

# **Tekniikan kandidaatintyö**

## **Elintarvikepakkauskartongin vettyminen**

Lappeenranta 2016

Juulia Kolehmainen

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Engineering Science (LENS)  
Kemiantekniikka

Juulia Kolehmainen

## Elintarvikepakkauskartongin vettyminen

Kandidaatintyö

Kevät 2016

33 sivua, 12 kuvaa, 7(15) taulukkoa ja 3 liitettä

Työn tarkastajat: Tkt Satu-Pia Reinikainen  
Tkt Eeva Jernström

Hakusanat: aaltopahvi, kapillaariabsorptio, liukeneminen

Elintarviketeollisuudessa tärkeimpiä pakkausmateriaaleja ovat erilaiset kartonkipakkaukset ja erityisesti niiden kuljetuksessa käytettävät aaltopahvipakkaukset. Aaltopahvilta vaadittavia ominaisuuksia ovat muun muassa puristuslujuus ja kosteudenkestävyys. Elintarvikekäyttöön tarkoitetuilla aaltopahveilla on myös tiettyjä vaatimuksia niissä käytettävistä yhdisteistä.

Erilaiset kuitumateriaalit käyttäytyvät vettyessään eri tavalla ja niistä voi liueta yhdisteitä pakattavaan elintarvikkeeseen. Työn tavoitteena oli selvittää vettymiseen vaikuttavia tekijöitä ja veden vaikutus aaltopahvin rakenteeseen. Havaittiin, että ligniiniä tai uuteaineita sisältävä mekaanisesti valmistettu kartonkimateriaali ei sido vettä yhtä paljon kuin kemiallisesti valmistettu tai valkaistu kartonki. Aaltopahvissa tapahtuvan kapillaariabsorptio sai veden nousemaan pääasiassa aallotuskartonkiin. Vesi imeytyi korkeammalle puolikemiallisesti valmistetuissa aaltopahveissa kuin keräyskartonkipahveissa, jotka eivät myöskään turvonneet yhtä voimakkaasti.

Työssä kartoitettiin myös elintarvikekäyttöä rajoittavia liukoisia yhdisteitä, jotka löytyivät paperiteollisuudessa yleisesti käytetyistä liimoista. Tällaisia yhdisteitä olivat märkälujaliimojen formaldehydyhdisteet ja polyamidoamiini-epikloorihydriinihartsi. Keräyskartongin joukossa olevat raskasmetallit rajoittavat myös niiden käyttöä elintarvikepakkausissa.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Engineering Science (LENS)  
Chemical and Process Engineering

Juulia Kolehmainen

### **Wetting of food packaging board**

Bachelor's thesis

Spring 2016

33 pages, 12 figures, 7(15) tables and 3 appendices

Supervisors:                      TkT Satu-Pia Reinikainen  
    TkT Eeva Jernström

Keywords: corrugated board, capillary absorption, dissolution

Board materials, most importantly corrugated board, which is used in delivery, are the most important packaging materials in food industry. There are different qualities that are required from corrugated board including press-strength and capability to resist water absorption through linerboard. In food packaging, there are also special requirements that concern the compounds used in board materials.

Different fiber materials act in a different way when interacting with water, and the compounds used in those materials can dissolve into the packed products. The purpose of this work is to solve the factors affecting sorption and the effects of water on the structure of corrugated board. It was noticed that materials produced mechanically and containing lignin and extract components don't absorb water as much as chemically produced or bleached board. As a result of capillary absorption the water absorbed mainly into the fluting. Water absorbed higher in semi-chemical fluting than in recycled corrugated medium that didn't swell as much either.

Soluble compounds restricted from food packaging were also solved. They found among commonly used sizes in paper industry. This kind of solutions were formaldehyde compounds and polyamidoamine-epichlorohydrin resin used in dry-strength additives. Heavy metals in recycled paper also restrict material usage for food packaging.

## SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 ELINTARVIKEPAKKAUSKARTONKI .....	7
3 AALTOPAHVIN TUOTEKUVAUS .....	8
3.1 Pintakartonki .....	9
3.2 Aallotuskartonki .....	9
3.3 Kuitumateriaalit.....	10
4 VETTYMINEN .....	12
4.1 Kartongin vettymiskäyttäytymiseen vaikuttavat tekijät.....	13
4.2 Vaikutukset rakenteeseen.....	14
4.3 Vettymistä ja lujuuden muutosta estävät aineet .....	15
4.4 Elintarvikekäyttöä rajoittavat liukoiset yhdisteet.....	16
5 KOKEIDEN SUORITUS .....	18
5.1 Materiaalit .....	18
5.2 Menetelmät ja niiden kehitys .....	19
6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....	22
7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
LÄHTEET .....	30
LIITTEET .....	33

## LYHENNELUETTELO

3-MCPD	3-monokloro-1,2-propaanidioli
AKD	Alkyyliketeneidimeeri
ASA	Alkylinimeripihkahappoanhydridi
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung, Saksan riskienarviointilaitos
CFR	Code of Federal Regulations
CMC	karboksimeetyyliselluloosa
DAS	dialdehyditärkkelys
FDA	U.S. Food and Drug Administration, USA:n elintarvike- ja lääkevirasto
GMP	Good Manufacturing Practice, hyvät tuotantotavat
MF	melamiini-formaldehydi
PAAE	polyamidoamiini-epikloorihydriinihartsi
PAM	polyakryyliamidi
PEI	polyetyleni-imiini
PVAm	polyvinyliamiini
UF	urea-formaldehydi

## 1 JOHDANTO

Teollisuudessa pyritään yhä enemmän korvaamaan uusiutumattomista raaka-aineista tuotettuja ja ympäristöä kuormittavia tuotteita uusiutuvilla materiaaleilla, joilla on mahdollisimman pieni hiilijalanjälki. Sen vuoksi kartongin käyttö pakkausmateriaalina yleistyy koko ajan, ja siitä on tullut Suomen käytetyin pakkausmateriaali [1]. Pakkausmateriaaleja käytetään paljon elintarvikkeiden kuljetuksessa ja sen vuoksi on kehitettävä parempia materiaaleja, jotka soveltuvat juuri kyseiseen käyttöön.

Elintarvikekäyttöön tarkoitetuilla materiaaleilla on tiettyjä vaatimuksia, jotka tulee huomioida. Vettymisen estoon ei voida käyttää samoja aineita kuin muissa pakkauskartongeissa. Kartongin kastumisen yhteydessä on mahdollista, että elintarvikkeeseen liukenee kartonkiin sitoutuneita aineita. Tämän vuoksi on pidettävä huoli siitä, ettei kartonki sisällä haitallisia aineita, jotka voisivat vaikuttaa pakattavaan tuotteeseen. Tärkeää on selvittää minkälaisista kuitumateriaaleista pakkauksia voidaan tehdä ja kuinka helposti ne vettyvät. Vettyminen vaikuttaa myös kartongin lujuuteen. Erilaisia tutkimuksia paperin käyttäytymisestä kosteissa olosuhteissa on tutkittu paljon. Uusimpien tutkimusten joukossa Tai et al. (2013) on tutkinut veden imeytymiskorkeutta liimatussa sekä liimamattomassa paperissa [2]. Pakkausmateriaalina käytetyn aaltopahvin vettymistä ei ole kuitenkaan tarkoin pystytty kuvaamaan sen rakenteen vuoksi. Myös vettymisen yhteydessä mahdollisesti liukenevista haitallisista aineista on vielä vähän tietoa.

Työn tavoitteena selvittää aaltopahvin vettymiseen vaikuttavia tekijöitä ja määrittää vettymisen yhteydessä liukenevia elintarvikekäyttöä rajoittavia yhdisteitä. Työssä vertaillaan neljän eri aaltopahvilaadun vesiabsorptiokykyä kehittämällä erilaisia absorptiota kuvaavia indikaattoreita ja tehdään ehdotus menetelmästä, joka soveltuisi parhaiten vettymisen tutkimiseen. Lopputuloksena saadaan tietoa aaltopahvin vettymisestä ja voidaan tunnistaa elintarvikekäyttöä rajoittavia liukoisia yhdisteitä. Tämän avulla kartonkien ominaisuuksia voidaan arvioida yhä paremmin ja tehdä soveltuvampia pakkauksia elintarvikekäyttöön.

## **2 ELINTARVIKEPAKKAUSKARTONKI**

Elintarvikepakkauskartongilla tarkoitetaan elintarvikkeen kanssa suorassa tai epäsuorassa kontaktissa olevaa tai sen kanssa kontaktiin joutuvaa kartonkimateriaalia [3]. Markkinoilla on useita erilaisia materiaaleiltaan ja rakenteellisilta ominaisuuksiltaan eroavia kartonki- ja pahvilajeja. Pakkauskartongit voidaan jakaa kahteen luokkaan: kuluttajapakkauskartongit ja kuljetuspakkauskartongit, kuten aaltopahvissa käytettävät aallotuskartonki ja pintakartonki. [3]

Elintarvikepakkauskartongilla on tiukemmat säännöt tavalliseen pakkauskartonkiin nähden. Koska kartonki on kontaktissa elintarvikkeen kanssa, siitä ei saa siirtyä aineita niin paljon, että ne aiheuttaisivat vaaraa ihmisen terveydelle, muuttaisivat elintarvikkeen koostumusta tai heikentäisivät aistinvaraisia ominaisuuksia. [4] Vaatimukset säädetään kosketuksessa olevan elintarvikkeen mukaisesti. Ne ovat tiukemmat elintarvikkeille, jotka ovat kosteita tai rasvaisia kuin kuivia, rasvattomia tai kuorittavia. Jos käytettävänä materiaalina on monikerroksista kartonkia, tulee pitää huoli siitä, että jokainen kerros on määräysten mukainen. [1]

Taulukossa I on esitettyä asetukset ja suositukset, joita elintarvikekontaktimateriaalien valmistajat noudattavat valmistuksessa ja materiaalien käsittelyssä. Suomessa käytettävä lainsäädäntö on osin samanlainen kuin koko EU:ssa, poikkeuksena on kauppa- ja teollisuusministeriön kansallinen säädös elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvien tarvikkeiden raskasmetallien liukenemisesta, joka liittyy tuotekohtaisiin vaatimuksiin. Paperi- ja kartonkikontaktimateriaaleille ei ole erityissäädöksiä tai Suomen kansallista säädöstä, joten niissä ohjeina toimivat Pohjoismaiden ministerineuvoston sekä Saksan BfR:n suositukset. Kontaktimateriaalien yhteydessä käytettäville liimoille, painoväreille sekä muille lisäaineille ei ole EU:n säädöstä, mutta niiden turvallisuuden arvioinnissa voidaan käyttää Euroopan neuvoston suosituksia sekä vertailukohtana USA:n kansallista alan lainsäädäntöä. [4]

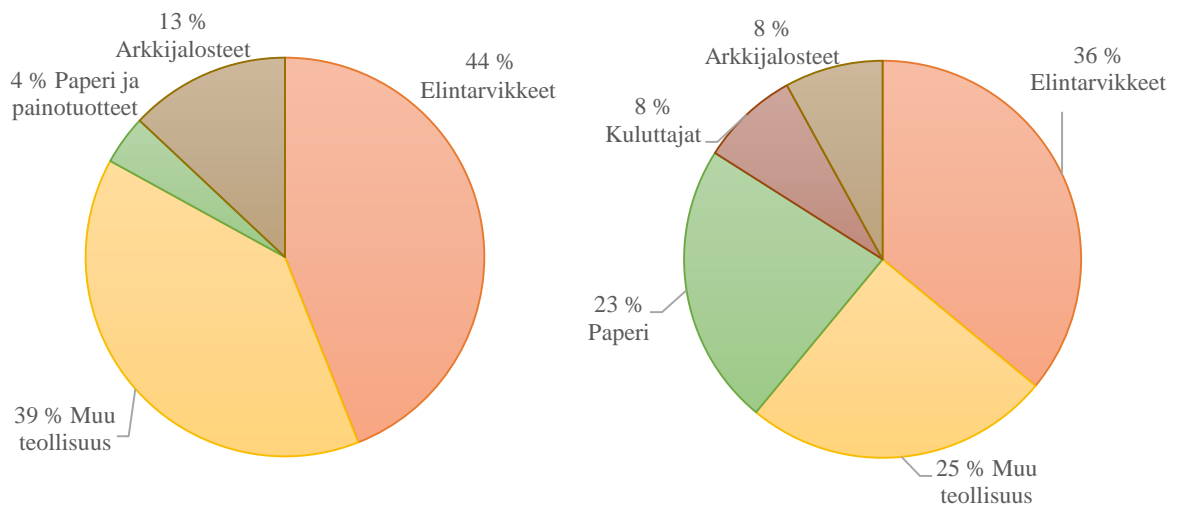
Taulukko I Euroopan alueella noudatettavat lait, jotka koskevat elintarvikepakkausmateriaalien valmistusta, ja yksityiskohtaisempia suosituksia, joita käytetään kartongin valmistuksessa elintarvikekäyttöön. [4]

<b>Laki/suositus</b>	<b>Sisältö</b>
EY:n asetus Nro 1935/2004	Elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvat materiaalit ja tarvikkeet
EY:n asetus Nro 2023/2006 (GMP-asetus)	Elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvien materiaalien ja tarvikkeiden hyvät tuotantotavat
Saksan liittovaltion riskienarviointielimen (BfR) suositus 360 XXXVI	Elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuva paperin ja kartongin sallitut aineet
Pohjoismaiden ministerineuvoston (PMN) julkaisu 2008/515	Paperi ja kartonki elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvissa materiaaleissa
CFR, Title 21, Food and Drugs, Osat 175-178, FDA	Elintarvikkeen kanssa epäsuorassa kontaktissa olevien sallittujen liimojen, pinnoitteiden ja muiden lisäaineiden yhdisteet

### 3 AALTOPAHVIN TUOTEKUVAUS

Aaltopahvi on ulkopakkauskartonkia, joka koostuu aallotuskartongista eli flutingista ja suorista lainereista tai muusta kartongista valmistetuista pintakartongeista, jotka liitetään yhteen käyttämällä tärkkelysliimaa. Aaltopahvi voi olla yksi- tai useampikerroksista, jolloin aallotuskartonki ja linerit vuorottelevat rakenteessa. Aaltopahvin perustyyppejä ovat yksipuolinen aaltopahvi, jossa on kaksi kartonkikerrosta, pintakartonki ja aallotuskartonki, kaksipuolinen yksiaaltoinen, kaksipuolinen kaksiaaltoinen ja kaksipuolinen kolmiaaltoinen aaltopahvi. Aaltopahvin ominaisuuksia ovat muun muassa sen keveys, lujuus ja pinoamiskestävyys, joustavuus ja suojaavuus, iskunkestävyys, muodonpitävyys ja hygieenisuus kertakäyttöisillä kartongeilla. Se soveltuu moniin eri pakkaustarkoituksiin ja se onkin eniten käytetty pakkausmateriaali koko maailmassa. [1] Kuvasta 1 nähdään käytön olevan Länsi-Euroopassa suurinta elintarvikepakkausissa samoin kuin Suomessa paperituotteiden ohella.





Kuva 1 Euroopassa (vas.) ja Suomessa (oik.) elintarviketeollisuus on suurimpia aaltopahvin kuluttajia. [1, 6]

### 3.1 Pintakartonki

Aaltopahvin pintakartonkeina käytetään kraftlaineria, testlaineria tai muita kartonkeja kuten aallotuskartonkia tai taivekartonkia riippuen halutuista ominaisuuksista. [1]

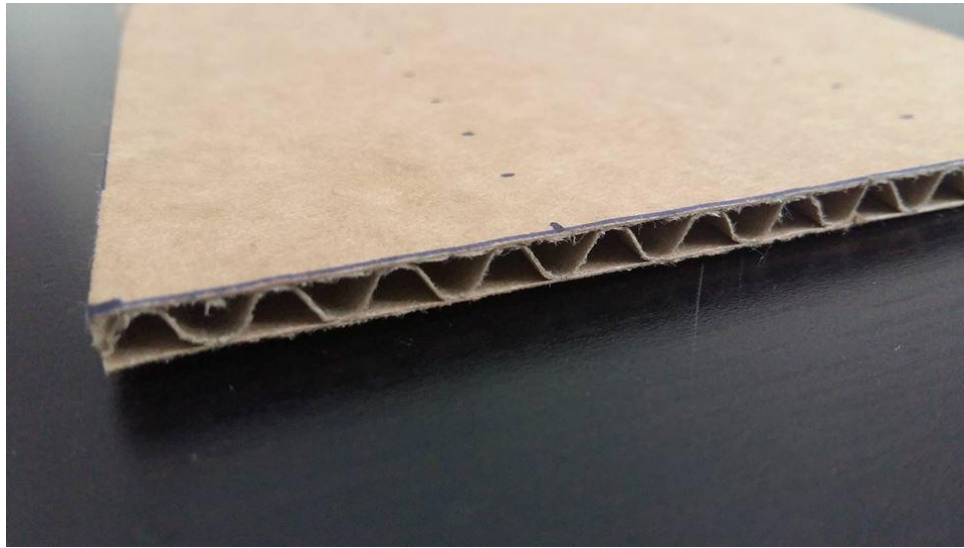
Kraftlaineri on yleensä kaksikerroksinen kartonki, jonka pinta- ja pohjakerros voidaan tehdä kemiallisesti valmistetusta sulfaattisellusta. Pohjakerroksessa sulfaattisellu voidaan osittain korvata myös keräyskuidulla. Kraftlaineria voidaan valmistaa ruskea-, valko- tai pilvipintaisena ja päällystettynä valkopintaisena tai täysvalkoisena. [1]

Testlaineri on myös useampikerroksinen kartonki, jonka raaka-aineena käytetään pelkästään keräyskuitua. Sitä valmistetaan ruskea-, pilvi- tai valkopintaisena ja päällystettynä valkopintaisena. Valkopintaisessa testlainerissa käytetään pintakerroksessa valkoista siistattua keräyskuitua ja valkaistua ensisulfaattikuitua. [1]

### 3.2 Aallotuskartonki

Aallotuskartonki on aaltopahvin sisäkerroksissa käytettävää kartonkia, joka valmistetaan ensikuidusta puolikemiallisesti tai keräyskuidusta. Sen tarkoituksena on pitää pintakartongit

erillään toisistaan. Aallonharjojen korkeudella voidaan vaikuttaa aaltopahvin jäykkyyteen ja paksuuteen. [1] Aaltopahvi on tarkoitettu käytettäväksi kestävässä ulkopakkauksissa, minkä vuoksi aallotuskartongin jäykkyydellä on tärkeä merkitys. Muita hyviä ominaisuuksia, joita aallotuskartongilta vaaditaan ovat sen liimautuvuus ja ajettavuus. [7]



Kuva 2 Kaksipuolinen yksiaaltoinen aaltopahvi, jossa aallotuskartonki pitää ruskeapintaisia lainereita erillään.

### 3.3 Kuitumateriaalit

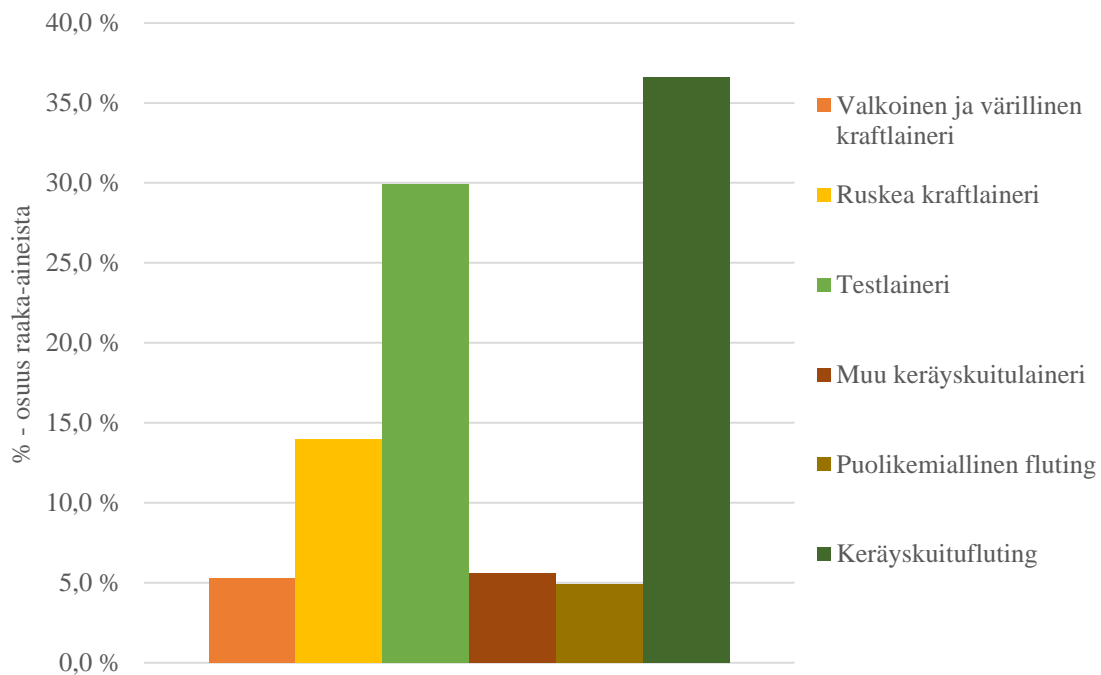
Paperikuidut valmistetaan Suomessa pääasiassa kuusesta, männystä ja koivusta. Pintakartongille ominaisina raaka-aineina ovat yleensä pitkäkuituiset havupuumassat, kun taas aallotuskartongissa käytetään lyhyitä lehtipuukuituja. Kuiduista valmistetaan paperin ja kartongin raaka-aineita mekaanisesti, kemiallisesti, puolikemiallisesti ja keräyskuiduista. [1]

Pintakartongin kemiallisesti valmistettu sulfaattisella tehdään havupuusta sulfaattimenetelmällä, jossa hake kuumennetaan kemikaalien kanssa puun sideaineena toimivan ligniinin irrottamiseksi. Sulfaattikeitossa kuitujen käsittely on hellävaraista, joten tuloksena saadaan kuitukimppuja, jotka kuidutetaan jauhamalla. Tämän ansiosta pintakartongista saadaan lujaa. Valkaistua ensisulfaattikuitu saadaan käyttämällä klooridioksidia, happea, otsonia tai peroksidia. [1]

Puolikemiallinen fluting on aallotuskartongin tärkein raaka-aine Suomessa. [1] Se valmistetaan lyhytkuituisesta lehtipuumassasta, jossa on lisättyä enintään 15 % havupuumassaa. [7] Puolikemiallisen massan valmistuksessa käytetään sekä kemiallisen että mekaanisen menetelmän yhdistelmää, jossa puu kuidutetaan levyjauhimien avulla lyhyen kemikaalikäsittelyn ja keiton jälkeen. Lehtipuumassan suuri hemiselluloosapitoisuus, joka säilyy puolikemiallisessa menetelmässä antaa kartongille hyvän jäykkyyden. [1]

Pinta- ja aallotuskartongissa käytettävä keräyskuitu on kierrätetty kasvikuitu, jota käytetään uudestaan raaka-aineena. Keräyskuitumassa on yleisesti keski-Euroopassa käytetty raaka-aine, mutta ympäristöystävällisenä vaihtoehtona se yleistyy yhä enemmän myös Suomessa. Sen valmistuksessa voidaan käyttää lajittelematonta sekalaista keräyspaperia tai pahvia, mutta myös tarkasti lajiteltua materiaalia, jolloin kartongin sisältämät aineet tunnetaan paremmin. Lajittelemattomasta sekalaisesta kierrätyspaperista ja pahvista valmistetulla kartongilla on huomattavasti heikommat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet muihin massoihin verrattuna. Niitä voidaan kuitenkin parantaa tärkkelystä tai muita kemikaaleja käyttämällä. Lujuusominaisuuksia ei kuitenkaan voida parantaa kovinkaan paljon neliömassaa kasvattamalla, minkä vuoksi kyseinen keräyskuitu sopii paremmin ohuille aaltopahveille ja pakkauksiin, jotka eivät vaadi pitkää kuljetusmatkaa tai varastointia. Tällöin jäykkyydellä ei ole niin suurta merkitystä. [1]

Kuvassa 3 on esitettyä erilaisista materiaaleista valmistettujen kartonkityyppien käytön suhteelliset osuudet Euroopassa, jossa keräyskuidun käyttö kuitumateriaalina on hallitsevassa osassa.



Kuva 3 Kartonkityyppien suhteelliset osuudet aaltopahvin raaka-aineista Euroopassa. [6]

#### 4 VETTYMINEN

Neste tunkeutuu paperiin painepenetraatiolla, kapillaariabsorptiolla, veden diffuusiolla ja höyryn diffuusiolla. Tärkeimpiä mekanismeja ovat painepenetraatio sekä kapillaariabsorptio. Kartongin ollessa kontaktissa nestemäisen veden kanssa se voi sitoa itseensä vettä, jolloin kartongin pinta-ala, tilavuus, sisäinen rakenne ja kemialliset sekä mekaaniset ominaisuudet muuttuvat. Vettymisen yhteydessä puhutaan sorptiosta, johon kuuluvat adsorptio, jossa vesi kerääntyy kartongin pintaan. Absorptiossa vesi tunkeutuu kartongin sisään muuttaen sen rakennetta, esimerkiksi tilavuutta, turvottamalla sitä. Veden imeytymiseen vaikuttavat sekä kemialliset että fysikaaliset tekijät. Käsittelemättömän kartongin nesteimukyky on luontaisesti suurta, mutta sitä voidaan rajoittaa käyttämällä erilaisia menetelmiä ja lisäaineita. Valmiin kartongin sorptio-ominaisuuksiin voidaan myös vaikuttaa jo kuituraaka-aineiden valinnassa. [7]

Vettymisen yhteydessä kartongin rakenteesta voi liueta aineita. Liukoiset aineet voivat olla puun luontaisia hiilihydraatteja tai epäorgaanisia yhdisteitä, kuten kalsiumia, kaliumia ja

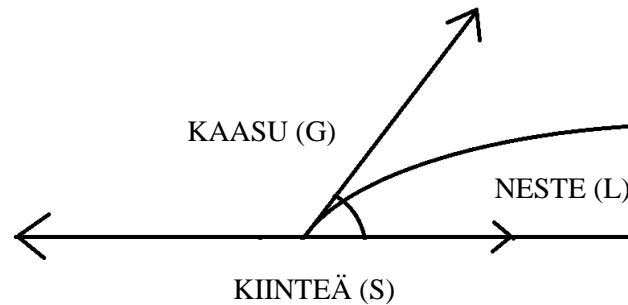
magnesiumia, joita puun rungossa on hyvin pieniä määriä [8]. Haitalliset liukoiset aineet ovat usein kartonkimassan käsittelystä ja alkuperästä johtuvia aineita, jotka voivat rajoittaa kartongin käyttöä elintarvikepakkauksissa.

#### **4.1 Kartongin vettymiskäyttäytymiseen vaikuttavat tekijät**

Nesteen tunkeutumistapa riippuu muun muassa nesteen ominaisuuksista, ulkoisesta paineesta ja lämpötilasta, kontaktiajasta sekä kuitujen hydrofobisuudesta. Erilaisten kuitulajien vesiansorptio eroaa toisistaan, mikä johtuu kiteisen ja amorfisen aineen suhteesta, kuidun komponenttien vesiaffiniteetista, niiden sitoutumisesta kuituseinään sekä keskinäisestä sitoutumisesta. [7]

Puukuidun selluloosalla on luontaisesti suuri vesiaffiniteetti, mikä johtuu sokerimolekyylien happiatomien kyvystä muodostaa vetysidoksia glukoosiyksiköiden lisäksi myös adsorboituneen veden kanssa. [7] Kartongin raaka-aineena se tekee tuotteesta hydrofiilista. Ligniini ja monet uuteaineet ovat puun hydrofobisia komponentteja [8]. Mekaanisesti valmistetussa massassa säilyvät kaikki puun ainesosat, myös ligniini. Tämän vuoksi se on hydrofobisempaa kuin kemiallisesti valmistettu, jossa keiton yhteydessä saadaan poistettua suuri osa ligniinistä. [1]. Valkaistusta massasta saadaan poistettua lähes kaikki ligniini, joten sen hydrofiilisuus on suurempaa kuin valkaisuamattomalla.

Spontaani nesteen tunkeutuminen riippuu pääasiassa van der Waalsin attraktiivoimista nesteen ja kiinteän aineen molekyylien välillä. Nesteen ja kiinteän aineen rajapinnalla neste voi joko levitä tai jäädä pisaraksi tietyssä kosketuskulmassa kuvan 4 tapaan riippuen vuorovaikutusvoimista pinnalla. Nesteen ja pinnan vetovoimien (adheesiovoimien) ollessa suuremmat kuin nestettä koossapitävät voimat (koheesiovoimat) pisara leviää ja kastelee pinnan. Jos voimat ovat päinvastaiset pisara jää tiettyyn kosketuskulmaan. [9]



Kuva 4 Nesteen ja kiinteän aineen rajapinta. [7]

Attraktiivoimista seuraa paine-erojen muodostuminen kapillaarissa nesteen koveralla ja kuperalle puolella. Paine-ero, joka tässä tapauksessa on attraktiivoimien suhde eli kosketuskulma, auttaa tai vastustaa nesteen tunkeutumista kapillaariin. Kosketuskulman ollessa terävä neste tunkeutuu spontaanisti kapillaariin. Jos kosketuskulma on tylppä, paine-ero vastustaa nesteen tunkeutumista. Tällöin imeytyminen ei tapahdu spontaanisti vaan tarvitsee hydrostaattisen paineen penetraation tapahtumiseksi. [7]

Nesteen tunkeutumisenopeuteen huokoisessa aineessa vaikuttaa kosketuskulman lisäksi kapillaarin säde, jota pienentämällä voidaan hillitä penetraationopeutta. Käsittelemättömällä kuidulla kosketuskulma on terävä, minkä vuoksi vesi tunkeutuu helposti huokosiin. Kosketuskulmaa on kuitenkin vaikea määrittää tarkasti, sillä paperin pinnan karheus, huokoisuus ja epähomogeenisuus vaihtelevat. [7]

#### 4.2 Vaikutukset rakenteeseen

Kartongin sorptio-ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa valmiin kartongin lujuusominaisuuksien ja rakenteen muutoksen kannalta. Veden absorptiossa voi ilmetä turpoamista, jossa kartonki säilyttää homogeenisuutensa dimensioiden laajetessa ja kuituseinien välisen vuorovaikutuksen vähentyessä. Turpoamista vastustavia sidoksia murtuu sitoutuneen veden määrän kasvaessa, minkä seurauksena kartonki notkistuu ja pehmenee vaikuttaen lujuusominaisuuksiin. Selluloosan kidehilan järjestäytyneisyys ja molekyyliketjun jäykkyys sallivat vain rajallisen

turpoamisen vedessä, jolloin kartonki ei liukene kokonaan veteen. Ligniiniä sisältävässä kartongissa turpoamista tapahtuu vain vähän johtuen ligniinin kolmiulotteisesta rakenteesta, joka tekee kartongista jäykkää. [7] Myös vapaana olevien OH-ryhmien alhainen määrä ei anna vesimolekyylien sitoutua ligniiniin yhtä hyvin kuin esimerkiksi hemiselluloosalla. [10]

### **4.3 Vettymistä ja lujuuden muutosta estävät aineet**

Erilaisilla lisäaineilla ja päällystyksellä voidaan säädellä valmiin kartongin vedenimu- ja kosteudenestokykyä. [11] Penetraationopeutta rajoitetaan yleensä erilaisilla hydrofobiliimoilla, joita voidaan käyttää joko massaliimoina tai kartongin pintaliiman joukossa. Massaliimoja ovat hartsiliimat kuten saippuoidut hartsiliimat ja dispersioliimat sekä neutraaliliimat, joita ovat synteettisesti valmistetut AKD ja ASA. Hydrofobiliimojen tarkoituksena on saada veden ja kartongin pinnan kosketuskulma yli 90°:seen, jolloin neste ei tunkeudu spontaanisti kartongin huokosiin. [7]

Märkälujaliimoja käytetään lujuusominaisuuksien ylläpitämiseen kosteissa olosuhteissa. Se on tärkkelyspohjaista liimaa, jossa on märkälujalisäainetta. Liima-aineen pintaan muodostuu ohut kalvo, joka estää kosteuden pääsyn itse liimaan. [11] Tunnetuimmat märkälujaliimat ovat urea-formaldehydi- (UF), melamiini-formaldehydi- (MF) ja polyaminoamidi-epikloorihydrinihartsi (PAAE), jotka antavat pysyvän märkälujuuden [7] sekä polyetyleneimiini (PEI), dialdehyditärkkelys (DAS), polyvinyyliamiini (PVAm) ja polyakryyliamidi (PAM) joiden antama märkälujuus on tilapäistä eli lujuuden heikkeneminen hidastuu. [9]

Kuivan paperin lujuusominaisuuksien parantamista varten käytetään kuivalujaliimoja, joiden tarkoituksena on muodostaa uusia sidoksia kuitujen välille. Kuivalujaliimoja käytetään erityisesti keräyskuitukartongeissa, joiden lujuusominaisuudet voivat olla jo alkuun huonoja. Kuivalujaliimojen valmistuksessa käytetään yleensä tärkkelystä, kasviliimoja, synteettisiä polymeerejä kuten PAMia tai karboksimeetyliselluloosaa (CMC). [9]

Aaltopahvi voidaan myös käsitellä tekemällä siihen estokerros eli barrieri, jolla voidaan lisätä muun muassa kosteuden kestävyyttä ja parantaa aaltopahvin lujuusarvoja tai estää ainesosien siirtymistä elintarvikkeeseen. [11]

#### **4.4 Elintarvikekäyttöä rajoittavat liukoiset yhdisteet**

Kartongissa käytettävät lisäaineet voivat olla osittain vesiliukoisia ja näin liueta ja siirtyä pakattavaan elintarvikkeeseen.

Kloorivalkaisun yhteydessä käytetty kloorikaasu voi muodostaa haitallisia klooriyhdisteitä veden orgaanisten aineiden kanssa. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi dioksiinit ja furaanit. Nykyään alkuainekloorivalkaisusta on kuitenkin luovuttu. [12]

Märkälujaliimoissa käytettyjen formaldehydyhdisteet ovat haitallisia elimistölle. Niiden jäämiä voi olla lopputuotteessa, jolloin niitä ei suositella elintarvikepakkausten käyttökohteiksi. Yhdisteiden liukoisuus veteen on erittäin hyvä, joten kartongin vettymisen yhteydessä ne voivat siirtyä helposti elintarvikkeeseen. [7] Myös märkälujaliimoista, joissa käytetään polyamidoamiiniepikloorihydriiniä sisältävää hartsia, voi hydrolysoitumalla muodostua pieniä määriä 3-monokloro-1,2-propaanidolia (3-MCPD) [13]. Elintarvikepakkausten yhteydessä kyseisestä yhdisteestä on varsin vähä tutkimusta, mutta syövän aiheuttajana se on luokiteltu soveltumattomaksi elintarvikekontaktiin. [14] Todennäköisesti syöpää aiheuttavaa akryyliamidia voi myös olla PAMin joukossa pieniä määriä, mutta lainsäädännöllistä enimmäismäärää sille ei ole asetettu.

Jotkut painovärit eivät sovellu kosketukseen elintarvikkeiden kanssa niiden sisältämien raskasmetallien kuten lyijyn, kadmiumin, elohopean tai arseenin vuoksi. Keräyskuitujen joukossa painovärejä voi olla haitallisia määriä, minkä vuoksi kuitujen alkuperä tulee tietää ennen niiden käyttöä. Esimerkiksi kotitalouksista peräisin oleva painettu keräyspaperi tai kauppojen käytetyt pahvilaatikot eivät sovellu kosteiden/rasvaisten elintarvikkeiden kanssa kontaktissa olevan aaltopahvin raaka-aineeksi. Kuivien elintarvikkeiden yhteyteen ne sopivat vain oikeiden puhdistusmenetelmien jälkeen. [1] Muun muassa likaantunut sairaaloiden



keräyspaperi ja -kartonki, kotitalouksien käytetyt hygieniapaperit tai kemikaalien kanssa kosketuksessa ollut materiaali ei sovellu ollenkaan käytettäväksi elintarvikkeiden raaka-aineena. [15]

Aaltopahvista voi siirtyä myös migraatiolla eli diffuusion perustuvalla molekyylien siirtymisellä haitallisia aineita elintarvikkeeseen. Aaltopahvissa olevat molekyylit värähtelevät ja siirtyvät pikkuhiljaa elintarvikkeeseen suoraan tai ilmakerroksen kautta. [1] Taulukossa II on esitetty rajoitetut aineet keräyskuitujen käytössä.

Taulukko II Rajoitetut aineet käytettäessä keräyskuituja raaka-aineena. [1]

<b>Aine</b>	<b>Kosketus sekä kosteiden ja/tai rasvaisten että kuivien, rasvattomien elintarvikkeiden kanssa</b>	<b>Kosketus vain kuivien, rasvattomien elintarvikkeiden kanssa</b>
Michelin ketoni	X	-
4,4-Bis(dietyyliamino)-bentsofenoni (DEAB)	X	-
Di-isopropyylinaftaleeni (DIPN)	X	X
Osittain hydrogenoidut terfenyyliit (HTTP)	X	X
Ftalaatit	X	X
Liuottimet	X	X
Atsoväriaineet	X	-
Fluoresoivat vaalenteet	X	-
Primaariset aromaattiset amiinit, joiden epäillään aiheuttavan syöpää	X	-
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH)	X	X
Bentsofenonit	X	X

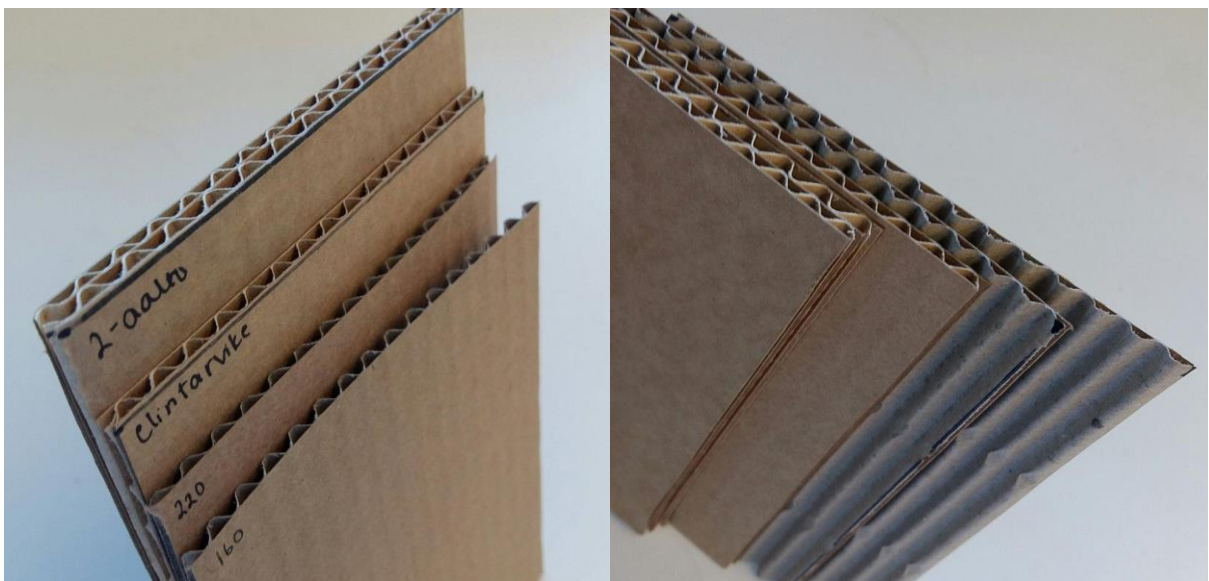
## 5 KOKEIDEN SUORITUS

### 5.1 Materiaalit

Aaltopahvin vettymiskoetta varten tilattiin neljää erilaista pahvia, joiden vettymisominaisuuksia vertailtiin keskenään. Aaltopahveiksi valittiin Stora Enson 160 g/m<sup>2</sup>:n ja 220 g/m<sup>2</sup>:n keräyskuituaaltopahvit, jotka koostuvat yhdestä pintakartongista ja yhdestä aallotuskartongista, sekä elintarvikepakkauskartongiksi tarkoitettu puolikemiallisesta flutingista ja kraftlainerista valmistettu yksiaaltoinen pahvi, jossa molemmilla puolilla on pintakartongit. Vertailtavana oli myös kaksiaaltoinen BC -aaltopahvi, jossa on myös käytetty ensikuitua. Kaikki aaltopahvit ovat ruskeapintaisia. Taulukossa III on esitetty pahvien tiedot ja kuvassa 5 näkyy niiden rakenne.

Taulukko III Kokeissa käytettyjen pahvilaatujen tiedot, jotka ovat kokeellisesti määritettyjä. Paksuuden, neliömassan ja tiheyden laskennassa on käytetty kuutiokokeen liuskojen keskiarvoja.

	paksuus, cm	neliömassa, g/m <sup>2</sup>	tiheys, g/cm <sup>3</sup>	aaltoa/10 cm, -
BC-aaltopahvi	0,61	853	0,142	15+13
Elintarvikeaaltopahvi	0,28	403	0,147	15
220 g/m <sup>2</sup>	0,26	227	0,088	15
160 g/m <sup>2</sup>	0,26	202	0,078	15



Kuva 5 Käytetyt pahvilajit edestä ja takaa kuvattuna.

## 5.2 Menetelmät ja niiden kehitys

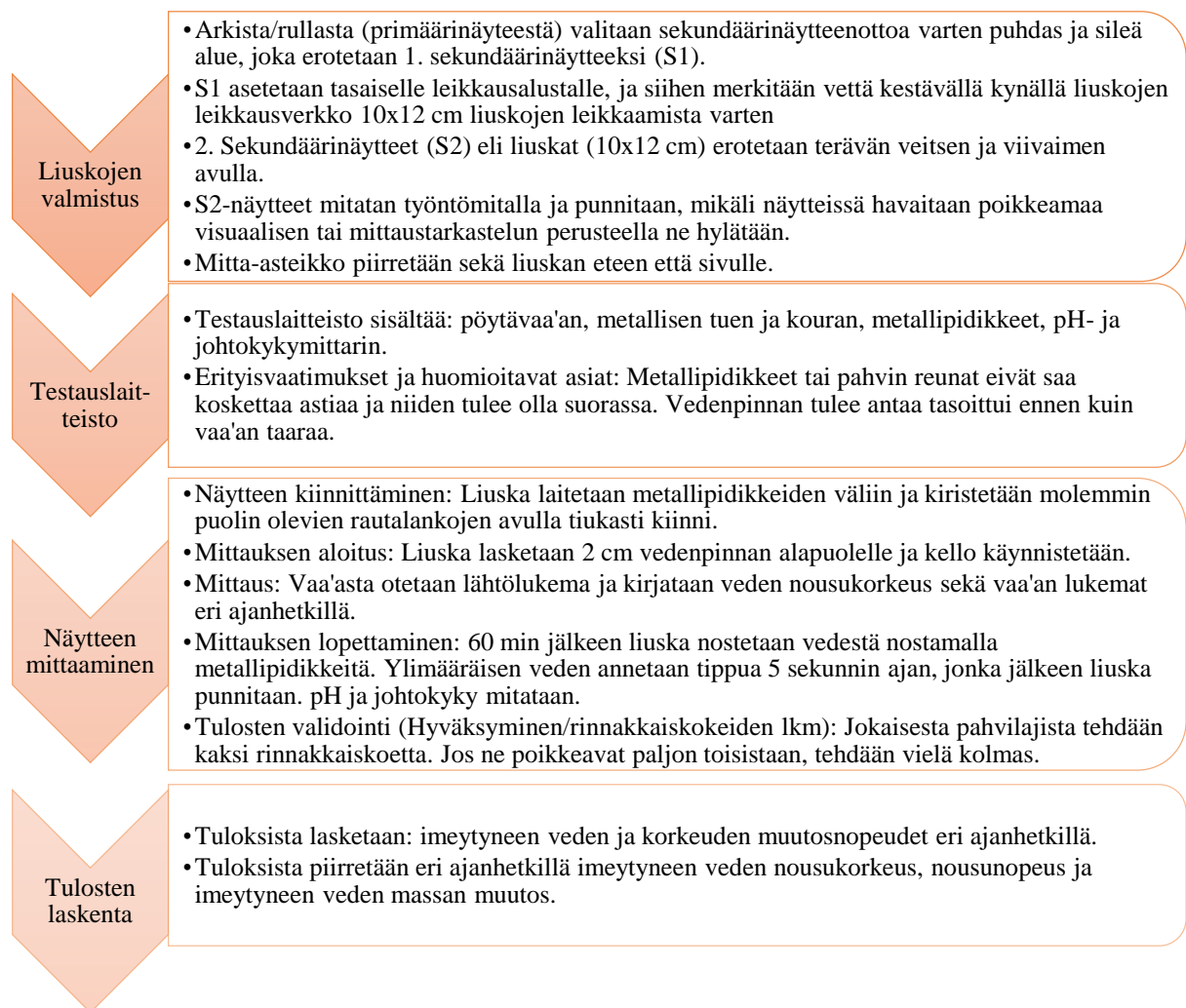
Veden imeytymistä voidaan testata monilla eri tavoilla. Esimerkkejä erilaisista testeistä ovat yleisesti paperin ja kartongin laadunvalvonnassa käytetty Cobb-testi, joka testaa imeytymistä tuotteen pinnasta. Tämä ei kuitenkaan sovellu aallotuskartongin testaamiseen, sillä se kuvaa vain tasaisen kartongin pinnan kykyä absorboida vettä [1]. On myös upotettuna olevan paperin turpoamista mittaavia sekä upotettuna olevan paperin ja kartongin absorboivan veden määrää mittaavia testejä. [16] Tässä kokeellisessa osassa kehitettiin upotettuna olevan aaltopahvin absorptiota mittaava menetelmä, jossa tutkittiin veden penetraationopeutta aaltopahvissa ja imeytyneen veden määrää. Testi on verrattavissa Klemm-menetelmään, jolla on ISO 8787 -standardin mukaiset ohjeet. Menetelmällä tutkitaan vedenimukorkeutta ja soveltuu erityisesti suuren kapillaariabsorption kartongeille, joita tässäkin kokeessa oli tarkoitus testata.

Jokaisesta pahvilajista tehtiin yhden liuskan testi, jossa arvioitiin veden imeytymisnopeutta ja sen perusteella tehtiin kuutiotesti. Näiden kahden testin korrelaatiota tutkittiin ja määritettiin erilaisia vertailulukuja vedenimeytymiselle. Kokeissa käytettiin hanavettä, sillä kokeiden haluttiin vastaavan todellista tilannetta.

Liuskakokeet suoritettiin leikkaamalla jokaisesta pahvilajista palasia, joiden konesuunnan pituus oli 12 cm ja poikkisuunnan pituus 10 cm. BC- ja elintarvikeaaltopahvin liuskat leikattiin isoista arkeista ja keräyskartonkiaaltopahvit rullista. Arkkeihin merkittiin haluttu palakoko, ja palat irrotettiin terävän katkoteräveitsen (ns. mattoveitsen) ja viivaimen avulla. Liuskoihin merkittiin mitta-asteikko sekä pintakartonkiin että liuskan sivuun. Jokainen pala punnittiin ennen kokeen suorittamista ja kokeen jälkeen. Myös paksuus mitattiin työntömitalla ennen koetta.

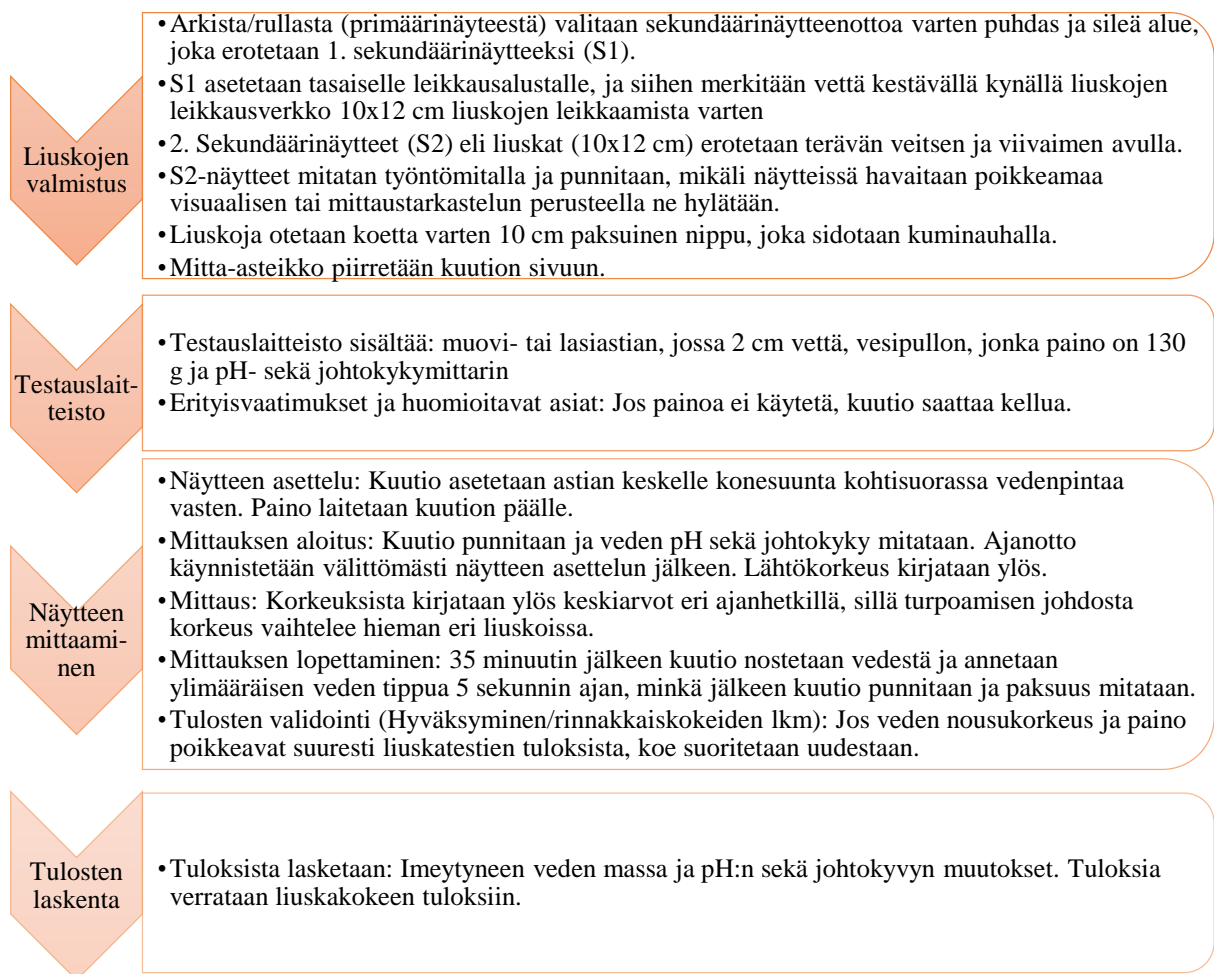
Testiliuska asetettiin metallipidikkeiden väliin ja laskettiin vaa'an päällä olevaan astiaan 2 cm:n syvyyteen 20 °C lämpimään hanaveteen. Konesuunta on veden pintaa vasten kohtisuorassa, sillä paperin sorptionopeus yleensä suurempaa konesuunnassa kuin poikkisuunnassa [7]. Ajanotto käynnistettiin ja ajan kuluessa otettiin ylös imeytyneen veden määrä ja vettyneen osan korkeus aaltopahvissa. Alussa tilannetta seurattiin muutaman minuutin välein ja myöhemmin

harvemmin. Kun veden imeytymisnopeus alkoi tasoittua ja vesi ei näyttänyt enää nousevan, ajanotto lopetettiin ja pahvi nostettiin vedestä. Pahvin annettiin tiputtaa ylimääräiset vesipisarot muutaman sekunnin ajan, jonka jälkeen se punnittiin. Myös veden pH ja johtokyky määritettiin ennen ja jälkeen absorptiokokeen. Jokaisesta kokeesta tehtiin 2 rinnakkaiskoetta. Liuskakokeen kaaviokuvasta (kuva 6) nähdään kokeen suoritus vaiheittain ja eri vaiheissa huomioitavat asiat.



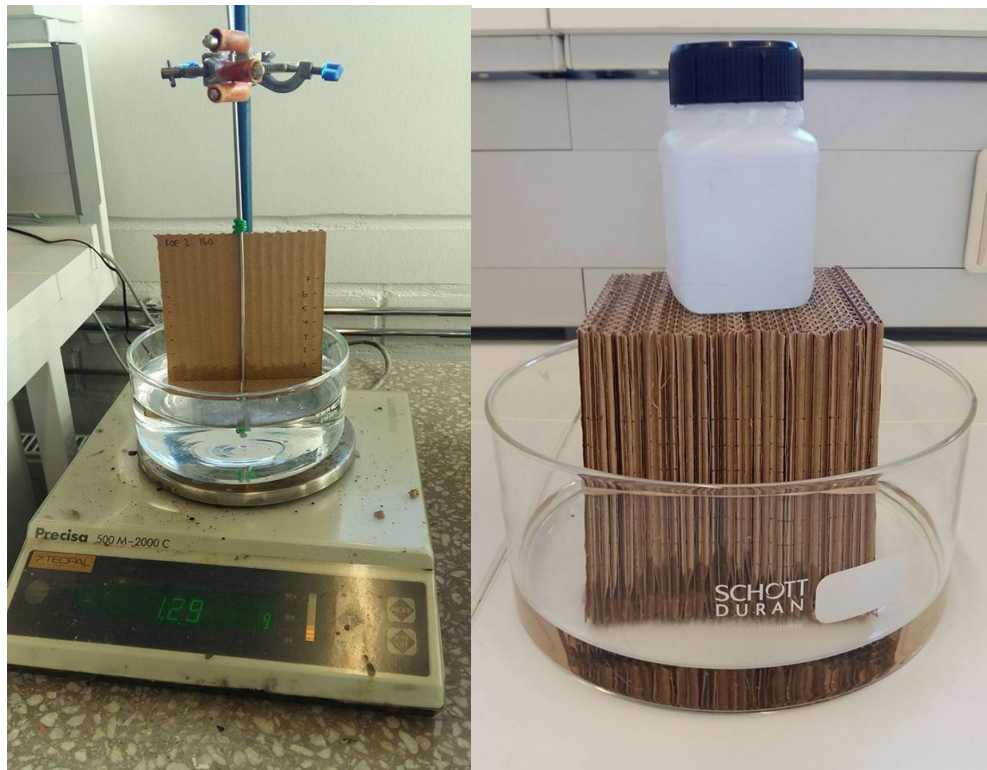
Kuva 6 Työssä käytetyn liuskakokeen menetelmän kuvaus, jossa on esitetty yksityiskohtaiset ohjeet kokeen suoritukselle.

Kuutiotestissä palasista muodostettiin 10 cm:n paksuinen nippu, jossa aaltopahvipalaset oli sidottuna yhteen kuminauhalla. Kuution sivuun tehtiin mitta-asteikko korkeuden muutoksen seuraamista varten. Koe aloitettiin punnitsemalla aaltopahvipino ja mittaamalla paksuus pysty-, vaaka- ja syvyysuunnassa. Sen jälkeen pino laitettiin 2 cm syvään veteen. Pinon päälle asetettiin painoksi pieni pullo, johon lisättiin vettä niin, että paino oli 130 grammaa. Paino esti kuution mahdollisen kellumisen. Ajanotto käynnistettiin ja veden nousua seurattiin asteikosta 35 minuutin ajan. Kokeen päätteeksi pino punnittiin. Myös tässä kokeessa mitattiin veden pH ja johtokyky ennen ja jälkeen. Kuvassa 7 on esitetty kuutiokoemenetelmän kuvaus.



Kuva 7 Työssä käytetyn kuutiokoemenetelmän kuvaus, jossa on esitetty yksityiskohtaiset kuvaukset kokeen suoritukselle.

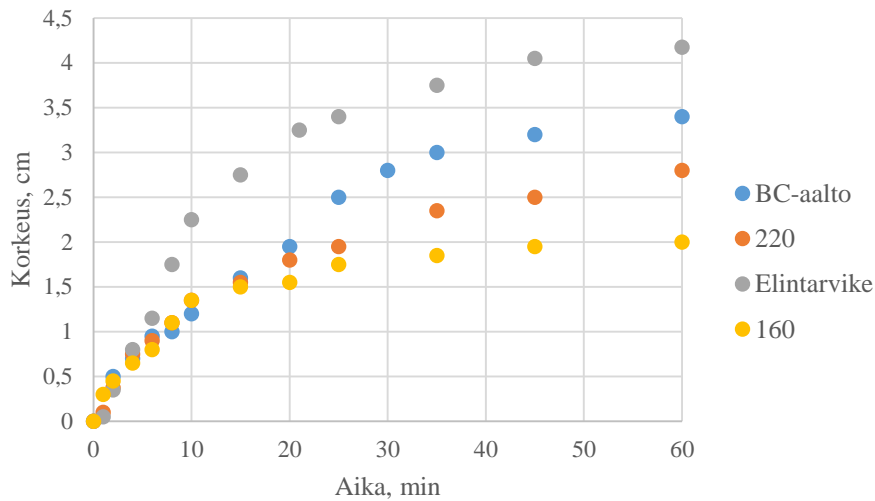
Kuvassa 8 nähdään sekä liuskatestin että kuutiokokeen suoritus.



Kuva 8 Liuskatestin ja kuutiokokeen koejärjestelyt vedessä, jonka lämpötila on 20 °C.

## 6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Kaikkien liuskakokeiden tarkat tulokset on esitetty liitteessä I. Liuskakokeista rinnakkaiskokeiden korkeuksien keskiarvot eri ajanhetkillä ja eri pahveilla on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9 Liuskakoe: 20 °C:n veden korkeuden muutos aallotuskartongissa eri pahvilajeilla.

Kuvasta 9 huomataan, että kaikilla pahveilla veden nousunopeus oli aluksi voimakasta, minkä jälkeen se tasoittuu ja saavutti tietyn korkeuden kapillaarin paine-erojen tasoittuessa. Elintarvikeaaltopahvissa vesi nousi aallotuskartongissa korkeimmalle.

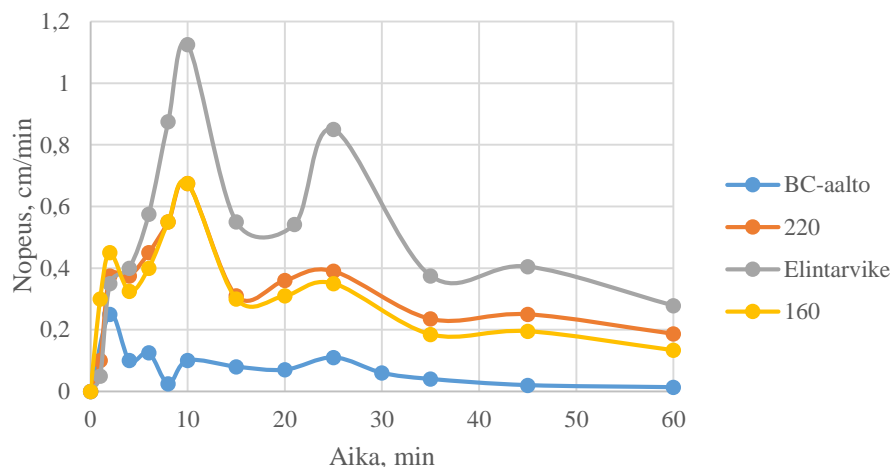
Keräyskuidusta valmistetuissa pahveissa vesi nousi hyvin epätasaisesti ja korkeus jäi muihin verrattuna alhaisemmaksi. Epätasaisuus saattoi johtua pahvin heterogeenisyydestä. Pinnan sorptio-ominaisuudet ovatkin usein erilaiset siirryttäessä kohdasta toiseen, sillä huokosrakenne ja sileyys vaihtelevat eri kohdissa [7], mikä on huomattavissa juuri keräyskuitupahveilla. Vain toisella puolella olevan pintakartongin oletetaan myös vaikuttaneen epätasaiseen nousuun veden päästessä vapaan aallotuskartongin kautta imeytymään rakenteeseen ilman molempien pintakartongien imeytymistä rajoittavaa vaikutusta. Alhaisen korkeuden uskotaan johtuvan keräyskartongissa olevasta hienoaineesta ja sen tiiviyydestä, mikä estää vettä penetroitumasta kartonkiin. Myös liima-aineiden kerääntymisen keräyskuitupahveihin uskotaan vaikuttaneen alhaiseen korkeuteen.

Kaikilla pahveilla veden penetraatio oli myös voimakkaampaa aallotuskartongissa kuin pintakartongissa. Tämä voi johtua pintakartongien suuresta tiheydestä, kuitujen tiiviyydestä ja pintakartongissa käytetyistä hydrofobiliimoista elintarvikeaaltopahvissa ja BC-aaltopahvissa,

jossa vesi ei noussut lainkaan pintakartongissa. Keräyskuitukartongeissa veden nousukorkeus aallotuskartongissa oli noin 2 cm. Myös Tai et Al. (2013) tekemässä tutkimuksessa, jossa käytetään Klemmin menetelmää veden nousunopeuden mittaamiseen, huomataan että veden korkeus paperissa noudattaa kuvan 9 kaltaista käyrää jääden 2 cm:n korkeuteen kevyesti liimatulla paperilla. Voimakkaasti liimatulla paperilla vesi ei nouse lainkaan. [2] Huomioitavaa tutkimuksessa on, että siinä käytettiin paperia eikä aaltopahvia sekä hanaveden sijasta tislattua vettä. Klemmin menetelmässä paperin alareuna on 1 cm pinnan alapuolella toisin kuin tässä mittauksessa, jossa alareuna oli 2 cm syvyydessä. Mittausaika on myös lyhyempi kuin tässä työssä tehdyssä kokeessa.

Aallotuskartonki on myös huokoisempaa kuin pintakartonki, minkä perusteella vesi absorboitui helpommin siihen. Kirjallisuuden perusteella keräyskuitujen tiheydet ovatkin usein suurempia kuin vastaavilla puolikemiallisilla [17], mikä selittää nousukorkeuden jäämisen alhaiseksi.

Kuvassa 10 on esitetty veden nousunopeuksien muutos liuskakokeissa eri ajanhetkillä.

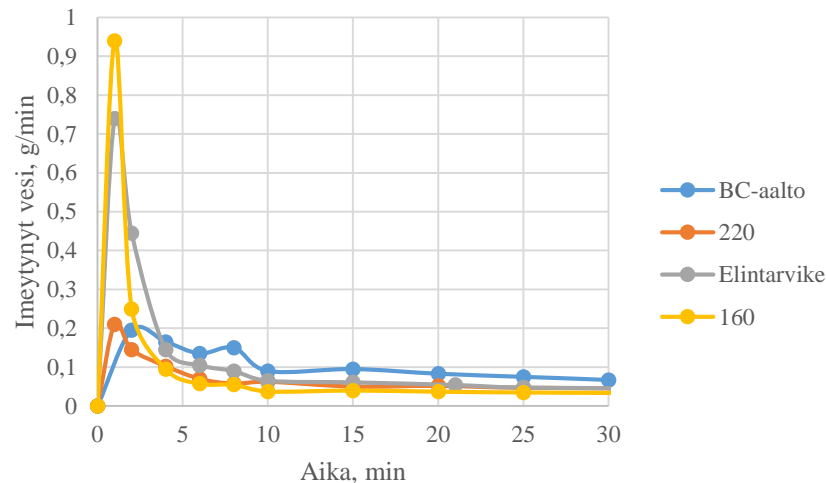


Kuva 10 Liuskakoe: Veden nousunopeus eri pahvilajeissa 20 °C:n lämpötilassa.

Kuvasta 10 voidaan nähdä, että kaikilla pahveilla, lukuun ottamatta BC-aaltopahvia, esiintyy kolme selkeämpää kohtaa, joissa veden nousunopeus on hetkellisesti korkeampi. Tämä voi johtua aaltomaisesta rakenteesta ja painovoiman vaikutuksesta hidastaa veden imeytymistä ajoittain. Lähes kaikilla pahveilla nousunopeus on 10 minuutin aikana voimakkainta. Vasta



kokeen lopussa, 60 minuutin kohdalla, nopeus on tasoittumassa. Nousunopeuden käyttäytyminen poikkeakin kuvassa 11 esitetystä imeytyneen veden nopeudesta, joka saavuttaa vakioarvon jo 15 minuutin kohdalla. Todellisen nousunopeuden seuranta varten tulisi koeajan olla riittävän pitkä, yli 60 minuuttia, jolloin molemmat nopeudet tasoittuvat vakioarvoihin.



Kuva 11 Liuskakoe: Imeytyneen 20 °C veden nopeus eri ajanhetkillä.

Kuvasta 11 huomataan myös, että veden imeytymisnopeus on heti alussa voimakasta, mikä voi johtua suurista paine-eroista kapillaarista. Paine-erot tasoittuvat, minkä jälkeen nopeus saavuttaa kullekin materiaalille ominaisen vakiotason. Alkunopeudet kahden minuutin kohdalla ovat BC-aaltopahvilla 0,195 g/min, elintarvikeaaltopahvilla 0,445 g/min, 220 g/m<sup>2</sup> -aaltopahvilla 0,145 g/min ja 160 g/m<sup>2</sup> -aaltopahvilla 0,250 g/min. Tasoittuneet imeytymisnopeudet ovat hyvin lähellä toisiaan välillä 0,03–0,05 g/min.

Taulukossa IV on esitetty liuskakokeiden perusteella laskettuja vertailulukuja eri pahvilajien vettymisestä.

Taulukko IV Vertailuluvut eri pahvilajeille liuskakokeiden tuloksista. Nousukorkeus ja imeytyneen veden massa ovat mitattuja arvoja; muut laskennallisia. Laskut on esitetty liitteessä III.

	BC-aalto	Elintarvike	220 g/m <sup>2</sup>	160 g/m <sup>2</sup>
Nousukorkeus, cm/h	3,4	4,175	2,8	2
Imeytyneen veden massa, g/h	4,69	4,27	3,19	3,32

10 cm läpivettymiseen kuluva aika, h:min:s	2:56:28	2:23:43	3:34:17	5:00:00
m(H <sub>2</sub> O)/h/m(näyte)	1,597	2,491	5,000	8,147
m(H <sub>2</sub> O)/h/V(märkä näyte)	0,226	0,365	0,438	0,638
10x10x10 cm <sup>3</sup> kuution imemä kokonaisvesimäärä, g/l	226,133	365,269	438,187	638,461

Taulukosta IV huomataan, että keräyskuiduista valmistetuissa aaltopahveissa veden nousukorkeus jää matalammaksi verrattuna ensikuidusta valmistettuihin aaltopahveihin, mikä tekee 10 cm läpivettymisajoista pidempiä, mutta litran tilavuutta kohden veden massa on korkeampi. Koska 220 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin tiheys on suurempi kuin 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvilla, litran tilavuuden kuution imemä vesimäärä on alhaisempi.

Taulukossa V on esitetty kuutiokoetta varten lasketut teoreettiset massat vedelle liuskakokeesta saatujen tulosten avulla 35 minuutin kohdalla sekä kuutiokokeesta saadut todelliset massat. Kaikki kuutiokokeiden tulokset on esitetty liitteessä II.

Taulukko V Liuskakokeiden ja kuutiokokeiden vertailua 35 minuutin ajalta.

	BC-aalto	Elintarvike	220 g/m <sup>2</sup>	160 g/m <sup>2</sup>
Liuskan vesimäärä, g	3,355	3,265	2,135	2,565
Liuskojen määrä, -	15	35	38	38
Kuution liuskakokeen perusteella estimoitu vesimäärä, g	50,325	114,275	81,130	97,470
Kuution todellinen vesimäärä, g	68,715	103,815	94,067	65,009

Taulukon V perusteella voidaan huomata suuria eroavaisuuksia liuskakokeen antamien tulosten ja kuutiokokeen tulosten välillä. Liuskakokeen perusteella laskettu veden massa eroaa 10–50 % kuutiokokeen antamasta massasta. Syitä eroavaisuuksiin voivat olla kuutiokokeessa tapahtuvan turpoamisen vaikutus ja siitä johtuva pahvin kääntymisen, mikä vähentää veden imeytymistä reunoilta. Liuskakokeessa kääntymistä ei päässyt tapahtumaan, koska metallipidikkeet pitivät pahvin suorassa koko kokeen ajan. Kuten kuvasta 12 nähdään, elintarvikeaaltopahvi ja 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvi turpoavat syvyysuunnassa. Elintarvikeaaltopahvilla turpoaminen on kuitenkin huomattavasti suurempaa johtuen raaka-aineena käytetystä ensikuidusta. Kosteus ei vaikuta keräyskuituun yhtä voimakkaasti, koska keräyskuitu on jo osittain kuollutta kuitua [1].

Kuution imemän veden laskennassa käytettiin liuskakokeen vaa'an antamia keskiarvoja 35 minuutin kohdalla, kun taas kuutiokokeen massana käytettiin kokeen jälkeen punnittua massaa. Eri tavasta johtuen tulokset eroavat toisistaan. Vesi nousee liuskakokeen aikana pahvin sisäosiin ja pintakerrosten väliin; kuutiokokeessa vesi ei pääse vierekkäisten pintakartonkien väliin ja sitä kautta siirtymään myöskään sisäosiin. Vesi nousee tällöin aallotuskartonkiin ainoastaan alakautta ja veden massa jää alhaisemmaksi.



Kuva 12 160 g/m<sup>2</sup> - (vas.) ja elintarvikeaaltopahvi (oik.) kuutiokokeen jälkeen.

pH:n ja potentiaalin mittauksessa huomattiin keräyskartongeilla suuria muutoksia ennen koetta ja kokeen jälkeen. Taulukossa VI on esitetty kuutiokokeiden pH:n ja johtokyvyn muutokset.

Taulukko VI Veden pH:n ja johtokyvyn muutos kuutiokokeissa veden lämpötilan ollessa 20 °C 35 min aikana.

	pH:n muutos, -	Johtokyvyn muutos, mV
BC-aaltopahvi	0,04	-2
Elintarvikeaaltopahvi	0,05	-4
220 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 1	0,65	-36
220 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 2	1,31	-73
160 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 1	0,5	-35

160 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 2	0,78	-41
---	------	-----

Taulukosta VI nähdään, että BC- ja elintarvikeaaltopahvien pH:n ja johtokykyjen muutokset olivat hyvin vähäisiä verrattuna keräyskartonkiaaltopahveihin. Keräyskartonkipahveista liukenee veteen aineita, jotka nostavat pH:ta merkittävästi tehden vedestä emäksisempää, ja laskevat johtokykyä myös huomattavan paljon. Liitteestä I nähdään, että liuskakokeissa muutokset eivät ole yhtä suuria kuin kuutiokokeissa johtuen useammasta pahvista kuutiokokeessa. pH:n mittausta voidaan hyödyntää indikaattorina liukenevien yhdisteiden mittaauksessa, mutta tarkempaa tietoa yhdisteistä sillä ei voida saavuttaa.

Suuren vedenimukyvyyn johdosta kyseiset testit soveltuivat melko hyvin aaltopahvien kapillaariabsorption mittaamiseen. Kokeissa on kuitenkin ollut paljon mahdollisia virhelähteitä, jotka tulee huomioida. Vaikka jokaisen kokeen jälkeen ylimääräisen veden annettiin tippua pahvista yhtä kauan, on vesimolekyylejä voinut jäädä pahvin sisään, mikä on voinut antaa todellista suuremman massan imeytyneelle vedelle. Tärkeää on myös huomata, että vaa'an antamat lukemat kokeen aikana voivat olla todellista suurempia johtuen juuri sidoksista, jotka ovat muodostuneet kuituun sitoutuneen vesimolekyylin ja tähän vesimolekyyliin sitoutuneen vesimolekyylin välille. Taulukosta VII nähdään, että liuskakokeissa kokeen jälkeen punnittujen aaltopahvien absorboiman veden massa on pienempi kuin testivaa'an antama massa lukuun ottamatta BC-aaltopahvia. Suurempi massan muutos voi johtua kaksiaaltoisesta rakenteesta, johon on voinut jäädä toisiinsa sitoutuneita vesimolekyylejä.

Taulukko VII Rinnakkaiskokeissa absorboituneen veden massojen keskiarvot liuskatestin vaa'an antamilla arvoilla ja testin jälkeen tapahtuneen punnituksen arvoilla, jolloin ylimääräinen vesi oli tippunut pahvista.

	BC-aaltopahvi	Elintarvikeaaltopahvi	220 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi	160 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi
Liuskatestin vaa'an antama imeytynyt vesi, g/h	4,69	4,27	3,19	3,32
Imeytyneen veden massa testin jälkeen punnittuna, g/h	4,80	3,94	2,32	1,66

Liuskakokeessa veden nousukorkeus oli metallipidikkeiden kohdalla korkeampi aaltopahvin litistymisen johdosta. Kuutiokoetta ei ollut mahdollista suorittaa vertailukelpoisesti samalla tavalla yhden metallipidikkeen avulla, koska pahvit olisivat voineet tippua tai mennä eri tasoon. Tämä olisi aiheuttanut mittausvirhettä imeytyneen veden massaan ja korkeuteen. Kuutiokokeessa painon muutoksen seuranta varten tulisi kehittää jokin vastaavanlainen pidike, esimerkiksi metallinen häkki, joka pitäisi pahvit paikoillaan koko kokeen ajan. Liuskakoe on kuitenkin helppo ja nopea menetelmä, jolla voidaan saada tarkkoja tuloksia käyttäen riittävän montaa rinnakkaiskoetta erojen eliminoimiseksi.

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Elintarvikekäyttöön tarkoitettulla kartongilla on tarkat vaatimukset valmistusmenetelmistä ja aineista, joita valmistuksessa voidaan käyttää. Ensikuidusta valmistetuissa aaltopahveissa ainoiksi elintarvikekäyttöä rajoittaviksi aineiksi todettiin märkälujaliimojen joukossa käytetyt myrkylliset formaldehydyhdisteet ja polyamidoamiini-epikloorihydrinihartsit, josta muodostuu pieniä määriä haitallista 3-MCPD:tä. Keräyskuiduista valmistetuilla kartongeilla on suuri merkitys erityisesti Euroopassa kysynnän yleistyessä myös Suomessa, mutta elintarvikepakkauskartonkina sitä ei käytetä epäpuhtauksien ja painovärien raskasmetallien vuoksi.

Työssä selvitettiin myös erilaisten aaltopahvien vettymiseen vaikuttavia tekijöitä ja laskettiin vertailulukuja neljälle eri aaltopahvituotteelle. Menetelminä käytettiin liuskakoetta ja kuutiokoetta, jotka suoritettiin 20 °C:een lämpötilassa olevassa hanavedessä. Huomattiin, että veden absorptio pahvien pintakartongeissa oli vähäisempää kuin aallotuskartongissa, jossa veden korkeus nousi 1,7–4,25 cm molemmissa kokeissa. Pintakartongissa ei tapahtunut näkyvää veden kapillaariabsorptiota ensikuidusta valmistetuilla kartongeilla, joissa käytettiin mahdollisesti hydrofobiliimoja. Keräyskuidusta valmistettuihin aaltopahveihin absorboituneen veden määrät olivat 438–638 g/l kun taas elintarvikeaaltopahvilla 365 g/l ja kaksiaaltoisella BC-aaltopahvilla 226 g/l. Kapillaariabsorptio oli kuitenkin keräyskuiduilla hidasta, minkä johdosta 10 cm läpivettymiseen kuluva aika oli useita tunteja pidempi kuin ensikuidusta valmistetuilla pahveilla. Keräyskartongista liukeni veteen myös emäksisiä yhdisteitä.

Korrelaatio kokeellisessa osassa käytetyn liuskakokeen ja kuutiokokeen välillä oli melko yhtenäinen. Kuutiokokeessa tapahtunut turpoaminen kuitenkin vaikutti eroihin kokeiden välillä vähentäen veden imeytymistä kuution reunoilta. Kuutiokokeessa vierekkäiset pintakartongit estivät myös veden imeytymistä voimakkaammin kuin yksittäisellä liuskalla. Liuskakoetta voidaan sen johdosta pitää varsin helppona ja luotettavana menetelmänä absorptioon tutkimiseen aaltopahveilla.

## LÄHTEET

1. Laakso O., Suomen aaltopahviihdistys ry, Aaltopahvin valmistus ja jalostus, 2. korjattu ja päivitetty painos, Jyväskylä 2003, s. 8-126
2. Tai N., Yamauchi T., An examination of Various Evaluation Tests for Paper Sizing – A Proposal to Use the Klemm Test for Sizing Evaluation, [29.3.2016], Osaka 2013, saatavilla: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/fiber/69/5/69\\_96/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/fiber/69/5/69_96/_pdf)
3. Maa- ja metsätalousministeriö, Elintarvikekontaktimateriaalit, [12.2.2016], saatavilla: <http://mmm.fi/elintarvikekontaktimateriaalit>
4. Metsäyhdistys ry, Kartonki- ja pahvilajit (paperboard grades), [12.2.2016], saatavilla: <http://www.smy.fi/sanasto/kartonki-ja-pahvilajit-paperboard-grades/>
5. Evira, Elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvia materiaaleja ja tarvikkeita koskeva valvontaohje, Käyttöönotto 15.12.2009, [12.2.2016], saatavilla: [http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/lomakkeet\\_ja\\_ohjeet/elintarvikkeet/kontaktimateriaalit/fcmvalvontaohjeevira040612final.pdf](http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/lomakkeet_ja_ohjeet/elintarvikkeet/kontaktimateriaalit/fcmvalvontaohjeevira040612final.pdf), s. 1-8
6. FEFCO, Corrugated packaging, Annual Statistics 2014, [14.2.2016], saatavilla: [http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/Fefco\\_AnnualEvaluation\\_2014\\_last.pdf](http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/Fefco_AnnualEvaluation_2014_last.pdf), s. 2-24

7. Arjas A., Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja III: Paperin valmistus osa 1, 2. uudistettu painos, Turku 1983, s. 48-380
8. Jääskeläinen A-S., Puun rakenne ja kemia, Helsinki 2007, s.83-106
9. Alén, R., Functional Chemicals, Papermaking Science and Technology, Book 4, Papermaking Chemistry, second edition, Jyväskylä 2007, s. 79-137
10. Niskanen, K., Moisture and Fluid Transport, Papermaking Science and Technology, Book 16, Paper Physics, second edition, Jyväskylä 2008, s. 270-272
11. Suomen aaltopahviyhdistys ry, Käyttäjän käsikirja, [11.2.2016], saatavilla: [http://www.aaltopahvi.fi/SiteAssets/tietoja/AP%20K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4n%20k%C3%A4sikirja\\_www\\_16%2002%2015.pdf](http://www.aaltopahvi.fi/SiteAssets/tietoja/AP%20K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4n%20k%C3%A4sikirja_www_16%2002%2015.pdf)
12. Kärkkäinen A., Tekniikka&Talous, Sellun valkaisu puhdistui, julkaistu 18.5.2007, [20.3.2016], saatavilla: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metsa/2007-05-18/Sellun-valkaisu-puhdistui-3294946.html>
13. Robertson G L., Food Packaging Principles and Practice, [20.2.2016], 2013, saatavilla: [https://books.google.fi/books?id=y27tL\\_7ZJFUC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?id=y27tL_7ZJFUC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false), s. 634
14. Pace G., Hartman T., Migration studies of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) in polyethylene extrusion-coated paperboard food packaging, [10.3.2016], 2010, saatavilla: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19440041003636653>
15. Nordic Council of Ministers, Nordic Council of Ministers Secretariat, Paper and Board Food Contact Materials, [28.2.2016], Kööpenhamina 2008, saatavilla: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:702064/FULLTEXT01.pdf>, s. 30

16. International Organization for Standardization, Standard Catalogue, Test methods and quality specifications for paper and board, [6.3.2016], 2016 saatavilla: [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=45694](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=45694)
17. McKinney R.W.J., Technology of Paper Recycling, 2. painos, Iso-Britannia 1997, s. 28



## **LIITTEET**

LIITE I: BC-, elintarvike-, 220 g/m<sup>2</sup>- ja 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvien liuskakokeiden tulokset

LIITE II: BC-, elintarvike-, 220 g/m<sup>2</sup>- ja 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvien kuutiokokeiden tulokset

LIITE III: Taulukon IV vertailulukujen laskennassa käytetyt kaavat

Taulukko I BC-aaltopahvin liuskakokeiden pahvin massat, veden pH ja johtokyky ennen ja jälkeen.

	Massa alussa, g	Massa lopussa, g	pH alussa, -	pH lopussa, -	Johtokyky alussa, mV	Johtokyky lopussa, mV
Liuskakoe 1	10,4922	15,497	7,06	7,18	6	-1
Liuskakoe 2	10,2414	14,8497	6,77	6,84	11	2

Taulukko II BC-aaltopahvin ensimmäisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t,min	-m(H <sub>2</sub> O), g	imeytynyt, g	muutos, g/min
0	1,24	0	0
2	1,69	0,45	0,225
4	2,08	0,39	0,195
6	2,41	0,33	0,165
8	2,73	0,32	0,16
10	3,01	0,28	0,14
15	3,55	0,54	0,108
20	4,04	0,49	0,098
25	4,48	0,44	0,088
30	4,87	0,39	0,078
35	5,24	0,37	0,074
45	5,95	0,71	0,071
60	6,9	0,95	0,063333333

Taulukko III BC-aaltopahvin toisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt, g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus, cm/min
0	1,02	0	0	0	0
2	1,35	0,33	0,165	0,5	0,25
4	1,62	0,27	0,135	0,7	0,1
6	1,83	0,21	0,105	0,95	0,125
8	2,11	0,28	0,14	1	0,025
10	2,19	0,08	0,04	1,2	0,1
15	2,6	0,41	0,082	1,6	0,08
20	2,94	0,34	0,068	1,95	0,07
20	2,94	0,34	0,068	1,95	0,07
25	3,25	0,31	0,062	2,5	0,11
30	3,53	0,28	0,056	2,8	0,06

35	3,73	0,2	0,04	3	0,04
45	4,14	0,41	0,041	3,2	0,02
60	4,74	0,6	0,04	3,4	0,013333333

Taulukko IV Elintarvikeaaltopahvin liuskakokeiden pahvin massat, veden pH ja johtokyky ennen ja jälkeen.

	Massa alussa, g	Massa lopussa, g	pH alussa, -	pH lopussa, -	Johtokyky alussa, mV	Johtokyky lopussa, mV
Liuskakoe 1	4,8732	9,1861	6,94	7,08	14	4
Liuskakoe 2	4,9794	8,5508	6,92	7,11	3	3

Taulukko V Elintarvikeaaltopahvin ensimmäisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt, g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus, cm/min
0	-0,38	0	0	0	0
1	0,2	0,58	0,58	0,1	0,1
2	0,48	0,28	0,28	0,4	0,4
4	0,8	0,32	0,16	1	0,5
6	1,03	0,23	0,115	1,5	0,75
8	1,24	0,21	0,105	2	1
10	1,36	0,12	0,06	2,5	1,25
15	1,69	0,33	0,066	3	0,6
21	2,04	0,35	0,058333333	3,5	0,5833333
25	2,24	0,2	0,05	3,6	0,9
35	2,72	0,48	0,048	4	0,4
45	3,17	0,45	0,045	4,2	0,42
60	3,8	0,63	0,042	4,25	0,2833333

Taulukko VI Elintarvikeaaltopahvin toisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt, g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus, cm/min
0	-1,5	0	0	0	0
1	-0,6	0,9	0,9	0	0
2	0,01	0,61	0,61	0,3	0,3
4	0,27	0,26	0,13	0,6	0,3
6	0,46	0,19	0,095	0,8	0,4
8	0,61	0,15	0,075	1,5	0,75
10	0,75	0,14	0,07	2	1

15	1,03	0,28	0,056	2,5	0,5
21	1,33	0,3	0,05	3	0,5
25	1,51	0,18	0,045	3,2	0,8
35	1,93	0,42	0,042	3,5	0,35
45	2,31	0,38	0,038	3,9	0,39
60	2,86	0,55	0,036666667	4,1	0,273333

Taulukko VII 220 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin liuskakokeiden pahvin massat, veden pH ja johtokyky ennen ja jälkeen.

	Massa alussa, g	Massa lopussa, g	pH alussa, -	pH lopussa, -	Johtokyky alussa, mV	Johtokyky lopussa, mV
Liuskakoe 1	2,7606	5,1679	7,06	7,12	8	-2
Liuskakoe 2	2,7082	4,9482	7,07	7,12	8	6

Taulukko VIII 220 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin ensimmäisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt,g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus cm/min
0	1,89	0	0	0	0
1	2,06	0,17	0,17	0,2	0,2
2	2,16	0,1	0,1	0,5	0,5
4	2,29	0,13	0,065	0,75	0,375
6	2,38	0,09	0,045	0,8	0,4
8	2,47	0,09	0,045	1	0,5
10	2,54	0,07	0,035	1,2	0,6
15	2,74	0,2	0,04	1,5	0,3
20	2,94	0,2	0,04	2	0,4
25	3,13	0,19	0,038	2,2	0,44
35	3,51	0,38	0,038	2,8	0,28
45	3,9	0,39	0,039	3	0,3
60	4,43	0,53	0,035333333	3,5	0,233333

Taulukko IX 220 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin toisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt, g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus, cm/min
0	0,72	0	0	0	0
1	0,97	0,25	0,25	0	0
2	1,16	0,19	0,19	0,25	0,25
4	1,44	0,28	0,14	0,75	0,375
6	1,63	0,19	0,095	1	0,5
8	1,77	0,14	0,07	1,2	0,6
10	1,95	0,18	0,09	1,5	0,75
15	2,25	0,3	0,06	1,6	0,32
20	2,57	0,32	0,064	1,6	0,32
25	2,85	0,28	0,056	1,7	0,34
35	3,37	0,52	0,052	1,9	0,19
45	3,87	0,5	0,05	2	0,2
60	4,56	0,69	0,046	2,1	0,14

Taulukko X 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin liuskakokeiden pahvien massat, veden pH ja johtokyky ennen ja jälkeen.

	Massa alussa, g	Massa lopussa, g	pH alussa, -	pH lopussa, -	Johtokyky alussa, mV	Johtokyky lopussa, mV
Liuskakoe 1	2,4124	3,9389	6,52	6,97	16	21
Liuskakoe 2	2,4778	4,264	6,85	6,98	18	14

Taulukko XI 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin ensimmäisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt, g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus, cm/min
0	-0,35	0	0	0	0
1	0,58	0,93	0,93	0,3	0,3
2	0,82	0,24	0,24	0,4	0,4
4	1,01	0,19	0,095	0,6	0,3
6	1,12	0,11	0,055	0,8	0,4
8	1,24	0,12	0,06	1,1	0,55
10	1,31	0,07	0,035	1,4	0,7
15	1,5	0,19	0,038	1,5	0,3
20	1,68	0,18	0,036	1,5	0,3
25	1,84	0,16	0,032	1,7	0,34
35	2,15	0,31	0,031	1,8	0,18

45	2,43	0,28	0,028	1,9	0,19
60	2,84	0,41	0,027333333	1,9	0,126667

Taulukko XII 160 g/m<sup>2</sup>-aaltopahvin toisen liuskakokeen tulokset 20 °C:n vedessä.

t, min	-m(H <sub>2</sub> O)	imeytynyt, g	muutos, g/min	korkeus, cm	nousunopeus, cm/min
0	-0,46	0	0	0	0
1	0,49	0,95	0,95	0,3	0,3
2	0,75	0,26	0,26	0,5	0,5
4	0,94	0,19	0,095	0,7	0,35
6	1,06	0,12	0,06	0,8	0,4
8	1,16	0,1	0,05	1,1	0,55
10	1,24	0,08	0,04	1,3	0,65
15	1,45	0,21	0,042	1,5	0,3
20	1,64	0,19	0,038	1,6	0,32
25	1,83	0,19	0,038	1,8	0,36
35	2,17	0,34	0,034	1,9	0,19
45	2,49	0,32	0,032	2	0,2
60	2,99	0,5	0,033333333	2,1	0,14

Taulukko I Kuutiokokeiden pahvien massat, veden pH ja johtokyky ennen ja jälkeen.

	Massa alussa, g	Massa lopussa, g	pH alussa, -	pH lopussa, -	Johtokyky alussa, mV	Johtokyky lopussa, mV
BC-aaltopahvi	153,44	222,715	7,18	7,22	0	-2
Elintarvikepahvi	169,145	272,960	7,06	7,11	7	3
220 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 1	103,509	231,679	7,13	7,78	2	-34
220 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 2	104,109	198,176	6,90	8,21	13	-60
160 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 1	92,169	157,180	7,06	7,56	8	-27
160 g/m <sup>2</sup> -aaltopahvi, koe 2	92,200	147,320	6,77	7,55	18	-23

Taulukko II 20 °C:n veden korkeuden muutos kuutiokokeissa.

t, min	BC-aalto	Elintarvike	220 - g/m <sup>2</sup>		160 - g/m <sup>2</sup>	
	korkeus, cm	korkeus, cm	korkeus, cm	korkeus, cm	korkeus, cm	korkeus, cm
0	0	0	0	0	0	0
1	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
2	0,9	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5
4	1	1	1,2	0,8	1	0,7
6	1,2	1,5	1,5	1,1	1,2	0,8
8	1,5	2	1,8	1,4	1,4	1
10	1,6	2,5	2	1,7	1,8	1,1
15	1,7	3	2,5	2	1,9	1,2
20	1,8	3,5	3	2,3	2	1,3
25	1,9	4	3,5	2,6	2,2	1,5
35	2	4,2	4	2,8	2,5	1,7

Taulukko III Kuutiokokeissa aiheutunut turpoaminen syvyysuunnassa.

	Paksuus alussa, cm	Paksuus lopussa, cm	Muutos, cm
BC-aaltopahvi	9,15	11,3	2,15
Elintarvikeaaltopahvi	9,8	11,5	1,7
220 g/m <sup>2</sup> , koe 1	9,88	10,8	0,92
220 g/m <sup>2</sup> , koe 2	9,88	11,3	1,42
160 g/m <sup>2</sup> , koe 1	9,88	10,6	0,72
160 g/m <sup>2</sup> , koe 2	9,88	10,6	0,72



Taulukossa IV käytettyjen tietojen kaavat ja esimerkkisijoitukset BC-aaltopahville

10 cm läpivettymiseen kulunut aika saadaan kaavalla:

$$\frac{\left(\frac{10 \text{ cm}}{\text{nousukorkeus} \left(\frac{\text{cm}}{\text{h}}\right)}\right)}{24 \text{ h}} = \frac{10 \text{ cm}}{3,4 \text{ cm/h}} = 0,122549 = 2 \text{ h } 56 \text{ min } 28 \text{ s}$$

Absorboituneen veden määrä tunnissa grammaa kohden näytettä lasketaan yhden liuskan tiedoilla kaavalla:

$$\frac{m(\text{H}_2\text{O})/\text{h}}{\text{nousukorkeus} \left(\frac{\text{cm}}{\text{h}}\right) \cdot \rho_{\text{pahvi}} \cdot \text{paksuus} \cdot \text{leveys}} = \frac{4,69 \text{ g/h}}{3,4 \frac{\text{cm}}{\text{h}} \cdot 0,1416 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 0,61 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}}$$

$$= 1,5967 \frac{\text{g/h}}{\text{g(näyte)}}$$

Absorboituneen veden määrä tunnissa aaltopahvin tilavuutta kohden määrässä näytteessä yhden liuskan tiedoilla saadaan kaavalla:

$$\frac{m(\text{H}_2\text{O})/\text{h}}{\text{liuskan leveys} \cdot \text{paksuus} \cdot \text{nousukorkeus} \left(\frac{\text{cm}}{\text{h}}\right)} = \frac{4,69 \text{ g/h}}{10 \text{ cm} \cdot 0,61 \text{ cm} \cdot 3,4 \text{ cm/h}}$$

$$= 0,22613308 \frac{\text{g/h}}{V(\text{näyte})}$$

10x10x10 cm<sup>3</sup> tilavuisen kuution imemä kokonaisvesimäärä saadaan kaavalla:

$$\frac{m(\text{H}_2\text{O})/\text{h}}{\text{liuskan leveys} \cdot \text{paksuus} \cdot \text{nousukorkeus} \left(\frac{\text{cm}}{\text{h}}\right)} \cdot 1000 \text{ cm}^3$$

$$= 0,22613308 \frac{\text{g/h}}{V(\text{näyte})} \cdot 1000 \text{ cm}^3 = 226,133 \text{ g/l}$$