

LUT-yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

KUITUPOHJAISTEN KALVOMATERIAALIEN SOVELTUVUUS
KUUMASAUMAUSMENETELMÄLLÄ SULJETTUIJEN PAKKAUSTEN
KANSITUKSESSA

HEAT SEALABILITY OF FIBRE-BASED LIDDING FILMS

Lappeenrannassa 03.12.2020

Dominik Flod

Tarkastaja TkT Ville Leminen

Ohjaajat TkT Ville Leminen, DI Antti Pesonen

TIIVISTELMÄ

LUT-yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Dominik Flod

KUITUPOHJAISTEN KALVOMATERIAALIEN SOVELTUVUUS KUUMASAUMAUSMENETELMÄLLÄ SULJETTUJEN PAKKAUSTEN KANSITUKSESSA

Kandidaatintyö

2020

36 sivua, 15 kuvaa ja 2 liitettä

Tarkastaja: TkT Ville Leminen

Ohjaajat: TkT Ville Leminen, DI Antti Pesonen

Hakusanat: kuitupohjaiset kalvomateriaalit, kuumasaumaus, kartonkivuokat

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan kuitupohjaisten kalvomateriaalien soveltuvuutta korvata muovikalvoja kuumasaumaamalla suljettujen pakkausten kansituksessa. Työ koostuu kokeellisesta osiosta ja kirjallisuuskatsauksesta, jossa käydään läpi kuumasaumautumiseen vaikuttavia tekijöitä, esitellään kokeellisessa osiossa käytettävät suljentalinjastot ja kartoitetaan markkinoilla olevia kuitupohjaisia kalvomateriaaleja.

Kokeellisen osuuden tavoitteena on selvittää Stora Enso LumiFlex 70 + 15 PE ja LumiFlex 90 + 30 PE kuitupohjaisten kalvomateriaalien soveltuvuutta kuumasaumaamalla suljettujen kartonkivuokien kansituksessa. Tutkittaville materiaaleille suoritetaan standardin mukaiset peel -kokeet, joilla mitataan saumojen lujuutta, sekä suoritetaan vuokasuljentakokeet kahdella erityyppisellä suljentalinjastolla ja valmistetuille vuokille tehdään tunkeumanestetarkastelu, jolla arvioidaan sauman pitävyyttä.

Työn tulosten perusteella voidaan sanoa, että LumiFlex kuitukalvot saumautuvat hyvin ja niillä saadaan aikaan tarpeeksi vahvoja saumoja. Kuitukalvoilla on myös mahdollista valmistaa nestetiiviitä vuokia, kunhan saumaspinta on tarpeeksi tasainen ja saamaava voima saadaan kohdistettua oikealle alueelle. Kuitukalvot soveltuivat hyvin käytetyille pakkauslinjastoille ja hajonneita pakkauksia syntyi vähän.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Dominik Flod

HEAT SEALABILITY OF FIBRE-BASED LIDDING FILMS

Bachelor's thesis

2020

36 pages, 15 figure and 2 appendices

Examiner: D. Sc. (Tech.) Ville Leminen

Supervisors: D. Sc. (Tech.) Ville Leminen, M. Sc. (Tech.) Antti Pesonen

Keywords: Fibre-based lidding films, heat sealing, paperboard trays

This bachelor's thesis examines the heat sealability of fibre-based lidding films. The work consists of a practical part and a literature review, that reviews factors influencing heat sealing, introduces the sealing lines used in the practical part and presents some new fibre-based film materials on the market.

The aim of the practical part is to determine the heat sealability of the Stora Enso LumiFlex 70 + 15 PE and the LumiFlex 90 + 30 PE fibre-based film materials with paperboard trays. The examined materials are subjected to standard Peel -tests to measure the strength of the joints. Then they are heat sealed on two different types of sealing lines, and the sealed trays are subjected to a liquid penetrant testing to determine the tightness of the joint.

Based on the results of this work, it can be said that the LumiFlex fibre films seal well and provide sufficiently strong seams. It is possible to make liquid-tight trays with them if the sealing surface is smooth enough and the sealing force can be applied to the correct area. The fibrous films functioned well in the used packaging lines and only few of the packaging broke.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
LYHENNELUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	6
1.2 Tutkimusmenetelmät ja rajaus	7
2 KUUMASAUMAUS	8
2.1 Kuumasaumausprosessi	8
2.2 Työssä käytettävät laitteet.....	9
2.3 Puristusmuovattujen kartonkivuokien kuumasaumaaminen	10
2.4 Lämpömuovattujen kartonkivuokien kuumasaumaaminen	11
3 MARKKINAKARTOITUS	13
4 KUUMASAUMAUSKOKEET	16
4.1 Käytetyt materiaalit.....	16
4.2 Peel -kokeet.....	17
4.3 Vuokasuljentakokeet.....	19
4.4 Tunkeumanestetarkastelu.....	19
5 KUUMASAUMAUSKOKEIDEN TULOKSET	21
6 TULOSTEN ANALYYSI	27
7 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	

LIITE I: Sauman kuoriutuminen.

LIITE II: Paperin delaminoituminen.

LYHENNELUETTELO

APET	Amorphous polyethylene terephthalate, (<i>Amorfinen polyeteenitereftalaatti</i>)
BOPET	Biaxially-oriented polyethylene terephthalate, (<i>Kaksiakselisesti orientoitunut polyeteenitereftalaatti</i>)
FFS	Form, Fill and Seal, (<i>muotoilu, täyttö ja suljenta</i>)
OPET	Oriented polyethylene terephthalate, (<i>Orientoitu polyeteenitereftalaatti</i>)
PE	Polyethylene, (<i>Polyeteeni</i>)
PET	Polyethylene terephthalate, (<i>Polyeteenitereftalaatti</i>)

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä selvitetään kuitupohjaisten materiaalien soveltuvuutta korvata muovikalvoja pakkausten kansituksessa. Soveltuvuutta tarkastellaan erityisesti koneteknisestä näkökulmasta. Pakkauksien kansissa käytetään tällä hetkellä lähes pelkästään monikerrosmuovikalvoja niiden erinomaisten suojaavuusominaisuuksien takia. Muovipakkausten aiheuttamat saasteet ovat nähtävillä kaikkialla ja se on vakava maailmanlaajuinen kriisi, joka vaikuttaa meihin kaikkiin. Pakkauksissa on vähennettävä muovimateriaalien käyttöä ja siirryttävä ympäristöystävällisempiin vaihtoehtoihin, jotta ongelmaan saataisiin ratkaisu. Kuitupohjaisia kalvoja voidaan päällystää pienellä määrällä polymeeripinnoitetta, jotta niille saadaan muovia muistuttavia ominaisuuksia, kuten kuumasaumautuvuus ja veden- sekä rasvojen eristyskyky.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen kokeellisen osuuden tavoitteena on selvittää kahden kuitupohjaisen kalvomateriaalin soveltuvuutta kuumasauausmenetelmällä suljettujen kartonkivuokien kansituksessa. Työn tavoitteena on myös kartoittaa markkinoilla olevia kuitupohjaisia kalvomateriaaleja, joilla voitaisiin korvata nykyiset monikerrosmuovikalvot. Tutkimuskysymyksiä työssä ovat:

- Miten hyvin kuitupohjaiset kalvomateriaalit saumautuvat kuumasauausmenetelmällä suljettujen pakkausten kansituksessa?
- Millaisilla markkinoilla olevilla kuitupohjaisilla kalvomateriaaleilla voitaisiin korvata nykyiset monikerrosmuovikalvot?
- Kuinka tiiviitä saumoja kuitupohjaisilla kalvomateriaaleilla voidaan saada aikaan vuokasuljennoissa?
- Millaisia haasteita kuitupohjaisilla kalvomateriaaleilla ilmenee vuokasuljennassa?
- Miten kuitumateriaaleilla aiheutuvia haasteita voitaisiin ehkäistä?

1.2 Tutkimusmenetelmät ja rajaus

Työssä suoritetaan kokeellinen osuus sekä kirjallisuuskatsaus, jossa käydään läpi kuumasaumausprosessiin vaikuttavia tekijöitä, esitellään kokeellisessa osiossa käytettävät vuokasuljentalaitteet sekä kartoitetaan markkinoilla olevia kuitupohjaisia kalvomateriaaleja. Tutkimus rajataan käsittelemään vuokasuljenta erityisesti kalvon saumautumisen kannalta. Kokeellinen osuus suoritetaan LUT-yliopiston Pakkaustekniikan Laboratoriossa. Kokeellisen osuuden kalvomateriaaleja ovat Stora Enso LumiFlex 70 + PE 15 ja LumiFlex 90 + PE 30 sekä referenssimuovikalvo Buergo.fol OPET T900 RC. Vuokamateriaaleja ovat Stora Enso Trayforma, Duplex sekä Primeforma. Kokeelliseen osuuteen kuuluu testikappaleiden valmistaminen sekä saamaaminen laboratoriokuumasaumurilla, standardin mukaisen peel -kokeen suorittaminen ja sen tulosten analysointi, vuokasuljentojen suorittaminen kahdella erityyppisellä suljentalinjastolla sekä sauman pitävyyden tarkastelu standardin mukaisin menetelmin. Kirjallisuuskatsaus suoritetaan tutkimalla uusimpia tieteellisiä julkaisuja sekä käymällä läpi aiheeseen liittyvää kirjallisuutta.

2 KUUMASAUMAUS

Tässä kappaleessa kerrotaan yleisesti kuumasaumausprosessista ja siihen liittyvistä haasteista. Kappaleessa esitellään myös tämän työn käytännön kokeissa käytettävät vuokasuljentalinjastot.

2.1 Kuumasaumausprosessi

Kuumasaumaaminen yksinkertaisuudessaan tarkoittaa kahden termoplastisen materiaalin liittämistä yhteen. Yleensä kuumasaumauspakkaustekniikkaa käytetään rasioiden tai pussien sulkemiseen. (Mueller et al. 1998, s. 1.)

Kuumasaumausmekaniikoita on monia, mutta peruseriaatteena on kahden osittain sulaneen polymeeripinnan saattaminen yhteen. Sauman tiivistämiseksi lämmitettyjä pintoja puristetaan yhteen sopivalla paineella riittävän pitkään. (Mueller et al. 1998, s. 1.) Tärkeimpiä parametrejä saumautumisen onnistumiselle ovat käytetty lämpötila, paine ja puristus aika. Oikeita parametreja käyttäen kuumasaumauksella voidaan saada kokonaan ilmatiivispakkaus ja estää bakteerien pääseminen tuotteeseen. (Leminen 2016, s. 27.)

Yleisimmissä kuumasaumauslaitteissa lämpö johdetaan saumausalueelle lämmitetyn puristustyökalun avulla. Puristustyökalu lämmitetään ennalta määrättyyn lämpötilaan ja se siirtää lämmön kalvon läpi halutulle alueelle. Puristuksen jälkeen sauma jäädytetään ja se on valmis. (Leminen 2016, s. 27.) Kyseinen tekniikka asettaa rajoituksia suljennassa käytettävän kalvon paksuudelle ja yleensä suljennassa käytetäänkin alle 0,5 mm paksuja kalvoja. Kuumasaumaaminen on kohtuullisen nopea suljennametodi, tyypilliset saumausajat vaihtelevat sekunnista kolmeen sekuntiin. (Troughton 2008, s. 121.) Ultraäänihitsaus on myös teollisuudessa paljon käytetty saumausmenetelmä. Siinä lämpö tuotetaan saumausalueelle korkeataajuisella ultraäänienenergialla, joka saa pinnat värähtelemään ja lämpenemään. Ultraäänihitsausta käytetään paljon autoteollisuudessa esimerkiksi ajovalojen osien valmistuksessa ja erilaisten nappien sekä katkaisimien valmistuksessa. (Troughton 2008, s. 15–16.)

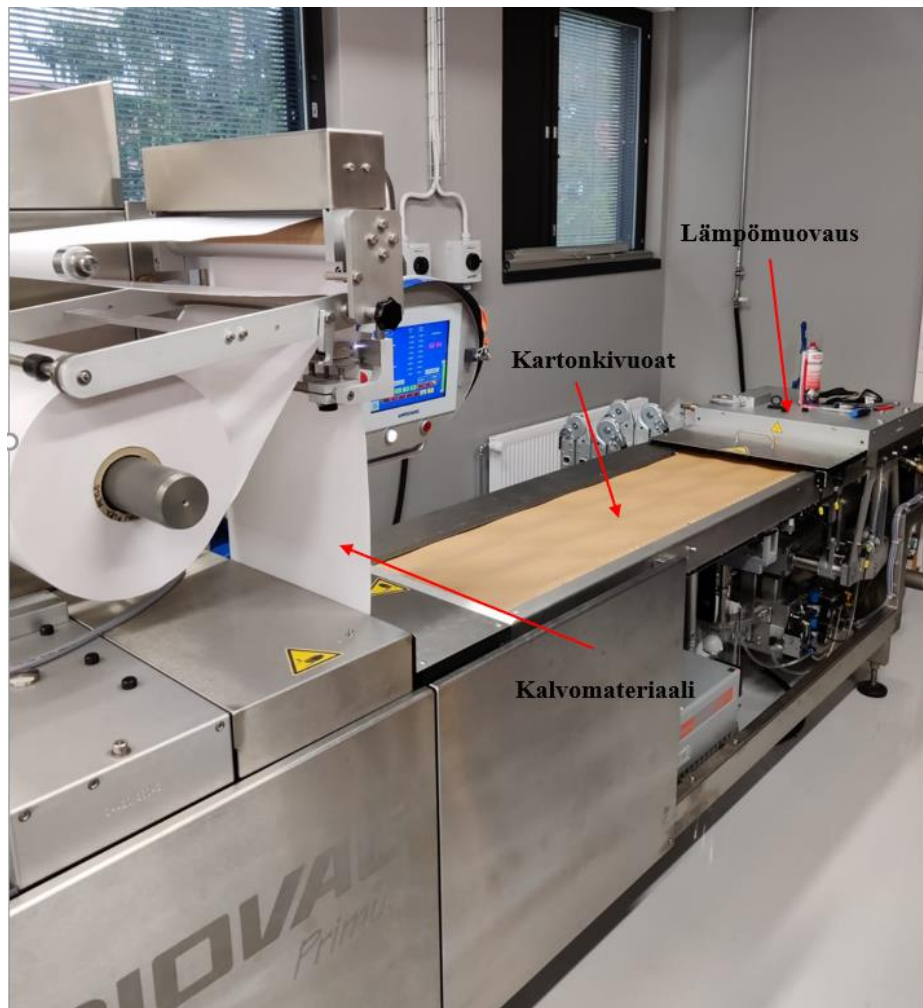
2.2 Työssä käytettävät laitteet

Tässä tutkimuksessa vuokasuljennassa käytetyt laitteet ovat Ilpra Speedy 2008 VG rasiassuljentakone sekä Variovac Primus pakkauslinjasto. Ilpra Speedy 2008 VG koneen suljentaprosessissa alatyökalu nostaa vuokaa sen reunoista, saumuskammio suljetaan ja ylä- sekä alatyökalut painetaan yhteen halutulla voimalla, kalvo- ja vuokamateriaalia pidetään yhdessä ennalta määritetyn saumausajan verran. Ylätyökalu on lämmitetty haluttuun saumauslämpötilaan ja alatyökalu on huoneen lämpöinen. Saamaamisen jälkeen kone leikkaa ylimääräisen kalvomateriaalin vuoan ympäriltä pois. Kuvassa 1 on esitetty Ilpra Speedy 2008 VG rasiassuljentakone.



Kuva 1. Ilpra Speedy 2008 VG rasiassuljentakone.

Variovac Primus pakkauslinjastossa on yhdistettynä kartonkivuoan lämpömuovaaminen sekä suljenta kuumasaumamalla. Linjaston alkupäässä rullalta syötettävä kartonkimateriaali lämpömuovataan haluttuun muotoon ja vuoat kulkevat linjastoa pitkin suljettavaksi. Kalvomateriaali syötetään suljentakammioon sen yläpuolella olevalta rullalta. Suljennan jälkeen kone leikkaa ylimääräisen vuoka- ja kalvomateriaalin pois. Kuvassa 2 esitellään Variovac Primus pakkauslinjasto.

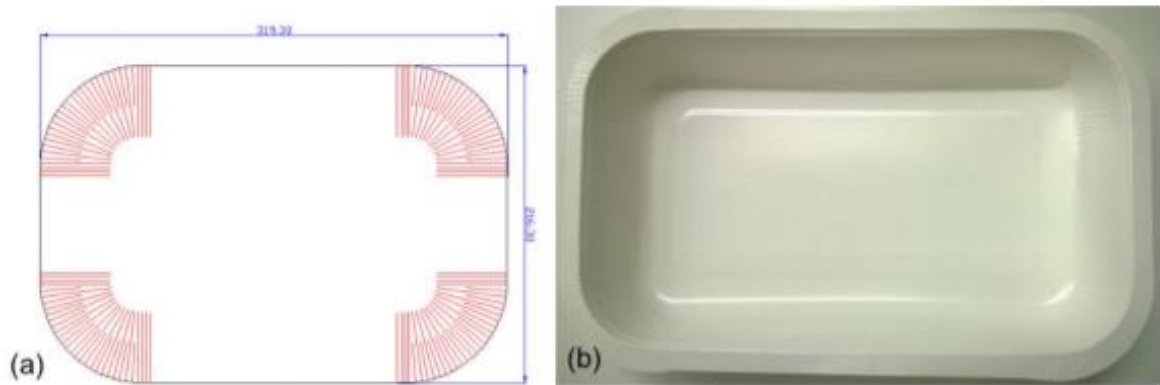


Kuva 2. Variovac Primus pakkauslinjasto.

2.3 Puristusmuovattujen kartonkivuokien kuumasauaaminen

Puristusmuovauksessa kartonkiarkki laitetaan naaras- ja urosmuottien väliin, jotka puristetaan yhteen halutun muodon saamiseksi. Prosessissa lämpö pyritään tuomaan usein naarasmuotin puolelta, jotta PET-pinnoite ei sulaisi vuoan sisäpinnalla, mutta urosmuotin lämmittäminen on myös mahdollista. Puristusmuovausprosessin tärkeimmät työkalut ovat naaras- ja urosmuotti, joiden avulla haluttu muoto saadaan sekä kehätyökalu, jolla arkki pidetään paikallaan. (Tanninen et al. 2018, s. 2.) Puristusmuovattujen kartonkivuokien kuumasauaaminen on huomattavasti haastavampaa kuin muovipohjaisten vuokien kuumasauaaminen. Tämä johtuu puristusmuovauksessa kartonkivuokien reunoille syntyvistä rypyistä, jotka voivat toimia ohuina putkina, joiden takia pakkaus vuotaa. Rypyjen syntymistä ei voida estää, sillä ne johtuvat kartongin heikommista muovautuvuusominaisuuksista. (Leminen et al. 2015, s. 1.) Nuuttaamalla kartonkiarkki

ennen muovaamista voidaan kuitenkin kontrolloida syntyvien ryppyjen sijaintia ja helpottaa kartongin muovausta. (Leminen 2016, s. 27.) Kuvassa 3 näytetään esinuutattu- ja leikattu kartonkiarkki sekä puristusmuovattu kartonkivuoka.



Kuva 3. Vasemmalla (a) on esinuutattu- ja leikattu kartonkiarkki. Nuuttaukset näkyvät punaisina viivoina. Oikealla (b) puristusmuovattu kartonkivuoka (Leminen 2016, s. 22).

2.4 Lämpömuovattujen kartonkivuokien kuumsaumaaminen

Lämpömuovauksessa esilämmitetty materiaali muovataan yleensä painamalla se mekaanisesti haluttuun muottiin, muovaamisessa voidaan käyttää myös esimerkiksi yli/alipainetta tai mainittujen menetelmien yhdistelmiä. (Engelmann 2012, s. 6–7.) Yleisissä lämpömuovauskoneissa muovattava materiaali, joka on yleensä muovia, syötetään lämmitysuniin isolta rullalta. Lämmitysuniissa muovi lämmitetään haluttuun lämpötilaan ja sen jälkeen se muovataan halutun muotoiseksi. Muovauksen jälkeen vuoan ympäriltä leikataan ylimääräinen materiaali pois ja vuoka on valmis. (Myer 2017, s. 346.) Lämpömuovausprosessi integroidaan usein osaksi pakkauslinjastoa, alkupäässä tapahtuu muovaaminen, heti perään vuoka täytetään pakattavalla tuotteella ja tämän jälkeen saumataan kansikalvo ja leikataan valmis pakkaus irti. Tällaisia linjastoja kutsutaan FFS-koneiksi eli muotoilu-, täyttö- ja suljentakoneiksi. (Engelmann 2012, s. 9; Leminen 2016, s. 24.)

Lämpömuovauksessa käytetään yleensä muovipohjaisia materiaaleja niiden joustavuuden takia, mutta kuitupitoisten materiaalien käyttö on myös mahdollista. Kuitupitoisten materiaalien lämpömuovaaminen on kuitenkin harvinaista, sillä muovaaminen tapahtuu pääasiassa materiaalia venyttämällä, tämän takia muodot eivät voi olla kovin syviä tai materiaali hajoaa. (Leminen 2016, s. 24.) Lämpömuovattujen kartonkivuokien etuna

kuumasaumauksessa on niiden saumaspintojen tasaisuus verrattuna puristusmuovattuihin vuokiin. Kuvassa 4. esitellään Variovac Primus pakkauslinjastolla lämpömuovattu ja suljettu vuoka.



Kuva 4. Variovac Primus pakkauslinjastolla valmistettu vuoka.

3 MARKKINAKARTOITUS

Tässä kappaleessa esitellään markkinoilta löytyviä kuitupohjaisia ja ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja monikerrosmuovikalvoille sekä käydään läpi materiaalien ominaisuuksia ja millaisiin käyttökohteisiin ne ovat suunniteltu.

AR Packaging Oy on kehittänyt Fibrecote nimisen paperimateriaalin, josta voidaan valmistaa kalvoja pakkauksille, valmiita pusseja sekä kääreitä. Fibrecoten paperipitoisuus räätälöidään asiakkaan tarpeiden mukaisesti ja korkeimmillaan tuote voi sisältää 60 % paperipohjaisia materiaaleja. Materiaaliin voidaan myös lisätä pinnoitteita, jotka helpottavat sen kuviointia ja sauman avaamista. (AR Packaging 2020a; AR Packaging 2020b.) AR Packaging myös suunnitteli yhdessä Pauligin kanssa Santa Maria brändin uudet tortillapakkaukset. Pakkausmateriaaliksi valikoitui paperipohjainen kalvo, joka päällystettiin sopivalla suojamateriaalilla ja jonka pohjaraina on tehty ympäristöystävällisistä muoveista. Uuden pakkauksen hiilijalanjälki on 35 % pienempi ja Santa Marian muovin kulutus alenee arviolta 150 tonnia vuodessa. (AR Packaging 2020c.)

Paptic Ltd on suomalainen yritys, joka taistelee muovijätettä vastaan kehittämällä ympäristöystävällisempiä pakkausmateriaaleja. He ovat kehittäneet Paptic Gavia nimisen puupohjaisen materiaalin, joka sisältää vähintään 80 % uusiutuvia materiaaleja. Paptic Gavia on kuumasaumautuva ja kestävä materiaali, joka sopii useille pakkauslinjoille, joissa ajetaan muovikalvoja. Paptic Gavia on kehitetty erityisesti kuiville elintarvikkeille ja FFS pakkauslinjoille, joissa pussitetaan tuotteita. Paptic Ltd kehittikin yhdessä Fazerin kanssa Muumi suklaarakeille uuden pussin Paptic Gavia materiaalista, joka julkaistiin 26.10.2020 K-ryhmän ruokakauppoihin sekä Fazerin omiin jälleen myymälöihin. (Paptic 2020a, Paptic 2020b.)

Walki Group Oy on kehittänyt Walki Lid tuotesarjan. Ne ovat paperipohjaisia kalvomateriaaleja yksittäispakkauksille kuten jogurttipurkeille tai nuudelikulhoille. Kaikilla Walki Lid kalvoilla on samat perusominaisuudet. Niillä on vahvat mekaaniset ominaisuudet, ne soveltuvat hyvin yleisimpiin painatusmenetelmiin, niillä on vahvat veden-, kaasun- ja aromien suojaavuusominaisuudet ja ne ovat kuumasaumautuvia. Walki Lid kalvoa on

saatavilla neljää eri versiota: Walki Lid, Walki Lid Flex, Walki Lid PE ja Walki Lid PET. Walki Lid Flex soveltuu erityisesti jogurtti- ja meijerituotteille sen vahvojen suojaavuusominaisuuksien takia. Loput vaihtoehdot eroavat toisistaan vain kuumasaumautuvuusominaisuuksiltaan. Walki Lid saumautuu polystyreeni ja polypropeeni kulhojen kanssa, kun taas Walki Lid PE saumautuu PE pinnoitettujen materiaalien kanssa ja Walki Lid PET saumautuu PET pinnoitettujen materiaalien kanssa. (Walki 2020.)

Pyroll Group Oy on kehittänyt FlowPap Evo nimisen materiaalin, joka on suunniteltu erityisesti kuivien elintarvikkeiden pussimaisten pakkausten valmistukseen. Materiaalia voidaan kuitenkin muokata soveltumaan asiakkaan toiveiden mukaan erikokoisille yksikköpakkauksille. Se on kuitupohjainen, kuumasaumautuva ja kierrätettävä materiaali. FlowPap Evo soveltuu yleisimmille käytössä oleville pakkauskoneille ja siihen on mahdollista tehdä kuvioiteja vesiohenteisilla painoväreillä. (Pyroll 2020.)

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on Suomen valtion omistama tutkimuslaitos, jonka tavoitteena on edistää tutkimuksen ja teknologian hyödyntämistä sekä kaupallistamista elinkeinoelämässä. (VTT 2020a.) VTT on kehittänyt täysin uusiutuvista ainesosista Thermocell nimisen termoplastisen selluloosamateriaalin. Se koostuu selluloosasta sekä rasvahapoista ja sen lopullinen käyttökohde määräytyy yrityksen mieltymysten mukaan. Thermocell soveltuu sellaisiin tarkoituksiin, joissa käytetään nykyään muoveja, sitä voidaan jalostaa samalla tavalla kuin muovia esimerkiksi pakkauskalvoiksi ja kappaletavaroiksi. Materiaalin kaikkia käyttömahdollisuuksia ei vielä tunneta, mutta VTT kehittää materiaalia parhaillaan yhteistyössä Pauligin, Arla Foodsin ja Wipakin kanssa. Yritysyhteistyön avulla pyritään vauhdittamaan materiaalin kaupallistamista. Yhteistyö on tarkoitus saattaa maaliin toukokuussa 2021. (VTT 2020b.)

Wipak on Wihuri konserniin kuuluva innovatiivisia ja joustavia pakkausratkaisuja kehittävä yritys. Wipak on kehittänyt PAPER TOP PD PE 90 XX paperipohjaisen kalvomateriaalin ja PAPER BTM Q 330 XX pohjakalvon, jotka koostuvat 75 % uusiutuvista materiaaleista. Materiaalit soveltuvat erityisesti viipaloiduille tuotteille lämpömuovattaviin pakkauksiin, kuten leikkele- tai juustopakkauksille. PAPER BTM pohjakalvoa saa jopa 90 % paperipitoisuudella. PAPER TOP kansikalvosta ja PAPER BTM pohjakalvosta valmistetut pakkaukset kuluttavat 77 % vähemmän muovia ja niiden hiilijalanjälki on 55 % pienempi

kuin yleisimmillä pakkauksilla, jotka on valmistettu BOPET/PE kansikalvoilla sekä APET/PE pohjakalvoilla. (WIPAK 2020.)


Saksalainen Feldmuehle paperitehdas on kehittänyt pakkauspaperin, jonka kääntöpuoli on pinnoitettu kuumasaumautuvalla pinnoitteella. Materiaali sopii olemassa oleville pakkauslinjoille ja se voidaan kierrättää paperin keräykseen, sillä se on tehty enimmäkseen selluloosasta. (Feldmuehle.) Materiaali on kehitetty erityisesti FFS pussin pakkauslinjoille ja tuotteille, jotka eivät vaadi pakkaukselta barriereeri ominaisuuksia. Hollantilainen NOMI Co-Packing yritys onkin jo onnistuneesti käyttänyt materiaalia heidän tuotannossaan juuri pussien valmistuksessa ja täyttämässä. (Packaging Europe 2017.)

4 KUUMASAUMAUSKOKEET

Kuumasaumauskokeissa käytetään kolmea eri kalvo- sekä vuokamateriaalia. Kalvomateriaaleista kaksi on tutkittavana olevaa kuitupohjaista materiaalia ja kolmas kalvo on referenssimateriaalina käytetty muovikalvo. Kaikki vuokamateriaalit ovat kartonkia ja kaksi niistä on päällystetty polymeeripinnoitteella. Käytännön kokeet aloitettiin valmistamalla koekappaleet Peel -testiä varten, jossa tarkastellaan sauman lujuutta. Peel -testien tulosten perusteella valitaan saumauslämpötilat vuokasuljentakokeille. Vuokasuljennat suoritettiin kahdella eri pakkauslinjastolla, joilla valmistetut vuoat eroavat toisistaan vuokien saumauspinoissa. Tämän jälkeen vuokasuljennassa valmistetuille pakkauksille suoritettiin standardin mukainen tunkeumanestetarkastelu. Tunkeumanestetarkastelussa selvitetään valmistetun sauman tiiveyttä.

4.1 Käytetyt materiaalit

Kokeissa tutkittavat kalvomateriaalit ovat Stora Enson valmistamat LumiFlex 70 + 15 PE ja LumiFlex 90 + 30 PE sekä referenssi muovikalvo Buergo.fol OPET T900 RC. LumiFlex kalvon nimessä olevat numerot tarkoittavat materiaalin grammapainoa g/m^2 . Ensimmäinen numero on paperin grammapaino ja toinen on PE-pinnoitteen grammapaino. LumiFlex PE kalvomateriaalit ovat polymeeripinnoitteisia pakkauspaperreja, jotka ovat kehitetty soveltumaan elintarvikepakkauksiin, joissa tarvitaan vedeneristystä ja kuumasaumautuvuutta. LumiFlex PE kalvoissa polymeeripinnoite on sauman puolella, edistämässä kuumasaumas- ja vedeneristysominaisuuksia sekä paperin ulkopinnassa on pigmenttipäällyste, joka mahdollistaa pakkauksen kuvioinnin. (Stora Enso 2020.) Kuvassa 5 esitellään tarkemmin LumiFlex PE- paperikalvojen ominaisuuksia.

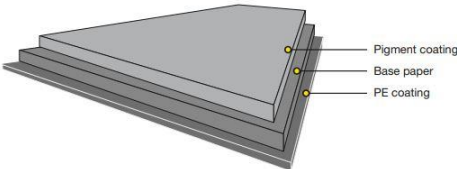


storaenso

LumiFlex™ PE

Flexible packaging paper

Lumiflex PE is polymer coated woodfree flexible packaging paper. There is pigment coating on top side and PE coating on reverse side.



Issued: 08.2018
Cancels: 07.2017

Technical specification

	70+15	80+15	90+15	120+15	Standard
Polymer coated paper:					
Grammage, g/m ²	85	95	105	135	ISO 536
PE reverse, g/m ²	15	15	15	15	Mill method
Thickness, µm	78	87	97	124	ISO 534
Basepaper:					
Grammage, g/m ²	70	80	90	120	ISO 536
Thickness, µm	64	73	83	110	ISO 534
Bending resistance L&W 15° MD, mN	32	50	70	127	ISO 2493-1
Bending resistance L&W 15° CD, mN	20	30	40	70	
Moisture %	4.4	4.4	4.1	4.1	ISO 287
Brightness D65/10, %, CS	86	86	86	86	ISO 2470-2
Surface Smoothness, PPS 10, µm, CS	1.0	1.0	1.0	1.0	ISO 8791-4
Gloss 75°, %, CS	62	62	62	62	ISO 8254-1

No OBA added.

Kuva 5. LumiFlex PE- paperikalvojen ominaisuuksia (Stora Enso 2020).

Kokeissa käytetyt vuokamateriaalit ovat Stora Enson valmistamat Trayforma 350, Duplex 248+47EB41 sekä Primeforma 278+47EB41. Trayforma 350 on ainoa käytetty materiaali, jossa ei ole polymeeripinnoitetta. EB41 pinnoite on Stora Enson kehittämä päällyste, joka vastaa ominaisuuksiltaan PE-pinnoitetta.

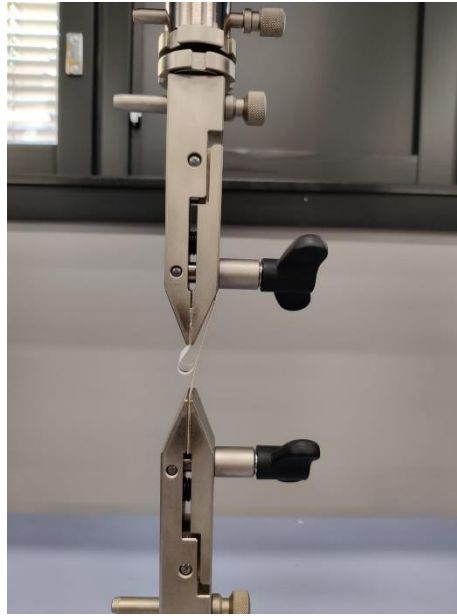
4.2 Peel -kokeet

Peel -kokeissa tutkittavat vuokakalvo näytekappaleet valmistettiin RDM HSB-1 laboratoriuumasaurilla neljässä eri lämpötilassa: 90 °C, 100 °C, 130 °C ja 150 °C. Saumattujen näytteiden koko oli 25 mm x 75 mm ja saumauksessa käytetty saumauspaine oli 2,25 bar, jolloin pintapaineeksi saatiin 2,65 N/mm², joka vastaa Ipra Speedy vuokasuljennan pintapainetta. Saumausaikana oli 2,5 s. Jokaisesta materiaaliparista valmistettiin 6 näytekappaletta jokaista saumauslämpötilaa kohti. Kuvassa 6 on esitetty laboratoriuumasaururi RDM HSB-1. Laboratoriuumasaururin käyttötarkkuus saumauslämpötilalle on +/- 2 °C ja saumauspaineelle +/- 10 % sekä saumausajan resoluutio on 0,01 s. (RDM Test Equipment 2020.)



Kuva 6. Laboratoriokuumasaumuri RDM HSB-1.

Peel -kokeet suoritettiin ASTM F88 / F88M – 15 standardin mukaan. Vetokoelaitteena testeissä toimi Shimadzu AGS-X, 1kN voima anturilla. Peel -kokeessa tutkitaan sauman lujuutta, vetokoelaitte repii näytekappaleen sauman rikki ja piirtää siitä voimavenymä käyrän. Tyypillisessä voimavenymä kuvaajassa on kaksi selvää piikkiä, ensimmäinen piikki syntyy, kun sauma repeytyy auki ja toinen piikki, kun sauma lopullisesti repeytyy irti. Piikkien välillä on tasainen alue, jonka aikana sauma kuoriutuu. Kokeessa näytekappaleen kalvo- ja vuokamateriaali kiinnitetään vetokoelaitteen leukoihin kiinni ja leuat lähtevät irtaantumaan toisistaan nopeudella 200 mm/min. Sauman lujuuden tarkastelu on hyvä tapa mitata, kuinka tiiviitä saumoja prosessilla voidaan tuottaa. (ASTMF88 2009.) Kuvassa 7 on esitetty näytekappaleen kiinnitys vetokoelaitteeseen.



Kuva 7. Näytekappale kiinnitettynä Shimadzu AGS-X vetokoelaitteen leukoihin.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan materiaaliparien saumanlujuuden keskiarvoa sekä keskihajontaa jokaisella saumauslämpötilalla. Kuitukalvojen saumojen laatua arvioidaan myös tutkimalla niihin syntyviä vauriomekanismeja. Vauriomekanismien avulla voidaan selvittää, kuoriutuuko testissä sauma vai delaminoituuko sen ympärillä oleva materiaali.

4.3 Vuokasuljentakokeet

Ilpra Speedy vuokasuljentakokeissa käytettiin kaikkia kalvo- ja vuokamateriaaleja. Jokaisella materiaaliparilla tehtiin neljä suljenta kahdella eri saumauslämpötilalla. Saumausaika oli 2,5 s ja suljentapaine 6 bar.

Variovac suljentakokeissa käytettiin vuokamateriaalina ainoastaan Duplex kartonkia. Suljennoissa käytettiin kahta suljentatyökalua, joissa on erilaiset suljentapinnat. Työkalussa 1 on pakkauksen avaamista helpottava muoto ja työkalu 2 on täysin tasainen. Kalvomateriaaleina käytettiin kumpaakin kuitukalvoa sekä referenssi muovikalvoa.

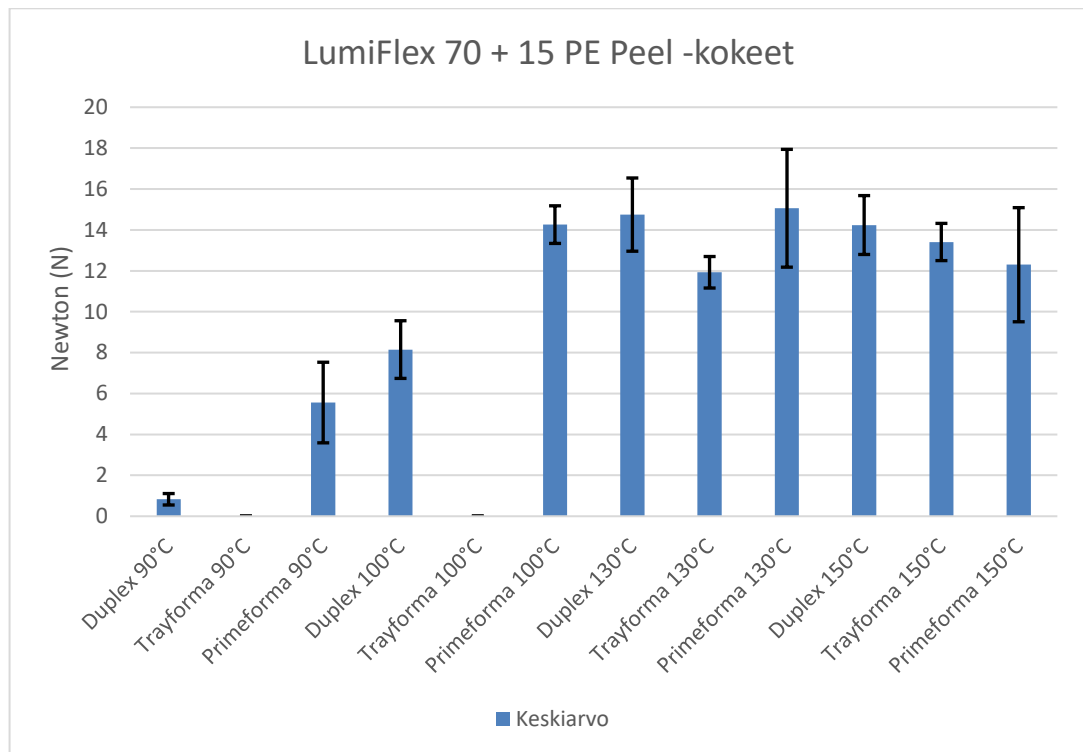
4.4 Tunkeumanestetarkastelu

Kokeissa suoritettavat tunkeumanestetarkastelut suoritettiin eurooppalaisen standardin EN 13676 mukaan. Reagenssina värjäysliuoksessa olivat sininen väriaine E131 ja etanoli (C₂H₅OH, 96 %), 100 ml etanolia sisälsi 0,5 g väriainetta. (EN 13676 2001.) Ilpra Speedyllä

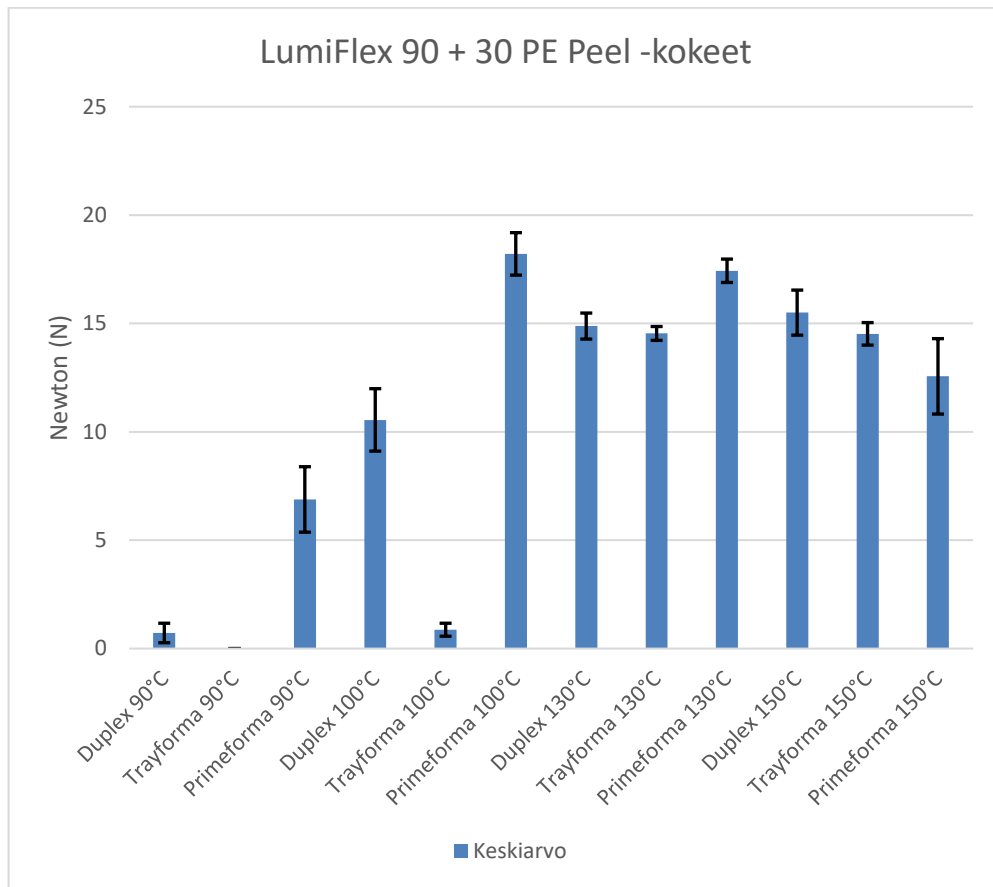
suljetuilla vuolle suoritettiin tunkeumanestetarkastelu etanolilla sekä vedellä. Variovac linjastolla suljetuille vuolle suoritettiin tunkeumanestetarkastelu pelkästään etanolilla.

5 KUUMASAUMAUSKOKEIDEN TULOKSET

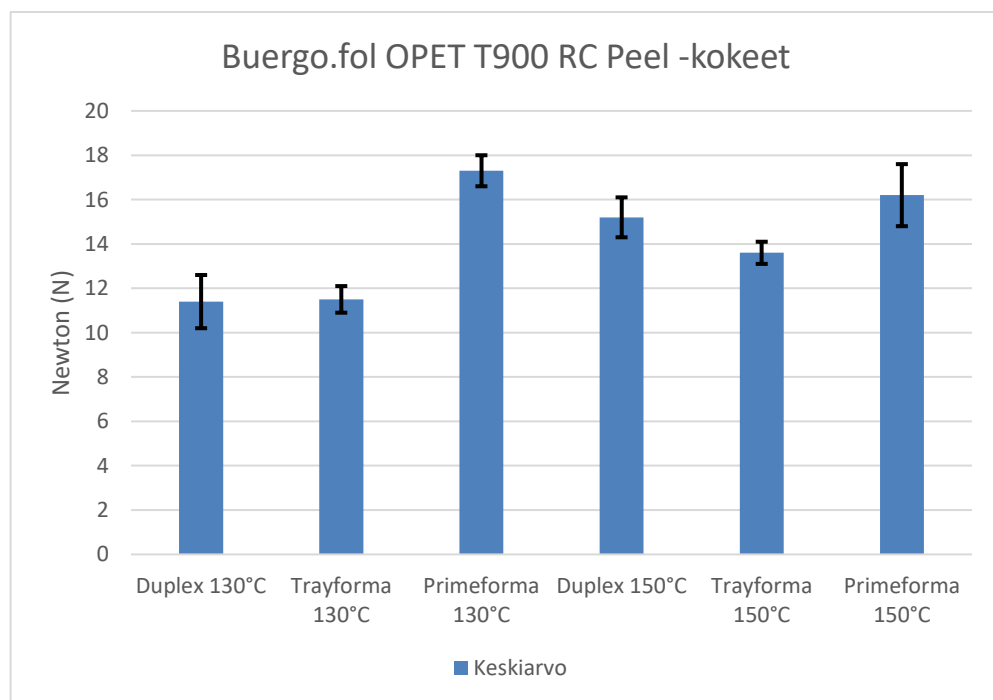
Peel -kokeissa testattujen saumojen keskiarvovetolujuudet sekä keskihajonnat on koottu alla esitetyissä kuvissa 8–10. Kuvaajien vaaka-akselilla on kartonkimateriaalin nimi sekä saumaustemperötila ja pystyakselilla saumojen vetolujuuden keskiarvo sekä keskihajonta. Vahvimmat saumat saatiin lämpötiloilla 130 °C ja 150 °C.



Kuva 8. LumiFlex 70 + 15 PE kalvon peel -kokeiden tulokset.



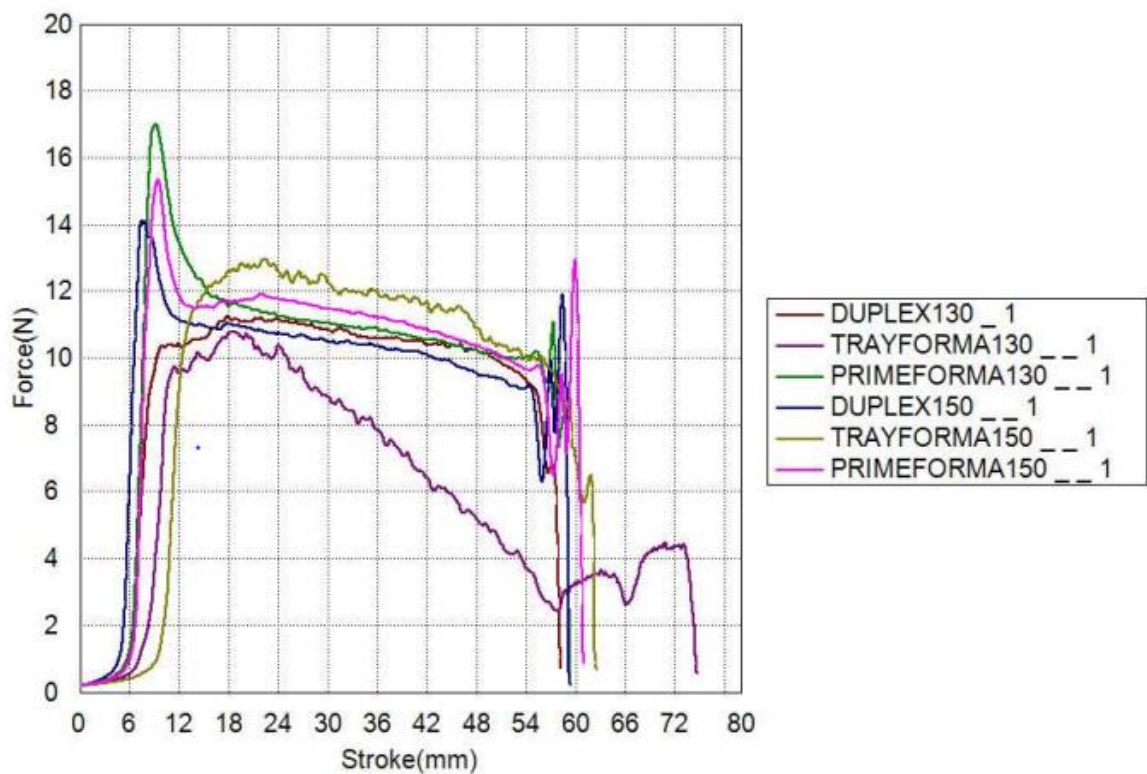
Kuva 9. LumiFlex 90 + 30 PE peel -kokeiden tulokset.



Kuva 10. Buergo.fol OPET T900 RC peel -koikeden tulokset.

Alhaisimmalla saumauslämpötilalla kuitukalvot saumautuivat heikosti kartonkeihin, ja saumaa ei joko ollut ollenkaan tai vauriomekanismina oli sauman kuoriutumisen, joka kertoo sen heikkoudesta. Liitteessä I esitellään sauman kuoriutumisen vauriomekanismit. Kun saumauslämpötila nousi 100 °C asteeseen ja sen yli, saumat alkoivat olla niin lujia, että yleisin vauriomekanismi oli toisen materiaalin delaminoituminen tai kummankin materiaalin delaminoituminen. Poikkeuksena Trayforma kartongin kanssa tehdyt saumat, jotka alkoivat vahvistumaan vasta 130 °C asteessa. Liitteessä II esitellään delaminoitumisen vauriomekanismit.

Kuvassa 11 esitellään referenssi muovikalvo Buergo.fol OPET T900 RC peel -kokeiden voimavenymä kuvaajat. Kuvaajat ovat keskiarvoja yksittäisistä käyristä. Kuvaajan oikealla puolella näkyy käytetty kartonkimateriaali ja saumauslämpötila.



Kuva 11. Buergo.fol OPET T900 RC peel -kokeiden voimavenymä-kuvaajat.

Peel -kokeiden tulosten perusteella vuokasuljentojen saumauslämpötiloiksi valittiin 130 °C ja 150 °C.

Ilpra Speedy vuokasuljentakokeissa materiaalien ja saumauslämpötilojen välillä ei juurikaan havaittu eroja. Kaikilla materiaalipareilla ja käytetyillä lämpötiloilla saatiin valmistettua ehjät pakkaukset. Tunkeumanestetarkastelussa yksikään saumattu vuoka ei ollut tiivis etanolitarkastelussa, mutta kaikki olivat tiiviitä vedellä tarkasteltuna. Saumat vuosit eniten ryppyjen kohdalta. Alla olevissa kuvissa 12 ja 13 esitellään etanolilla sekä vedellä tehtyjen tunkeumanestetarkastelujen tulokset.



Kuva 12. Etanolilla tehty tunkeumanestetarkastelu. Kalvomateriaalina LumiFlex 70 + 15 PE, kartonkina Primeforma ja saumauslämpötila 130 °C.

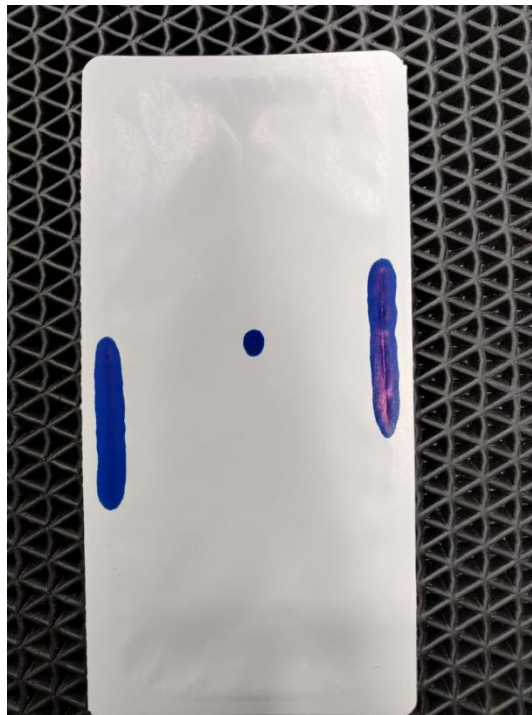


Kuva 13. Vedellä tehty tunkeumanestetarkastelu. Kalvomateriaalina LumiFlex 70 + 15 PE, kartonkina Duplex ja saumauslämpötila 150 °C.

Variovac suljentakokeissa saatiin myös onnistuneet saumat kaikilla käytetyillä kalvoilla sekä lämpötiloilla. Tunkeumanestetarkasteluissa materiaalien ja lämpötilojen välillä ei havaittu eroja. Suurimmat erot havaittiin käytettyjen suljentatyökalujen välillä. Molemmilla työkaluilla saumat pitivät hyvin etanolia, mutta tasaisella suljentatyökalulla suljettujen saumojen viereen syntyi pieniä reikiä, jotka aiheuttivat vuotoja. Muotoillulla työkalulla vastaavaa ilmiötä ei havaittu. Kuvissa 14 ja 15 esitellään Variovac suljentakokeiden tulokset.



Kuva 14. Muotoillulla työkalulla suljettu sauma. Kalvomateriaalina LumiFlex 70 + 15 PE ja saumauslämpötila 130 °C. Sininen piste vuolan keskellä syntyy värjäysliuoksen annostelusta.



Kuva 15. Tasaisella työkalulla suljettu sauma. Kalvomateriaalina LumiFlex 90 + 30 PE ja saumauslämpötila 130 °C. Sininen piste vuolan keskellä syntyy värjäysliuoksen annostelusta. Sivuilla olevat vuodot aiheutuvat kalvoon syntyneistä rei'istä.

6 TULOSTEN ANALYYSI

Peel -kokeissa ei havaittu juurikaan eroja LumiFlex 70 + 15 PE ja LumiFlex 90 + 30 PE kalvojen välillä saumojen lujuuksissa. Alhaisimmalla saumaustemperatuurilla 90 °C kalvot saumautuivat ainoastaan Primeforma kartongin kanssa heikosti ja sitä suuremmilla lämpötiloilla saumat alkoivat olla jo hyvin vahvoja, pois lukien Trayforma kartonki, jonka kanssa sauma vahvistui vasta 130 °C asteessa. LumiFlex kuitukalvot pärjäsivät myös hyvin vertailussa Buergo.fol OPET T900 RC referenssimuovikalvon kanssa. Referenssikalvo alkoi saumautua kartonkien kanssa vasta 130 °C asteessa ja saumojen lujuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin kuitukalvoilla saadut tulokset. Vahvimmat saumat saatiin 130 °C- ja 150 °C asteessa ja ne valittiin vuokasuljennassa käytettäväksi saumaustemperatuuroiksi. LumiFlex kuitukalvoilla onnistuttiin saamaan vahvoja saumojia, kun oikea saumaustemperatura löydettiin.

Ilpra Speedy vuokasuljentakokeissa ei myöskään syntynyt suuria eroja materiaalien tai saumaustemperatuurojen välillä. Kaikilla käytetyillä materiaaleilla ja lämpötiloilla saatiin valmistettua ehjät pakkaukset. Ilpra Speedyllä suljetut puristusmuovattut kartonkivuoat pärjäsivät heikosti tunkeumanestetarkasteluissa. Yksikään valmistetuista vuoista ei pitänyt etanolilla tehdyissä tunkeumanestetarkasteluissa, joten niille tehtiin myös vedellä sama tarkastelu, jossa vuokien saumat pitivät. Ilpra Speedy -rasiasuljentakoneella suljetut kartonkivuoat vuotivat pääasiassa niiden reunoilla olevien ryppyjen kautta. Ilmiö oli sama kaikilla kalvomateriaaleilla. Havaitusta ilmiöstä ei voidakaan syyttää kalvomateriaalin huonoja saumausominaisuuksia vaan puristusmuovattun kartonkivuoan aiheuttamaa haastetta saumautumiselle. Puristusmuovattujen kartonkivuokien aiheuttamia haasteita kuumasaumautumiselle on tutkinut muun muassa Leminen et al. (2015) ja Leminen (2016). Molemmissa tutkimuksissa käytettiin perinteisiä muovikalvoja ja onnistuttiin saamaan tiiviitä saumojia, kunhan sauman tiiveyden kannalta tärkeimmät tekijät ja parametrit ovat määritetty oikein, nämä ovat Lemisen (2016) mukaan vuoan geometria, käytetty kehävoima puristusmuovauksessa, saumauspinnan karkeus, ryppyjen korkeus ja geometria sekä saumauspaine. Tässä tutkimuksessa käytetyillä paperipohjaisilla kalvoilla on ohuempi saumaava kerros kuin perinteisillä muovikalvoilla ja tämä saattaa aiheuttaa ongelmia

sauman tiiveyden kanssa. Paperipohjaisten kalvojen saumaava kerros ei välttämättä kykene täyttämään nuuttien kohdalla olevia ryppyjä.

Variovac vuokasuljentakokeissa ei havaittu eroja materiaalien tai saumauslämpötilojen välillä. Variovac Primus pakkauslinjastolla suljetut lämpömuovatut vuoat pärjäsivät hyvin etanolilla tehdyissä tunkeumanestetarkasteluissa ja kaikkien vuokien saumat pitivät etanolia. Variovac suljentakokeissa havaittiin kuitenkin eroja suljentatyökalujen pintojen välillä kuitukalvoilla suljetuissa pakkauksissa. Suljentatyökalulla 1, jossa oli pakkauksen avaamista helpottava muoto suljettujen pakkauksien pinnat olivat täysin ehjiä, kun taas tasaisella suljentatyökalulla 2 suljetuissa pakkauksissa, havaittiin pieniä reikiä sauman vieressä. Tasaisella suljentatyökalulla kannen saumauksessa vuoan reunaan kohdistuu myös voimaa, ja paperikalvojen pinnoite ei kestä tätä. Vastaavaa ilmiötä ei havaittu referenssimuovikalvolla suljetuissa pakkauksissa. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että tämäntyyppisillä materiaaleilla pitäisi käyttää muotoiltua ylätyökalua kannen saumauksessa, jolla voima kohdistuu ainoastaan saumausalueelle, muotoilemattoman lämpölevyn sijaan.

LumiFlex kuitukalvoilla tehtyjen Peel- ja vuokasuljentakokeiden perusteella voidaan sanoa, että kalvot saumautuvat hyvin ja niillä saadaan aikaan tarpeeksi vahvoja saumoja. Kuitukalvoilla on mahdollista valmistaa tiiviitä pakkauksia, kunhan saumaava voima saadaan kohdistettua oikealle alueella riittävällä paineella ja saumauspinta on tarpeeksi tasainen. Kokonaisuudessaan kuitukalvot soveltuivat hyvin kokeissa käytetyille pakkauslinjastoille, hajonneita pakkauksia syntyi todella vähän. Tässä työssä ei käsitelty lainkaan valmistettujen pakkauksien kaasubarriereiominaisuuksia, vaan keskityttiin sauman lujuuteen ja nestetiiveyteen. Tämän takia vuokien mahdolliset loppuapplikaatioalueet voivat olla esimerkiksi noutoruokapakkaukset ja muut tuotealueet, jotka eivät vaadi suojakaasutiiveyttä. Saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä kokeiden aikana ei havaittu suuria poikkeamia vaan tulokset olivat johdonmukaisia, esimerkiksi Peel -kokeissa mitattujen saumojen lujuuksien keskihajonta oli pieni, joka kertoo, ettei tulosten välillä ollut suurta heittoa.

Jatkotutkimuksissa voitaisiin paneutua puristusmuovattujen kartonkivuokien saumojen tiiveyteen vaikuttaviin parametreihin ja optimoida prosessia tarkemmin kuitukalvoille, sillä

puristusmuovatut kartonkivuoat ovat osoittaneet olevansa tulevaisuudessa varteenotettava vaihtoehto muovisille valmisruokapakkauksille ja kuitupitoinen kansimateriaali tekisi pakkauksesta entistäkin ympäristöystävällisemmän. Lisäksi paperipohjaisilla kalvoilla suljettujen puristusmuovattujen kartonkivuokien reuna-alueen tarkempi mikroskooppi analyysi voisi olla hyödyllinen vuotomekanismin selvittämiseksi. Jatkotutkimuksia voitaisiin myös suorittaa erilaisilla kuitupohjaisilla kalvomateriaaleilla.

7 YHTEENVETO

Työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta sekä käytännön osuudesta. Työssä perehdyttiin aluksi kuumasauausprosessiin ja siihen vaikuttaviin tekijöihin sekä käytiin läpi vuokasuljentakokeissa käytettävät laitteet. Tämän jälkeen kartoitettiin markkinoilla olevia kuitupitoisia kansimateriaaleja, jotka voisivat soveltua kuumasaumattujen pakkausten kansiin. Työn kokeellisessa osuudessa tutkittiin kahden kuitupohjaisen kalvomateriaalin soveltuvuutta kuumasauausmenetelmällä suljettujen kartonkivuokien kansituksessa. Lopuksi saatuja tuloksia analysointiin ja pohdittiin niiden merkitystä sekä luotettavuutta.

Aluksi kalvoille suoritettiin Peel -kokeet, joissa mitattiin valmistettujen saumojen vetolujuuksia. Kokeet suoritettiin neljällä eri lämpötilalla ja niiden tulosten perusteella valittiin kaksi vahvinta saumauslämpötilaa vuokasuljentoihin.

Vuokasuljentakokeet suoritettiin kaupallisella rasiyasuljentakoneella ja kaupallisella lämpömuovauslinjastolla, jossa on integroitu kannen saumaus. Koneet eroavat toisistaan suljettujen vuokien saumauspintojen tasaisuudessa. Lämpömuovauslinjastolla suljetaan lämpömuovattuja kartonkivuokia ja rasiyasuljentakoneella suljetaan puristusmuovattuja kartonkivuokia. Lämpömuovauslinjaston suljentakokeet suoritettiin kahdella erilaisella suljentatyökalulla, joissa on erilaiset muodot. Työkalussa 1 on pakkauksen avaamista helpottava muoto ja työkalu 2 on tasainen. Valmistetuille vuolille tehtiin standardin mukainen tunkeumanestetarkastelu, jolla voidaan määrittää valmistetun sauman tiiveys.

Rasiyasuljentakoneella suljetut kartonkivuoat eivät olleet tiiviitä etanolilla suoritetuissa tunkeumanestetarkasteluissa ja ne vuosisivat reunoilla olevien ryppyjen kautta. Tämä ei johtunut kuitukalvojen huonoista saumautumisominaisuuksista vaan puristusmuovattujen kartonkivuokien aiheuttamista haasteista kuumasauaukselle. Lämpömuovauslinjastolla suljetut vuokat suoriutuivat hyvin tunkeumanestetarkasteluissa ja muotoillulla saumaustyökalulla valmistettujen pakkauksien saumat eivät vuotaneet. Poikkeuksena oli tasaisella, muotoilemattomalla suljentatyökalulla suljetut pakkaukset, jotka vuotivat saumojen viereen syntyneistä pienistä rei'istä.

Työn tulosten perusteella voidaan sanoa, että kuitukalvot saumautuvat hyvin ja niillä saadaan aikaan tarpeeksi vahvoja saumoja, ne soveltuivat myös hyvin käytettyihin suljentakoneisiin. Kuitupohjaisilla kalvoilla aiheutui ongelmia vuokasuljennassa sauman tiiveyden kanssa, kun saumauspinta oli epätasainen ja saumaavaa voimaa ei saatu keskitettyä oikealle alueelle. Kuitupohjaisilla kalvoilla on kuitenkin mahdollista valmistaa nestetiiviitä vuokia, kunhan saumausalue on tarpeeksi tasainen ja saumaava voima saadaan kohdistettua oikealle alueelle tarvittavalla paineella.

LÄHTEET

ASTMF88, 2009. Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials.

AR Packaging, Lidding films – a complete range of high performance materials with sustainability at top-of-mind [verkkosivu]. 2020a. [viitattu 20.11.2020]. saatavissa: <https://www.ar-packaging.com/en/solutions/lidding-films>.

AR Packaging, Barrier papers – renewable materials with attractive look & feel [verkkosivu]. 2020b. [viitattu 20.11.2020]. saatavissa: <https://www.ar-packaging.com/en/solutions/barrier-papers>.

AR Packaging, Santa Maria tortillas save plastics with new packaging from AR Packaging Flexibles [verkkosivu]. 2020c. [viitattu 20.11.2020]. saatavissa: <https://www.ar-packaging.com/en/news-and-cases/santa-maria-tortilla>.

Engelmann, S. 2012 Advanced Thermoforming: Methods, Machines and Materials, Applications and Automation. 1. Aufl. Hoboken: Wiley. 349 s.

EN 13676, 2001. Polymer coated paper and board intended for food contact - Detection of pinholes.

Feldmuehle, Heat-sealable Flexible Packaging Paper [verkkosivu]. 2020. [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://www.feldmuehle-uetersen.com/en/innovations.php#product-3>.

Kutz, M. 2016 Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials, and Applications. Norwich: Elsevier Science & Technology Books. 741 s.

LEMENEN, V., 2016. Leak-proof Heat Sealing of Press-Formed Paperboard Trays. Lappeenranta University of Technology.

LEMENEN, V., MÄKELÄ, P., TANNINEN, P. JA VARIS, J., 2015. Leakproof Heat Sealing of Paperboard Trays – Effect of Sealing Pressure and Crease Geometry. *BioResources* Vol. 10, pp. 6906–6916.

MUELLER, C., CAPACCIO, G., HILTNER, A. and BAER, E., 1998. Heat sealing of LLDPE: relationships to melting and interdiffusion. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 70, pp. 2021-2030. Saatavissa: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19981205\)70:10<2021::AID-APP18>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19981205)70:10<2021::AID-APP18>3.0.CO;2-A).

Packagin Europe, Heat-sealable Paper as green flexible alternative [verkkosivu]. 2017. [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://packagingeurope.com/heat-sealable-paper-environmentally-friendly-solution/>.

Paptic, Paptic Gavia® NEW HEAT-SEALABLE AND RECYCLABLE MATERIAL FOR FLEXIBLE PACKAGING [verkkosivu]. 2020a. [viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: <https://paptic.com/gavia>.

Paptic, Moomin chocolate drops will be the first foodstuff to be packed in the wood-based Paptic Gavia® material [verkkosivu]. 2020b. [viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: <https://paptic.com/blog/2020/10/26/moomin-chocolate-drops-will-be-the-first-foodstuff-to-be-packed-in-the-wood-based-paptic-gavia-material>.

Pyroll, FlowPap® Evo [verkkosivu]. 2020. [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://pyroll.com/packaging/ratkaisut/pyrollgreen-ratkaisut/flowpap-evo/>.

RDM Test Equipment, HSB-1 Laboratory Heat Sealer [verkkodokumentti]. 2020. [viitattu 2.12.2020]. Saatavissa: <https://static1.squarespace.com/static/5a499a5aace86433f0ee94cd/t/5db966dd888fb410bd2fed7b/1572431581946/HSB-1+Heat+Sealer.pdf>.

STORA ENSO, LumiFlex Light PE [verkkodokumentti]. 2020. [viitattu 31.10.2020]. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/speciality-paper/lumiflex-light-pe-en.pdf>.

TROUGHTON, M.J., 2008. Handbook of plastics joining: a practical guide. 2. painos. Norwich, New York: William Andrew. 615 s.

TANNINEN, P., LEMINEN, V., MATTHEWS, S., KAINUSALMI, M. JA VARIS, J., 2018. Process cycle optimization in press forming of paperboard. Packaging technology & science. Vol. 31, pp. 369–376. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/pts.2331>.

VTT, Tietoa VTT:stä [verkkosivu]. 2020a. [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/fi/tietoa-meista/tietoa-vttsta>.

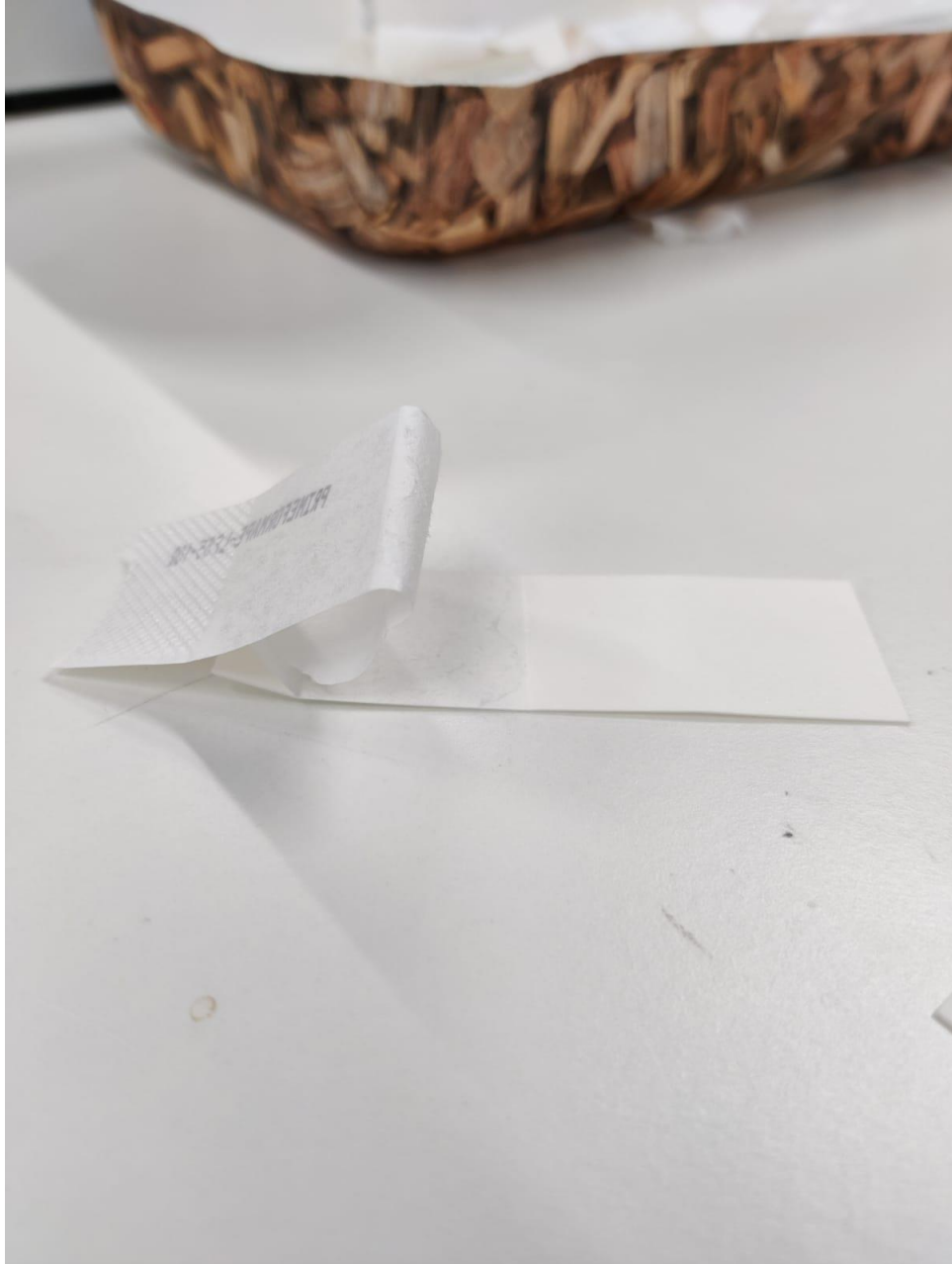
VTT, Muovinkaltainen, täysin uusiutuvista raaka-aineista valmistettu pakkausmateriaali VTT:ltä [lehdistötiedote]. 2020b. [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/muovinkaltainen-taysin-uusiutuvista-raaka-aineista-valmistettu-pakkausmateriaali>.

Walki, WALKI@LID [verkkosivu]. 2020. [viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: <https://www.walki.com/solutions/products/foodretailtransportpackaging/lids.html>.

WIPAK, Renewable Material [verkkosivu]. 2020. [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://www.wipak.com/renewable-material-campaign-5>.



Sauman kuoriutuminen peel -kokeessa.



Paperin delaminoituminen peel -kokeessa.