	138	149	163	153	162	142	149
—●— Havainto	151	146	123	138	130	164	150	161	143	161
—●— Videotallenne	145	146	104	120	120	158	152	153	141	114

Puristusnopeus 5 mm/min



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—●— Kuvaaja	163	140	152	143	145	143	143	146	140	142
—●— Havainto	159	135	152	143	142	148	144	147	136	141
—●— Videotallenne	163	140	153	143	136	144	145	146	131	142

KUVIO4. Koteloon syntyneen ensimmäisen vaurion aiheuttamien puristusvoimien mittaukset eri puristusnopeuksilla tulkittuna kuvaajan, oman havainnon ja videotallenteen perusteella

Kuvion 4 kuvaajista huomataan taulukon 1 tavoin, että hitaammalla puristusnopeudella ajettaessa mittausvirheen osuus pienenee eri puristusvoiman määrittystapojen osalta. Mitä lähempänä kuvion 4 oman havainnon ja kuvaajan avulla määritetyt puristusvoimakuvajat ovat toisiaan sitä pienempi on niiden menetelmien mittausvirheen osuus mittauksessa. Puristusnopeudella 5 mm/min ajettaessa kuvaajat ovat lähes toistensa päällä, mikä tarkoittaa eri tavoin määritettyjen puristusvoiman arvojen vaihtelevan huomattavasti vähemmän toisistaan kuin suuremmilla nopeuksilla ajettaessa.

Tämän tutkimuksen perusteella voitaisiin ehdottaa, että BCT-mittausta voitaisiin harkita jatkossa tekevän 5 mm/min puristusnopeudella, mikäli puristusvoimaa ei määritetä videotallenteen avulla. 5 mm/min puristusnopeudella mittausvirheen osuus pienenee selkeästi ja käytännön kokemuksen myötä kotelon vaurion havainnointi sekä sen hetkisen puristusvoiman näkeminen on huomattavasti helpompaa. Toisaalta tuotetta sisältävän pakkauksen puristustestauksiin liittyvä ISO 12048:1994 standardi, johon nykyinen BCT-testausmenetelmän englanninkielinen työohjeistus viittaa, neuvoo käytettävän puristusnopeutena 10mm/min. Siten puristusnopeuden muuttaminen sitä hitaammaksi tekisi testausmenetelmästä standardiohjeistuksesta eroavan.

6 YHTEENVETO

Kartonkikoteloiden valmistuksen eri vaiheet asettavat kartongille erilaisia vaatimuksia onnistuneen jalostuksen toteutumiseksi. Kotelon stanssauksessa kartonkiin kohdistuu useita eri tyyppisiä voimia, jolloin kartongille asetetaan vaatimuksia erilaisten lujuusominaisuuksien, kuten veto-, repäisy-, puristus- ja palstautumislujuuden suhteen. Kartongin jäykkyydellä on vaikutusta stanssauksessa tapahtuvaan kotelon taiveurien muodostukseen eli nuuttaukseen sekä valmiin kotelon toimintakykyyn. Nuutattavan kartongin lisäksi nuuttaukseen vaikuttaa myös asetukset, kuten nuuttauslinjan ja nuuttausuran leveydet ja korkeudet, jotka määrittävät muodostuneiden nuuttien rakenteen. Kotelon liimauksille on tärkeätä, että käytettävä liima soveltuu hyvin liimattavalle kartongille. Hyvän liimauksen aikaansaamiseksi myös kartongilta vaaditaan hyvää liimattavuutta, joka edellyttää etenkin hyvää pintalujuutta ja sopivaa palstautumislujuutta. Valmiin kotelon tulee myös kestää erilaisia rasituksia, joita se kohtaa esimerkiksi pakkauskonelinoilla sekä tuotteen kuljetuksen ja varastoinnin aikana.

Tässä työssä muodostettu kartonkien jalostettavuuden arvioinnin mittaus- ja testauskokonaisuus voidaan pääosin muodostaa Metsä Boardin teknologiakeskuksella jo olevista menetelmistä. Teknologiakeskuksen laboratoriotyötiloista löytyy tärkeimmät testausmenetelmät kartongin erilaisten lujuusominaisuuksien mittaamista sekä nuutattavuuden ja liimattavuuden arviointia varten. Laitehankintaehdotuksena kartongin formaatiota ja dimensiostabiilitettä mittaavat laitteet voisivat olla hyvä lisä täydentämään kartongin jalostettavuuden testauskokonaisuutta.

Kotelon puristustestausmenetelmän kehittämiseksi, testauksessa voitaisiin jatkossa käyttää tässä työssä suunniteltua tukityökalua apuna kotelonäytteiden asettamiseksi kohtisuoraan puristuslevyjen väliin. Lisäksi koteloon ensimmäisen visuaalisen vaurion aiheuttaman puristusvoiman arvo voitaisiin määrittää tarkasti jälkeinpäin puristustapahtuman nauhoittaneen videotallenteen avulla.

7 LÄHTEET

Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007. Toimiva pakkaus. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR.

Seppälä, M. J. 2004. Kemiallinen metsäteollisuus: 3, Paperin ja kartongin jalostus. 2. uud. p. Helsinki: Opetushallitus.

KnowPap 19.0. Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. <http://www.know-pap.com> (Rajoitettu pääsy)

Savolainen, A. 1998. Papermaking Part 12, Paper and Paperboard Converting. Helsinki: Fapet Oy

Iggesund Paperboard AB. 2010. Reference Manual, Intellecta Infolog.

Järvinen, L. 2013. Metsä Board, Troubleshooting in Paperboard Converting.

Metsä Group Intranet (Rajoitettu pääsy)