



**Aalto-yliopisto  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu**

**Roger Gottleben**

**LISÄMASSAN HYÖDYNTÄMINEN AALLOTUSKARTONGIN VALMISTUKSESSA JA  
VALMISTUSPROSESSIEN VAIKUTUS TUOTETURVALLISUUTEEN**

Kemian, bio- ja materiaalitekniikan maisteriohjelma

Pääaine: biomassan jalostustekniikka

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 1.1.2018.

Valvoja

Professori Olli Dahl

Ohjaaja

Diplomi-insinööri Ville Karvonen

---

**Tekijä** Roger Gottleben

---

**Työn nimi** Lisämässan hyödyntäminen aallotuskartongin valmistuksessa ja valmistusprosessien vaikutus tuoteturvallisuuteen

---

**Laitos** Biotuotteiden ja biotekniikan laitos

---

**Pääaine** Biomassan jalostustekniikka

---

**Työn valvoja** Professori Olli Dahl

---

**Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t)** DI Ville Karvonen

---

**Päivämäärä** 01.01.2018

**Sivumäärä** 110

**Kieli** suomi

---

### **Tiivistelmä**

Työssä selvitettiin, että miten elintarvikekelpoista aallotuskartonkia valmistava fluting-tehdas voisi parhaiten hyödyntää lisämässana havusulfaattisellua (UKP) ja aaltopahvileikkuujätettä (CLC). Kirjallisessa osassa vertailtiin hyödynnettävien kuitujakeiden käyttökelpoisuutta, tuotiin esille elintarvikekelpoisuuden aiheuttamia lisätuoteturvallisuusvaatimuksia ja tutkittiin, miten aallotuskartongin värinsiirtymään vaikuttavat aallotuskartongin valmistusprosessit ja raaka-aineet.

Kokeellisessa osassa luotiin ajomalli, miten kierrätyskuidun valmistukseen suunniteltua lisämässalinjaa voidaan käyttää vertailututkimuksessa parhaiten pärjänneen lisämässan, UKP:n, prosessoimiseen. Laboratoriokokein selvitettiin, että havusulfaattimassa parantaa flutingin lujuutta. Valikoitujen parhaiten soveltuvien lisämässojen kustannuskilpailukyvykkyyttä vertailtiin ja annettiin jatkotoimenpide-ehdotuksena investointi jauhatuksen tehostamiseen. Lisäksi selvitettiin, että massan johtokyky korreloi aallotuskartongin tuoteturvallisuustesteissä esiintyvän värinsiirtymän määrään.

---

**Avainsanat** Lisämässä, havusulfaattisellu, aaltopahvileikkuujäte, tuoteturvallisuus, fluting, NSSC

---

---

**Author** Roger Gottleben

---

**Title of thesis** Utilization of additional pulp in manufacturing fluting paper and the effect of the manufacturing processes on the product safety

---

**Department** Department of Bioproducts and Biosystems

---

**Major** Biomass refining

---

**Thesis supervisor** Professor Olli Dahl

---

**Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)** M. Sc. (Tech) Ville Karvonen

---

**Date** 01.01.2018

**Number of pages**  
110

**Language** finnish

---

**Abstract**

Alternatives for additional pulp in manufacturing of fluting paper for food-contact were unbleached kraft pulp (UKP) and clean clippings (CLC). In literature review, various pulp grades from various sources were analysed, specific requirements of food-contact materials were investigated and it was determined how different raw materials and process purity affects the product safety. In experimental part, it was compared which raw material would be the most suitable for additional pulp and the most competitive one, unbleached kraft pulp (UBK), was tested in a test run in the mill. Investment proposal was given based on the test run. A comparative study with and without UBK as an additional pulp was conducted in a laboratory. It was seen, that UBK holds the potential to increase the runnability of the paper machine in profitable manner. In addition, it was illustrated in laboratory experiments that pulp conductivity affects the color fastness of the pulp.

---

**Keywords** Additional pulp, unbleached kraft pulp, clean clippings, product safety, fluting, NSSC

---

## **ALKUSANAT**

Työ on tehty toimeksiantona Stora Enso Oyj:n Heinolan Fluting-tehtaalle.

Työn valvojana toimi professori Olli Dahl ja ohjaajana Diplomi-insinööri Ville Karvonen. Kiitän heitä asiantuntevasta ohjauksesta.

Lisäksi, haluan kiittää Heinolan Fluting-tehtaan henkilökuntaa asiantuntevasta yhteistyöstä, jotka auttoivat kokeellisen osuuden toteuttamisessa. Kiitos sellutehtaan henkilökunnalle, jotka olivat mukana ajoittain haastavissakin koeajoissa. Koeajoissa erityiskiitos päivämestari Mika Pylkkäselle ja käyttöinsinööri Taavi Saarelle. Inspiroivista ajatuksista suunnitteluvaiheessa haluan kiittää kehityspäällikkö Mikael Sillforsia.

Koko opiskelujeni ajalta haluan kiittää opiskelukavereitani, joiden kanssa mahdottomiltakin tuntuvat tehtävät tuntuivat mahdollisilta. Lisäksi kiitos vanhemmilleni ja mummilleni kaikesta tarjotusta tuesta opintojen aikana.

Erytisesti haluan kiittää perhettäni: rakasta puolisoani Sofiaa, joka tuki minua ja kannusti eteenpäin opintojeni aikana sekä poikaani Alvaria, jonka kanssa pystyin irrottamaan ajatukset opinnoistani.

Heinolassa 01.01.2018

Roger Gottleben

## Sisällysluettelo

Käytetyt symbolit, lyhenteet ja termit .....	1
1. Johdanto.....	3
1.1 Taustaa.....	3
1.2 Työn tavoite .....	3
KIRJALLINEN OSA.....	5
2. Aallotuskartongin rooli elintarvikepakkauksen komponenttina .....	5
2.1 Aaltopahvi .....	5
2.2 Aallotuskartonki.....	6
2.3 Kuitupakkausmateriaalin testaaminen.....	7
2.4 Laatuvaatimukset ja mitattavat ominaisuudet.....	7
2.5 Ruokakontaktipakkausmateriaalien tuoteturvallisuus.....	9
2.6 Riskit kierrätyskuidun käytössä.....	11
3. Aallotuskartongin pinnasta irtoavat materiaalit.....	12
3.1 Kuitujen pintavarauksen vaikutus kuituverkoston adsorptiokykyyn .	12
3.2 Lisäaineiden hyödyntäminen.....	13
3.3 Väriaineet kartongin valmistuksessa .....	15
3.4 Prosessiveden epäpuhtauksien vaikutus lisämangan laatuun .....	18
4. Ensiökuidusta valmistettavat aallotuskartonkiraaka-aineet .....	20
4.1 Sellun valmistuksen raaka-aineet .....	20
4.2 Puolikemiallinen neutraalisulfiittisellu (NSSC).....	22
4.3 Mekaaniset massat .....	25
4.4 Sulfaattisellu (Kraft) .....	28
4.5 Ei-puupohjaiset raaka-aineet.....	30

4.5.1	Ei-puupohjaiset raaka-aineet NSSC massan valmistuksessa.....	30
5.	Aallotuskartongin valmistukseen käytettävät toisiokuidut.....	32
5.1	Kiertokuidut.....	34
5.2	Paperi- ja kartonkitehtaiden sisäisten prosessien ylijäämäraaka-aineet 41	
5.2.1	Aaltopahvihylky (clean clippings, CLC) .....	42
5.2.2	Alivaalea sellu ja lajittelurejektit .....	43
5.2.3	Erilaiset paperit (aikakauslehtipaperi, luettelopaperi, sanomalehtipaperi) .....	44
5.2.4	Kartonkituotteet ja muut kuitutuotteet .....	45
5.2.5	Kuitulietteet.....	45
6.	Lisämassan prosessointivaiheet .....	46
6.1	Prosessivaiheet.....	47
6.2	Pulpperointi.....	49
6.3	Lajittelu ja siistaus .....	51
6.4	Saostin .....	53
6.5	Jauhatus.....	54
7.	Kirjallisen osuuden yhteenveto .....	58
	KOKEELLINEN OSA .....	60
8.	Yrityksen esittely .....	60
9.	Lisämassaraaka-aineen valinta .....	60
9.1	Tavoitteet .....	60
9.2	Tutkimuskysymykset .....	61
9.3	Saatavuus .....	61

9.4	Sopivimman massatyyppin valinta .....	62
10.	Tehdaskoeajot valkaisemattomalla havusulfaattilisämällä .....	64
10.1	Tavoitteet .....	64
10.2	Tutkimuskysymykset .....	64
10.3	Materiaalit ja menetelmät .....	65
10.3.1	Yleistä .....	65
10.4	Tulokset .....	65
10.4.1	Raaka-aineen syötön ajomallit .....	66
10.4.2	Lisämassinlinjan saanto .....	67
10.4.3	Jauhimen ajoparametrien asettaminen .....	67
10.4.4	Vaikutus lopputuotteen laatuun .....	69
10.4.5	Muut huomiot koeajosta .....	70
10.4.6	Laboratorioanalyysit havusulfaattimassasta .....	71
10.5	Johtopäätelmät havusulfaattimassan koeajoista .....	73
11.	Valittujen massojen kannattavuusvertailu ja lisäinvestointilaskelmat ..	74
11.1	NSSC massan muuttuvien kustannusten laskeminen .....	74
11.2	Jauhininvestoinnin tuotot ja takaisinmaksuaika .....	79
11.3	Johtopäätelmät lisämassinraaka-aineen valinnasta .....	84
12.	Aallotuskartongista vuotavan värin johtokykyriippuvuus .....	85
12.1	Tavoitteet .....	85
12.2	Tutkimuskysymykset .....	85
12.3	Materiaalit ja menetelmät .....	85
12.3.1	Alkuvalmistelut .....	85
12.3.2	Mittaukset ja menetelmät .....	86

12.3.3 Tulosten luotettavuuden arviointi.....	87
12.4 Tulokset ja niiden tarkastelu .....	88
13. Johtopäätelmät kokeellisesta osiosta.....	91
14. Liitteet .....	93
Liite A. Luettelo kohdetehdasta ympäröivistä tehtaista .....	93
Liite B. NSSC massan valmistuskustannusarvio .....	96
Liite C. Jauhininvestoinnin kustannuslaskelmat .....	99
Liite D. Havusulfaattimassan laboratoriokeiden tulokset .....	101
Liite E. Värinsiirtymäanalyysimittausten tulokset .....	102
15. Lähteet .....	107



## Käytetyt symbolit, lyhenteet ja termit

ADt	Ilmakuivattu tonni ( <i>Airdried ton</i> )
Ap	Aaltopahvi
BfR	Saksan liittovaltiollinen riskiarviointi-instituutti ( <i>Bundeninstitut für Risikobewertung</i> )
CLC	Käyttämätön aaltopahvi ja aaltopahvin leikkuusilppu ( <i>Clean clippings, unused board and shavings of corrugated material, EN 643:2014 4.01.00</i> )
CCT	Poikkisuuntainen puristuslujuustesti ( <i>Corrugated Crush Test</i> )
CEPI	Eurooppalaisen paperiteollisuuden konfederaatio ( <i>Confederation of European Paper Industries</i> )
CFU	Pesäkkeen muodostava yksikkö ( <i>Colony forming unit</i> )
CMP	Kemimekaaninen hierre ( <i>Chemimechanical pulp</i> )
CMT	Aallotuskartongin litistyslujuustesti ( <i>Concora Medium Test</i> )
CTMP	Kemitermomekaaninen hierre ( <i>Chemithermomechanical pulp</i> )
EBIT	Liikevoitto ( <i>Earnings before interests and taxes</i> )
EOK	Jauhatuksen ominaisenergia
GWP	Hioke
Fluting	Aallotuskartonki

Laineri	Pintakartonki
NIAS	Tahtomatta lisätyt materiaalit ( <i>Unintentionally added substances</i> )
NSSC	Neutraalisulfiittimenetelmä ( <i>Neutral sulfite semi chemical</i> )
OCC	Käytetty aaltopahvi ( <i>Old corrugated cardboard</i> )
PGW	Painekäsitelty hioke ( <i>Pressure groundwood</i> )
SC	Superkalanteroitu ( <i>Supercalandered</i> )
SEL	Ominaisrämmäkuorma ( <i>Specific Edge Load</i> )
SCT	Puristuslujuustesti ( <i>Short Span Compression Test</i> )
SGW	Hioke ( <i>Stone groundwood</i> )
TMP	Kuumahierre ( <i>Thermomechanical pulp</i> )
TGW	Kuumahioke ( <i>Thermal groundwood</i> )
UKP	Valkaisematon sulfaattisellu ( <i>Unbleached kraft pulp, UKP</i> )

# 1. Johdanto

## 1.1 Taustaa

Tässä työssä keskityttiin lisämassaosaston kehittämiseen ja aallotuskartongin tuoteturvallisuuteen. Lisämassalla tarkoitetaan massaa, joka ei ole tehtaan oman massatehtaan tuote, vaan on ostettu tehtaan ulkopuoliselta toimijalta. Lisämassalinjan vaikutusta pidetään tehtaalle tärkeänä, sillä tehtaan oman NSSC-massatuotannon käydessä täydellä kapasiteetilla, voidaan lisämassalla saavuttaa vielä lisäkapasiteettia vaikuttamatta tehtaan kemikaalikiertoon. Lisämassalinjalta saavutettavien kapasiteettihöyryjen voidaan katsoa tulevan lisääntyneen massatuotannon lisäksi joko raaka-aineen valmistuskustannusten alenemisena (tehtaan omaa massaa halvempi kuitu) tai kartonkikoneen ajoajan paranemisena (tehtaan omaa massaa parempi kuitu). Lisäksi, lisämassan käyttö vaikuttaa myös lopputuotteen laatuominaisuuksiin, minkä takia sen käytöllä on vaikutusta myös asiakkaaseen.

Aallotuskartongin hyödyntäminen elintarvikepakkausmateriaalina asettaa sille korkeat tuoteturvallisuusvaatimukset. Nämä vaatimukset toimivat viitekehystenä sille, mitä lisämassoja tehdas voi hyödyntää. Tässä työssä käsitellään lisämassojen tuoteturvallisuuskysymystä ja testataan aallotuskartongin tuoteturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Testimenetelmänä käytetään aallotuskartongin värinsiirtymämittausta.

## 1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on löytää kuidut, joita tehdas voi käyttää elintarvikekelpoisen aallotuskartongin valmistuksessa sivuvirtakuituna, lisämassana. Hyödynnettävyys on riippuvainen materiaalin saatavuudesta, hinnasta ja vaikutuksesta laatuun ja ajettavuuteen. Tavoitteena on materiaalitutkimuksen lisäksi löytää optimaalinen

ajotapa lisämassalinjalle, mahdollisten lisäinvestointien tarve ja kustannusvaikutusten selvittäminen. Lisäksi työssä syvennyttään elintarvikekelpoisen aallotuskartongin, flutingin, tuoteturvallisuuden ja tuodaan esiin käytännön asioita, joilla tuoteturvallisuuteen voidaan vaikuttaa. Erityinen huomio tuoteturvallisuuden mittaamisessa on värisiirtymän mittaaminen ja käytännön syiden löytäminen siihen, mitkä tekijät vaikuttavat flutingista irtoavaan väriin.

Kirjallisessa tutkimuksessa syvennyttään aaltopahvin laatutekijöihin, aallotuskartongin valmistukseen ja siihen, miten eri raaka-aineista saavat massat vaikuttavat aallotuskartongin laatuun. Laatutekijöistä syvennyttään elintarvikekelpoisuuden aiheuttamiin tuoteturvallisuusvaatimuksiin ja lisämassan aiheuttamiin laatumuutoksiin. Valmistusprosessikuvauksessa syvennyttään NSSC-massan valmistusmenetelmään.

Kokeellisen osan tavoitteena on testata tehdasmittakaavassa teknistaloudellisen analyysin perusteella potentiaalisimman lisämassaraaka-aineen ajettavuutta lisämassalinjalla ja kartonkikoneella. Koeajon tavoite on löytää paras ajomalli lisämassalinjalle ja tarjota mahdolliset lisäinvestointiehdotukset parhaan hyötypotentiaalin saavuttamiseksi. Potentiaalisimpien raaka-ainevaihtoehtojen hyötyvaikutusta tehtaan toimintaan mitataan ja lasketaan takaisinmaksuaika mahdollisille teknisille muutoksille, joita raaka-aineen hyödyntäminen voi vaatia. Lisäksi kokeellisessa osassa syvennyttään elintarvikekelpoisen flutingin tuoteturvallisuusmittaukseen ja tuodaan esiin käytännön asioita, joilla tuoteturvallisuuteen voidaan vaikuttaa.

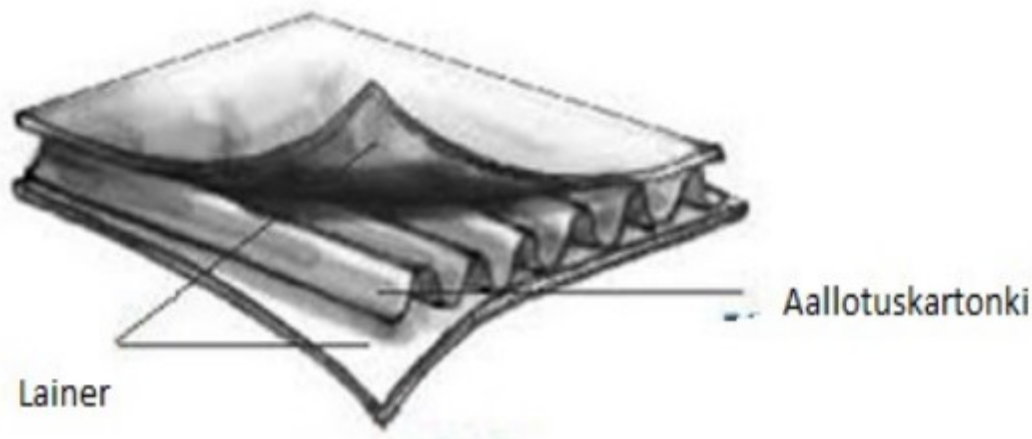
## KIRJALLINEN OSA

### 2. Aallotuskartongin rooli elintarvikepakkauksen komponenttina

Aallotuskartonki (fluting) liimattuna pintakartonkeihin (lainerit) muodostavat yhdessä aaltopahvin (ap), josta voidaan muodostaa pahvilaatikoita, esimerkiksi elintarvikkeiden säilömiseen. Alla olevissa luvuissa käsitellään yleisiä asioita aallotuskartongista ja sen vaikutuksesta aaltopahvin ominaisuuksiin. Lisäksi kappaleessa tutkitaan elintarvikekelpoisuuden aiheuttamia lisävaatimuksia pakkaukselle.

#### 2.1 Aaltopahvi

Aaltopahvi on tyypillisesti kertakäyttöinen pakkausmateriaali, johon voidaan pakata mitä tahansa, pois lukien erittäin painavat tuotteet. Aaltopahvin erityisominaisuuksiksi luetaan mm. keveys, lujuus ja pinoamiskestävyys, joustavuus ja suojaavuus, iskunkestävyys, muodonpitävyys, hygieenisuus, eristyskyky, pieni tilantarve, painettavuus, käsiteltävyys, soveltuvuus ja kierrätyskelpoisuus. Aaltopahvi on maailman eniten käytetty pakkausmateriaali. Aaltopahvi koostuu aallotuskartongista (fluting) ja pintakartongista (lainer). Kuvassa 1 on esitetty aaltopahvin rakenne.



*Kuva 1. Aaltopahvi muodostuu aallotetusta aallotuskartongista (fluting) ja siihen liimatu(i)sta pintakartong(e)ista (lainer).*

Aaltopahvin perustyyppejä ovat yksipuolinen aaltopahvi, kaksipuolinen yksiaaltoinen aaltopahvi, kaksipuolinen kaksiaaltoinen aaltopahvi ja kaksipuolinen kolmiaaltoinen aaltopahvi.

Aaltopahvin heikkoutena on herkkyys absorboida vettä, mikä heikentää tuotteen lujuusominaisuuksia. Tätä heikkoutta vähennetään pintakäsittelmällä kartonki esimerkiksi lakoilla, biopolymeereillä tai vahoilla. Aaltopahvi koostuu n. 97 % on puukuitua ja n. 3 % on liimaa. (Laakso and Rintamäki, 2000)

## 2.2 Aallotuskartonki

Aaltopahvin asettamat vaatimukset aallotuskartongille ovat hyvä ajettavuus aaltopahvikoneella, pakkauslaatikon hyvät lujuusarvot ja tuotteen hintakilpailukyky. Hyvä ajettavuus aaltopahvikoneella tarkoittaa tasaista kosteutta, tasaista pintapainoa, jäykkyyttä, liimanimukykyä ja murtumattomuutta aallotusvaiheessa. (Virkola, 1983)

Aallotuskartongin profiililla voidaan vaikuttaa aaltopahvin ominaisuuksiin. Aaltotyypit ovat standardoitu ja ne on nimetty eri kirjaimien mukaan. Esimerkiksi C-aalto on jäykkä ja omaa hyvän pinoamislujuuden, kun taas E-aalto säästää tilaa

ja omaa hyvät painatusominaisuudet. (Laakso and Rintamäki, 2000) (Urbanik, 2001)

### 2.3 Kuitupakkausmateriaalin testaaminen

Aaltopahvin laadun takaamiseksi aallotuskartonkia mitataan sarjalla erilaisia standardoituja testejä. Standardoinnilla huolehditaan siitä, että testit tehdään kaikkialla samalla tavalla. Pohjoismaissa käytetään SCAN-testejä. Sertifioidut laatujärjestelmät ja –sopimukset asettavat raja-arvot vaaditulle laadulle. Tärkeitä testattavia ominaisuuksia aaltopahville ovat kosteus, puhkaisulujuus, neliömassa, paksuus, kitka, vesiabsorptiokyky ja muut pinta- ja lujuusominaisuudet. (Laakso and Rintamäki, 2000)

Kosteuden tulee olla alhainen ja kosteusprofiilin tasainen, sillä liian kostea kartonki on altis homeille ja kosteus vaikuttaa jatkokäyttäjien prosesseihin. Puhkaisulujuusmittaus antaa tiedon pahvin yleislujuudesta. Neliömassalla ja paksuudella on merkitystä mm. kaupallisista syistä ja sen avulla voidaan tehdä päätelmiä pahvin lujuudesta. Kitkalla on merkitys, kun valmiita aaltopahvipakkauksia pinotaan toistensa päälle. Vesiabsorptiokykymittauksella mitataan aaltopahvin käyttäytymistä sen joutuessa kontaktiin veden kanssa. (Laakso and Rintamäki, 2000; Paulapuro and Gullicshen, 2000)

### 2.4 Laatuvaatimukset ja mitattavat ominaisuudet

Aaltopahvituottajan asiakkaana toimivat pakkauksien ja pakattavien materiaalien valmistajat, mm. elintarvike-, metalli-, kemian- tai paperiteollisuuden toimijat. Näiden laatuvaatimusten täytyminen siten vaikuttaa aaltopahvituottajan raaka-ainevalintoihin, kuten käytettävän aallotuskartongin. (Laakso and Rintamäki, 2000)

Laatuvaatimukset pohjautuvat kuidusta saataviin yksittäismittaustuloksiin. Kuidun mittaaminen antaa suoraa tietoa kuidun fyysisistä ominaisuuksista ja sen eroista

muihin kuituihin verrattuna. Kartonki- ja muiden kuitutuotteiden loppulaatu korreloi yksittäiskuidun tasolla tapahtuvien laatumuutosten kanssa. Esimerkiksi seuraavat mittaukset ovat tärkeitä parametreja aallotuskartongin laatua mitattaessa:

- Puulaji
- Massalaji
- Kuitupituus (puukuitu, sellukuitu)
- Kuituominaisuudet
- Jäykkyys
- Muut lujuusominaisuudet
- Kuidun pinnan fibrilloituminen
- Kuidun huokoisuus
- Kuidun lujuus

(Söderhjelm *et al.*, 1999) (Dimitrov and Heydenrych, 2009)

Eurooppalaisen paperiteollisuuden konfederaatio (*CEPI – Confederation of European Paper Industries*) on luonut tarkan säännösten ja ohjeistuksen ruokakontaktissa olevien pakkauskartonkien hallitsemiseen, Industry Guideline, mikä esimerkiksi asettaa luparajat ei-haluttujen materiaalien, NIAS-materiaalien (*Unintentionally added substances*), määrälle. Industry Guideline vaatii, että pakkauskartongin valmistajan pitää tehdä riskiarviointi, jolla määritetään ne osat toimijan valmistusprosessista, joilla voi olla vaikutus lopputuotteen soveltuvuudelle ruokakontaktiin. Riskinhallintaa varten Industry Guideline vaatii toimijalta laadunvalvontajärjestelmää. (Höke and Schabel, 2010; Materials and Contact, 2012)

Yhtenä esimerkkinä potentiaalisesta tuoteturvallisuusriskistä on kiertokuidun käyttö raaka-aineena. Kiertokuidun testaamiseen ei ole olemassa selkeää toimintastandardistoa tai erityisesti kiertokuidulle rakennettua testiä. Tällaisten testien kehittäminen olisi kuitenkin takuuajojen ja asiakassuhteiden ylläpidon



kannalta hyvä. Standardoimattoman testaamistoiminnan seurauksena kiertokuidun laatutiedot eivät ole keskenään vertailukelpoisia, sillä jo pienet erot testimenetelmissä voi aiheuttaa suuren muutoksen lopullisiin tuloksiin. Kiertokuidun testattavuutta vaikeuttaa erityisesti raaka-aineen heterogeenisyys. Edustavan näytteen ottaminen tilauksesta voi olla erittäin vaikeaa eikä standardia oikeaoppiselle näytteenotolle ole olemassa. (Höke and Schabel, 2010)

Loppukäyttöominaisuuksien mittaamisella pyritään antamaan arvo sille, kuinka hyvin pakkaus suojaa sitä sisältävää materiaalia sekä kuinka hyvin pakkaaja pystyy jatkojalostamaan pakkausmateriaalia. Pakkausmateriaalille tärkeät ominaisuudet ovat suojaus erilaisia mekaanisia rasitteita vastaan, suojaus olosuhteita vastaan, barrier-ominaisuudet, ulkonäkö, puhtaus ja soveltuvuus elintarvikekäyttöön. (Söderhjelm *et al.*, 1999)

## 2.5 Ruokakontaktipakkausmateriaalien tuoteturvallisuus

Nykyään ei ole olemassa globaalia tai alueellista lainsäädäntöä koskien kuitupohjaisten tuotteiden käyttöä elintarvikkeiden pakkaamiseen. Monet maat eivät omaa omaa lainsäädäntöään vaan soveltavat ohjeistusta perustuen joko American FDA:han (*American food and drug administration*) tai German BfR:ään (Saksan liittovaltiollinen riskiarviointi-instituutti, *Bundeninstitut für Risikobewertung*). Ohjeistuksen tavoite on suojata kuluttajaa. Asetettujen ohjeistusten päätyyppi ovat tarkat migraatorajoitteet. Ne asettavat tietyn maksimiarvon, jonka pakkaus voi tiettyä substanssia vuotaa tuotteeseen. Yleensä nämä ovat mg/kg of food arvoja. EU määrittelee, että elintarvikepakkauksesta ei tule siirtyä mitään materiaalia tuotteeseen, joka voi vaarantaa ihmisterveyttä tai muuttaa ruuan aistittavia ominaisuuksia. EU tasolla tyypillisesti Saksan liittovaltiollisen riskiarviointi-instituutin elintarvikepakkauksien testaamisen standardeja, jotka ovat yleisesti käytössä pakkausvalmistajilla. Nämä standardit ovat tyypillisesti äärimmäisen tiukkoja hyväksyttävien materiaalien suhteen (Bundeninstitut für Risikobewertung, 2017).

Ruokaa voidaan pakata useisiin erilaisiin pakkausmateriaaleihin. Aaltopahvipakkauksia käytetään elintarviketeollisuudessa erityisesti hedelmien kuljetukseen. Tehtäessä vertailua aaltopahvin ja uusiokäytettävän muovipohjaisen pakkauksen välillä havaittiin, että kuitupakkauksessa hedelmä säilyy paremmin. Teoriaksi esitettiin, että kuitupakkauksen kuituverkoston ansoittaa mikrobien kasvua. (Patrignani *et al.*, 2016)

Ruokakontaktipakkausmateriaalille on asetettu kolme perusvaatimusta (SFS, 2006):

1. Ihmisterveydelle haitalliset aineet eivät saa siirtyä pakkauksesta ruokaan
2. Pakkaus ei saa vahingoittaa pakatun ruuan koostumusta
3. Pakkaus ei saa vaikuttaa ruuan aistinvaraisiin ominaisuuksiin

Vaikka elintarviketeollisuus ja kuluttajat painostavat päätöksentekijöitä kehittämään elintarvikepakkausten tuoteturvallisuutta koskevaa testaustoimintaa, paperi- ja kartonkipakkauksille ei ole vielä tehty spesifiä EU säädöstä. Kaikkia elintarvikemateriaaleja koskee kuitenkin EU-direktiivi 89/109/EEC, jonka mukaan mikään aine, joka voi vaarantaa ihmisterveyden, ei saa siirtyä pakkauksesta ruokaan. (Aurela, 2001)

Tuoteturvallisuusohjeistus määrittelee kuitupohjaisten pakkausten vaatimukset siten, että ilman funktionaalista barrieria jokaisen kuitukerroksen on läpäistävä kaikki kyseistä applikaatiota koskevat vaatimukset. Funktionaalisella barrierilla tarkoitetaan mitä tahansa kerrosta, mitkä normaalien ja ennustettavien olosuhteiden alaisuudessa estävät kaiken mahdollisen materiaalivirran minkä tahansa pakkauskerroksen ja ruuan välillä toksikologisesti ja aistinvaraisesti merkityksettömälle tasolle ja teknologisesti välttämättömälle asteelle. Tutkimusten nojalla on olemassa vain muutamia materiaaleja, jotka täyttävät nämä vaatimukset ja barrierikerroksia voidaan vaatia useita tämän ehdon täyttämiseksi. Asetettujen määritelmien nojalla aaltopahvissa lainereita ei määritetä funktionaaliseksi barriereiksi, joten aallotuskartongin on myös läpäistävä

kuitupakkaukselle asetetut tuoteturvallisuustestit, vaikka se ei olekaan suorassa kontaktissa ruuan kanssa. (Aurela, 2001)

## 2.6 Riskit kierrätyskuidun käytössä

Kierrätyskuidun käyttö on yksi haastavimpia päätäntäkohtia standardoidun tuoteturvallisuusohjeistuksen luomisessa. Monet maat valmistavat elintarvikepakkauksia kierrätyskuiduista ja monet maat myös kieltävät niiden käytön elintarvikepakkauksissa. Suurin osa kierrätyskuituspesifeistä vaatimuksista perustuvat painoväri- ja liima-ainepohjaisiin haitta-aineisiin. Listaa testattavista haitta-aineista uudistetaan sitä myötä, kun testitapoja kehitetään ja löytyy uusia perusteita epäillä jonkin aineen läsnäoloa lopputuotteessa. (Aurela, 2001)

Vertailussa ensiökuitupohjaista materiaalia ja kierrätyskuitupohjaista, on havaittu, että kierrätyskuitumateriaalilla bakteerikasvu voi olla nopeampaa. Kierrätyskuitupohjaisella materiaalilla bakteerikasvu vaihteli välillä  $10^3 - 10^6$  cfu/cm<sup>2</sup>, kun taas ensiökuitupohjaisella vaihtelu oli  $10^2 - 10^5$  cfu/cm<sup>2</sup>. (Suominen, Suihko and Salkinoja-Salonen, 1997)

Triantafyllou *et al.* (2007) tutkivat kierrätyskuitupohjaisten materiaalien käytössä olevia haitta-aineita, jotka voivat vuotaa pakkauksesta ruokaan. Artikkelissa todettiin, että kierrätyskuitu voi sisältää mm. painomusteita, liima-aineita, hivenaineita, vahoja, valkaisu- ja värjäysaineita, kyllästysaineita, orgaanisia klooriyhdisteitä, pehmentimiä, aromaattisia hiiliyhdisteitä, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, kovetteita, öljynhakemisaineita, amiineja, biosidejä ja pinta-aktiivisia aineita. (Triantafyllou, Akrida-Demertzi and Demertzis, 2007)

Tuoteturvallisuusriskejä omaavien raaka-aineiden käyttöön vaikuttaa voimakkaasti asiakassuhtautumisen muutos tuoteturvallisuuteen. Siten kierrätyskuitupohjaisen materiaalin käyttö pakkauksissa pitää sisällään aina epävarmuustekijän tulevaisuudesta, sillä tuotteelle asetettu vaatimustaso

tuoteturvallisuuden suhteen voi muuttua nopeasti kulutuskäyttämisen ja teknologian kehittymisen myötä (Veitola, 2016).

### 3. Aallotuskartongin pinnasta irtoavat materiaalit

Monet lisämassaraaka-aineet ovat peräisin jostain toisesta valmistusprosessista, jolloin niihin on lisätty esimerkiksi väriaineita. Lisäksi aallotuskartongin valmistusprosesseissa voidaan käyttää lisäaineita esimerkiksi kartonkikoneen ajettavuuden parantamiseksi. Nämä aineet kiinnittyvät kuidun pintaan adsorptiolla. Kuidun pintakemialliset ominaisuudet vaikuttavat aallotuskartongin laatuun ja tuoteturvallisuuteen (Hietaniemi, 2013). Kuitujen pintakemialliset ominaisuudet ovat riippuvaisia kuidun alkuperälähteen ja sen käymien osaprosessien vaikutuksesta. Tulevissa kappaleissa käsitellään tekijöitä, jotka vaikuttavat kuidun pinnasta irtoavaan materiaaliin ja mittareita, joilla voidaan arvioida kuidun adsorptiokykyä tai haitta-aineen konsentraatiota.

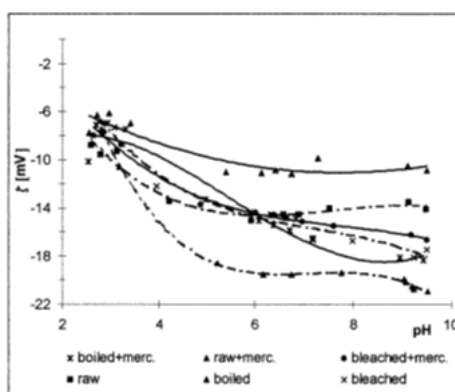
#### 3.1 Kuitujen pintavarauksen vaikutus kuituverkoston adsorptiokykyyn

Kuitujen pinta voi kuidun lähtöperästä riippuen sisältää puun peruskomponenttien (selluloosa, ligniini, hemiselluloosa) lisäksi erilaisia lisäaineita ja epäpuhtauksia. Kuituverkkoa muodostettaessa aallotuskartonkikoneella onkin tärkeää ottaa huomioon kuitujen välisen elektrostaattisen voiman lisäksi lisäaineiden ja peruskomponenttijakauman vaikutus elektrostaattisiin voimiin sekä muihin vuorovaikutussuhteisiin. Lisäaineet voivat esimerkiksi aggregoida tai dispergoida kuituja (elektrostaattinen vaikutus) tai aiheuttaa erilaisia sivureaktioita riippuen kuitujen välisistä ligniinipitoisuuseroista. (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999)

Kuitujen varaus vesiliuoksessa on negatiivinen. Tämä happamuus johtuu selluloosakuitujen karboksyyliyhmiensä hajoamisesta vesiliuokseen.

Puolikemiallisissa ja mekaanisissa menetelmissä ligniini aiheuttaa sulfonihapporyhmien liukenemistä. (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999)

Zeta-potentiaali on interaktiokykyisiä elektrokineettisiä ominaisuuksia kiinteä-neste-rajakerroksessa kuvaava arvo. Kuidun pinta koostuu negatiivisesti varautunut johtuen karboksyyli- ja hydroksyyli-ryhmistä, mutta luonnon tilassaan kuidun pinta on peitettyä muilla komponenteilla. Zeta-potentiaalilla voidaan kuvata kuidun adsorptiokykyä. Kuvassa 2 on esitetty kuidun zeta-potentiaalia pH:n funktiona. (Stana-Kleinschek, Strnad and Ribitsch, 1999)



Kuva 2. Kuidun zeta-potentiaali pH:n funktiona. (Stana-Kleinschek, Strnad and Ribitsch, 1999)

Kuvasta havaitaan, että pH muutti zeta-potentiaalia ja, että modifioidut kuiturakenteet osoittivat alhaisempaa zetapotentiaalia. Kuidun puhdistuksella havaittiin olevan adsorptiokykyä nostava vaikutus, mikä tarkoittaa kasvanutta zeta-potentiaalia. (Stana-Kleinschek, Strnad and Ribitsch, 1999)

### 3.2 Lisäaineiden hyödyntäminen

Erilaiset paperi- ja kartonkilajit käyttävät erilaisia lisäaineita. Lisäaineiden tarkoitus on esimerkiksi parantaa lujuutta, parantaa optisia ominaisuuksia, korvata kuitua halvemmalla materiaalilla tai muuttaa kuitu-vesi-vuorovaikutusta. Kriittisiä tekijöitä lisäaineiden interaktiolle kuidun pinnassa ovat lisäaineen koko ja muoto, pintakemiallinen rakenne ja pinnan varaus. Erilaisia lisäaineita ovat esimerkiksi

polymeerit, sideaineet, retentiokemikaalit ja hartsit. (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999)

Polymeerejä käytetään kiinnittämiseen, retentioon ja lujuusominaisuuksien parannukseen. Sideaineet ovat erittäin kationisia polyelektrolyyttejä, joita käytetään poistamaan anionisia häiriötekijöitä märän pään kierrosta. Retentiokemikaalit voivat olla kationisia, anionisia tai neutraaleja. Niiden tarkoitus flokkuloida, eli toimia siltana kuitujen välillä. Hartseja käytetään lujuusominaisuuksien parantamiseen. Lujuusominaisuuksien parantaminen perustuu mm. vetysidosten lukumäärän lisäämiseen selluloosakuitujen pinnalla. (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999)

Kaikkien lisäaineiden käytön vaatimuksena on, että se pystyy adsorboitumaan kuidun pintaan. Sorptio tapahtuu silloin, kun molekyylit akkumuloituvat kuituun sen takia, että kuidun pintaan tarttuminen vaatii vähiten energiaa. Huomioitavaa on myös, että sorptio on reversiibeli prosessi. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyissä olosuhteissa saavutettu sorptio palautuu alkuperäiseen tilaansa olosuhteiden niin määrätessä. Koska kuitujen varaus on vesiliuoksessa negatiivinen, ovat lisäaineet tyypillisesti kationisia. Adsorptio on tällöin riippuvainen vesiliuoksen happamuudesta eli pH:sta. Tämän lisäksi adsorptioon vaikuttaa lisäaineiden molekyylimassa, varaustiheys, polydispersiteetti (erikokoisuusaste) ja haarautuneisuusaste. Lisäksi kuidun pintaominaisuudet kuten pinta-ala, pintavaraukset, pinnan kemiallinen koostumus ja huokoisuus vaikuttavat adsorptioon. (Sixta, 2005)

Alumiinisulfaattia käytetään paperiteollisuudessa mm. jätevesiflokkulanttina, raakaveden puhdistuksessa, pH säädössä, hartsijäämien saostamisessa ja kiinnityksissä, ASA liiman emulgoimisessa ja emäksisten väriaineiden kiinnityksessä. Alumiinin adsorptio kuidun pinnalle on riippuvainen pH:sta, useimmat paperinvalmistussysteemit toimivat pH alueella 4 – 5,5. Alle pH:ssa 4,5 alumiinisulfaatti on tehokas anionisen aineen ja hemiselluloosa- ja

ligniinihienoaineksen koagulantti. Korkean ligniinipitoisuuden fluting-massa kuluttaa paljon alumiinisulfaattia. Toisena lähestymistapana pintareaktiivisuuden korottamiseen on polyalumiinikloridit. Suljetussa systeemissä alumiinikloridin heksahydraatti korjaa näitä ongelmia, mutta tuo klooria mukaan prosessiin. (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999)

Vesiliuoksen ominaisuudet ovat tärkeitä määritettäessä lisäaineiden ja kuitujen välisen interaktion suhdetta. Vesiliuokseen vaikuttavat pH:n lisäksi märän pään vesikierto, joka on moderneissa koneissa erittäin suljettu. Tästä johtuen erilaiset ionit ja muut substanssit rikastuvat systeemissä, etenkin mekaanisia ja kierrätettyjä massoja hyödynnettäessä, jossa raaka-aine on poikkeuksellisen heterogeeninen. Rikastumista systeemissä voidaan mitata johtokyky mittauksella. Lisäksi reaktiokinetiikalla on suuri rooli lisäaineiden ja kuitujen välisessä interaktiossa, sillä aallotuskartonkikoneen ratanopeus on suuri ja ympäristön olosuhteet ovat jatkuvassa muutostilassa. (Koikkalainen, 2017)

### 3.3 Väriaineet kartongin valmistuksessa

Väriaineet ovat yleisesti käytettyjä lisäaineita paperin ja kartongin valmistuksessa. Väriaineiden lisäyksen tavoitteena on parantaa tuotteen laatuvaikutelmaa muuttamalla sen optisia ominaisuuksia (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999). Aallotuskartongin optisilla ominaisuuksilla ei ole merkitystä, mutta laatuvaikutelmalla voi olla. Lisäksi aallotuskartongin valmistuksessa voidaan käyttää toisiokuituja, jotka voivat sisältää väriaineita aiemmista tuotantoprosesseista.

Suurimman väriaineiden ryhmän muodostavat suorat väriaineet (*direct dyes*). Niitä kutsutaan suoriksi väreiksi, sillä niitä suoraan käyttää ilman muita kemikaaleja kemiallisten massojen kanssa. Sen sijaan puuta sisältävät massat reagoivat epätasaisesti suoriin väreihin. Suoria väriaineita käytetään esimerkiksi pehmopapereissa. Suorat värit sisältävät usein yhden tai useamman atsoryhmän

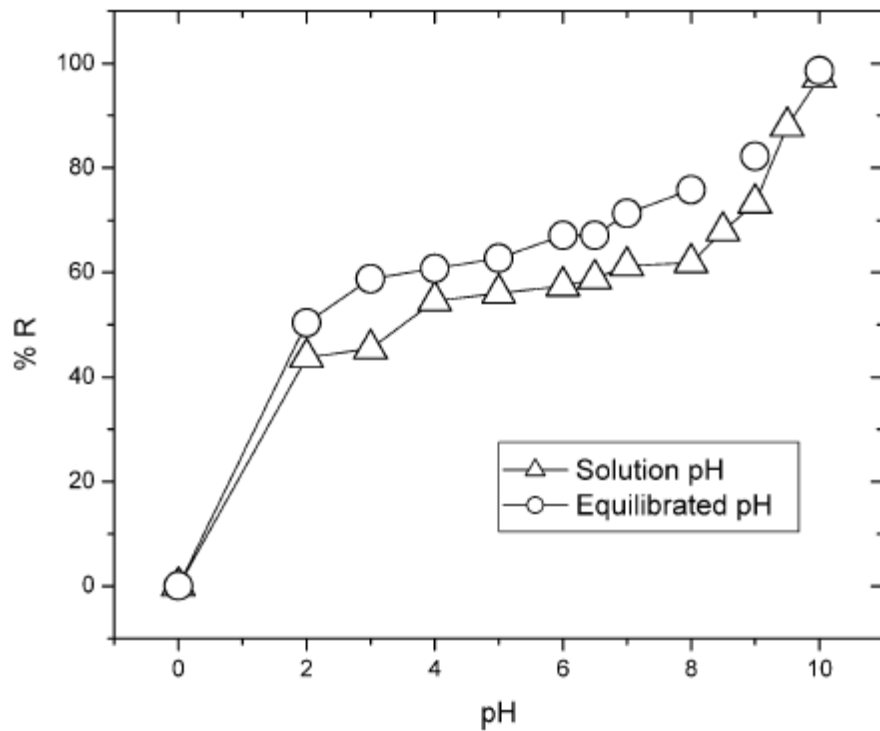
jota ympäröi sulfonihapot. Suurin osa suorista väreistä ovat anionisia ja niiden affiniteettiä kuitua kohtaan voidaan parantaa sideaineilla tai kuumentamalla. Kuitujen ja suorien värien vuorovaikutussuhdetta voidaan parantaa aluminiumsulfaatilla.

Emäksiset väriaineet (*basic dyes*) ovat toiseksi yleisin väriainetyyppi. Ne ovat kationisia ja voivat muodostaa liukenematonta sakkaa anioniset substanssien kanssa, kuten ligniinin, lignosulfonaattihappojen ja anionisten väriaineiden kanssa. Siten, emäksiset väriaineet kiinnittyvät tehokkaasti ligniinirikkaisiin massoihin eikä normaalisti tarvitse sideaineita tehosteeksi. Sen sijaan kemiallisiin massoihin nämä väriaineet tarvitsevat sideainetta tehostamaan kiinnittymistä. (Paulapuro, Gullicshen and Neimo, 1999)

Muita väriainetyyppejä ovat pigmenttiväriaineet (*pigment dyes*), happamat värit (*acid dyes*) ja optiset kirkasteaineet (*optical brightening agents, OBA*). Väriaineita käytettäessä etenkin pakkausmateriaaleja tuottaessa, niiden toksikologiset ominaisuudet on tunnettava hyvin. Värin liukenemista materiaalin pinnasta tutkitaan standardilla DIN EN 646 (SFS, 2006).

Väriaineen adsorptio kuituun on kolmivaiheinen: ensin väriaine saavuttaa kuidun pinnan, jonka jälkeen väriaine diffundoituu rajakerroksen pintaan. Lopuksi väriaine diffundoituu kuituverkon huokoiseen rakenteeseen. Liuetessaan väriaineen ionit vapautuvat liukeseen, jonka jälkeen ne kiinnittyvät adsorbenttiin. Adsorbentin pintavaraus on riippuvainen pH:sta, joten tämän takia pH vaikuttaa väriaineen adsorptioon. Kuvassa 3 on havainnollistettu väriaineen ja adsorbentin (esimerkiksi kuitu) välistä riippuvuutta. (Senthilkumaar *et al.*, 2005)

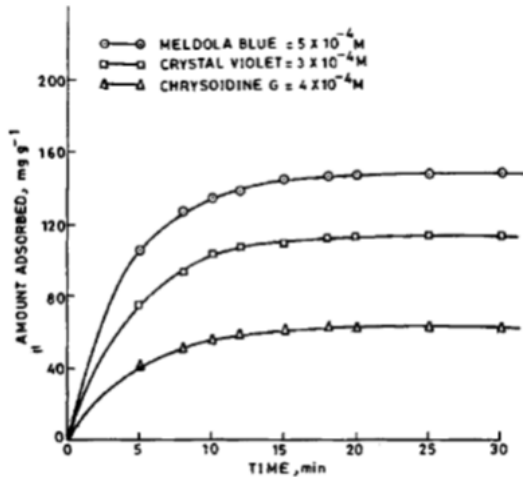




Kuva 3. Väriaineen (metyleeninsininen) adsorptio adsorbenttiin (juuttikuituhiili) pH:n funktiona. % R kuvaa sitä osuutta, joka adsorboituneen väriaineen osuutta. (Senthilkumaar et al., 2005)

Kuvasta 3 voidaan tehdä myös päätelmiä värin irtoamisesta kuidusta: värin vuotoa alkaa tapahtua, kun pH laskee, sillä adsorptio on reversiibeli prosessi.

Kuvassa 4 on havainnollistettu kontaktiajan vaikutusta väriaineen adsorptioon. Havaitaan, että väriaineen adsorboituminen hiilipohjaiseen adsorbenttiin on täydellistä vasta 25 minuutin kuluttua. (Jain et al., 2003). Kartonkikoneen ratanopeus on niin nopea adsorptioprosessi voi täten jäädä vajaaksi.

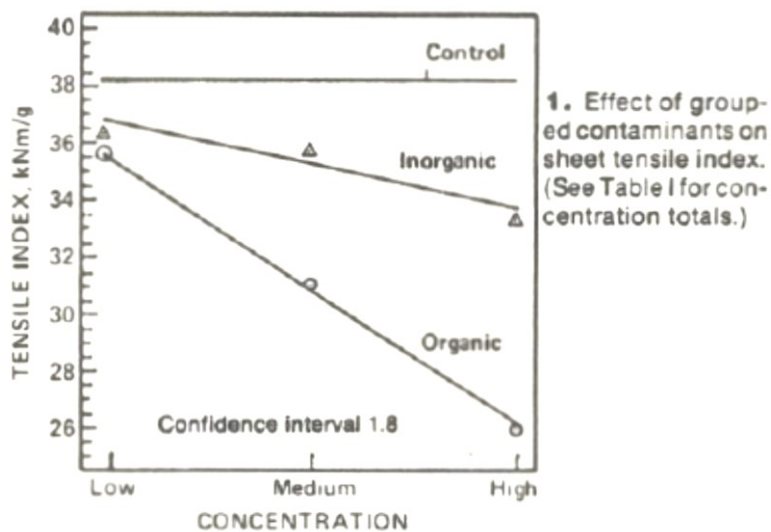


Kuva 4. Kontaktiajan vaikutus adsorbenttiin (kuitu) adsorptiokykyyn. (Jain et al., 2003)

On myös havaittu, että lämpötila heikentää väriaineen adsorptiota (Jain et al., 2003). Kylmempi adsorbentti siis piti paremmin väriainetta kuin lämmin. Morais et al. (2000) tutkivat, että adsorption vaikuttaa järjestyksessä: 1. väriaineen konsentraatio, 2. adsorbenttiin konsentraatio, 3. pH, 4. NaCl-konsentraatio ja 5. lämpötila. Artikkelissa havaittiin, että pH ei vaikuta lineaarisesti adsorptioon, vaan että eri aineilla on havaittavissa pH, jossa adsorptiokyky on parasta. (Morais et al., 2000)

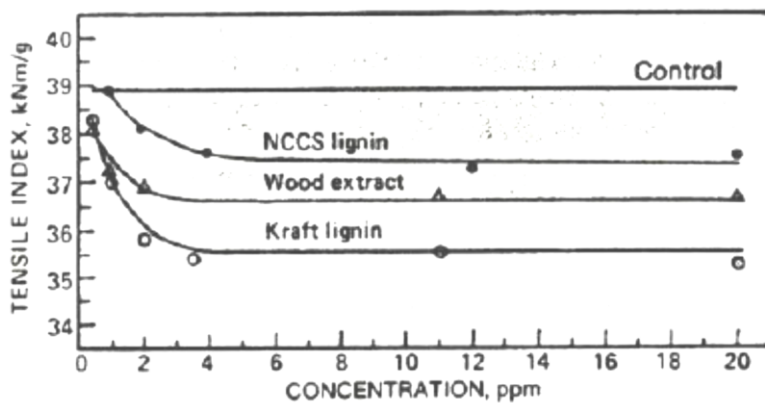
### 3.4 Prosessiveden epäpuhtauksien vaikutus lisämäärän laatuun

Koska adsorptio on reversiibeli prosessi, sisältää prosessivesi aina adsorboituvaa materiaalia. Tutkimuksissa on havaittu, että kierrätysmassaa sisältävien arkkien prosessiveden epäpuhtauskonsentraatio vaikuttaa suoraan tuotteen loppuominaisuuksiin. Tulokset on esitetty kuvassa 5. (Springer, Dullforce and Wegner, 1985).



Kuva 5. Massa-arkin haitta-ainekonsentraation vaikutus vetolujuuteen. (Springer, Dullforce and Wegner, 1985)

Kuvassa 5 havaitaan, että arkin vetolujuus laski erilaisten haitta-aineiden myötä. Orgaaniset haitta-aineet aiheuttivat suuremman laskun vetolujuuteen kuin epäorgaaniset.



Kuva 6. Kiertoveden epäpuhtauskonsentraation ja lujuuden suhde.

Kuvasta 6 havaitaan, että 4 ppm rajan jälkeen epäpuhtauskonsentraatiolla ei enää vaikutusta arkin lujuuteen. Tulos viittaa siihen, että kasvanut epäpuhtauskonsentraatio prosessivedessä vähentää kuidun adsorptiokykyä tiettyyn pisteeseen saakka. Tuloksista voisi siten esimerkiksi päätellä, että heikko massan pesu voisi siten lisäämällä likaisuusastetta heikentää kuidun kykyä sitoa

epäpuhtauksia, jotka voivat olla peräisin liuenneista orgaanisista aineista tai kierrätyskuidusta.

#### 4. Ensiökuidusta valmistettavat aallotuskartonkiraaka-aineet

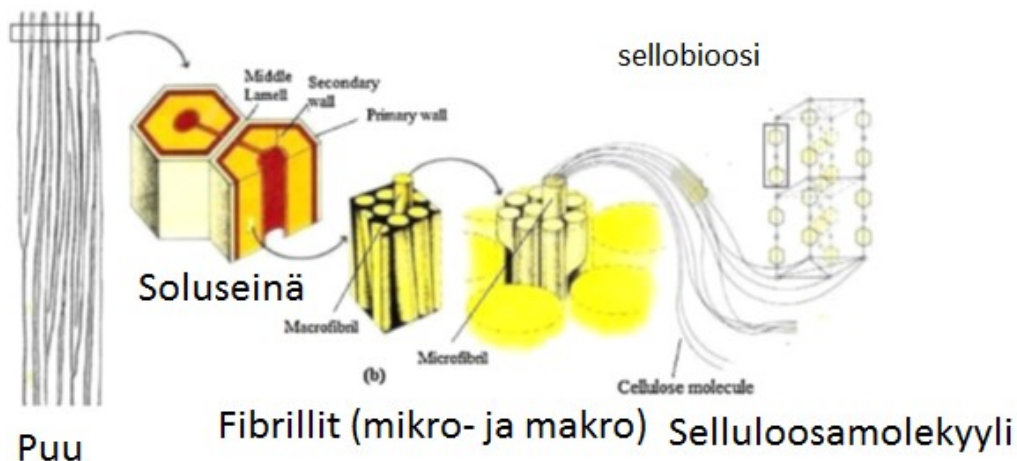
Aallotuskartongin valmistukseen tarvittava kuitu on tyypillisesti peräisin puusta. Perinteisen aallotuskartongin valmistus alkaa muuttamalla kuituraaka-aine pumpattavaksi massaksi. Kuituraaka-aine voi olla esimerkiksi haketta, kiertokuitua tai sisäisen prosessin sivuvirta. Kuituraaka-aineesta tehty massa muovataan aallotuskartongiksi. Massan valmistukseen käytetään tyypillisesti lehtipuuhaketta. Muita raaka-aineita voi mm. olla kierrätyskuitu ja muut kuitulähteet.

Alla olevissa luvuissa syvennytään aallotuskartongissa käytettävän NSSC massan valmistusperiaatteisiin sekä muihin ensiökuitumassoihin, joita voisi hyödyntää aallotuskartongin valmistuksessa lisämassana.

##### 4.1 Sellun valmistuksen raaka-aineet

Sellua valmistetaan pääosin puusta, jotka sellunvalmistuksessa hajoavat kuiduiksi. Puu on komposiittimateriaali, jonka pääkomponentti on selluloosa. Selluloosapolymeerit sitoutuessaan toisiinsa muodostavat fibrillejä ja niiden sitoutuessa toisiinsa kuituja. Toisiinsa kiinnittyneet kuidut muodostavat soluseinän, jotka taas muodostavat puun. Selluloosakuidut ovat interaktiossa vetysidosten voimalla toisiinsa, mutta puussa on muitakin komponentteja vahvistamassa puun rakennetta. Näitä ovat hemiselluloosa, ligniini ja uuteaineet. Näillä komponenteilla on muitakin tarkoituksia, kuten puun suojaaminen ulkoisilta uhilta. Puu koostuu poikkipinta-alaltaan heksagonillisista solurakenteista, jotka koostuvat soluseinistä, joiden välissä on välilamelli. Selluloosapitoiset soluseinät koostuvat makrofibrilleistä, jotka koostuvat mikrofibrilleistä. Mikrofibrillit koostuvat fibrilloituneista selluloosaketjuista. Selluloosapolymeerin monomeeriä

kutsutaan sellobioosiksi, joka on 2  $\beta$ -glukoosiyksikköä yhdistyneenä  $\beta(1\rightarrow4)$  sidoksella toisiinsa. (Gharehkhani *et al.*, 2015)



Kuva 7. Puun kuiturakenne soluseinätasolta molekyylitasolle. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Taulukossa 1 on esitetty erilaisten puulajien ja ei-puupohjaisten materiaalien kemiallista koostumusta sekä eräitä perusominaisuuksia. Taulukosta voidaan päätellä, miksi lehtipuut ovat valikoituneet aallotuskartongin pääraaka-aineeksi: ne sisältävät vähän ligniiniä, minkä takia keitolla on korkea saanto, ja kuidut ovat jäykkiä (alhainen joustavuussuhde), mikä on aallotuskartongille toivottu laatuominaisuus (Virkola, 1983).

Taulukko 1. Eri puulajien ja ei-puupohjaisten kuitulähteiden kemialliset koostumukset ja rakenteelliset ominaisuudet. (Sixta, 2005)

Ominaisuudet		Havupuu	Lehtipuu	Vehnäolki	Maissin korsi	Bagassi
<b>Kemiallinen rakenne</b>	Selluloosa	40-45	43-47	30	35	40
	Hemiselluloosa	25-29	25-35	50	25	30
	Ligniini	25-31	16-24	15	35	20
	Uuteaineet	1-5	1-5	5	5	10
<b>Rakenteelliset erot</b>	Hoikkuusluku	95-120	55-75	86,76	54,32	70
	Joustavuussuhde	75	55-70	71,76	44,03	29

Eri raaka-aineilla tuotetaan siten sellua, joiden laatu ja saanto eroavat toisistaan. Erilaiset vaatimukset lopputuotteelta sekä kustannussyt vaikuttavat siihen, mistä

raaka-aineesta sellu valmistetaan. Puusta erityisesti selluloosa ja hemiselluloosa ovat tyypillisesti komponentteja joiden osuuden halutaan olevan mahdollisimman korkea ja muiden komponenttien osuus mahdollisimman alhainen. Glukomannaani ja glukuronoksyylaani ovat hemiselluloosatyyppisiä, joista glukomannaania esiintyy havupuussa ja glukuronoksyylaania esiintyy lehtipuussa (Sixta, 2005). Raaka-aineen valintaa ohjaa laadun ja hinnan lisäksi erityisesti läheisen hankinta-alueen saatavuus.

#### 4.2 Puolikemiallinen neutraalisulfiittisellu (NSSC)

Lehtipuuhakkeesta valmistettava massa on valikoitunut erityisesti korkean laatuvaatimuksen aallotuskartongin raaka-aineeksi. Massan valmistukseen on valikoitunut erityisesti puolikemiallinen sulfiittimenetelmä (NSSC), sillä se tarjoaa korkeat lujuusominaisuudet ja korkean saannon. NSSC:n tavoitteena on heikentää kuituja toisissaan pitävää voimaa siten, että selluloosapitoisia kuituja toisissaan pitävä ligniini ja hemiselluloosat säilyvät mahdollisimman hyvin. Tavoite saavutetaan optimoimalla kemikaaliannos, lämpötila, paine ja mekaaninen voima siten, että puu kuiduttuu, mutta ei liukene keittokemikaaliin. Taulukossa 2 on havainnollistettu syytä, miksi NSSC on valikoitunut aallotuskartongin valmistukseen. (Virkola, 1983)

Taulukko 2. Eri valmistusmenetelmillä valmistettavien massojen liukeneminen. (Virkola, 1983)

Valmistus-menetelmällä liuenut ainemäärä		Puuaineksen koostumus				
		Puuaineksen koostumus	Kylmäalkali	Sulfaatti	NSSC	Sooda
Ligniini	%	22,5		7	9,5	4,6
Hemiselluloosa	%	24	10	12,1	10,7	13,9
Selluloosa	%	50		3,4	3	4

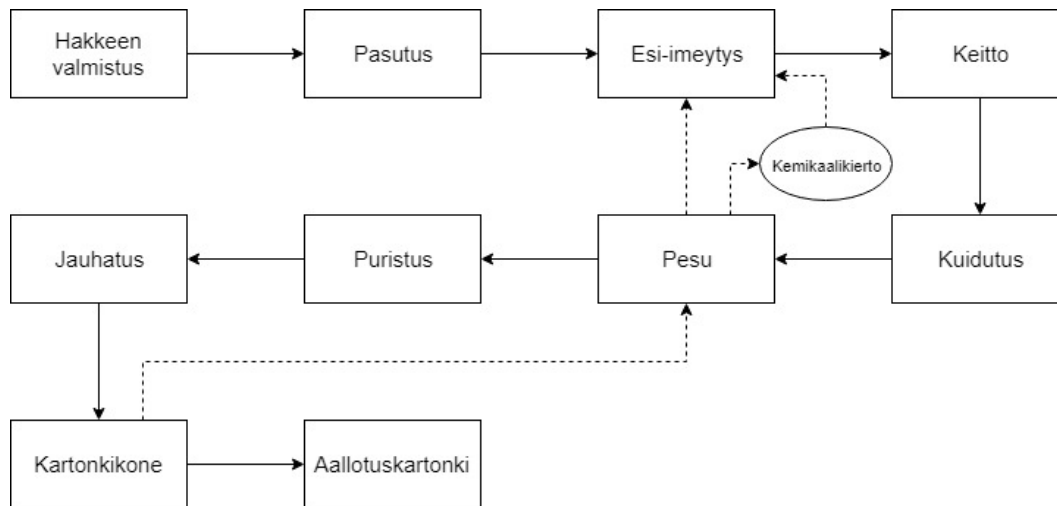
Uuteaineet ja tuhka	%	3,5	2	2,5	1,8	2,5
---------------------	---	-----	---	-----	-----	-----

Puolikemiallisen sulfiittimenetelmän kemikaaleina käytetään orgaanista ainetta liuottavan sulfiitin lisäksi emäksiä neutralointikemikaaleina. Neutraloinnin tarkoituksena on vähentää hiilihyaattien liukenemistä. Korkealla lämpötilalla (160 °C - 190 °C) kiihdytetään reaktiota. Koska kuidun pituus ei ole kriittisin laatuparametri, vaan kuitujäykkyys, on NSSC keitossa käytetty hake pienijakoista. Tämä myös vähentää imeytykseen ja keittoon kuluva aikaa. Pehmennetty hake jauhetaan paineen, mekaanisen voiman ja lämpötilan avulla. Keittokemikaalit otetaan talteen. Saanto on tyypillisesti 75 – 85 %. (Fardim, 2011)

Koivu on valikoitunut käytettäväksi puulajiksi flutingin valmistuksessa, sillä lyhyt ja paksuseinäinen kuitu on jäykempää kuin pitkä kuitu. Jäykkyys on aallotuskartongin tärkeimpiä ominaisuuksia. Pitkän kuidun suurempi ligniinipitoisuus myös heikentää saantoa, sillä puun hajottaminen kuiduksi vaatii tällöin intensiivisemmät keitto-olosuhteet. (Virkola, 1983)

NSSC päätavoite on siis liuottaa selektiivisesti ligniiniä riittävä määrä puun kuiduttamiseksi liuottamatta muita materiaaleja samalla. Tyypillisesti keittokemikaaleina käytetään natriumsulfiittia ( $\text{NaSO}_3$ ) ja natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Natriumkarbonaatilla nostetaan keittokemikaalin pH neutraaliksi. NSSC menetelmän pääreaktio on ligniinin delignifioituminen sulfonoitumalla, jota seuraa ligniinin hydrolyysi. (Virkola, 1983)

NSSC valmistuksen eri vaiheet koostuvat haketuksesta, pasutuksesta, esi-imeytyksestä, keitosta, kuidutuksesta, pesusta, puristuksesta ja jauhatuksesta (Virkola, 1983). NSSC massan valmistuksessa kemiallista käsittelyä seuraa mekaaninen käsittely. Lisäksi, keittovaiheessa käytetyllä liuotuskemikaalilla on oma talteenottokiertoonsa. Kuvassa 8 on esitetty NSSC-massan valmistuksen vaiheet.



Kuva 8. NSSC massan valmistusprosessi. Normaali viiva kuvaa kuidun liikettä ja katkoviiva kuvaa keittokemikaalin liikettä. (Virkola, 1983; Tikka, 2008)

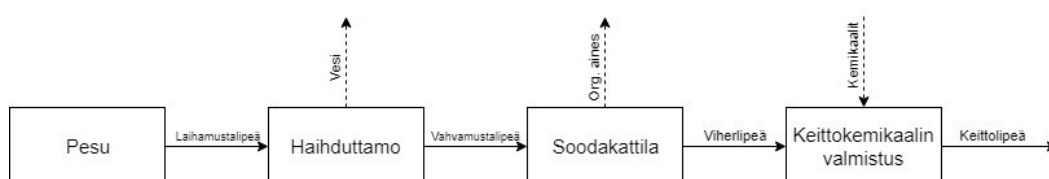
Hakkeen valmistuksessa puusta poistetaan ensin kuori, jonka jälkeen se haketetaan. Haketuksen tarkoituksena on nopeuttaa kemikaalien siirtymistä hakkeeseen. Pasutuksessa hakkeesta poistetaan ilma, jotta hake ei kellu, ja että kemikaalit siirtyvät tehokkaammin hakkeeseen. Keittovaiheessa hakkeesta tehdään massaa antamalla keittokemikaalien vaikuttaa sopivan ajan ja sopivassa lämpötilassa. Liian pitkälle viety keitto laskee saantoa ja lujuutta, ja liian lyhyt keitto laskee myös lujuutta.

Mekaaninen käsittely alkaa kuidutuksella. Kuidutuksessa massaa jauhetaan. Jauhatusessa tarkoituksena on homogenisoida massaa ja parantaa kuitujen välistä sidosten syntymisen mahdollisuutta, jolloin lopputuotteen lujuusominaisuudet paranevat (Gharehkhani *et al.*, 2015).

Keittoprosessissa puun sisältämät hemiselluloosat ja ligniini liukenevat keittolipeään, kuten taulukossa 2 on havainnollistettu. Nämä polymeerit hajoavat mono- ja oligomeereiksi. Nämä yhdisteet ovat kromoforeja, minkä takia reagoimatta lipeää kutsutaan mustalipeäksi (Fardim, 2011). Näiden yhdisteiden määrä lopputuotteessa vaikuttaa lopputuotteen väriin. Pesuvaiheella pyritään erottamaan nämä aineet sekä keittokemikaalit, sillä vesiliukoisina yhdisteinä ne eivät pysy kuidun pinnassa. Erotettua liuosta kutsutaan laihamustalipeäksi. Laihamustalipeä siirtyy kemikaalikiertoon, jossa siitä haihduttamalla haihdutetaan



vesi, soodakattilassa poltetaan orgaaninen aines ja poistetaan epäorgaaninen liuos (muodostuu viherlipeää), jonka jälkeen talteenottokierrossa viherlipeä regeneroidaan takaisin keittokemikaaliksi. Pesuvaihe ja kemikaalikierto on kuvattu yksityiskohtaisemmin kuvassa 9. Pesun tehokkuutta voidaan mitata johtokyky mittauksella. Mitä suurempi johtokyky, sitä suurempi määrä keittokemikaalia on jäänyt massaan. Ennen massan syöttämistä kartonkikoneelle massasta poistetaan epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, lajittelemalla (Paulapuro, 2008).



Kuva 9. Keittokemikaalin muutos laihamustalipeästä keittolipeäksi. (Tikka, 2008)

Massan valmistuksessa saanto on selkeä kustannustekijä, mutta myös laatutekijä. Liian korkea saanto heikentää lujuusominaisuuksia, sillä tällöin aallotuskartonki on murenevampaa. Toisaalta, liian alhainen saanto taas tekee kartongista tiiviimpää, jolloin aallotuskartongin liimanimukyky aaltopahvikoneella on heikompi (Virkola, 1983). Alhainen saanto on myös taloudellisesti epäkannattavaa. Murenevuuteen voidaan NSSC keitto-olosuhteiden säätämisen lisäksi vaikuttaa myös lisäämällä pitkää kuitua (Koikkalainen, 2017).

NSSC:tä voidaan valmistaa myös muustakin kuin koivusta. Esimerkiksi haavasta valmistetun NSSC:n havaittiin jopa parantavan aallotuskartongin laatuominaisuuksia. (Forouzanfar, Sukhtesaraie, *et al.*, 2016; Forouzanfar, Vaysi, *et al.*, 2016)

#### 4.3 Mekaaniset massat

Mekaanisen massanvalmistuksen ajatuksena on heikentää kuituja toisissaan pitäviä voimia siten, että puu jauhautuu massaksi. Tällöin puu saadaan hyödynnettyä massaksi hyvin korkealla saannolla. Mekaaninen jauhaminen on

erittäin energiaa kuluttavaa ja laitteistoa kuormittavaa, minkä takia mekaanisen massan valmistuksessa usein käytetään myös lämpöä, kemikaaleja tai painetta. Mekaaniset menetelmät voidaan jaotella kemikaaleja hyödyntäviin ja puhtaasti mekaanisiin valmistustapoihin. Mekaaniset massat jakautuvat eri kategorioihin riippuen siitä, onko niiden valmistuksessa käytetty korkeita paineita, lämpökäsittelyä tai kemikaaleja. Taulukossa 3 on esitetty erilaiset mekaaniset massat. (Sixta, 2005)

Taulukko 3. Erilaiset mekaaniset massat ja niiden valmistusmenetelmäerot. (Sixta, 2005)

	Ei käsittelyä SGW	Paine-käsittely PGW	Lämpö-käsittely TGW	Kemikaali-käsittely	Kemikaali- ja lämpökäsittely
Hiokke					
Hierte	RMP		TMP	CMP	CTMP

Alla olevassa taulukossa vertaillaan puhtaasti mekaanisten menetelmien lopputuotteen laatua. Hienoainesta on eniten hiokkeessa (SGW), kun taas pitkiä kuituja on eniten kuumahiertheessä (TMP). Lujuusominaisuudet mekaanisten massojen välillä ovat parhaat kuumahiertheessä ja taas optiset ominaisuudet ovat paremmat hiertheessä.

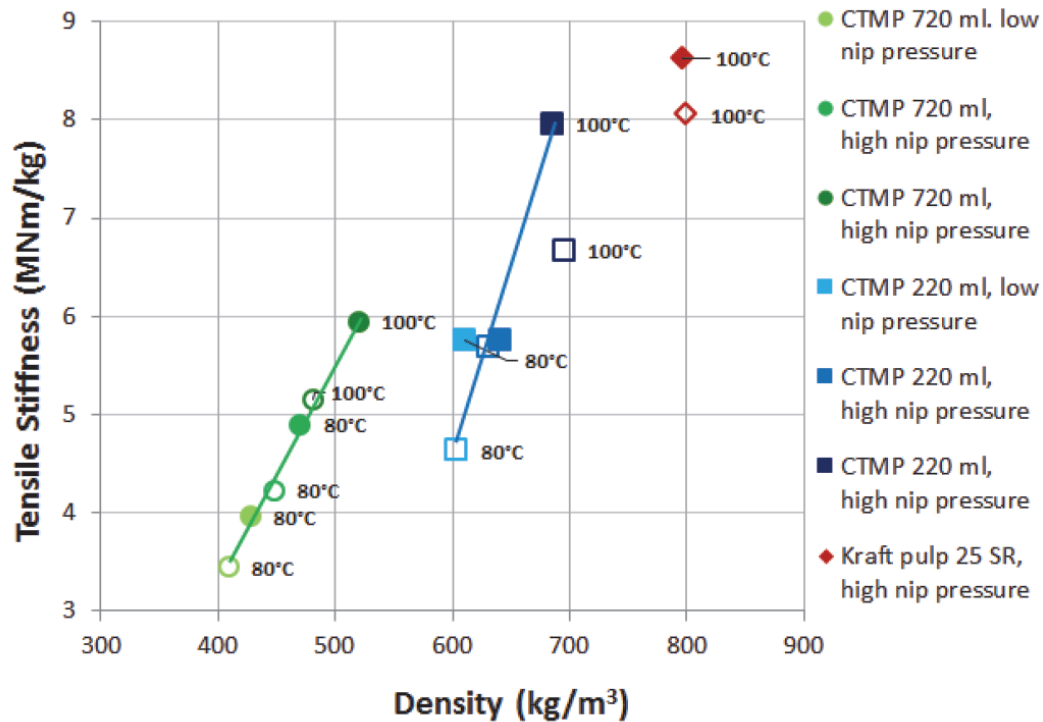
Taulukko 4. Erilaisten mekaanisten massojen laatuominaisuuksia. (Sixta, 2005)

	SGW	PGW	TMP
Pitkät kuidut (%)	11	22	30
Hienoaine (%)	38	33	30
Kuidun pituus (mm)	0,65	0,85	1,5
Vetoindeksi (Nm/g)	35	43	52
Repäisyjuuus (mNm <sup>2</sup> /g)	3,2	4,2	7,2

Kemihiertheellä (CTMP, *chemical thermomechanical pulping*) tarkoitetaan kuumahierrettä, jota esikäsitellään kemikaalein. CTMP valmistuksessa painopiste on enemmän mekaanisessa käsittelyssä kuin kemiallisessa, minkä takia sitä ei tule sekoittaa puolikemialliseen massanvalmistukseen, mihin NSSC-menetelmä lukeutuu. (Börás and Gatenholm, 2005)

Petterson, G. *et al.* (2017) tutkivat mekaanisten massojen käyttöä pakkauksissa. Tyypillisesti mekaaniset massat ovat käytettyjä parantamaan paperin optisia ominaisuuksia tai pakkausmateriaalien bulkkia, eikä korkean kuiva- ja märkälujuuden tuotteissa ole sen sijaan käytetty mekaanisia massoja, sillä ne eivät saavuta yhtä hyviä lujuuksia kuin kemialliset massat. Mekaanisten massojen käyttöhyöty pakkausmateriaalikäytössä on yksinomaan kustannussäästöpotentiaalissa. (Pettersson, Norgren and Höglund, 2017)

Höglund *et al.* (1976) esittivät, että havu-CTMP:tä voidaan myös riittävällä jauhatuksella hyödyntää korkeiden lujuusvaatimusten tuotteissa (Höglund and Bodin, 1976). Jauhamiseen vaadittava energiamäärä teki kuitenkin valmistuskustannuksista liian suuret. CTMP:n keskeinen ongelma korkean lujuusvaatimusten tuotteiden valmistuksessa on, että kuitu-kuitu-väliset sidosvoimat eivät ole riittävän voimakkaat, koska kuitutiheys ei ole riittävän korkea. Jauhatuksen lisäksi myös lisäaineilla ja korkealla nippipaineella voitaisiin vaikuttaa CTMP:n lujuusominaisuuksiin. Tuloksia on esitetty kuvassa 10. Siitä nähdään, miten referenssinä käytetyn kraft-sellun kuitujäykkyys on omassa luokassaan, mutta korkealla jauhatuksella ja korkealla nippipaineella voidaan saavuttaa lähes vastaavia tuloksia käyttämällä CTMP:tä. (Pettersson, Norgren and Höglund, 2017)



Kuva 10. CTMP eri freeness -arvoilla ja eri puristuslujuuksilla. Täytetyt näytepisteet ovat tärkkelys-CMC-pohjaisella lisäaineella kyllästettyjä. (Pettersson, Norgren and Höglund, 2017)

#### 4.4 Sulfaattisellu (Kraft)

Sulfaattisellua valmistettaessa puusta liuotetaan alkalilla hyvin selektiivisesti ja tehokkaasti ligniini, jolloin saadaan lähes pelkkää selluloosaa ja hemiselluloosaa sisältävää massaa. Ligniinittömän sulfaattisellun kuitu-kuitu-interaktio on erittäin voimakas, minkä takia sulfaattisellu on erityisen soveltuva paperin- ja kartonginvalmistukseen (Fardim, 2011). Kraft-sellu onkin maailman tuotetuin sellulaji (Taulukko 5), jonka takia sen saatavuus markkinoilla voidaan olettaa olevan huomattavasti muita sellulajeja parempi (Sixta, 2005).

Taulukko 5. Eri massojen tuotantolukuja vuonna 2000. (Sixta, 2005)

	Tuotanto (milj. tonnia)
<b>Kraft</b>	117
<b>Sulfiitti</b>	7
<b>Puolikemiallinen (NSSC)</b>	7,2
<b>Mekaaniset</b>	37,8
<b>Ei-puupitoiset</b>	18
<b>Ensiökuitu</b>	187
<b>Kierrätyskuitu</b>	147
<b>Yhteensä</b>	334

Raaka-aineiden kemiallisten koostumusten lisäksi sellun valmistukseen valittu menetelmä vaikuttaa lopputuotteen ominaisuuksiin. Kuvassa 11 verrataan tyypillisten massalaatujen välisiä eroja lopputuotteen ominaisuuksissa. Havaitaan, että lopputuotteen laatuominaisuudet ovat verrannolliset massan saantoon ja siten massalaadun selluloosapitoisuuteen.

Pulp type		Mechanical pulp			CMP	Semi-chemical pulp			Chemical pulp
		SGW	TMP	CTMP		80	70	60	
Yield	%	97	95	90	80	70	60	40	
Biological oxygen demand (BOD)	kg/t	10	20	50	100	200	200	200	
Grinding or refining energy	kWh/t	1200	2200	2500	1000	500	200	100	
Freeness CSF	ml	100	120	200	400	600	800	800	
Tensile index	Nm/g	30	40	50	50	70	80	100	
Light-scattering coefficient	m <sup>2</sup> /kg	65	60	50	40	40	30	30	

increase with refining      decrease with refining

Kuva 11. Eri laisten sellulajien väliset erot. (Sixta, 2005)

Kuvasta 11 havaitaan, että mekaanisilla menetelmillä saanto on korkeampi ja ympäristövaikutus pienempi. Korkeampaa laatua tavoitellessa enemmän kemikaaleja käyttävät menetelmät tuottavat parempia tuloksia.

#### 4.5 Ei-puupohjaiset raaka-aineet

Sellua voidaan valmistaa myös muusta kuin puupohjaisesta materiaalista. Tällaisia ovat esimerkiksi maatalousjätteet. Taulukossa 6 verrataan näiden kuitulähteiden laatuominaisuuksia puupohjaiseen kemialliseen selluun. Erityisesti havaitsemisen arvoista on epäorgaanisen (*Ash*) ja silikaatin ( $SiO_2$ ) osuus massassa. Nämä epäorgaaniset jakeet jäävät kerääntymään prosessilaitteistoihin aiheuttaen ongelmia pitkällä aikavälillä (Uotinen, 2016).

Taulukko 6. Eri kuitulähteiden laatuominaisuuksia. (Sixta, 2005)

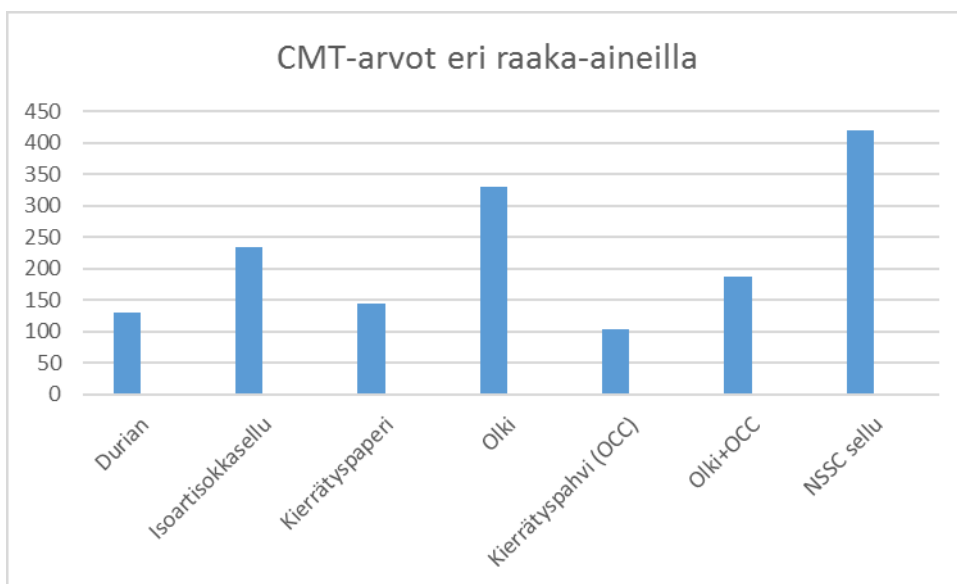
Kuitutyyppi		Kuidun pituus (keskiarvo) (mm)	Kuidun pituus (alue) (mm)	Kuidun halkaisija (keskiarvo) ( $\mu\text{m}$ )	Kuidun halkaisija (alue) ( $\mu\text{m}$ )	Selluloosa %	Pentosaani %	Lignini %	Epäorg %	SiO <sub>2</sub> %
Korsikuidut	Viljakuitu	1,4	0,4-3,4	15	5-30	29-35	26-32	16-21	4-9	3-7
	Bambu	2,7	1,5-4,4	14	7,27	26-43	15-26	21-31	1,7-5	1,5-3
	Bagassi	1,7	0,8-2,8	34	-	32-44	27-32	19-24	1,5-5	0,7-3
Niinikuidut	Pellava	33	9-70	19	5-38	64,1	16,7	2	2-5	-
	Hamppu	25	5-55	25	10-50	78,3	5,5	2,9	0,5	-
	Juutti	-	2-5	20	10-25	59,4	18,9	12,9	0,6	<1
	Kenafhamppu	3,4	1,5-11	24	12-36	31-39	21-23	15-18	2-5	-
Lehtikuidut	Manilla	-	3-12	10	6-46	61	17	9	<1	<1
	Sisalhamppu	3,3	0,8-8	21	7-47	43-56	21-24	8-9	0,6-1	<1
Siemen- ja hedelmäkuidut	Raaka puuvillakuitu	-	20-50	-	8-19	88-96	-	-	0,7-1,6	<1
	Jälkipuitu puuvillakuitu	-	2-3	-	17-27	80	-	-	2	<1
Puukuidut	Havupuu	3,3	1,0-9,0	33	15-60	40-44	25-29	25-31	-	-
	Lehtipuu	1,0	0,3-2,5	10-45	43-47	43-47	25-35	16-24	-	-

##### 4.5.1 Ei-puupohjaiset raaka-aineet NSSC massan valmistuksessa

Maatalouden sivuvirroista valmistettavat massat ovat todettu vertailukelpoisiksi lujuusominaisuuksiltaan puupohjaisten raaka-aineiden kanssa ja osa paremmiksi materiaaleiksi kuin kierrätyskuitu. Tällaisia sivuvirtoja ovat esimerkiksi bagassi (Samariha and Khakifirooz, 2011; Sheikhi *et al.*, 2013) ja durianin kuoret (Masrol *et al.*, 2016). Monien lähteiden mukaan myös vehnäöljistä valmistetut ei-puupohjaiset massat ovat kiertokuitua parempia raaka-aineita aallotuskartongin valmistukseen (Sheikhi *et al.*, 2013) (Kiaei, Samariha and Kasmani, 2011).

Sheikhi *et al.* (2013) tutkimustulosten mukaan myös *bagasse* on parempi raaka-aine kuin kierrätyskuitu aallotuskartonin valmistukseen. 10 – 30 % *bagasse* – OCC seoksella ei saavutettu havaittavia etuja, mutta yli 50 % *bagasse* – OCC seos oli lujuusominaisuuksiltaan parempaa. Mikroskooppisten tutkimusten mukaan *bagasse*-sellu täytti aallotuskartonkimateriaalin aukkoja, tehden siitä jäykempää.

Kuvaajasta 1 nähdään vertailua erilaisilla ei-puu-pohjaisilla raaka-aineilla (Masrol *et al.*, 2016). NSSC massaan verrattuna lähimmäs pääsee olki. Kierrätysmateriaalit saivat alhaisimmat CMT-arvot.



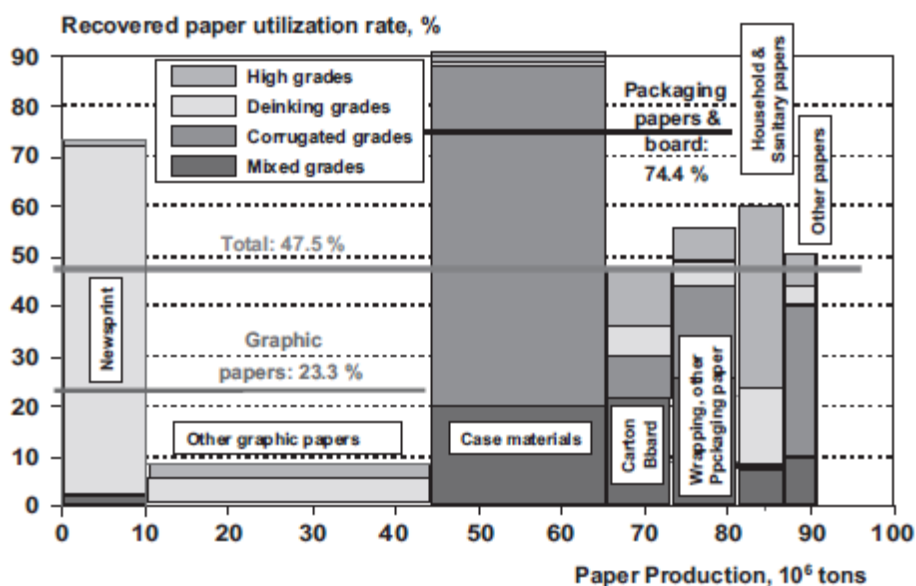
Kuvaaja 1. Aallotuskartonin CMT-arvoja eri raaka-aineilla (Masrol *et al.*, 2016)

Maatalousjätteen taloudellinen hyödynnettävyys on kuitenkin hyvin aluekohtaista. Maatalousjätteellä voidaan saavuttaa hyödynnettävyysspotentiaali vain mikäli puuraaka-ainetta ei ole saatavilla riittävän läheltä (Aboksari *et al.*, 2013).

## 5. Aallotuskartongin valmistukseen käytettävät toisiokuidut

Aallotuskartongin valmistuksessa voidaan käyttää neitseellisen massan lisäksi toisiokuituja. Myös nämä raaka-aineet ovat tyypillisesti peräisin puusta, mutta ne ovat käyneet jonkin toiseen käyttötarkoitukseen tarkoitetun prosessoinnin jo sitä ennen ja saattavat olla hyödynnettynä johonkin toiseen käyttötarkoitukseen. Aallotuskartongin valmistuksessa raaka-aineena käytetäänkin usein neitseellisen massan lisäksi jotain muuta raaka-ainetta ympäristöystävällisyys- ja kustannussyistä.

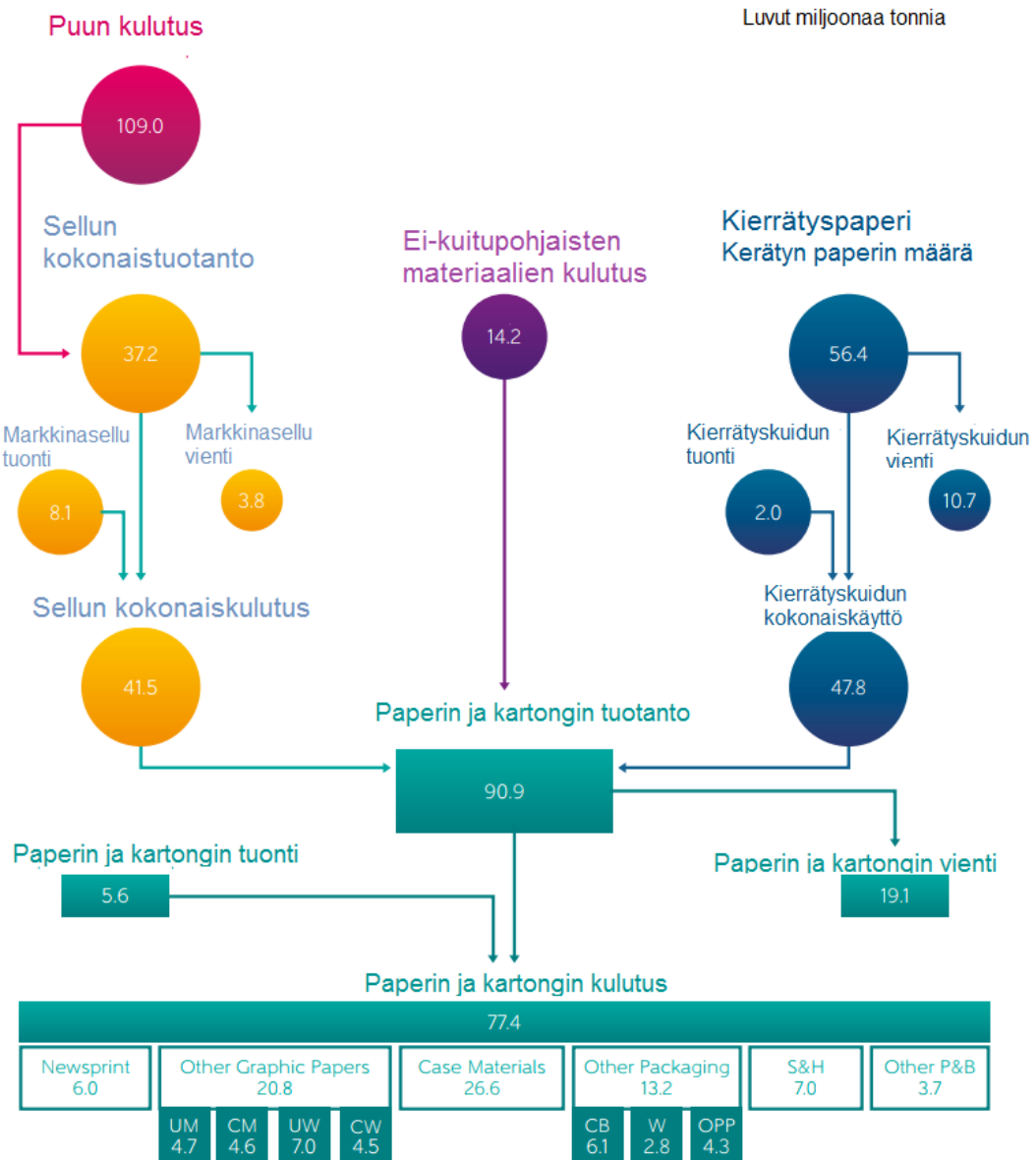
E erityisen suosittua pakkausmateriaalien valmistuksessa on kierrätyskuitujen käyttö. Kierrätyskuidun hyödyntämistä pakkausmateriaalien valmistuksessa voi olla yli 90 %. Tämä perustuu siihen, että pakkausmateriaalin sisäkerrosten ei tarvitse olla visuaalisesti näyttäviä ja tyypillisesti kierrätyskuidussa on edellisestä prosessoinnista peräisin olevia visuaalista ilmettä haittaavia väriaineita. Kuvassa 12 on esitetty kierrätysmateriaalin käytön yleisyyttä pakkausmateriaaleissa verrattuna muihin tuotteisiin.



Kuva 12. Kierrätyskuitumateriaalien hyödyntäjät (Sixta, 2005)



Kierrätyskuidun saatavuus on suoraan riippuvainen tuotetun alueellisen ensiökuidun kulutuksesta ja viennistä. Kuvassa 13 on esimerkki kuitutaseen toiminnasta Euroopan alueella vuonna 2016. Tasealueesta vientiin poistuva määrä on markkinariippuvainen, kun taas moni muu luku määräytyy teknisten seikkojen perusteella, kuten kuluttajakäyttöön päätyvä ylijäämäkuidun määrä, joita pyritään vähentämään.



Kuva 13. Euroopan laajuinen kuitutase vuonna 2016. (CEPI, 2016)

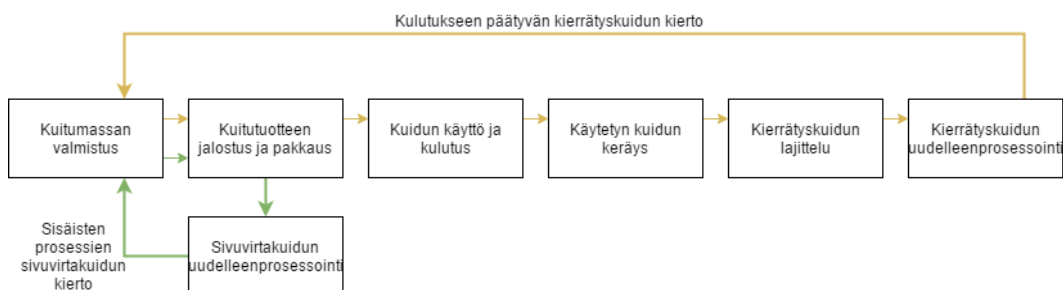
Kuvasta voidaan tehdä päätelmä, että kierrätyskuitua on runsaasti saatavilla. Kilpailutilanne kierrätyskuidusta on kuitenkin Euroopan alueella kiristynyt. Vertailu vuoden 2000 ja 2016 tunnusluvuista on esitetty taulukossa 7. Havaitaan, että kierrätyskuidun suhde ensiökuidun määrään on kasvanut samalla kun kuluttajakäyttö on pysynyt lähes samalla tasolla. Huomataan, että vuosien 2000 ja 2016 sellun kokonaiskulutus on laskenut, mutta kierrätyskuidun kulutus on kasvanut ja kokonaistuotanto on pysynyt samana. Lisäksi kierrätyskuitua vietiin vuonna 2016 8 miljoonaa tonnia enemmän ulos kuin tuotiin ja taas vuonna 2000 kierrätyskuitua vietiin vain 3 miljoonaa tonnia. Luvuista voidaan päätellä, että kierrätyskuidusta on kovempi kilpailu, mikä nostaa raaka-aineen hintaa ja laskee saatavuutta.

Taulukko 7. Vuoden 2000 ja vuoden 2016 Euroopan alueen kuitutaseen vertailu.

Luvut miljoonaa tonnia	2000	2016	Muutos
<b>Ensiökuitu</b>	62,5	41,5	-34 %
<b>Saatavilla oleva toisiokuitu</b>	48,1	56,4	17 %
<b>Kierrätyskuidun vienti</b>	3,5	10,7	206 %

## 5.1 Kiertokuidut

Kiertokuitu on raaka-aine, joka on käynyt läpi jo yhden tai useamman valmistusprosessin ja on palautettu kierrätysjärjestelmään, jonka jälkeen se jalostetaan jälleen raaka-aineeksi. Palautusajankohta on joko käyttämisen jälkeen tai ennen käyttöä. Eroa on havainnollistettu kuvassa 14.



Kuva 14. Sisäisen kierron toisiokuidun ja kuluttajakäytöstä palautuneen toisiokuidun ero (Sixta, 2005)

Kerättyjen kuitujen eroja luokitellaan lajeittain. Lajiluokituksen päätavoite on luokitella erilaisiin käyttötarkoituksiin soveltuvat kiertokuidut. EN 643 on luettelo kierrätykseen tarkoitettun paperin ja kartongin standardilajeista (SFS, 2014).

Luettelon ryhmittely on seuraava:

1. Alalajit (*ordinary grades*)
2. Keskilajit (*medium grades*)
3. Ylälajit (*high grades*)
4. Voimapaperilajit (*kraft grades*)
5. Erikoislajit (*special grades*)

Näiden lisäksi standardissa on määritelty yleiset vaatimukset kierrätyskuidulle, joita ovat kiellettyjen ja haitallisten materiaalien sallittu määrä, kosteuspitoisuus, toimitustavat sekä lisävaatimukset. Lajit tunnistetaan koodijärjestelmällä, jossa ensimmäinen numero kertoo ryhmän (yllä lueteltu), seuraavat numerot lajin ja viimeiset numerot alalajin (jos sellainen on määritelty). Esimerkiksi 2.03.01 koodattu kierrätyspaperituote tarkoittaisi keskilajin (2) kevyesti painettua valkoista leikkusuilppua (03), jota ei ole liimattu (01).

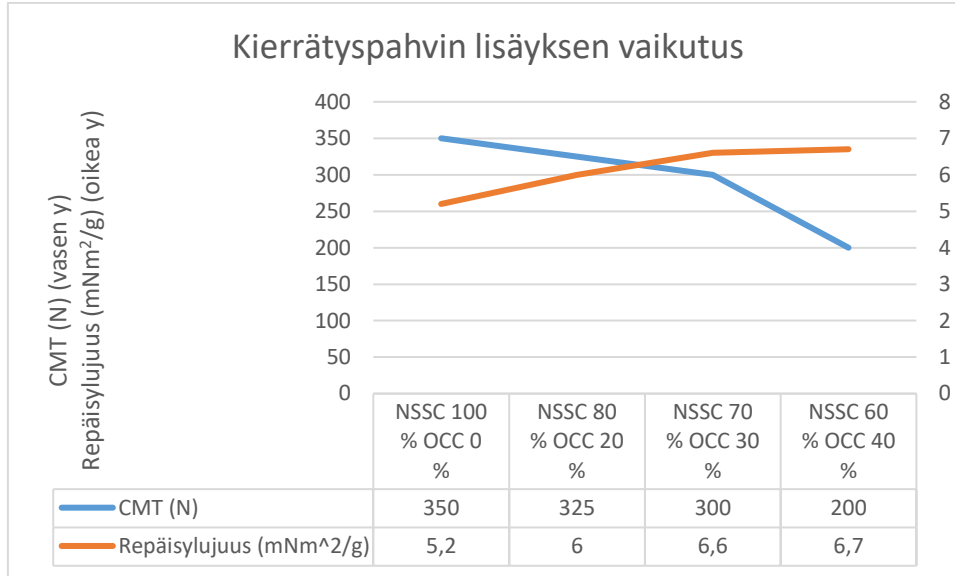
Standardin EN 643 lajitteluihin kuuluu myös tuotteita, jotka eivät ole koskaan olleet kuluttajakäytössä, kuten 4.01.00, käyttämätön aaltopahvi ja sen leikkusuilppu. Tällainen materiaali saa standardin mukaan sisältää käyttämättömiä aaltopahvilaatikoita, arkkeja tai leikkusuilppua, jossa on kraftlineria ja/tai testlineria. Ei-paperiin kuuluvat aineet on tässä lajissa määritelty 0,25 % ja haitallisten materiaalien yhteismäärä maksimissaan 0,5 %. Muita mahdollisia lajeja voisi olla muut 4. ryhmän käyttämättömät lajit, 4.01.01, 4.02.00, 4.03.00, 4.05.00, 4.07.00 ja 4.08.00. Muiden ryhmien vastaavia lajeja ovat mm. 3.12.00 valkoinen kevyesti painettu monikerroskartonki sekä 3.18.00 valkoinen puuvapaa leikkusuilppu.

Kiertokuidun onnistunut taloudellinen hyödyntäminen on riippuvainen kierrätyksen onnistumisesta. Kiertokuidun seassa ei tule olla vieraita esineitä tai aineita eikä sen kosteuspitoisuus saa olla yli 10 %.

Kiertokuitu on laatuominaisuuksiltaan huonompaa kuin neitseellisestä massasta saatava kuitu. Lisäksi kiertokuitua käytettäessä aallotuskartongin valmistuksessa tuotteeseen ajautuu myös ei-toivottuja materiaaleja (*NIAS – unintentionally added substances*), mikä etenkin korkeiden puhtausvaatimusten (kuten elintarviketuotteet) tuotteissa voivat olla erittäin ongelmallisia. (Laakso and Rintamäki, 2000)

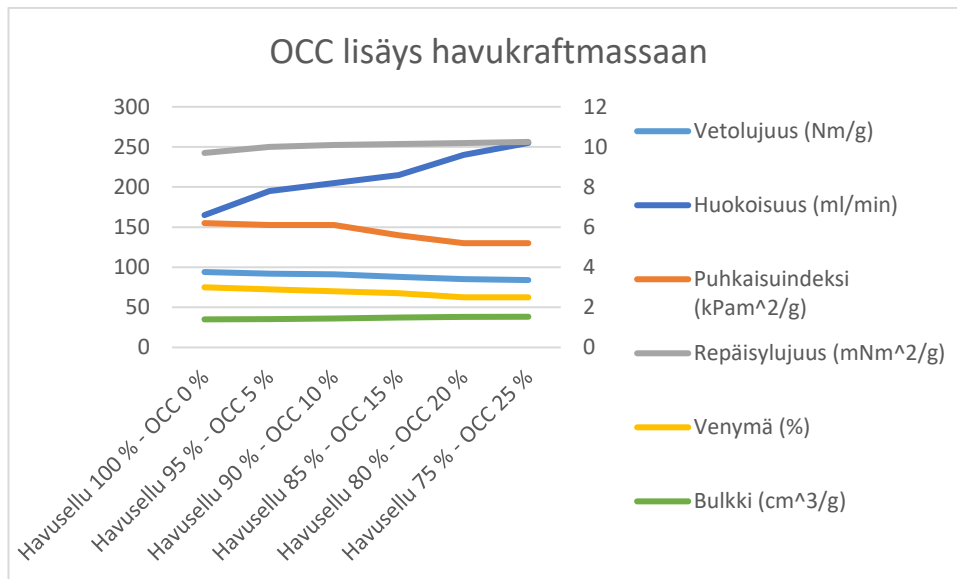
Kierrätyskuitulogiikan haasteena on puhtauden lisäksi raaka-aineen käsittely. Eri lähteistä tuleva raaka-aine voi tarvita työvoimaintensiivistä lajittelua ja laadunvalvontaa. Raaka-aineen kuljetuskustannuksia voidaan laskea nostamalla raaka-aineen tiheyttä. Tiheyttä voidaan korottaa erilaisilla paalauslaitteistoilla. Paalien tiheys on laitteistosta ja raaka-aineesta riippuen 250 – 900 kg/m<sup>3</sup>. On kuitenkin huomioitava, että raaka-aineiden paalaus asettaa uudenlaisia vaatimuksia jatkokäyttäjän käsittelylinjastolle. (Höke and Schabel, 2010) (Sixta, 2005)

Kasmani *et al.* (2014) tekivät lujuuksitestejä paperille erilaisissa NSSC:n ja OCC:n (*Old corrugated cardboard, kierrätyspahvi*) suhteissa. CMT arvot laskivat, mutta 30 % lisäykseen asti muut repäisylujuusarvot paranivat. Vastaavan ilmiön vahvisti myös Gulsoy *et al.* (2013). (Gulsoy, Kustas and Erenturk, 2013; Kasmani, Samariha and Nemati, 2014)



*Kuvaaja 2. Kierrätyspahvin (OCC) lisäyksen vaikutus lujuusominaisuuksiin. (Gulsoy, Kustas and Erenturk, 2013; Kasmani, Samariha and Nemati, 2014)*

10 % kierrätyskuidun lisäys ei merkittävästi muuta havu-kraft-sellun laatuominaisuuksia. Laatuarvojen havaittiin kierrätyskuidun lisäyksen mukaisesti. Puhkaisulujuus, vetolujuus ja venymä laskivat lineaarisesti OCC lisäyksen myötä. Sen sijaan repäisylujuus, huokoisuus ja bulkki kasvoivat OCC lisäyksen myötä. Tulokset ovat esitetty kuvaajassa 2. (Gulsoy, Kustas and Erenturk, 2013)



Kuvaaja 3. OCC:n lisäyksen vaikutus havukraftmassaan. (Gulsoy, Kustas and Erenturk, 2013)

Kermanian *et al.* (2013) tutkivat kierrätyskuidun kierrätysmäärien vaikutusta sen käytettävyydelle. Tutkimuksessa käytettiin NSSC-pohjaista flutingia, jonka havaittiin käyttäytyvän samoin kuin kraft-sellu. Kierrätysmäärien lisäys laskee tiheyttä, vetoindeksiä, puhkaisuindeksiä, retentiota ja nosti sarveutumista. (Kermanian *et al.*, 2013)

Paperin valmistuksessa puusta liennut kuitu kuivataan, mikä aiheuttaa sille pysyviä muutoksia. Kertaalleen kuivattu kuitu ei ole pinnasta yhtä reaktiivinen kuin kuivaamaton, mutta tähän voidaan vaikuttaa erilaisilla jalostusoperaatioilla. Esimerkiksi ligniinin ja vahan poistaminen sekä peseminen ja jauhaminen nostavat kuitujen sitoutumiskykyä ja pinnan reaktiivisuutta. Kuitenkin, kierrätyskuitujen on havaittu menettävän lujuusominaisuuksia ja sitoutumisominaisuuksia uudelleen käytettäessä, vaikka sitä jauhettaisiin samaan freenessiin kuin vastaava ensiökuitu. (Hubbe, Venditti and Rojas, 2007)

Kiertokuidulle tulee myös kemikaalilisäyksissä peruuttamattomia muutoksia. On havaittu, että märän pään kemikaaleista (mm. kationinen tärkkelys) suuri osa sitoutuu kiinni kuituun siten, että ne eivät irtoa pulperoitessa.

Paperinvalmistuksessa tapahtuu kuidulle peruuttamattomia muutoksia esimerkiksi märässä päässä puristusosalla, jossa kuitujen välinen tila pienenee ja muodostuu uusia kuitujen välisiä sidoksia. Myös kuivatuksen ja kalanteroinnin on havaittu vaikuttavan kuituihin. Paperin jatkojalostus, kuten printtaus, leikkaus, laminointi, taittaminen, liimaaminen ja kreppaaminen niin ikään vaikuttavat peruuttamattomasti kuituun. Esimerkiksi väriaineet ovat usein hydrofobisia, minkä takia niillä on kuidun pinnan energiaa laskeva vaikutus. Valmistettu paperi ikääntyessään muuttaa kuitua kemiallisesti ja fyysisesti ennestään. (Hubbe, Venditti and Rojas, 2007)

Paperin kuivattaminen, varastoiminen ja käyttö vaikuttaa fyysisesti kuituihin erinäisin tavoin. Sarveutuminen tarkoittaa sitä, että kuitu menettää kykynsä turvota vedessä eli kyky imeä vettä itseensä. Tätä voidaan testata esimerkiksi retentioarvolla (WRV, *Water retention value test*) tai kuidun saturaatiopistekokeella (FSP, *Fiber saturation point test*). Paperin pinnan pinta-ala tasoittuu käsittelyissä ja pinnan adsorptiokyky, joustavuus, suhteellinen sidosala ja tiheys heikkenee. Kuidut myös lyhenevät, kihartuvat, mikrokompressoituvat, delaminoituvat, fragmentoituvat ja vaurioituvat kierrätyksessä. (Hubbe and Heitmann, 2007)

Kemialliset vaikutukset paperin kuivattamisessa, varastoimisessa ja käytössä voivat olla yhtä merkittäviä kuin fyysisetkin. Kuivuessaan huokokset eivät pelkästään sulkeudu, vaan reagoivat seinämien kanssa aiheuttaen huokosiin irreversiibeilejä sulkeumia. Kosteus ja alhainen pH aiheuttavat polymeeritasolla kuitujen katkeamista depolymerisaation ja hydrolyyttisen pilkkoutumisen kautta. Puukomponentit myös uudelleen jakautuvat, mikä aiheuttaa hydrofoboitumista. Tämän johdosta kierrätetty kuitu ei liimaudu yhtä herkästi. (Hubbe and Heitmann, 2007)

Valmiissa paperissa on myös muita kuin selluloosapohjaisia aineita. Lisäaineiden vaikutukset voivat olla moninaisia. Esimerkiksi liimojen on havaittu laskevan



kierrätyskuidun sitoutumispotentialiaa. Alanko *et al.* (1995) esittivät, että siistauskemikaalit voivat parantaa kuidun sitoutumiskykyä, sillä oleofiilinen materiaali saadaan siistausprosessissa poistettua. Tällä on tosin myös saantoa heikentävä vaikutus. (Alanko, Paulapuro and Stenius, 1995)

Restauroivia käsittelytapoja toisiokuidulle on moninaisia. Valmista paperituotetta uudelleen otettaessa käyttöön uuteen käyttötarkoitukseen, suurimmat laatutekijät kuidun uudelleenhyödynnettävyydessä ovat jauhatus ja siistaus. Siistauksella muutetaan pääosin kuidun optisia ominaisuuksia ja epäpuhtauksia, jauhatuksella muutetaan mekaanisia ominaisuuksia. Sen lisäksi ylijäämän (hyllyn) sekoittamisella kierrätyskuidun sekaan voi parantaa kuidun sitoutuvuutta, sillä hylky sisältää paljon hienoainetta. (Hubbe and Heitmann, 2007)

Muita restaurointimenetelmiä, joilla on havaittu positiivisia vaikutuksia ovat esimerkiksi fraktiointi, kaustiset menetelmät (lipeäkeittäminen), entsyymaattiset menetelmät (sellulaasin käyttö), kuidun muokkaus, karboksymetylointi sekä korkea lämpötila + karboksimeetylliselluloosakäsittely. Restauroimisessa kriittisintä on ei-haluttujen materiaalien poisto, kuten väriaineiden, tahmojen, lisäaineiden ja hienoaineiden, ennen kuitua muokkaavia toimenpiteitä. (Hubbe and Heitmann, 2007)

Kierrätyskertojen määrällä on vaikutusta sen lujuusominaisuuksiin. Kierrätyskerrat tyypillisesti laskevat lujuusominaisuuksia, mutta jauhatuksella voidaan saavuttaa lähes samoja tuloksia kuin edellisellä kierrätyskerralla. Suurin häviö tapahtuu ensimmäisessä kierrätysykyssä, jossa kuivaamaton kuitu on ensimmäisen kerran kuivattu. (Koning Jr. and Godshall, 1974)

## 5.2 Paperi- ja kartonkitehtaiden sisäisten prosessien ylijäämäraaka-aineet

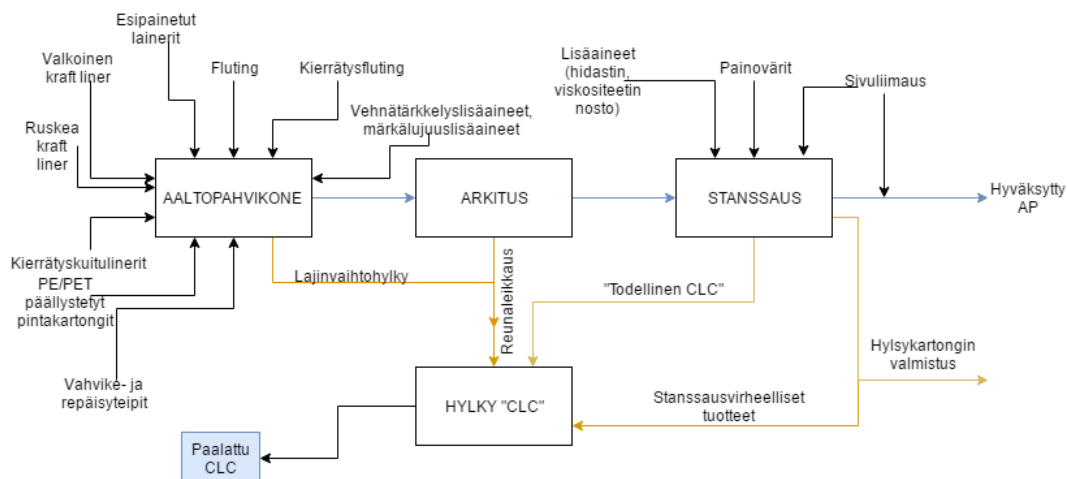
Muihin raaka-aineisiin kuuluvat esimerkiksi kartonkitehtaiden sisäisten kiertojen tuotteet, kuten pituusleikkuussa ylijäänyt kartonki, valkaisuvaatimusten alle

jäänyt hylkysellu tai lajittelun rejektivirrat. Nämä ovat siten massoja, jotka ovat alun perin valmistettu toiseen käyttötarkoitukseen, mutta eivät ole päätyneet koskaan käyttöön. Siten näiden tuotteiden selkeänä erona kiertokuituun on NIAS-materiaalin parempi määriteltävyys. Esimerkiksi ylijäänyt leikkumateriaali ei sisällä muuta kuin aaltopahvia. Näiden raaka-aineiden NIAS-materiaalit koostuvat aineista, jotka syntyvät kuljetuksen ja valmistusprosessien seurauksena.

### 5.2.1 Aaltopahvihylky (clean clippings, CLC)

Aallotuskartongin valmistuksessa voidaan hyödyntää erityisesti aaltopahvitehtaiden stanssausjätettä (*clean clippings, CLC*), jota voi syntyä jopa 15 – 25 % tuotannosta. EN 643 standardissa tähän tuotteeseen viitataan koodilla 4.01. Stanssaus on osa aaltopahvitehtaan pakkaamo-operaatioita, joten stanssausjäte sisältää kaikki prosessista kulkeutuneet lisäaineet. Hyllyn suurta ilmamäärää voidaan vähentää käsittelylaitteistolla. (Laakso and Rintamäki, 2000)

Käyttämätön aaltopahvihylky voi sisältää kierrätyskuitupohjaisia materiaaleja (SFS, 2014). Tällöin kuidun lisäksi raaka-aineessa voi esiintyä myös kierrätyskuidun valmistuksessa käytettyjä lisäaineita, kuten väriaineita. Alla olevassa kuvassa on esitettyinä erilaisia jakeita, joita aaltopahvitehtaalla voidaan käsitellä, ja jotka voivat siten ajautua myös hylkyjärjestelmän kautta clean clippings -jakeeseen.



Kuva 15. Mukailtu kuvaus aaltopahvitehtaan materiaalivirrasta. Mukailtu Laakso et al. 2000 ja FEFCO:n tilastitikat. (Laakso and Rintamäki, 2000; FEFCO, 2016)

Kuvasta nähdään, että aaltopahvitehtaan tuotekirjoon kuuluu paljon muutakin kuin aallotuskartonkia ja laineria, esimerkiksi muovipäällysteisiä tai vahvistettuja tuotteita sekä kierrätyskuitupohjaisia raaka-aineita. Lisäksi tuotteisiin lisätään lisäaineita ja niitä painetaan sekä liimataan. Teoriassa hylky voitaisiin jaotella useampiin jakeisiin ("puhtaisiin" ja "epäpuhtaisiin" esimerkiksi). Tästä saavutettava hyöty olisi mahdollista vain, mikäli standardoinnissa otettaisiin huomioon jakeiden erilaiset koostumukset, jonka jälkeen puhtaammasta materiaalista voisi saada parempaa hintaa uuden tuotekoodiston myötä.

### 5.2.2 Alivaalea sellu ja lajittelurejektit

Muiden tehtaiden alilaatuisten tuotteiden, kuten alivaalean tai rejektipitoisen sellun, hyödyntäminen lisämassana on mahdollista. Tällaisten tuotteiden saatavuus ja hinnoittelu voi olla erityisen vaihtelevaa, sillä tehtailla on pyrkimys välttää alilaatuisten tuotteiden tuottamista. Alilaatuisen materiaalin laatu voi olla täysin satunnainen, joten sen käyttökelpoisuuden määrittely voi olla haasteellista. Joissain tehdassymbiooseissa on kuitenkin täysin mahdollista saada lisätuotantoa tällaisista jakeista. Esimerkiksi sellutehtaan lajittamolta syntyvä rejekti voitaisiin ohjata aallotuskartonkiprosessin raaka-aineeksi, sillä lajittamon rejekti on pääosin muodostunut puun huonosti keittyvistä osista, kuten oksakohdista. Näiden

kemiallisesti erilaisten komponenttien aiheuttama visuaalinen haitta voidaan katsoa vaikuttavan hyvin vähäisesti aallotuskartongin laatuvaikutelmaan.

### 5.2.3 Erilaiset paperit (aikakauslehtipaperi, luettelopaperi, sanomalehtipaperi)

Paperia valmistetaan kemiallisesta massasta, mekaanisesta massasta ja kierrätyskuidusta. Mekaanisiin massoihin lukeutuu mekaaniset ja kemimekaaniset hiokkeet. Mekaanisia massoja hyödyntäviä paperilaatuja ovat mm. sanomalehtipaperit, SC-paperit ja päällystetyt mekaaniset paperit. Näissä massoissa 25 - 100 % on mekaanista massaa ja loput kemiallista massaa sekä mineraalipohjaisia täyteaineita. Lisäksi esimerkiksi sanomalehtipaperi voi sisältää kierrätyskuitua. (Paulapuro and Gullicshen, 2000)

Paperilajit tyypillisesti sisältävät runsaan määrän täyteaineita. Zeydi *et al.* (2014) mukaan mineraalipitoisen täyteaineen lisääminen ei merkittävästi heikennä fluting-tuotteen laatua alle 5 % pitoisuudessa (Zeydi *et al.*, 2014). Tällöin mineraalipitoista lisämassaa voisi hyödyntää n. 15 % asti ilman merkittävää laatuheikentymää täyteaineen takia. On kuitenkin huomioitava, että mineraalipitoiset täyteaineet akkumuloituvat herkästi erilaisiin prosesseihin tehtaan suljetuissa kemikaalikiertoissa. Mikäli tehdas käyttää hyvin mineraalirikasta raaka-ainetta ja samalla pitää suljettua kemikaalikiertoa, on todennäköistä, että mineraalit aiheuttavat ongelmia erilaisissa prosessivaiheissa, kuten likakatkoja kartonkikoneella sekä saostumatukoksia haihduttamalla. Paperilaaduista päällystämätön paperi (WFU *wood free uncoated*) voisi soveltua käyttöön aallotuskartongin lisämassana, sillä se sisältää hyvin vähän täyteaineita ja lähes pelkkää kemiallista massaa. (Zeydi *et al.*, 2014; Uotinen, 2016; Koikkalainen, 2017)

#### 5.2.4 Kartonkituotteet ja muut kuitutuotteet

Kartonkituotteille on lukuisia erilaisia käyttökohteita, joten kartongeilla on lukuisia erilaisia koostumuksia. Kartonkituotteet sisältävät päällysteen, pintakerroksen ja sisäkerroksen. Kartonkituotteet siten sisältävät lisämassatarkoituksiin käyttökelpoisia massajakeita, kuten kraft-massaa ja hieman haastavampia jakeita, kuten CTMP:tä. On kuitenkin myös huomioitava, että päällysteet ja kierrätyskuitupohjaiset raaka-aineet nostavat NIAS-materiaalin määrää, mikä lisää riskiä tuotteiden toisiokäytössä.

Muita kuitutuotteita ovat esimerkiksi pehmopaperi ja hylsykartonki. Hylsykartonki sisältää paljon kierrätyskuitua ja jätepohjaisia materiaaleja. Pehmopaperi on laadusta riippuen kraft-pohjaista (Suomessa kaikki) tai kierrätyskuidusta valmistettua. Siten pehmopaperilyijäämä voisi toimia lisämassana. (Paulapuro and Gullicshen, 2000)

#### 5.2.5 Kuitulietteet

Kuitua pääsee jatkuvasti tehtaiden eri prosesseista jäteveeten. Paperitehtailla voi jopa 5 % kuiduista päätyä jäteveden sekaan. Kuitulietteen laatu onkin hyvin riippuvainen sen syntyperästä. Tehtaan tuottamat jätelietteet luokitellaan primääri- ja sekundäärilietteisiiin. Erityisesti primäärilietettä pidetään käyttökelpoisena kartongin valmistamiseen. Haasteina jätelietteen hyödyntämiselle ovat mm. korkea vesipitoisuus lietteissä, ei-haluttujen substanssien määrä lietteessä sekä talteenottoteknologian epäkypsyys. (Ochoa de Alda, 2008)

Primäärilietteet voisivat olla käyttökelpoisia kartongin valmistuksessa. Taulukossa 8 on kuvattu erilaisten primäärilietteiden käytettävyys kartongin valmistukseen. Tehtaasta riippuen jopa 5 % kuidusta voi vuotaa jäteveeten ja sitä kautta primäärilietteeeseen. Kuitulietteen hyödynnettävyyttä vähentää sen sisältämä

korkea vesipitoisuus ja jätevirtojen hyödynnettävyyttä koskeva lainsäädäntö. (Ochoa de Alda, 2008)

Taulukko 8. Erilaisten lietteiden soveltuvuus kartongin valmistukseen. (Ochoa de Alda, 2008)

Lietteen lähde	Kartonkikone, alhainen tuhkapitoisuus	Tehdasintegraatti, alhainen tuhkapitoisuus	Kartonkikone, korkea tuhkapitoisuus	Kartonkikone, kierrätyskuitu (OCC)
CMT (N)	128,7	220	0,2	160
CCT (kN/m)	1,69	2,28	0,02	1,97

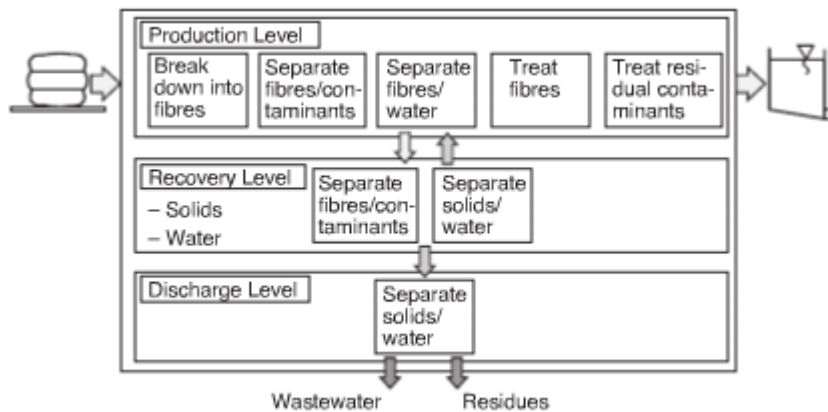
Taulukosta 8 havaitaan, että lujuusominaisuuksien perusteella alhaisen tuhkapitoisuuden tehdasintegraatin lietettä voitaisiin hyödyntää aallotuskartongin lisämässaraaka-aineena.

## 6. Lisämässan prosessointivaiheet

Lisämässalla tarkoitetaan aallotuskartongin valmistuksessa käytettävää sivuvirtaraaka-ainetta, joka tulee tehtaalte ulkopuoliselta toimijalta. Sivuvirtaraaka-aineet käsitellään kartonkikoneella hyödynnettävään muotoon lisämässalinjalla. Sivuvirtaraaka-aineet ovat volyymeiltään pienempiä kuin varsinaisen pääraaka-aineen, jolla aallotuskartongin keskeiset laatuominaisuudet tehdään. Sivuvirtaraaka-ainetta hyödynnetään esimerkiksi ympäristö- ja kustannussyistä ja laatuavoitteena on, ettei niiden sekoittaminen pääraaka-ainevirtaan vaikuta lopputuotteen laatuominaisuuksiin. Tavoite voikin olla tehtaankokonaiskapasiteetin nostaminen, tuotantokustannusten alentaminen, kartonkikoneen ajettavuuden parantaminen tai toisen tehtaankätevinnan hyötykäyttö. Tulevissa kappaleissa esitetään lisämässalinjalla vaadittavat prosessointivaiheet.

## 6.1 Prosessivaiheet

Lisämässan prosessoinnin suunnittelussa on otettu huomioon kuituvirran mahdolliset epäpuhtaudet. Eri prosessivaiheissa suunnittelufilosofiana on ei-haluttujen materiaalien poistaminen kuitupitoisesta materiaalista. Kuvassa 16 on kuvattuna sivuvirtakuidun käsittelyyn vaadittavan linjaston eri prosessivaiheet.



Kuva 16. Kierrätyskuitulinjaston pääperiaatteet (Höke and Schabel, 2010)

Kuvassa 16 esitetään kolme eri tasoa lisämässan hyödyntämisessä: tuotantotaso, talteenottotaso ja päästötaso. Tuotantotaso koostuu seuraavista vaiheista:

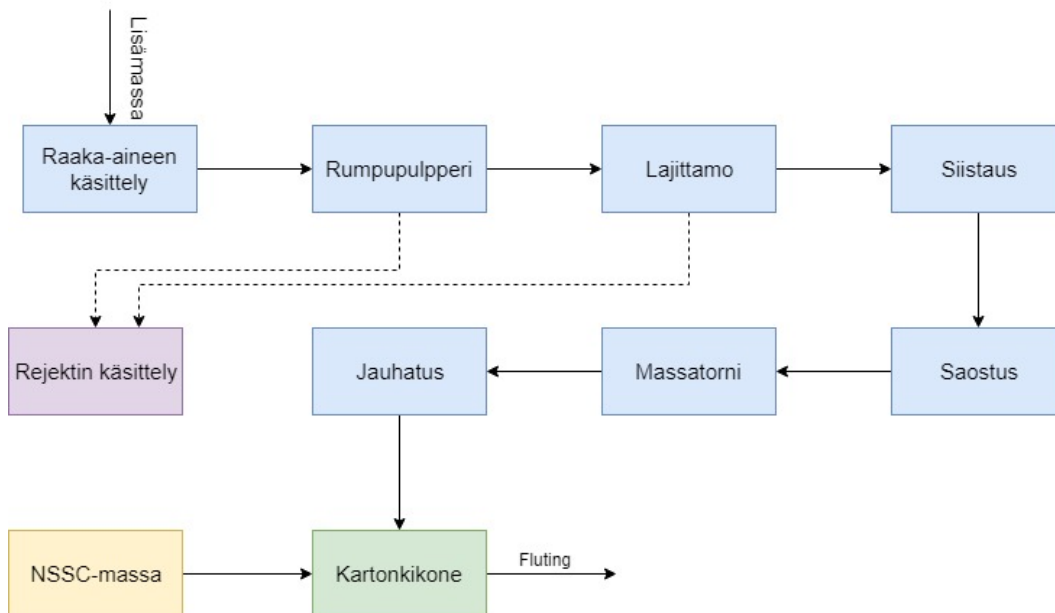
1. Hajottaminen kuiduksi
2. Kuitujen ja epäpuhtauksien erottaminen toisistaan
3. Kuitujen ja veden erottaminen toisistaan
4. Kuitujen käsittely
5. Epäpuhtauksien käsittely

Talteenottotasolla myös erotetaan kuidut ja epäpuhtaudet, sekä vesi toisistaan. Päästötasolla on viimeinen erotusprosessi, jossa jätevesi ja kiintoaine erotetaan toisistaan.

Pääpiirteissään tuotantotaso etenee siten, että ensin raaka-aine syötetään syöttöhihnalle, josta se syötetään pulpperiin. Pulpperissa massa muuttuu pumpattavaan muotoon. Massa pumpataan pulpperista erilaisiin

lajitteluprosesseihin, joiden tavoite on puhdistaa massasta partikkelimaiset epäpuhtaudet. Kemiallisten epäpuhtauksien käsittelyprosessia kutsutaan siistaukseksi, missä voidaan poistaa esimerkiksi öljyliukoisia väriaineita. Lopuksi massaa voidaan välikuivattaa, jotta sivuvirtakuituprosessin ja muun tehtaan prosessin vesikiertoa saadaan pidettyä erillään. Ennen massan yhdistämistä ensiomassan sekaan, se voidaan jauhaa lujuusominaisuuksien parantamiseksi.

Lisämassalinjaston suunnittelussa otetaan huomioon tulevan massan ominaisuudet. Esimerkiksi, jos linjastolla käytetään yksinomaan suoraan pakkaustehtaalta tullutta leikkuuylijäämää, ei esimerkiksi tarvita yhtä järeitä lajitteluvaiheita kuin esimerkiksi kuluttajakäytössä ollut kierrätyskartonki voisi edellyttää. Kuvassa 17 on esitettyä esimerkki lisämassalinjastosta. Nämä tuotantoprosessit on esitelty alempana tarkemmin ja ne ovat tähän työhön valikoitu sen takia, että niillä on erityinen vaikutus lopputuotteen tuoteturvallisuuteen.

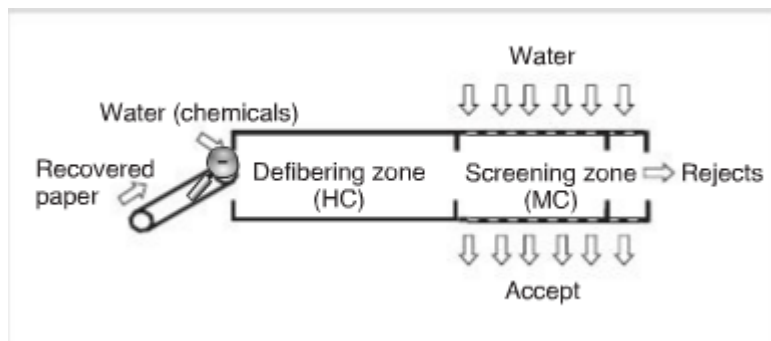


Kuva 17. Esimerkki lisämassalinjan toiminnasta. Lisämassalinja alkaa raaka-aineen käsittelyllä ja päättyy massan jauhatukseen.



## 6.2 Pulpperointi

Rumpupulpperin tarkoituksena on hajottaa raaka-aine pumpattavaan muotoon, kuiduttaa se mahdollisimman hyvin, erottaa suuret epäpuhtaudet massavirrasta rikkomatta niitä ja irrottaa painoväriä kuiduista. Pulpperoinnin lopputulos on riippuvainen raaka-aineesta, käytetyistä prosessiolosuhteista ja kemikaaleista sekä pulpperointiajasta ja -intensiteetistä. Rumpupulpperi on suunniteltu sanomalehtipapereille, toimistopapereille, aikakauslehtipapereille ja pakkauskartongeille. Rumpupulpperin toiminta on esitetty kuvassa 18, jossa kuitumateriaali tulee kuljetinta pitkin pulpperin pätyyn, ja jossa se sekoittuu veteen ja mahdollisiin kemikaaleihin. Pulpperin alkupäässä on kuiduttamisalue (*defibering zone*), jossa kuitu ja kuidussa olevat partikkelit irtoavat. Pulpperoinnin edetessä kohti lajittelualuetta (*Screening zone*) korkeasakeus, siirrytään korkeasta sakeudesta (HC) matalampaan sakeuteen (MC), jossa akseptikuidut menevät lajittimen läpi ja loput poistuvat rejektinä pulpperin päädyssä ulos (Höke and Schabel, 2010).



Kuva 18. Rumpupulpperin toimintaperiaate. (Höke and Schabel, 2010)

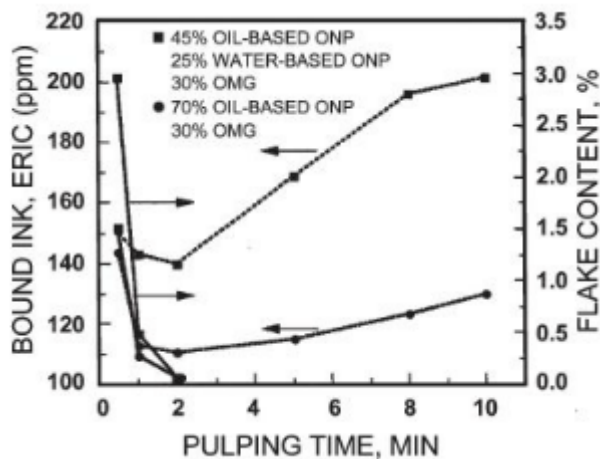
Pulpperoinnin intensiteetin säädöllä (täyttöaste vs. pyörimisnopeus) muutetaan raaka-aineen kuituuntumistulosta sekä musteen irrotusta. Myös rummun kaltevuuskulmaa voidaan säätää, millä on suora vaikutus raaka-aineen hajotusaikaan. Tarvittava raaka-aineen hajotusaika on riippuvainen mm.

alkuperäisestä materiaalista (esimerkiksi sanomalehti tai kartonki), lämpötilasta, sakeudesta ja kemikaaleista. (Höke and Schabel, 2010)

Massasuspension fluidisoimiseen vaadittava energia on suure, joka määrittää pulperoinnin onnistumisen. Fluidisoimisenergiaa kutsutaan kuidun leikkausjännitteeksi. Selvittämällä massan leikkausjännitys, voidaan selvittää pulperointiin vaadittava minimienergia. Leikkausjännitys riippuu esimerkiksi massan sakeudesta, pH:sta, lämpötilasta ja kuitujen sitoutumiseen vaikuttavien kemikaalien konsentraatiosta. Massan sakeus ei ole lineaarinen määre, vaan optimaalinen leikkausjännitys on usein jossain matalan sakeuden ja korkean sakeuden välillä. (Höke and Schabel, 2010)

Pulperoinnin perustehtävät ovat kostuttaa paperi vähentääkseen sen lujuutta, hajottaa paperin kuidut ja partikkelit toisistaan, irrottaa väriainepartikkelit kuidusta, erottaa karkeat epäpuhtaudet, homgenisoida raaka-aine ja sekoittaa lisäaineita joissain sovellutuksissa. Tavoitteena pulperoinnissa on erottaa kaikki hyödynnettävä kuitu yksittäisiksi kuiduiksi ja poistaa painoväri kuidusta kiinnittämättä sitä uudelleen. Tärkeä on myös välttää hajottamasta karkeaa rejektiä pienemmiksi partikkeleiksi. (Höke and Schabel, 2010)

Pulperointiaika on optimoitava parametri, kuten kuvassa 19 nähdään. Liian pitkä pulperointiaika johtaa siihen, että epäpuhtaudet alkavat jälleen tarttua kuituun takaisin. Epäpuhtauspartikkelien, kuten painovärien, irrottaminen pulperoinnin aikana on tärkeitä, sillä jatkoprosessit voivat erottaa vain kuidusta veteen erotettuja partikkeleita.



Kuva 19. Pulperointiajan optimoinnin vaikutus pulperointitulokseen. (Höke and Schabel, 2010)

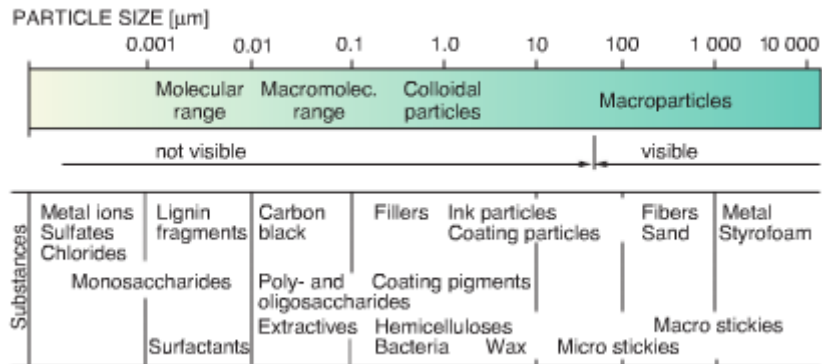
Erilaisia pulpperilajeja ovat esimerkiksi rumpupulpperit ja patapulpperit, sekä korkeasakeus ja matalasakeuspulpperit. Erilaiset raaka-aineet vaativat erilaisia pulppereita toimiakseen optimaalisesti. Esimerkiksi avoinrakenteiset rumpupulpperit ovat suunniteltu irtonaiselle raaka-aineelle. Sen sijaan esimerkiksi korkeasakeus patapulpperit ovat suunniteltu käytettäväksi korkeaan tiheyteen paalatulla massalla. (Höke and Schabel, 2010)

### 6.3 Lajittelu ja siistaus

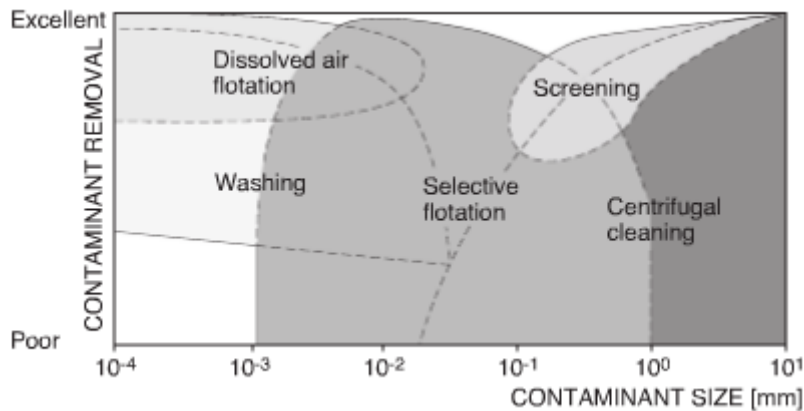
Lajittelulla ja siistauksella pyritään poistamaan massasulppuun jääneitä epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, tai erottelemaan epätäydellisesti hajonneita kuitukimppuja. Lajitteluprosessi on mekaanista erottamista, jossa lajitin voi olla esimerkiksi pyörrepuhdistin tai sykloni. Siistausprosessi on kemiallista erottamista, ja prosessi voi olla esimerkiksi flotaatio. (Sixta, 2005)

Lajittelussa liuoksessa olevat partikkelit, kuten kuidut, erotetaan kokojen mukaisiin fraktioihin. Kuidut menevät lajitinrakojen läpi, jolloin kuitua suuremmat partikkelit erottuvat kuituvirrasta. Lajittimella on myös esimerkiksi kuitukimppuja pienentävä vaikutus. Parhaan lajittelutehokkuuden saavuttamiseksi lajittimia on usein useammassa eri portaassa ja useampia erilaisia lajitintyyppäjä käytetään. Lajittelulla on vaikutus lopputuotteen roskien määrään sekä kuitujen

kokojakaumaan. Kuvassa 20 on esitetty kuidun mukana tulevia epäpuhtauspartikkeleita ja niihin sovellettavia lajittelutekniikoita. Kuvassa 21 on esitetty erilaiset lajittelutekniikat eri partikkelikoon mukaan. (Sixta, 2005)



Kuva 20. Massan mukana kulkeutuvien partikkelien kokovertailu (Höke and Schabel, 2010)



Kuva 21. Haitta-aineiden poistomenetelmä ja haitta-aineiden koko (Höke and Schabel, 2010)

Pesusiistaus (*washing deinking*) poistaa värin lisäksi kaikki alle 40 mikronin partikkelit, kuten täyteaineet ja hienoaineet. Useimmat siistausvälineistöt tähtäävät säästämään lisäaineet ja hienoaineksen saannon parantamiseksi. (Höke and Schabel, 2010)

#### 6.4 Saostin

Saostuksen tavoite on nostaa käsiteltävän massan sakeutta. Saostimessa massa on viiraa vasten, jonka läpi vesi kulkeutuu ja massa jää viiralle. Saostamisella on tärkeä osuus kierrätyskuidun mukana tulevan prosessiveden erottamisessa ensiökuidun mukana kulkeutuvasta prosessivedestä. Pulperoinnin aikana valtaosa partikkeleista irtoaa kuidusta veteen. Saostuksella kiertokuituvettä saa erotettua muusta prosessista ja siten lisämassalinjan prosessien sisältämää likaa voidaan pitää erossa lopputuotteesta.

Alla olevassa laskussa on esimerkki kahden linjaston toiminnasta: 5 % kiertokuitua ja ei saostusta sekä 30 % kiertokuitua ja 30 %:iin saostus, esimerkiksi ruuvipuristinta käyttäen.

*Taulukko 9. Esimerkki saostuksen merkityksestä kartonkitehtaan vesitaseeseen.*

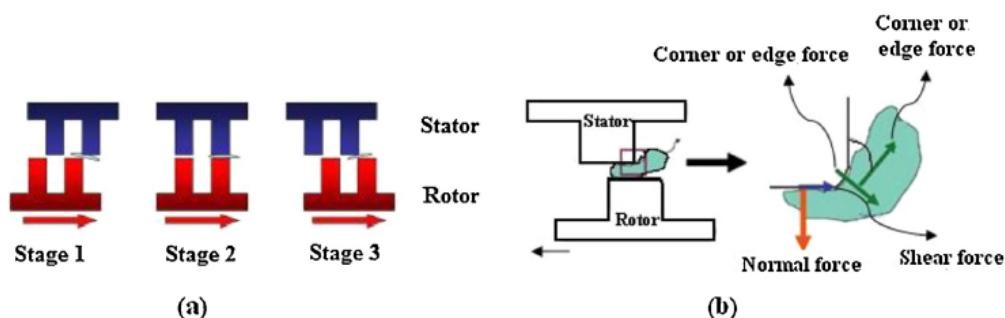
	<b>Saostus 5 % k.a., 5 % lisämassaa</b>	<b>Saostus 30 % k.a., 30 % lisämassaa</b>
<b>Kokonaistuotanto (ADt/a)</b>	300000	500000
<b>Lisämassan osuus</b>	5 %	30 %
<b>Lisämassakuidun osuus (ADt/a)</b>	15000	150000
<b>Vettä ensiomassassa 3 % k.a. (m<sup>3</sup>/d)</b>	1157	1929
<b>Käytetty lisämassakuituveden määrä (m<sup>3</sup>/d)</b>	34,7	57,9
<b>Kierrätyskuituveden osuus</b>	<b>2,91 %</b>	<b>2,91 %</b>

Taulukosta 9 voidaan nähdä, että saostuksella voidaan vähentää lineaarisesti loppuprosessiin päätyvän lisämassalinjaveden määrää. Huomioitavaa kuitenkin on, että lisämassakuituveden likaisuus on erittäin riippuvainen myös lisämassalinjaston vesikierron sulkeutumistasesta.

## 6.5 Jauhatus

Jauhatus muuttaa kuidun ominaisuuksia, kuten fibrillaatiota, hienoaineen määrää, kuidun pituutta ja kiharuutta, kristalloitumisastetta ja pintakemiaa. Jauhatusprosesseja kuituja kompressoidaan ja niihin kohdistetaan leikkausvoimia, jotka aiheuttavat useita muutoksia kuidun ominaisuuksissa, kuten kuitu-kuituvälisen interaktion voimistumista. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Kuvassa 22 a-kohdassa on kuvattu jauhatuksen eri vaiheet. B-kohdassa on kuvattu kuituun vaikuttavat voimat jauhatuksen aikana. 1. vaiheessa kuidut kerääntyvät teriin kiinni, 2. vaiheessa terissä kiinni olleet kuidut litistyvät liikkuvien jauhinterien väliin (staattori ja rottori) ja 3. vaiheessa leikkausvoimat vaikuttavat terän liukuessa kuidun yli, jolloin kuituun vaikuttaa sekä kuitujen väliset kontaktit, että terien aiheuttamat kontaktit. (Gharehkhani *et al.*, 2015)



Kuva 22. Jauhatuksen eri vaiheet ja kuituun vaikuttavat voimat. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Ominaisärmäkuormalla (SEL *Specific Edge Load*) voidaan mitata jauhatukseen vaadittavaa tehoa. Siinä mitataan tehollista energiaa pituusyksikköä kohti, joten yksikkö on J/m. SEL kuvaa energiankulutusta terän risteämispisteessä. Tyypillisiä SEL arvoja havupuulle on 1,5 – 3 J/m ja lehtipuulle 0,2 – 1,0 J/m. Jauhatuksen ominaisenergia, EOK, kuvaa, kuinka paljon energiaa jauhatuksessa siirtyy kuituihin. SEL ja EOK arvoja käytetään laajalti teollisuudessa, mutta ovat hyvin yksinkertaistettuja kuvauksia jauhatusprosessista. Esimerkiksi terän leveyttä ei ole huomioitu kummassakaan. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Teolliset jauhimet voivat olla levy-, kartio- tai sylinerijauhimia. Ne koostuvat roottorista ja staattorista. Tärkeimmät suunnittelukriteerit jauhinten suunnittelussa ovat energian kulutus, koska jauhatus kuluttaa paljon energiaa, ja homogenisointikyky, sillä jauhamattoman kuidun osuus jauhimen ulostulossa tekee massasta heterogeenistä. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Raaka-aineen muutosta mitataan freeness-luvulla. Freeness-mittaus veden määrää massasulpussa, joka pääsee virtaamaan seulaverkon läpi. Freeness-arvosta voidaan tehdä päätelmiä esimerkiksi kuidun hienojaeosuudesta, minkä takia se toimii myös jauhatuksen mittaamiseen. Jauhatus turvottaa kuituja, minkä takia kuidut ovat joustavampia. Joustavuus aiheuttaa kuitujen tiukemman takertumisen toisiinsa, jonka takia jauhettu kuituverkosto läpäisee vähemmän vettä kuin jauhamaton. Sen lisäksi jauhatuksen seurauksena hienoainesta irtoaa kuidusta, joka kulkevat vapaana ja tukkivat vapaana olevia huokosia. Näistä syistä kuidun jauhaminen laskee massan suotautuvuutta, mikä ei ole haluttu ominaisuus paperin valmistuksessa. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Rakenteelliset muutokset, joita jauhatus aiheuttaa on kategorisoitu fibrillaatioon (sisäinen ja ulkoinen), hienojauheen muodostus, kuidun lyhentyminen ja kuidun suoristuminen. Näiden fundamentaalisten muutosten lisäksi jauhatus voidaan huomioida myös kiteisyydessä ja kuidun pinnan kemiallisen rakenteen uudelleen muodostuksessa. Sisäisen fibrillaation, jonka mekanismina on P- ja S1-solukerrosten hajoaminen, uskotaan olevan merkittävin tekijä jauhatuksessa. Sisäinen fibrillaatio aiheuttaa polymeerien välisten sidosten katkeamista, mikä aiheuttaa kuidun voimakkaampaa turpoamista. Sisäinen fibrillaatio myös tekee kuiduista joustavampia. Tämä on tärkeää koska joustavuus on suuri tekijä lujuusominaisuuksien muodostuksessa. Ulkoinen fibrillaatio johtuu S2 kerroksen paljastumisesta jauhatuksessa. Ulkoisessa fibrillaatiossa kuidun pinta nyppyyntyy. Ulkoisen fibrillaation merkittävimpiä vaikutuksia on ominaispinta-alan suureneminen. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Massassa on kaksi erilaista hienojaetta: ensiöhienoaines ja toisiohienoaines. Ensiöhienoaines on peräisin ydinsoluseinästä ja toisiohienoaines muodostuu jauhatuksen johdosta, johtuen kuidun lyhentymisestä tai ulkoisesta fibrillaatiosta. Hienoaineksella on suuri pinta-ala, minkä takia ne voivat nostaa kuitujen sitoutuvuutta, mutta myös laskea suotautuvuutta. Jauhatustehon nostaminen nostaa myös hienoainetta. Kuivaamattoman ja kuivatun massan välillä on ero, kun mitataan muodostetun hienoaineksen määrää jauhatuksessa; hienoainesta muodostuu vähemmän kuivatuissa massoissa. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Kuidun lyhentyminen on jauhatuksen ei-haluttu ominaisuus. Kuidun lyhentyminen jauhatuksessa tapahtuu siinä vaiheessa, kun kuituun kohdistuva jännitys on riittävän korkea. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi, kun jauhinterä ylittää kuidun. Koska jauhatuksessa muodostuu hienoainetta myös ulkoisen fibrilloitumisen myötä, jauhatuksen aiheuttaman kuidun lyhentymisen määrää ei voi tarkasti mitata (Gharehkhani *et al.*, 2015)

Kuidut suoristuvat myös jauhatuksessa. Alkutilassaan kuidut ovat kihartuneita ja jauhatuksessa ne suoristuvat. Kiharuutta mitataan curl indeksillä. Pienempi kiharuus tarkoittaa parempaa freenessiä. Kuidun suortumisella on myös muita vaikutuksia, kuten kuormituksensietokyvyn paranemista. (Gharehkhani *et al.*, 2015)

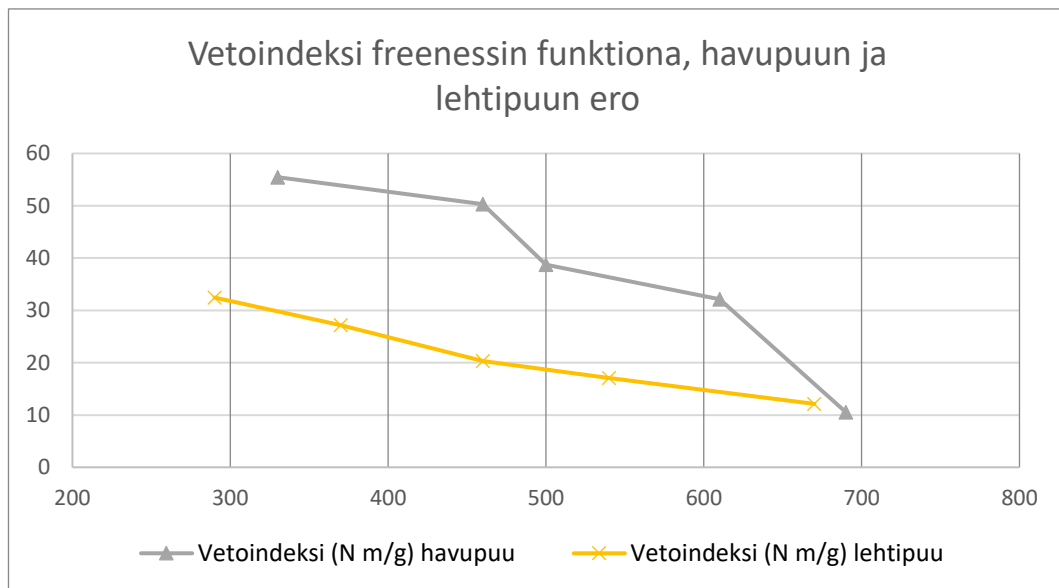
Kiteisyyden muutoksella on myös joissain teorioissa selitetty jauhatuksen vaikutuksia. Kristalloitumisaste kuvaa kristalloituneen ja amorfisen selluloosan suhdetta. Tyypillisesti, kristalloituneen selluloosan lisäys lisää vetolujuutta ja jäykkyyttä sekä vähentää reaktiivisuutta. Kristalloitumisasteen lisäys myös vaikuttaa turpoamiseen, sillä vesi ei penetroidu kristalloituneisiin rakenteisiin. Kristalloituneen selluloosan määrä on tyypillisesti 60 – 70 % paperinvalmistuksessa. *Chen et al. (2012)* tutkimuksessa havaittiin, että jauhatus laskee kristalloitumisastetta 81 % 66 %:iin (Chen *et al.*, 2010). Selkeää korrelaatiota ei olla pystytty tekemään jauhatuksen ja kristalloitumisasteen välillä,



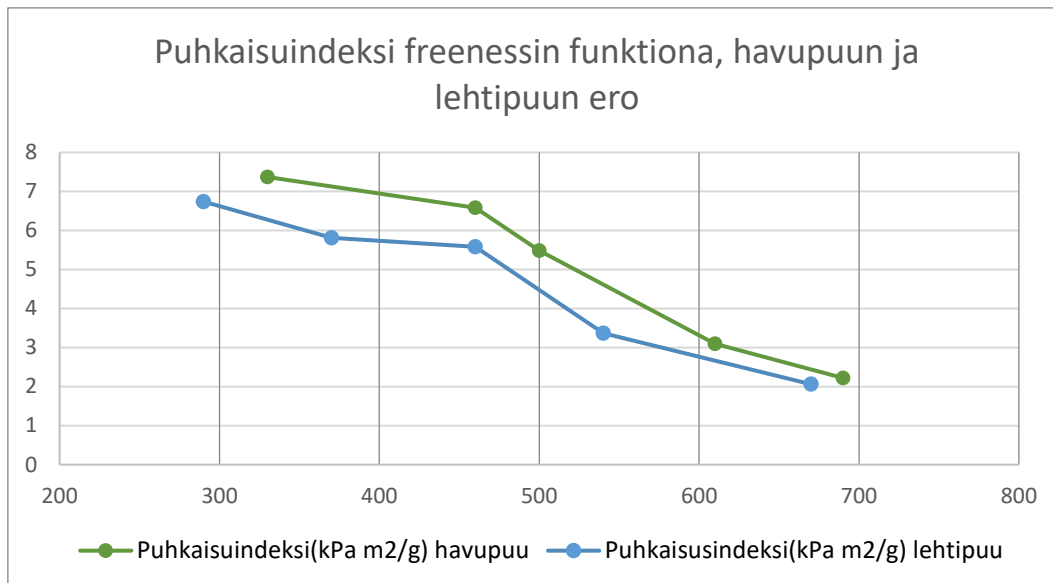
mutta on havaittu, että jauhatus vaikuttaa kristalloitumisasteeseen. (Gharekhani *et al.*, 2015)

On väitetty, että jauhatus voi vapauttaa ja paljastaa kemiallisia yhdisteitä soluseinän huokosista. On havaittu, että vaikka jauhatus on vain mekaaninen käsittely, sen on havaittu vaikuttavan kuitujen funktionaalisiin ryhmiin. Lopputuloksena jauhatuksen voidaan väittää muokkaavan pinnan kemiallista rakennetta. (Gharekhani *et al.*, 2015)

Banavath. *et al* (2011) tutkivat jauhatuksen vaikutusta sekä pitkä- että lyhytkuituun. Kuvaajista 4 ja 5 voidaan nähdä tuloksia. Tuloksista voidaan päätellä, että hyvin jauhettu pitkä kuitu tarjoaa ylivertaiset vetolujuusominaisuudet. Jauhamattoman pitkäkuidun lujuusominaisuudet jopa 5-kertaistuvat jauhatuksessa ja lyhytkuituisellakin saavutetaan 3-kertaisia arvoja puhkaisulujuudessa. (Banavath, Bhardwaj and Ray, 2011)



Kuvaaja 4. Lehti- ja havupuumassan vetoindeksivertailua eri freeneisseillä. (Banavath, Bhardwaj and Ray, 2011)



Kuvaaja 5. Havu- ja lehtipuun puhkaisuindeksieroja eri freeness-arvoilla. (Banavath, Bhardwaj and Ray, 2011)

## 7. Kirjallisen osuuden yhteenveto

Aallotuskartonki on aaltopahvin väliin jäävä kerros, jonka päätarkoituksena on tuoda aaltopahviin lujuutta, erityisesti jäykkyyttä. Aallotuskartongin soveltuvuutta elintarvikekäyttöön mitataan sarjalla erilaisia standardoituja tuoteturvallisuustestejä. Testit mittaavat, että tuote ei sisällä haitta-aineita, jotka voivat siirtyä pakkauksesta elintarvikkeeseen, voisivat vahingoittaa pakatun elintarvikkeen koostumusta tai vaikuttaa elintarvikkeen aistinvaraisiin ominaisuuksiin (kuten makuun). Haitta-aineita esiintyy erityisesti kierrätyskuiduissa.

Kuluttajasuhtautumisen muutos kierrätyskuitupohjaisiin materiaaleihin tuo lisää epävarmuutta kierrätyskuitupohjaisen materiaalin hyödyntämiseen. Esimerkiksi raportoidut kierrätyskuidusta löytyneet haitta-aine-esiintymät voivat nopeasti muokata kuluttajakäyttäytymistä kohti ensiökuitupohjaisia tuotteita.

Kuituverkoston pintakemialla on vaikutus tuoteturvallisuuteen. Kuidun kyky pitää itsessään haitta-aineita on rajallinen ja suurin haitta-aineen kuidusta irtoamiseen vaikuttava tekijä on haitta-aineen konsentraatio vesiliuoksessa. Haitta-aineita lisämässan sisältämien NIAS-materiaalien lisäksi voivat olla oman massatuotannon sivureaktiotuotteet, kuten oligomeerinen ligniini tai hemiselluloosa. Haitta-aineen konsentraatiosta voidaan tehdasolosuhteissa tehdä päätelmiä esimerkiksi massan johtokyvyn perusteella.

E erityisen soveltuva materiaali aallotuskartongin valmistukseen on koivu, sillä se sisältää lyhyttä kuitua ja runsaasti selluloosaa suhteessa muihin komponentteihin. Lyhyt kuitu antaa aallotuskartongilta vaadittavaa jäykkyyttä, ja suuri selluloosaosuus antaa korkean saannon. Aallotuskartonkia valmistetaan puolikemiallisella neutraalisulfiittimenetelmällä (NSSC). Prosessissa puu hajoaa kuiduiksi, jota käytetään kartongin valmistukseen ja liuokseksi, mustalipeäksi, josta tuotetaan energiaa. Kemiallisella menetelmällä valmistettu massa on lujuusominaisuuksiltaan parempaa kuin NSSC-menetelmällä, mutta alhaisemman saannon vuoksi se on myös valmistuskustannuksiltaan korkeampaa. Kemiallista massaa voidaankin hyödyntää aallotuskartonkikoneen ajettavuuden parantamiseen. Lisäksi pitkän kuidun käytöllä lisämässana voidaan kontrolloida lyhyen kuidun käytön sisältämiä huonoja ominaisuuksia, kuten murenevuutta.

Toisiokuitu on joko kuluttajakäytöstä palautunutta tai tehtaan sisäisen prosessin ylijäämää. Lujuusominaisuuksiltaan toisiokuitu on heikompaa kuin ensiökuitupohjainen materiaali. Hyötykäytettävä ylijäämäraaka-aine on esimerkiksi aaltopahvihylky.

Lisämässalla tarkoitetaan tehtaan ulkopuolelta tuotua raaka-ainetta, jota tehdas käyttää ylimääräisenä raaka-ainesivuvirtana. Lisämässan prosessointivaiheiden tehtävä on liuottaa kuivattu raaka-aineesta veteen ja poistaa siitä ei-halutut materiaalit. Ei-halutuista materiaaleista osa liukenee veteen ja osa jää kuituihin. Lisämässalinjalla valtaosa prosesseista onkin erotusprosesseja, jossa kuituja

lajitellaan hyväksytyihin ja hylättyihin jakeisiin, vettä erotetaan kuidusta ja epäpuhtauksia irrotetaan kuidusta. Lisäksi tärkeä prosessointivaihe on jauhatus, jossa kuitu restauroidaan mahdollisimman korkealaatuiseksi ja käyttökelpoiseksi materiaaliksi.

## KOKEELLINEN OSA

### 8. Yrityksen esittely

Tämä työ on tehty Stora Enso Oyj:n Fluting-tehtaalle. Tehdas tuottaa aallotuskartonkia puolikemiallisella sulfiittimenetelmällä (NSSC). Tehdas on toiminut vuodesta 1961 lähtien. Tehtaan kapasiteetti on 300 000 tonnia vuodessa. Vuosikapasiteetin saavuttamiseen vaaditaan massaosaston ja lisämassaosaston kapasiteetin hyödyntämistä. Tehtaan päätuote on suorassa ruokakontaktissa olevan elintarvike-aaltopahvipakkauksen aallotuskartonki.

### 9. Lisämassaraaka-aineen valinta

#### 9.1 Tavoitteet

Tavoitteena oli löytää parhaat raaka-aineet lisämassalinjalle teknistaloudellisen vertailun kautta. Lisäksi laskettiin investointiehdotusten takaisinmaksuaika.

Alkuoletuksena oli, että valkaisematon havusulfaattimassa tuo ajettavuushyödyn kautta lisää ajoaikaa kartonkikoneelle ja, että aaltopahvipohjainen toisiokuitu laskee raaka-ainekustannuksia ja parantaa sitä kautta kannattavuutta. Lisäksi oletettiin, että lisämassan käytöllä on hyötypotentiaali 5 % lisäykseen saakka, sillä

tätä suuremmissa pitoisuuksissa lisämässalla voi olla lopputuotteen laatuun huonontava vaikutus.

## 9.2 Tutkimuskysymykset

Seuraaviin kysymyksiin haluttiin löytää vastaus:

- Mitä raaka-aineita tehtaan lähialueella tuotetaan?
- Mikä on raaka-aineiden saatavuus?
- Mikä on sopivin massatyyppe lisämässalinjalle?
- Millä lisämässalla saavutetaan eniten liikevoittoa?
- Mikä on valituille massatyypeille vaadittavien investointien takaisinmaksuaika?
- Mitkä ovat investointien ja raaka-aineiden hintavaihtelun herkkyydet?

## 9.3 Saatavuus

Aallotuskartongin valmistuksessa raaka-aineen hinta on suuressa roolissa tuotannon kannattavuuden kannalta. Tehtaiden sisäisten prosessien sivuvirtakuitujen hyödyntäminen onkin suuresti raaka-aineen laadun lisäksi kiinni logistisista tekijöistä, kuten etäisyydestä tehtaalle, raaka-aineen pakkautuvuudesta ja säilyvyydestä. Näiden lisäksi saatavuus erilaisten sivuvirtojen välillä vaihtelee reilusti ja se on kiinni mm. tehtaan päätuotteen tuotantomäärästä. Liitteessä A on lueteltu tuotteet ja niiden kapasiteetti 1000 km etäisyydellä. Näiden toimijoiden tuotteet ovat valikoituneet vertailuun.

Oletuksina on käytetty, että aaltopahvitehtaan hävikki on 5 %, ja paperi-, kartonki- ja sellutehtaiden hävikki on 1 %. Lisäksi, koska hylkytuotanto on seurausta tehtaan epätäydellisten tuotantoprosessien johdosta, sen voidaan olettaa laskevan teknologian kypsymisen myötä. Lisäksi moni tehdas hyödyntää hylkyä omassa prosessissaan, jolloin sitä ei välttämättä ole saatavilla lainkaan.

Etäisyyden kustannusvaikutus on riippuvainen tuotteen tiheydestä ja säilyvyydestä. Tiheää, paalattua, materiaalia, kuten sellua, voidaan tuoda kauempaa kuin paljon ilmaa sisältävää materiaalia, kuten paalaamatonta aaltopahvia. Liitteessä A on lueteltuna pakkaustoimijat, jotka voisivat toimia sekundääriskuidun, kuten leikkuujättemateriaalin, toimittajana. Sekundääriskuidut ovat aaltopahvijohdannaisia ja muodostuvat esimerkiksi stanssauksen tai reunanauhoituksen johdosta, minkä takia materiaali on heterogeenisempää ja ilmapitoisempaa. Ilma vähentää tiheyttä ja heterogeenisyys alentaa raaka-aineen hintaa, minkä takia kuljetuskustannuksen vaikutus nousee huomattavasti kriittisempään rooliin kuin ensiökuidun osalta.

$$Saatavuus_n = \sum etäisyys_n \cdot tuotanto_n$$

Missä  $n$  = massatyyppi, etäisyys on liitteen A listauksen etäisyyden perusteella järjestetyn listan sijoitusnumero ja tuotanto on vuosittainen tuotantomäärä.

#### 9.4 Sopivimman massatyyppin valinta

Massatyyppit jaettiin 10 eri kategoriaan, joista jokainen pisteytettiin laadun, saatavuuden, ajettavuusvaikutuksen ja hinnan järjestykseen. 10 pistettä oli paras ja 1 piste oli huonoin kategoriassa. Pisteet perustuvat saatavuuslaskelmaan sekä kirjallisuusosiossa käytettyihin lujuusominaisuuksiin ja saantoon siten, että korkeammat lujuusominaisuudet toivat ajettavuus- ja laatu-pisteitä ja taas korkeampi saanto toi hintapisteitä. Kategorioiden painoarvot valittiin siten, että tärkein oli hinta (painoarvo 4), toiseksi tärkein laatu (painoarvo 3), kolmanneksi tärkein ajettavuus (painoarvo 2) ja neljänneksi tärkein saatavuus (painoarvo 1):

$$Pisteet_n = 4 * hinta_n + 3 * laatu_n + 2 * ajettavuus_n + 1 * saatavuus_n$$

Missä  $Pisteet_n$  on kunkin kategorian tulos.  $Hinta_n$  määrittyy tuotteen saannon perusteella,  $laatu_n$  lujuusarvojen perusteella,  $ajettavuus_n$  oletetusta vaikutuksesta kartonkikoneen ajettavuuteen ja  $saatavuus_n$  etäisyydestä ja tuotantomääristä.

Pisteet laskettiin yhteen. Taulukossa 10 esitetty tuotekategorioista käytetyt lyhenteet ja taulukossa 11 on esitetty tulokset.

Taulukko 10. Raaka-ainepisteytyksessä käytetyt lyhenteet ja raaka-aineiden kuitutyypit.

Kategoriat	Kuitutyypit	Lyhenne
Valkaisematon havusellu (UKP)	Ensiökuitu	EVHS
Valkaistu havusellu	Ensiökuitu	VHS
Valkaistu koivusellu	Ensiökuitu	VKS
Fluting	Toisiokuitu	F
Laineri	Toisiokuitu	L
Käyttämätön aaltopahvi (CLC)	Toisiokuitu	AP
Mekaaninen massa	Ensiökuitu	MM
Taivekartonki	Toisiokuitu	TK
Tavalliset paperit	Toisiokuitu	TP
Erikoispaperit ja hylsykartonki	Toisiokuitu	EP

Taulukko 11. Raaka-aineiden pisteytykset.

Lyhenne	Laatupisteet	Saatavuuspisteet	Ajettavuuspisteet	Hintapisteet	Pisteet
<b>EVHS (UKP)</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>70</b>
VHS	9	10	9	2	63
VKS	8	9	8	1	53
F	7	2	6	5	55
L	6	3	5	6	55
<b>AP (CLC)</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>65</b>
MM	4	7	7	4	49
TK	3	4	3	8	51
TP	2	5	2	10	55
EP	1	1	1	7	34
<b>Painotuskerroin</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	

Taulukosta siis ei-valkaistu havusulfaattisellu (EVHS (UKP)) sai eniten pisteitä, 70. Toiseksi eniten sai toisiokuitupohjainen, käyttämätön, aaltopahvi (AP (CLC)), 65. Nämä raaka-aineet valittiin jatkoanalyysiin ja parhaiten pisteitä saanut massa, UKP, valittiin tehdaskoeajoihin.

## 10. Tehdaskoeajot valkaisuvalkoisella havusulfaattilisämällä

### 10.1 Tavoitteet

Tehdaskoeajoilla oli tarkoitus tutkia, voiko alun perin aaltopahvileikkujätteen ajamiseen suunniteltua lisämässalinjaa käyttää havusulfaattimässan ajamiseen. Hypoteesina oli, että alkuperäiselle massalla suunniteltu jauhatu ei ole riittävä ja, että tiheämpi, paalattu, massa ei pulpperoidu täydellisesti ja siten aiheuttaa ylimääräistä rejktiä.

Päätelmien tueksi tehtiin myös sarja laboratoriotestejä havainnoimaan havusulfaattimässan hyötypotentiaalia ja lisämässalinjan yksittäisoperaatioiden onnistuneisuutta.

### 10.2 Tutkimuskysymykset

Tutkittaessa havusulfaattimässan käyttömähdollisuutta fluting-tehtaalla, tarkoituksena oli selvittää:

- Lisämässan syöttö
  - Miten olemassa olevalla laitteistolla voidaan syöttää paalattua massaa?
  - Miten massan syöttömenetelmä vaikuttaa jatkoprosesseihin?
- Pulpperin toiminta
  - Paljonko rejktiä muodostuu?
  - Kuinka paljon loppusakeuteen voidaan vaikuttaa?
- Lajittamon toiminta
  - Rejktin osuus
- Jauhatuksen toiminta
  - Kuinka paljon jauhatusta vaaditaan?
  - Kuinka paljon massaa pystytään jauhaa nykylaitteistolla?
- Prosessiratkaisujen kehitys



- Miten lisämassalinjaa voisi parhaiten hyödyntää paalatun massan ajamiseen?
- Miten havusulfaattimassan hyötyvaikutukset voivat hyödyttää kokonaiskuvassa?
- Mitä muita ratkaisuja on mahdollista käyttää lisämassalinjalla?

### 10.3 Materiaalit ja menetelmät

#### 10.3.1 Yleistä

Tehtaalle tuotiin 20 t valkaisuamatonta havusulfaattimassaa paaleina Stora Enso Varkauden tehtaalta. Koeajoja suunniteltaessa tuli selvittää, miten eri prosessivaiheiden suorituskykyä voidaan mitata.

Lisämassalinjan suorituskykyä voidaan kuvata ajettavuudella, tuotantomäärällä ja saannolla. Ajettavuutta mitattiin prosessihäiriötiheydellä, tuotantomäärää ja saantoa akseptituotanto- ja rejektituotantolaskureilla. Lisäksi prosessivaiheiden onnistuneisuutta mitattiin online-mittauksin ja laboratorion kokein. Tuotetun lisämassan ajettavuushyötyä mitattiin kartonkikoneella seuraamalla katkomääriä ja laatua laboratorion kokein.

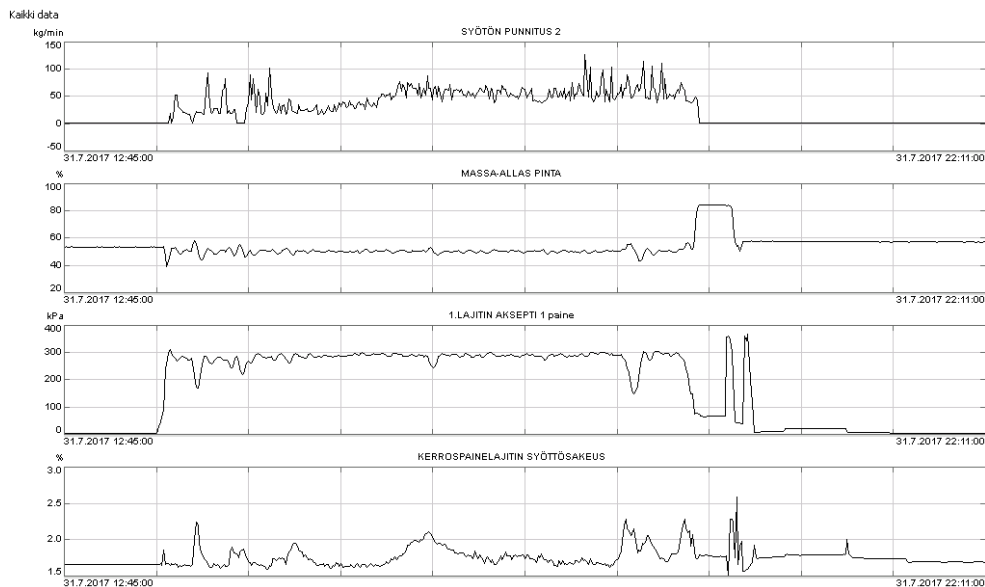
Lisämassalinja oli seissyt käyttämättömänä kaksi vuotta, joten ennen koeajojen aloitusta lisämassalinjan läpi ajettiin vettä mahdollisten tukosten ja epäpuhtauksien poistamiseksi. Tämän lisäksi pulpperin asetukset syöttökulma ja sisäiset rakenteet tarkastettiin ja säädettiin siten, että pulpperointiaika oli mahdollisimman pitkä. Mahdollisimman pitkä pulpperointiaika säädettiin siksi, koska oletettiin, että havusulfaattipaali hajoaa hitaasti.

### 10.4 Tulokset

Alla olevissa kappaleissa käydään läpi havusulfaattimassan käyttöön liittyvien koeajojen ja laboratorioanalyysien tuloksia.

### 10.4.1 Raaka-aineen syötön ajomallit

Raaka-aineen syötössä käytettiin kahta eri ajomallia: paalien syöttö hihnalle työntämällä paalit trukilla ja paalien syöttö hihnalle levittämällä paalit käsin. Käyttäen trukkia, työvaihe vei vähemmän aikaa, mutta levittämällä paalit hihnalle saavutettiin tasaisempi syöttö pulpperiin. Havaittiin, että havusulfaattimassaa syötettäessä trukilla, syötön epätasaisuus heijastuu pulperin läpi sakeusheiluntana lajittamolle. Kuvasta 23 on esitetty online-mittaukset, jotka kuvaavat, miten erilaiset syöttömallit vaikuttavat lisämassinlinjan toimintaan.



Kuva 23. Lisämassinlinjan syötön optimointia. Kuvat ylhäältä alaspäin: raaka-aineen syötön punnitus, pulperin massa-altaan pinta, lajittimen paine-ero ja lajittimen syöttösakeus.

Kuvasta havaitaan, kuinka keskivaiheella suoritettu käsin levittäminen näkyy tasaisena käyränä. Alku- ja loppuvaiheissa sen sijaan syötettiin trukin avulla, jolloin syötön punnitus sekä lajittimen syöttösakeus heiluivat enemmän. Tämä indikoi sitä, että raaka-aineen syötössä tapahtuva epätasaisuus heijastuu yli pulperoinnin. Epätasainen syöttösakeus aiheutti lopulta lajittimien tukkeutumista. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että hallitsemattoman syöttösakeuden kautta liian sakea massa päätyi lajittimeen. Liian sakea massa ei ehtinyt päästä sihdin rakojen läpi (akseptijae) vaan päätyi rejektinä ulos

lajittimesta. Lajittimen rejektiputken ollessa mitoitettu vain alhaisille massavirroille, meni putki tukkoon liian sakeasta massasta, mikä lopulta tukki lajittimen.

Havusulfaattimassa on puhdas ensiökuitujae, joten sitä ei ole tarvetta lajitella, toisin kuin lisämassalinjan normaaleja toisiokuitupohjaisia raaka-aineita. Syöttökokeiden perusteella voidaan päätellä, että paalattua massaa ajettaessa lisämassalinjan lajittamo kannattaa ohittaa ongelmien välttämiseksi, ja mikäli se ei ole mahdollista, tulee paalit levittää tasaisesti syöttöhihnalle lajittamon syöttösakeuden tasaamiseksi.

#### 10.4.2 Lisämassalinjan saanto

Lisämassalinjan saantoa mitattiin rejektikontin vaa'alla ja suhteuttamalla se ajettuun kokonaistuotantoon. Rejektiä tuli joko pulpperista, jolloin pulpperoitumaton massa purkautuu päädyistä rejektikuljettimelle, tai lajittamolta, jolloin sihtikoreja läpäisemätön massa ajautui rejektikuljettimelle. Kentältä tehtyjen näköhavaintojen perusteella lisämassalinjan rejekti oli pääosin peräisin lajittamolta. Tätä väitettä tukee myös se, että lajittamon rejektiputki tukkeutui kahdesti koeajojen aikana. Arvioitiin, että lisämassalinjan saanto koeajojen aikana oli noin 95 %. Lajittamon ajettavuusongelmien ja rejektin muodostumisen vuoksi lajittamo kannattaa ohittaa ajettaessa ensiökuitua lisämassalinjalla. Lisäksi, mikäli lisämassalinjaa aletaan hyödyntää ainoastaan puhtaisiin kuitujakeisiin, niin avorakenteisen pulpperin rejektipuolen tukkimista ehdotetaan harkitsemaan.

#### 10.4.3 Jauhimen ajoparametrien asettaminen

Havusulfaattimassa ajettiin hylkyjauhimen kautta koneelle, sillä lisämassalinjan omaa jauhinta ei saatu ajokuntoon. Kirjallisuuden perusteella havusulfaattimassa vaatii n. 2,5 J/m ominaissärmäkuorman. Ajoparametrien asettamista varten

laskettiin jauhimen vaatima teho. Tiettyyn ominaissärmäkuormaan vaadittava energiamäärä voidaan laskea kaavalla:

$$SEL = \frac{P_e}{L_s}$$

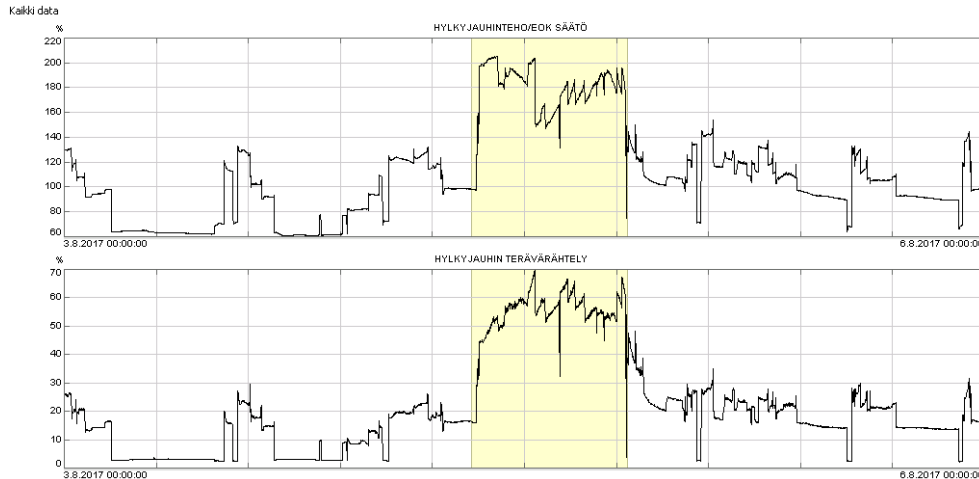
Missä SEL = ominaissärmäkuorma (*Specific surface load*) (J/m),  $P_e$  = estimoitu kuitujen jauhatusteho (kW) ja  $L_s$  = leikkausnopeus (km/s). Jauhimeen asetettava teho  $P_t$  on riippuvainen kuitujen jauhatustehon lisäksi myös tyhjäkäynti tehosta:

$$P_t = P_e + P_{nl}$$

Näiden kahden kaavan avulla voitiin laskea jauhimeen asetettava teho:

$$P_t = SEL \cdot L_s + P_{nl}$$

Laskennallisesti hylkyjauhinta olisi pitänyt ajaa 600 kW, jotta riittävä jauhatusteho olisi saavutettu. Tavoitteeseen ei päästy, sillä hylkyjauhinta kuormitettaessa noin 200 kW kohdalla terävärähtely kasvoi yli 60 %, mikä indikoi laitteen toimintarajojen vastaan tulemistä. Kuvassa 24 on havainnollistettu terävärähtelyn käyttäytymistä jauhimen tehoa nostettaessa. Oranssilla merkitty alue on koeajohetki. Laiterikkojen ehkäisemisen vuoksi kuormitusta ei nostettu. Tehtaalla käytettävissä oleva laitteisto ei ole soveltuva havusulfaattimassan jauhamiseen suuren tehotarpeen vuoksi, minkä takia havusulfaattimassan hyötypotentiaalin täyttämistä varten tulisi investoida uuteen jauhimeen.

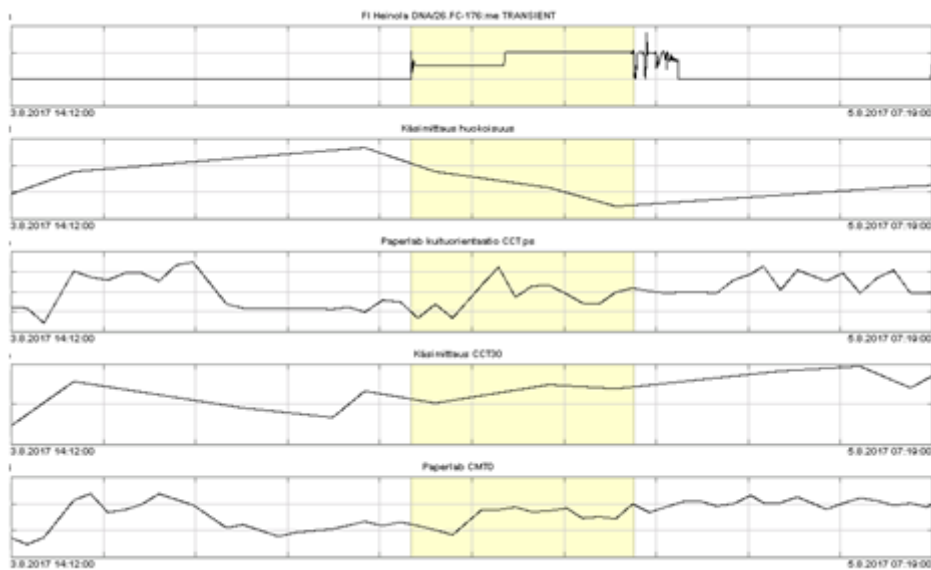


Kuva 24. Jauhimen terävärähtely koeajossa. Ylemmässä kuvaajassa on asetettu teho kW:na ja alemmassa kuvassa on terävärähtely %:ina.

Havaittiin, että UKP hyödyntäminen tehtaalla vaatii investoinnin tehokkaampaan jauhimeen.

#### 10.4.4 Vaikutus lopputuotteen laatuun

Laatuvaikutusta lopputuotteeseen havaittiin tuotteesta tehtävien lujuus, kosteus ja huokoisuusmittausten perusteella. Koska havusulfaattimassaa ei pystytty jauhamaan halutulle tasolle, ei lopputuotteen laatuarvoissa odotettu tapahtuvan muutoksia. Kuvassa 25 on kuvattuna eräät laatuparametrit koeajon aikana. Oranssilla taustalla on merkittynä koeajoajanjakso.



Kuva 25. Laatuparametrien muutos koeajojen aikana

Ylimmässä kuvassa on esitetty koeajetun lisämangan massavirtaus kartonkikoneelle. Alemmassa kuvassa nähdään, että huokoisuus lähtee laskuun noin koeajon hetkellä. Huokoisuuden lasku oli kuitenkin alkanut jo ennen koeajoa ja se lähti nousuun ennen koeajojen päättymistä. Paperiradan kuituorientaatio eli koeajojen aikana, mutta siinä tapahtuneet muutokset eivät ole suoraan rinnastettavissa koeajon aloitus- tai lopetusajanhetkeen. Myöskään tuotetusta kartongista tehdyt CMT- ja CCT-mittaukset eivät muuttuneet lisämangan lisäyksen johdosta.

#### 10.4.5 Muut huomiot koeajosta

Lisämangan ajoa kartonkikoneelle jouduttiin odottamaan tukkeutumisvaikeuksien johdosta, minkä takia osa massasta oli tornissa lähes viikon ja taas osa ajettiin suoraan koneelle.

Havusulfaattimangan vaikutus kartonkikoneen katkoihin vaatii pidemmän testiajojaksen. Nykyinen koeajo kesti kartonkikoneella noin 12 tuntia, mikä ei riitä mahdollisten muutosten havainnointiin esimerkiksi koneen katkoherkkyydessä.

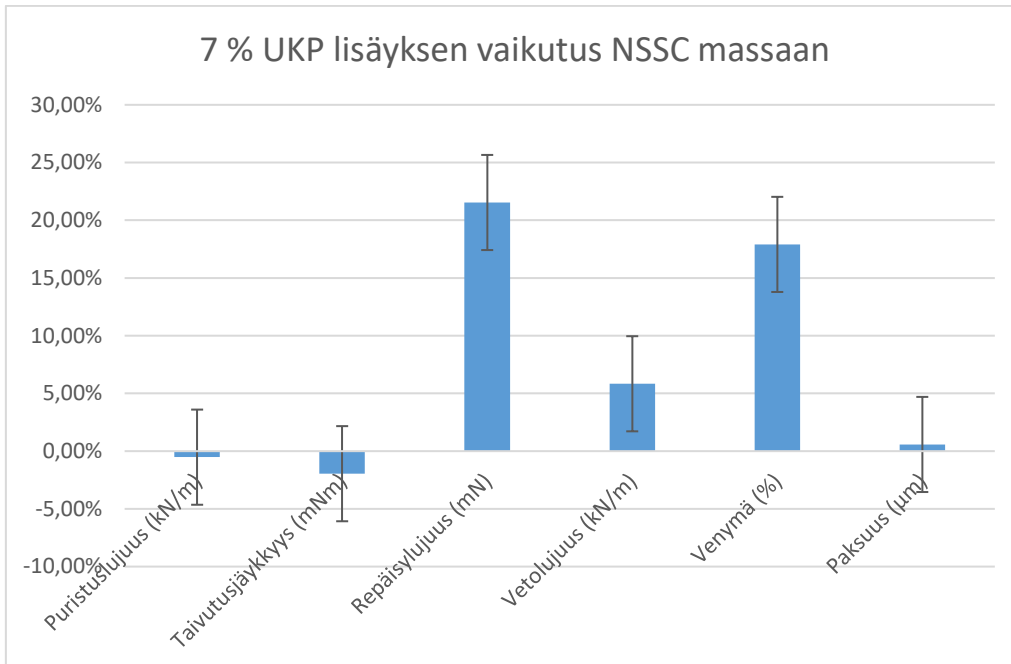
#### 10.4.6 Laboratorioanalyysit havusulfaattimassasta

Riittäväan jauhatustulokseen jauhettua UKP:ta tilattiin Varkauden tehtaalta ja sitä lisättiin 7 % NSSC massaan laboratorio-olosuhteissa. Massojen vertailu on esitettyinä kuvaajassa 6. Kuvaajasta nähdään, että UKP tekee flutingista vähemmän murenevaa, mikä näkyy repäisylujuuden, vetolujuuden ja venymän kasvuna. UKP lisäyksellä saattoi olla myös pieni taivutusjäykkyyttä laskeva vaikutus, mutta ero tuloksissa on niin pieni, ettei sitä 95 % luottamustasolla voida vahvistaa. Tuloksista voidaan päätellä, että UKP lisäämällä voidaan parantaa kartonkikoneen ajettavuutta.

Nollahypoteesina oli, että UKP lisäyksellä ei ole vaikutusta mitattaviin laatuominaisuuksiin. Vaihtoehtoisena hypoteesina oli, että UKP lisäys tuottaa parempia laatuominaisuuksia kuin puhdas NSSC massa. Vaadittavien näytteiden määrä koepistettä kohti oli määritetty eri analyysien standardeissa.

Taulukko 12. Käytetyt menetelmät ja näytemäärät.

	Puristuslujuus-mittaus (kN/m)	Taivutusmittaus (mNm)	Repäisylujuuden mittaaminen (mN)	Vetolujuus (kN/m)	Paksaus (µm)
<b>Käytetty standardi</b>	ISO 9895 / TAPPI T826	SCAN-P 29:95	ISO 1974	SCAN-P 77	ISO 534
<b>Näytteitä mitattu</b>	12	10	32	30	40
<b>Standardin mukainen minimi</b>	10	10	10	10	10



Kuvaaja 6. UKP lisäyksen vaikutus flutingin ajettavuusominaisuuksiin

Kuvaajasta 6 havaitut eroavaisuudet tarkistettiin tilastollisen analyysin avulla. Tulokset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Havusulfaattimassalisäyksen aiheuttamien tulosten tilastollinen tarkastelu.

Väite (vaihtoehtoinen hypoteesi): Fluting $\neq$ UKP+NSSC (näytteiden välillä on ero)			
Nollahypoteesi: Fluting = UKP+NSSC (näytteiden välillä ei ole eroa)			
95 % luotettavuustaso	Eroavaisuuden estimaatti	P-arvo	Lopputulos
Puristuslujuus (kN/m)	0,009	0,948	Nollahypoteesia ei voida hylätä
Tavituslujuus (mNm)	0,024	0,864	Nollahypoteesia ei voida hylätä
Repäisylujuus (kN/m)	-172,1	0,001	Väite jää voimaan (Fluting < UKP+NSSC)
Vetolujuus (kN/m)	-0,3715	0	Väite jää voimaan (Fluting < UKP+NSSC)
Venymä (%)	-0,48	0,024	Väite jää voimaan (Fluting < UKP+NSSC)
Paksuus (µm)	-1,4	0,914	Nollahypoteesia ei voida hylätä
Neliöpaino (g/m <sup>2</sup> )	0,77	0,754	Nollahypoteesia ei voida hylätä

Tulosten tilastollisesta tarkastelusta voidaan havaita, että repäisylujuus, vetolujuus ja venymä ovat korkeammat UKP+NSSC-yhdistelmällä kuin pelkällä NSSC-massalla. Repäisylujuuden ja vetolujuuden on kirjallisuudessa vahvistettu parantavan koneen ajettavuutta (vähentävän katkoherkkyyttä), joten UKP



lisäyksellä voitaisiin saavuttaa lisämassakapasiteetin lisäksi myös vähemmän katkoja ja sitä kautta myös pidempää ajoaikaa kartonkikoneelle, Taulukko 14.

Taulukko 14. Mittaustulokset näyttearkeista tehdyistä määrittämisistä

Näyte	Fluting	UKP+Fluting
Neliöpaino (g/m <sup>2</sup> )	112	111
Puristuslujuus (kN/m)	1,70	1,69
Taivutusjäykkyys (mNm)	1,25	1,22
Repäisylujuus	627	799
Vetolujuus (kN/m)	3,43	3,65
Venymä (%)	2,20	2,68
Paksuus (µm)	249	250

#### 10.5. Johtopäätelmät havusulfaattimassan koeajoista

Havusulfaattimassan syöttäminen linjalle aiheutti eri tekniikoilla vaihtelevia tuloksia. Työnnettäessä havusulfaattimassaa trukilla hihnalle, toisiinsa liimaantuneet paalit aiheuttivat epätasaista syöttöä pulpperiin. Tämä sakeusvaihtelu heijastui myöhempään prosessivaiheisiin aiheuttaen tukoksia lajittamoon. Kun paalit asetettiin tasaisesti hihnalle, pysyi sakeus lisämassalinjalla tasaisena, jolloin lajittamo ei tukkeutunut. Koska havusulfaattimassa ei tarvitse lajittelua kuten muut toisiokuidut, on havusulfaattimassan ajoa varten kannattavaa rakentaa lajittamon ohituslinja. Mikäli lajittamoa kuitenkin halutaan pitää päällä, esimerkiksi jos havusulfaattimassaa halutaan ajaa toisiokuitumassan kanssa sekaisin, on havusulfaattipaalit asetettava tasaisesti hihnalle syöttösakeuden tasaamiseksi.

Rejktiä muodostui lajittamon tukkeutumisten myötä noin 5 % kokonaistuotannosta. Pulperin ei havaittu tuottavan rejktiä havusulfaattimassaa ajettaessa, mutta avoinrakenteinen pulperi voi eri ajomalleissa ja -tilanteissa aiheuttaa saantohäviötä. Tämän johdosta ehdotetaan, että mikäli siirrytään pysyvästi ensiökuitupohjaisten massojen käyttöön, tukitaan

pulpperin rejektipuoli tai kehitetään toimintamalli rejektoidun massan takaisin syöttämiseksi.

Havusulfaattimassaa ei pystytty jauhamaan kuin kolmanneksella suositellusta jauhamistehosta. Havusulfaattimassan mahdollista lujushyötyä ei siksi tehdaskoeajossa pystytty todentamaan. Valmistetuista konerullista tehdyissä mittauksissa ei havaittu laatumuutosta ajettaessa 7 % havusulfaattimassaa flutingiin.

Riittävästi jauhetusta havusulfaattimassasta tehtiin laboratoriossa koearkkeja, joiden lujutta mitattiin. 7 % lisäys aiheutti 18 % parannuksen repäisylujuudessa ja 5 % parannuksen vetolujuudessa. Muut mitatut laatutekijät eivät muuttuneet. Näistä voidaan olettaa, että riittävällä jauhatuksella havusulfaattimassa voi parantaa koneen ajettavuutta, sillä se vähentää aallotuskartongille ominaista murenevuutta.

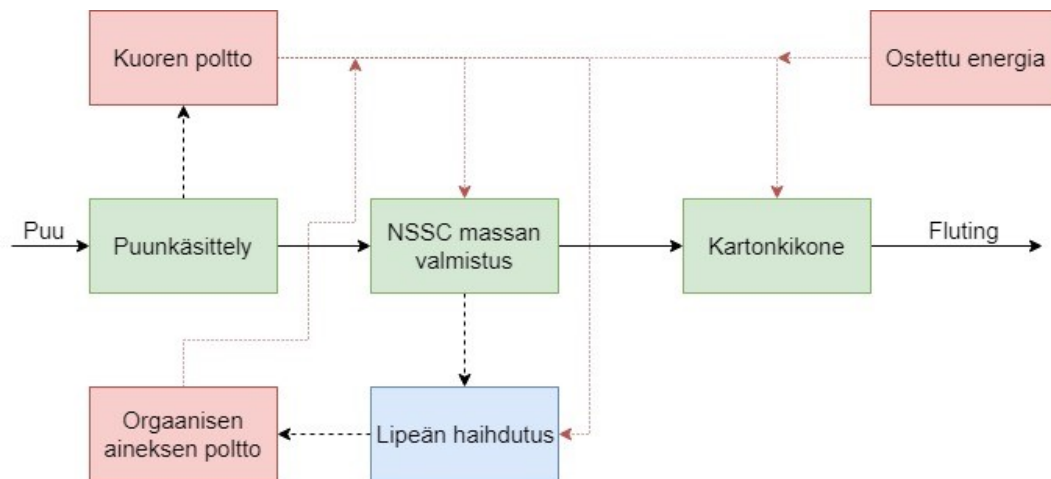
## 11. Valittujen massojen kannattavuusvertailu ja lisäinvestointilaskelmat

Kustannusvertailu tehtiin eniten pisteitä saaneille massoille, aaltopahvijätteelle (EN 642 standardissa 4.01, "CLC") sekä ei-valkaistulle havusulfaattisellulle (*unbleached kraft pulp, UKP*). Laskennassa oletettiin, että toisiokuidun hyödyntäminen laskee koneen ajettavuutta ja UKP:n hyödyntäminen parantaa koneen ajettavuutta. Lisäksi oletettiin, että lopputuotteen hinta pysyy raaka-ainemixistä riippumatta samana.

### 11.1 NSSC massan muuttuvien kustannusten laskeminen

Tässä työssä NSSC valmistuskustannus oletettiin olevan raaka-aineen ja energian hinnan funktio. Tulevien kappaleiden hinta-arviot eivät siis perustu tehtaan

todellisiin lukuihin vaan alla oleviin taselaskuihin. Liitteessä B on esitetty tarkat laskelmat NSSC valmistuskustannuksille. On huomioitava, että laskennassa on jätetty pois esimerkiksi työvoimakustannukset, kemikaalikustannukset ja kunnossapitokustannukset. On myös huomioitava, että laskuissa on käytetty huomattava määrä oletuksia raaka-aineen ominaisuuksista ja prosessien energiatehokkuuksista.



Kuva 26. Havainnollistettu kuva massa- ja energiataselaskusta. Puun muutos flutingiksi on kuvattu mustalla viivalla, pitkällä katkoviivalla on kuvattu materiaalin sivuvirrat (lipeä ja kuori), pisteiviivalla on kuvattu energian (höyryn tai sähkön) virtaus.

Tehtaan puunkulutus voitiin approksimoida seuraavalla menetelmällä:

$$T_{tehdas} = \frac{T_{puu} \cdot c_{NSSC}}{0,9}$$

$$T_{puu} = \rho_{puu} \cdot (V_{puu\&kuori} - V_{kuori})$$

$$V_{kuori} = c_{kuori} \cdot V_{puu\&kuori}$$

$T_{tehdas}$  voitiin käyttää tehtaan ilmoittamaa tuotantolukua ja muut arvot paitsi

$V_{puu\&kuori}$  voitiin etsiä kirjallisuudesta. Siten  $V_{puu\&kuori}$  saatiin myös selville.

Nyt voitiin selvittää kuoren poltosta saavutettava energiamäärä  $\Delta Q_{kuori}$ :

$$\Delta Q_{kuori} = c_{kuori} \cdot \frac{T_{kuori}}{T_{tehdas}}$$

$$T_{kuori} = \rho_{kuori} \cdot \frac{V_{kuori}}{1000}$$

Huomioimalla kuorikattilan hyötysuhde  $\eta_{kuori}$  ja valitsemalla kuorikattilan rakennussuhde  $\sigma_{kuorikattila}$ , voitiin selvittää höyryntuotanto ja sähköntuotanto. Vastaavaa laskumenetelmää käytettiin myös muihin kattiloihin, soodakattilaan ja ostettujen polttoaineiden kattilaan.

$$T_{höyry} = \Delta Q_{kuori} \cdot \sigma_{kuorikattila} \cdot \eta_{kuori}$$

Soodakattilassa poltettavan orgaanisen aineksen määrä voitiin laskea määrittämällä ensin orgaanisen aineksen määrä mustalipeässä  $T_{org}$ :

$$T_{org} = T_{puu} - (T_{tehdas} \cdot 0,9 + T_{epäorg})$$

Missä  $T_{epäorg}$ , epäorgaanisen aineksen vuosituotanto mustalipeässä, oletettiin nolaksi. Nyt voitiin laskea soodakattilan kapasiteetti:

$$T_{soodakattila} = T_{org} \cdot \frac{T_{tehdas}}{d_{oper}}$$

Lisäksi kun  $T_{org}$  tiedetään, tiedetään saatava lämpöarvo kartonkitonnia kohti:

$$\Delta Q_{org} = C_{org} \cdot T_{org}$$

Laskuista saatiin selville tehtaan tuottamat materiaalivirrat. Yllä olevissa laskuissa käytettyjen lyhenteiden selitteet ovat esitettyinä liitteessä B ja samoin käytetyt alkuarvot.

Prosessilaitteistojen vaatima höyryntarve  $\Delta Q_{prosessilaitte}$  laskettiin kaavalla

$$\Delta Q_{prosessilaitte} = mc_p \Delta T$$

Missä  $m$  = lämmitettävän aineen massavirta,  $c_p$  = lämmitettävän aineen ominaislämpö ja  $\Delta T$  on lämpötilan muutos. Vaatimasta energiasta saatiin selville

tehtaan höyrynkulutus, kun prosessilaitteistojen kulutukset laskettiin yhteen. Myös prosessilaitteiden vaatima sähkönkulutus arvioitiin.

Jakamalla prosessilaitteiden vaatima energia  $\Delta Q_{\text{prosessilaitteet}}$  tehtaan tuottamasta energiasta  $\Delta Q_{\text{tehdas}}$  saatiin selville tehtaan energia-omavaraisuusaste, jolla pystyttiin laskemaan ostettujen polttoaineiden tarve.

$$\text{Energiaomavaraisuusaste} = \frac{\Delta Q_{\text{tehdas}}}{\Delta Q_{\text{prosessilaitteet}}}$$

Energia-omavaraisuusasteesta voidaan laskea tarvittava ostettavien polttoaineiden määrä:

$$\Delta Q_{\text{ostetut polttoaineet}} = (1 - \text{Energiaomavaraisuusaste}) \cdot \Delta Q_{\text{prosessilaitteet}}$$

Nyt saadaan tehtyä arvio tehtaan muuttuvista kustannuksista:

$$\epsilon_{\text{muuttuvat}} = \Delta Q_{\text{ostetut polttoaineet}} \cdot \epsilon_{\text{polttoaineet}} + T_{\text{puu}} \cdot \epsilon_{\text{puu}} + \epsilon_{\text{muut}}$$

Taulukossa 15 on esitetty kustannusrakenteen eri vaikutusarvo kokonaiskustannuksiin. Liitteessä B on laskettu vaadittavat puumäärät ja ostettavien polttoaineiden määrät. Hinnat on esitetty suhdelukuna NSSC valmistuskustannuksista.

Taulukko 15. Liitteen B NSSC tuotannon massa- ja energiataseen kautta lasketut kustannukset.

NSSC valmistuksen muuttuvat kustannukset	% kustannuksista	Oletukset
Ostettu puu	38 %	$e/\text{SOB}_{\text{puu}} = e/\text{MWh}_{\text{polttoaine}}$
Ostetut polttoaineet	32 %	$e/\text{SOB}_{\text{puu}} = e/\text{MWh}_{\text{polttoaine}}$
Muut kulut	30 %	30 % kok. kustannuksista.
<b>Yhteensä</b>	<b>100 %</b>	

Taulukossa 16 on esitetty määritelty alkuarvot, joita käytettiin jatkolaskelmissa.

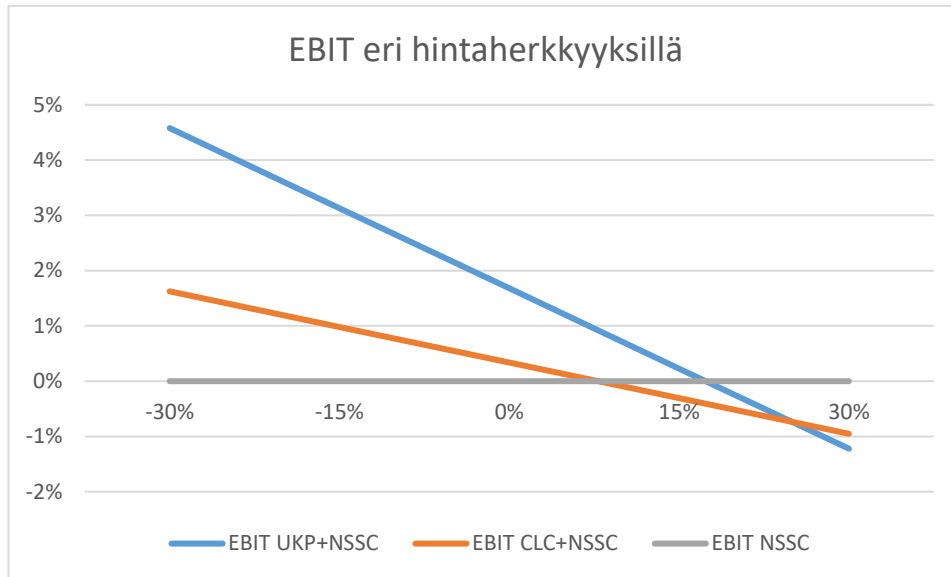
Taulukko 16. Kustannusvertailulaskelman alkuoletukset

<b>NSSC kapasiteetti</b>	285000	t/a
<b>Lisämassinlinjan lisäkapasiteetti</b>	15000	t/a
<b>NSSC valmistuskustannus</b>	100 %	NSSC hinnasta
<b>UKP hinta</b>	170 %	NSSC hinnasta
<b>CLC hinta</b>	80 %	NSSC hinnasta
<b>Lopputuotteen myyntihinta</b>	200 %	NSSC hinnasta
<b>Lisämassinlinjan operoinnin lisäkustannus</b>	4 %	NSSC hinnasta
<b>Kartonkikoneen ajoaika NSSC massalla</b>	95	%
<b>Kartonkikoneen ajoaika NSSC+CLC massalla</b>	-2	%
<b>Kartonkikoneen ajoaika NSSC+UKP massalla</b>	+1	%

Edellä mainitun taulukon pohjalta laskettiin fluting-valmistuksen käyttökate eri vaihtoehtoille.

Edellä mainituilla oletuksilla myyntikate per tonni on paras ajettaessa vain ensiomassaa, mutta ajettavuuden ja lisämassinlinjan lisäkapasiteetin kautta UKP ja CLC lisäykset parantaisivat tehtaan myyntikatetta.

Koska raaka-aineen hinnan voidaan olettaa vaihtelevan markkinatilanteen mukaan reilustikin, voidaan laskea skenaariot erilaisille hinnoille ja tutkia kannattavuutta.



Kuvaaja 7. EBIT % muutos pelkän NSSC:n käyttöön suhteutettuna. X-akselilla on kuvattu tutkittavan lisämääräosa-aineen hinnan %-muutosta alkuoletuksesta.

Oletetuilla lähtöarvoilla siten UKP:n ja CLC:n käytöstä tuleekannattamatonta, kun sen hinta muuttuu yli 15 % alkuperäisestä hinta-arviosta.

## 11.2 Jauhininvestoinnin tuotot ja takaisinmaksuaika

Jauhininvestointi on projekti, joka voi sisältää esimerkiksi seuraavia suoria kustannuseriä:

- Laitteen hinta ja toimituskulut
- Asennustyöt
- Instrumentoinnin ja prosessikontrollon rakentaminen
- Putkityöt
- Sähkötyöt
- Rakentaminen (esimerkiksi pedin valaminen)

Lisäksi kustannuksia tulee epäsuorasti, esimerkiksi:

- Työnjohto
- Työmaakulut

- Urakoitsijan palkkiot
- Ennalta-arvaamattomat kulut

Kokonaisinvestoinnin suuruus tulee näiden kahden kuluerän summasta:

$$Kokonaisinvestointi = \sum \text{suorat kulut} + \sum \text{epäsuorat kulut}$$

Takaisinmaksu voidaan laskea rahavirtaennusteesta, jonka laskemisessa tarvitaan seuraavat arvot, joiden voidaan olettaa pysyvän vakiona vuositasolla:

- Lisäkapasiteetti
- Myyntitulojen muutos
- Muuttuvien kustannusten muutos
- Myyntikatteen muutos
- Kiinteät kustannukset
- Investoinnin vuosierä
- Investoinnin aikakorko
- Investoinnin jäännösarvo
- Diskonttokorko
- Verot

$$\Delta \text{Myyntitulot} = \text{Lisäkapasiteetti} * \text{Myyntihinta}$$

$$\Delta \text{Muuttuvakustannus} = \Delta \text{Muut. kust.}_{\text{uusi}} - \Delta \text{Muut. kust.}_{\text{vanha}}$$

$$\Delta \text{Myyntikate} = \Delta \text{Myyntitulot} + \Delta \text{Muuttuvakustannus}$$

Näistä arvoista voidaan laskea investoinnille uusi käyttökate (*EBITDA earnings before interests, taxes, depreciations and amortizations*):

$$\text{Käyttökate} = \Delta \text{Myyntikate} - \text{Kiinteä kustannus}$$



Jotta voidaan laskea investoinnin liikevoitto (*EBIT earnings before interests and taxes*), tulee laskea poistot:

$$Poistot = \frac{Kokonaisinvestointi}{Maksuaika}$$

Nyt voidaan laskea liikevoitto:

$$Liikevoitto = Käyttökate - Poistot$$

Kun otetaan huomioon verot, saadaan vuosikohtainen nettotulo:

$$Nettotulo = Liikevoitto - Liikevoitto \cdot Vero\%$$

Lopullinen vuosikohtainen kate investoinnille saadaan, kun nettotulokseen lisätään korot, investoinnin vuosierä ja arvonalennus:

$$Kate = Nettotulo + Korke - Investointierä + Arvonalennus$$

Katteen avulla saadaan investoinnin nykyarvo. Nykyarvo pienenee vuositasolla kaavalla:

$$Nykyarvo = \frac{1}{(1 + diskonttokorko)^{vuositaso}}$$

Nyt voidaan laskea investoinnin nettonykyarvo, joka kertoo investoinnin tuoman rahallisen hyödyn annetulla investoinnin tarkasteluajanjaksolla:

$$Nettonykyarvo = \sum Nykyarvo_{vuositaso}$$

Takaisinmaksuaika voidaan laskea

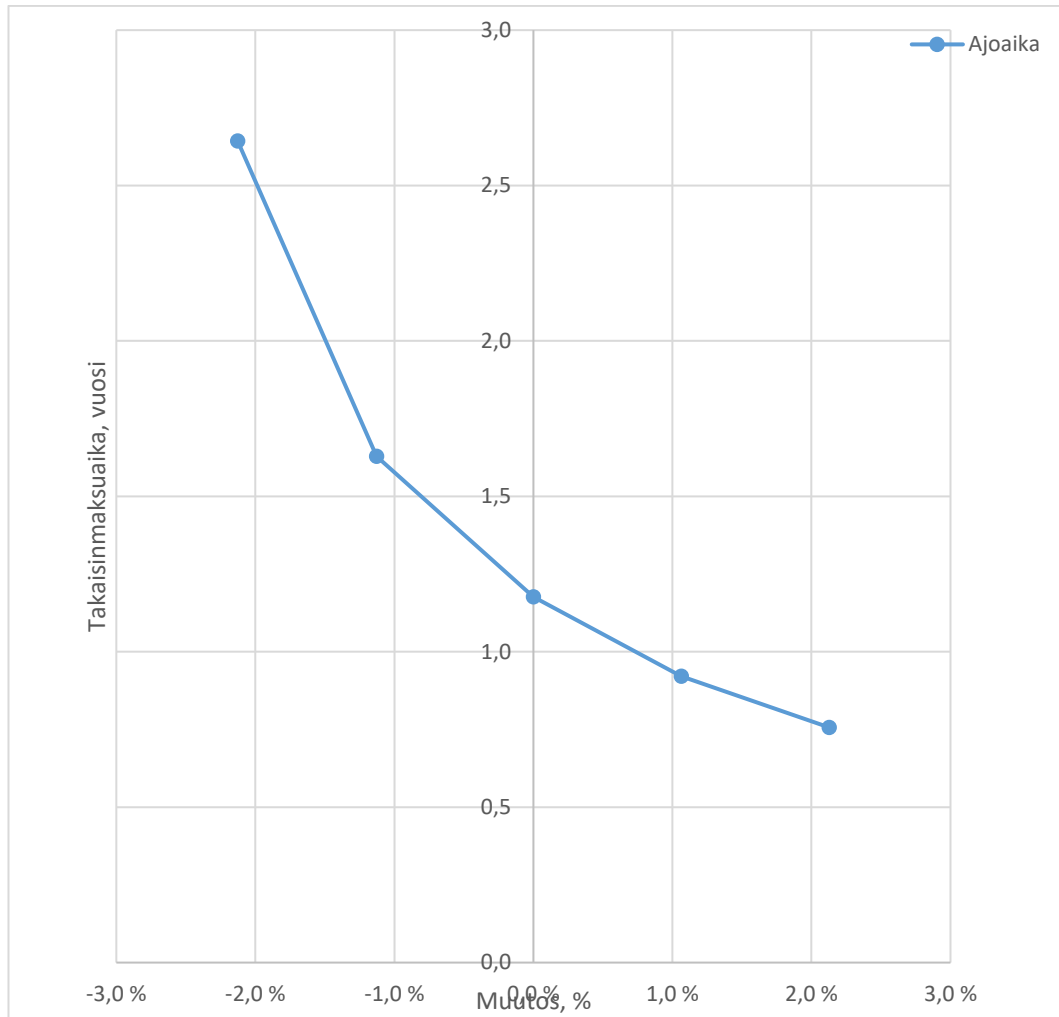
$$Takaisinmaksuaika = - \frac{Kokonaisinvestointi}{Nettotulo}$$

Laskuesimerkki on annettu liitteessä C. Takaisinmaksuajaksi tällä simulaatiolla saatiin 1,5 vuotta. Todellisuudessa kuitenkin epävarmuustekijöitä on esimerkiksi se, että havusulfaattimassan ajettavuushyötyä ei ole voitu todentaa tehdasmittaisella koeajolla. Takaisinmaksuaika on myös hyvin hintavaihteluista raaka-aineessa ja lopputuotteessa.

Mahdollisille muutoksille investoinnissa voidaan laskea herkkyys. Tällä tarkoitetaan sitä, että testataan rahavirtaennustemuuttujan muutoksen vaikutusta takaisinmaksu aikaan. Kuvaajasta 8 voidaan havaita, että 2 % muutos saavutetussa ajoikahyödyssä muuttaa maksuaikaa välillä 0,8 – 2,6 vuotta. Ajoaikamuutoksen  $\Delta Ajoaika$  vaikutus investoinnin vuosituotantoon  $T_{muutos}$  on laskettu kaavalla:

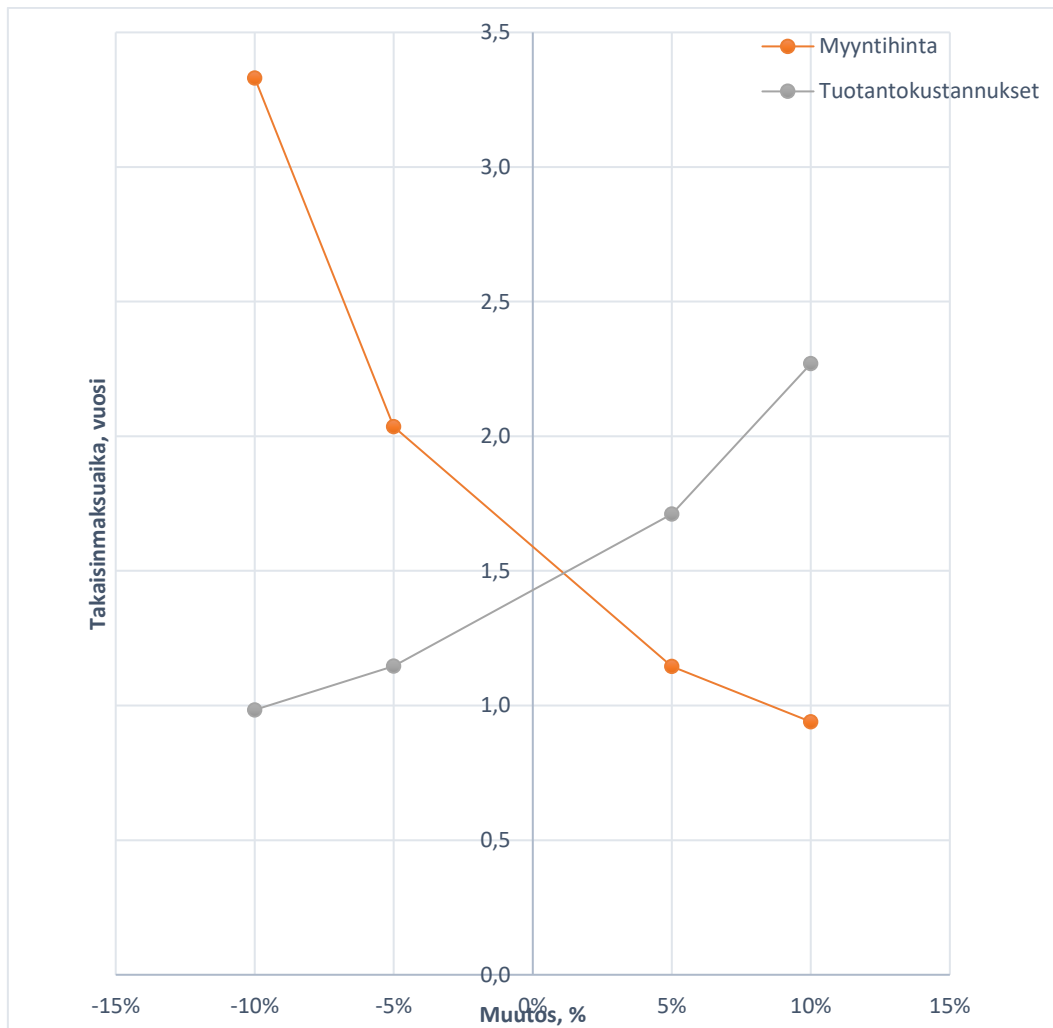
$$T_{muutos} = (T_{UKP} + T_{NSSC}) \cdot \Delta Ajoaika - T_{NSSC} \cdot Ajoaika_{NSSC}$$

Missä T symboloi tuotantomäärää ja NSSC viitteellä tarkoitetaan tuotantolukua, joka olisi ilman jauhinvestointia. Laskemalla takaisinmaksu edellisessä kappaleessa mainitulla menetelmällä, saadaan aikaiseksi seuraava kuvaaja:



Kuvaaja 8. Ajoaika vs takaisinmaksuaika

Kuvaajasta nähdään, että takaisinmaksuajan vaihteluväli annetuilla herkkyysillä on 0,8 – 2,6 vuotta. Niin ikään herkkyyttä voidaan verrata myyntihintamuutoksiin ja tuotantokustannusmuutoksiin. Kuvaajassa 9 on esitetty nämä muutokset.



Kuvaaja 9. Myyntihinta ja tuotantokustannukset vs takaisinmaksuaika

Jauhininvestoinnin takaisinmaksuajan voidaan yllä olevien laskelmien perusteella olla optimitilanteessa 1,5 vuotta ja huonoimmillaan 4 vuotta.

### 11.3 Johtopäätelmät lisämassaraaka-aineen valinnasta

Raaka-aineet pisteytettiin hinnan, laatuvaikutuksen, ajettavuusvaikutuksen ja saatavuuden perusteella. Parhaiten pisteitä sai havusulfaattimassa ja toiseksi eniten CLC. CLC tuo lisätuottoa halvan hintansa takia ja havusulfaattimassa ajettavuuslisäyksen perusteella.

Arvioitiin, että havusulfaattimassan ja CLC:n lisäys voisivat molemmat lisätä parhaimmillaan noin 5 % tehtaan liikevoittoa. On kuitenkin huomioitava, että

hyödyntämisvaikutus on hyvin sensitiivinen raaka-aineen ja lopputuotteen hinnalle. Työssä käytettiin hinta-arvioita, jotka perustuivat NSSC massan laskennallisiin käyttökustannuksiin.

Lisäinvestointitarpeet tehdaskoeajoissa ilmeni havun jauhatukseen. Havun jauhatukselle laskettiin, että takaisinmaksuaika vaihtelee -10 – 10 % herkkyydellä 0,7 – 3,5 vuotta.

## 12. Aallotuskartongista vuotavan värin johtokykyriippuvuus

### 12.1 Tavoitteet

Tavoitteena oli selvittää, mitkä eri tekijät vaikuttavat värin vuotamiseen aallotuskartongista. Kokeessa tehtiin laboratoriotutkimus eri pesuveden johtokyvyillä ja aallotuskartongin jalostusasteilla (aallotettu ja ei-aallotettu). Testeissä mitattiin aallotuskartongista lasikuituun irtoavan värin määrää, kun lasikuitu kastettiin veteen ja laimeaan etikkahappoon.

### 12.2 Tutkimuskysymykset

- Kuinka paljon johtokyky vaikuttaa siirtyvän värin määrään?
- Onko aallotusprosessilla vaikutusta värinsiirtymään?

### 12.3 Materiaalit ja menetelmät

#### 12.3.1 Alkuvalmistelut

Tutkittaessa johtokyvyn vaikutusta aallotuskartonkiin, kerättiin NSSC-massanäyte massapumpulta ennen perälaatikkoa (n. 4 % sakeus). Sen lisäksi kerättiin näyte pesuvedestä. Pesuvesi on kartonkikoneelta pesureille päin virtaavaa kiertovettä. NSSC-massanäyte laimennettiin joko puhtaaseen veteen tai pesuveteen.

Massanäytettä otettiin 100 g 500 ml laimennusliuosta kohti. Taulukossa on koeajosuunnitelma ja mitatut laimennetun massan mitatut johtokyvyt.

*Taulukko 17. Johtokykyvertailun koepisteet.*

	<b>Käytetty laimennusvesi</b>	<b>Johtokyky (mS/cm)</b>
<b>Koepiste 1</b>	Vesijohtovesi	1,55
<b>Koepiste 2</b>	Kartonkikoneen kiertovesi	7,48
<b>Koepiste 3</b>	Kartonkikoneen kiertovesi	9,45 - 10,26

Näyte suodatettiin ja kakku kuivattiin. Kuivatuksessa käytettiin paistolevyä ja kuivatusaika oli 5 minuuttia. Tällä kuivatusajalla havaittiin, että kaikki vesi saatiin haihdutettua pois massakakuista.

Ei-aallotettua ja aallotettua näytettä varten vertailtiin fluting-tehtaan konerullanäytettä (ei-aallotettu) aaltopahvikoneen aallottajan läpi mennyttä näytettä (aallotettu näyte).

*Taulukko 18. Aallotustelan vaikutuksen mittaukseen käytetyt koepisteet*

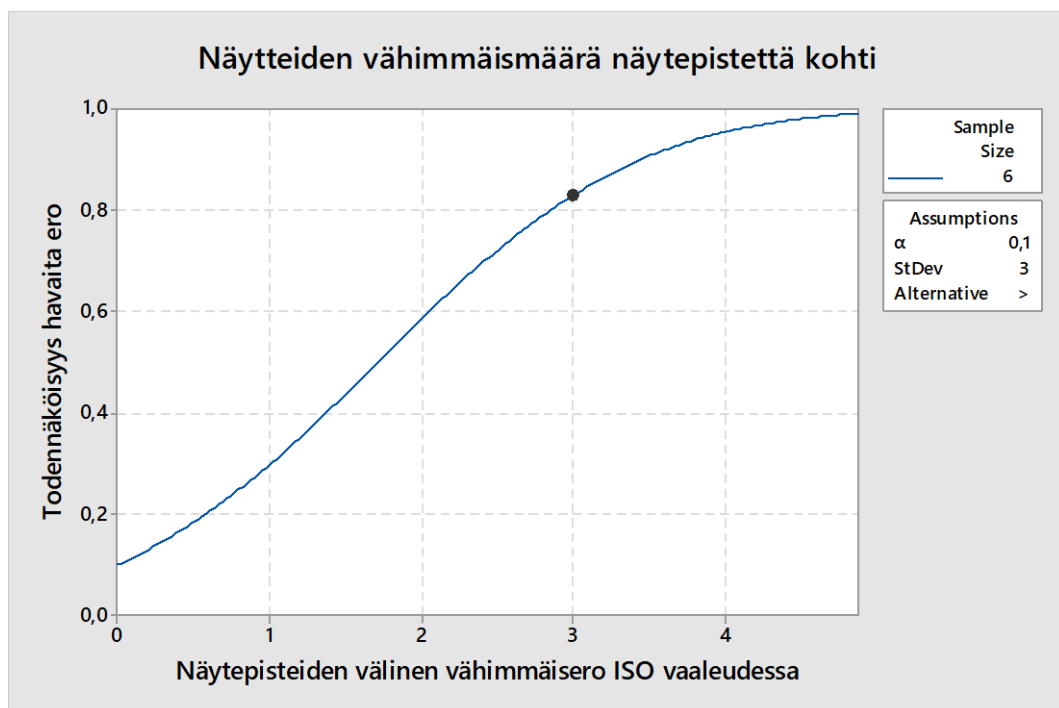
<b>Koepiste 1</b>	Aallottamaton aallotuskartonki
<b>Koepiste 2</b>	Aallotettu aallotuskartonki

### 12.3.2 Mittaukset ja menetelmät

Värinsiirtymäanalyysin menetelmä tehtiin soveltaen standardia EN 646. Tehdyt näytteet asetettiin kahden lasikuitupaperin väliin, jotka oli kyllästetty joko vedellä tai 3 % etikkahappoliuoksella. Näytteet ja lasikuitupaperit vuorattiin muovikalvolla ja asetettiin muovilevyjen väliin ja jätettiin 1 kg painon alle. 24 tunnin jälkeen näytteet irrotettiin ja asetettiin tasaantumaan NTP-olosuhteisiin vuorokaudeksi.

Värinsiirtymää mitattiin lasikuitupaperiin siirtyneestä väristä standardilla EN 646:2006. Muutoksina standardimenetelmään, liuottimina käytettiin vain vettä ja etikkahappoa. Standardissa ei määritetä värinsiirtymän määrän analysointiin liittyvää laitteistoa, mutta tässä työssä värimuutoksia tutkittiin spektrofotometrin

(L&W SE 070 R) ISO vaaleus mittauksilla. Mittauspisteiden vähimmäismääräksi mittapistettä kohti määriteltiin 6, kun oletettiin, että vaaleusmittausten tulos eroaa vähintään 3 yksikköä toisistaan, vaadittiin 80 % todennäköisyyttä havaita muutos koepisteiden välillä ja 90 % luottamustaso tuloksille. Nollahypoteesina käytettiin sitä, että näytteiden välillä ei ole havaittavaa eroa ja vaihtoehtoisena hypoteesina sitä, että pienemmän johtokyvyn näytteissä on siirtynyttä väriä vähemmän (korkeampi ISO vaaleus). Kuvaajassa 10 on havainnollistettu määrittelymenetelmää.



Kuvaaja 10. Näytteiden vähimmäismäärän määrittely koepistettä kohti värinsiirtymäanalyyseissä.

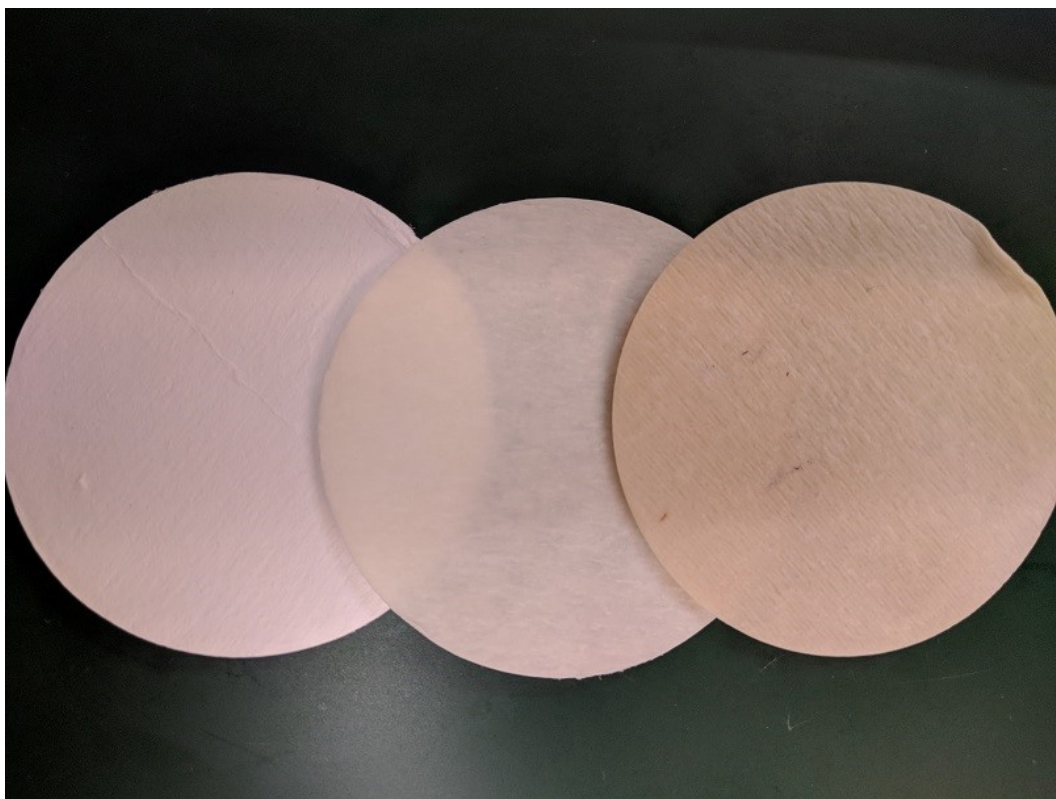
### 12.3.3 Tulosten luotettavuuden arviointi

Kuvaajissa on käytetty 95 % luottamusväliä. Tulosten luotettavuuteen vaikuttavat aaltopahvi- ja aallotuskartonkitehtaalla tapahtuneet prosessimuutokset konerullien valmistuksen välissä. Tehdasympäristössä näitä muuttujia on erittäin monta, kuten NSSC-massan saanto, jauhatustaso, pesumäärä ja ajatun hyllyn määrä. Sen sijaan näytteet valmistettiin yhden henkilön toimesta aina samalla tavalla, joten näytteiden valmistelutavoista johtuvat muutokset voidaan

eliminoida. Näytteitä tehtiin 12 kappaletta mittapistettä kohti, mikä on kaksi kertaa suurempi määrä kuin arvioitu näytteiden vähimmäismäärä.

#### 12.4 Tulokset ja niiden tarkastelu

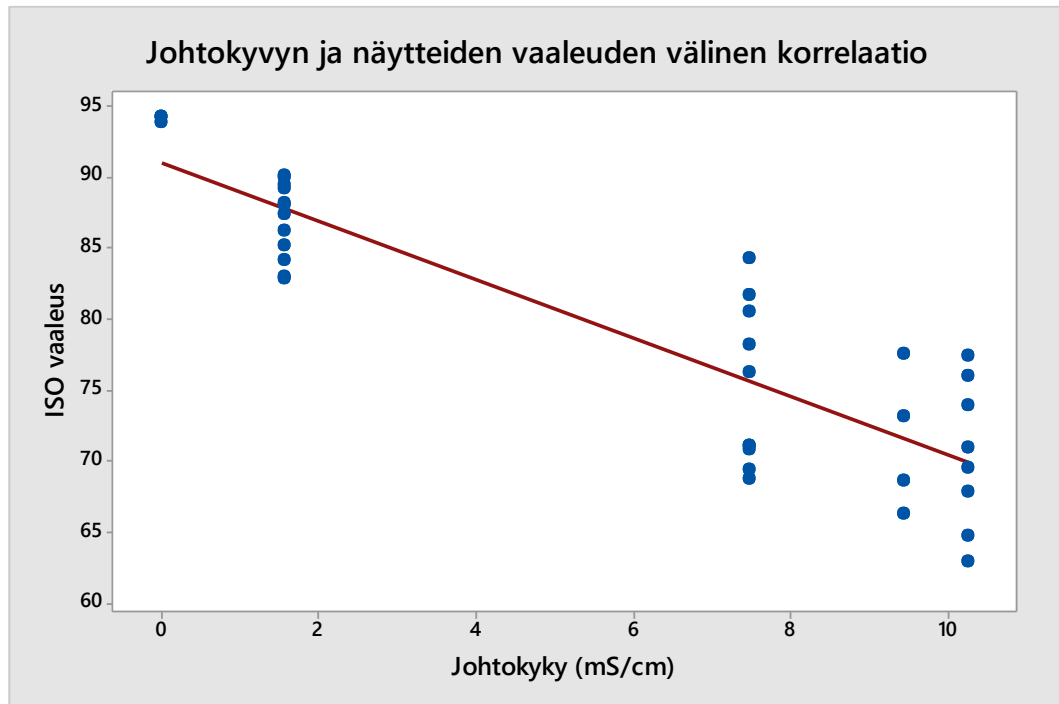
Kuvassa 27 on visualisoitu värinsiirtymän määrää eri ISO vaaleusarvoilla. Vasemmalla on puhdas lasikuitupaperi (ISO vaaleus 94), keskellä on alhaisen johtokyvyn massan kanssa reagoinut lasikuitupaperi (ISO vaaleus 86) ja oikealla erittäin korkean johtokyvyn massan kanssa reagoinut lasikuitupaperi (ISO vaaleus 70).



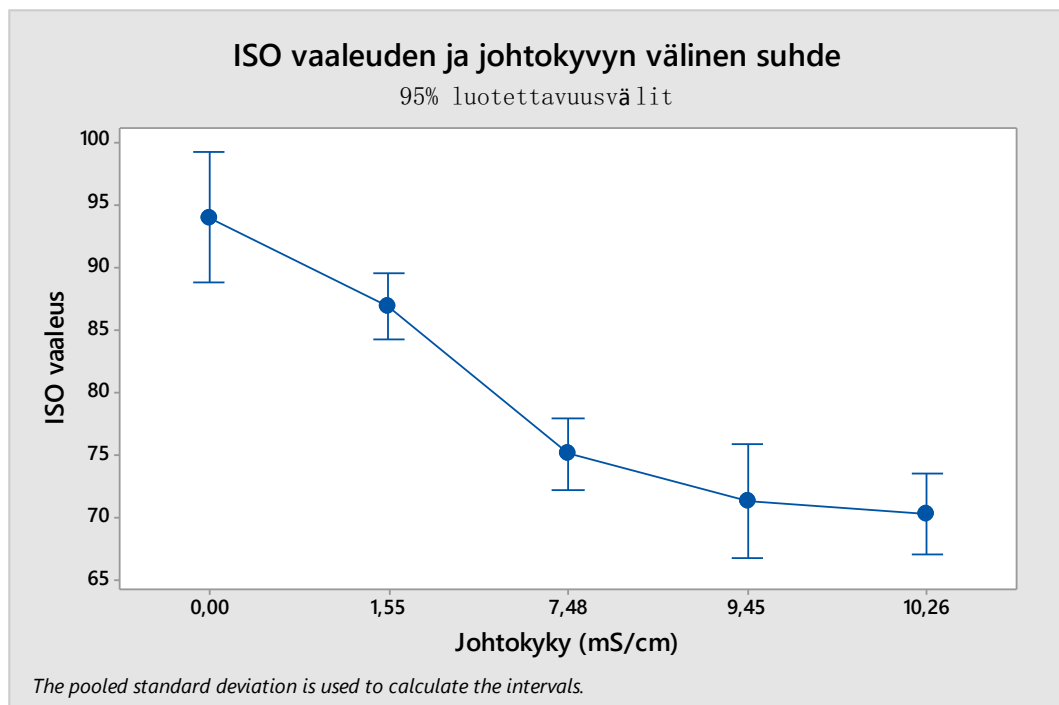
*Kuva 27. Vasemmalta oikealle: puhdas lasikuitupaperi, alhaisen johtokyvyn näyte ja erittäin korkean johtokyvyn näyte.*

Yksityiskohtainen tilastollinen analyysi on esitetty liitteessä F. Päätuloksena havaittiin, että johtokyvyllä ja näytteiden ISO vaaleudella on suora korrelaatio, mikä on esitetty kuvaajassa 11.





Kuvaaja 11. Johtokyvyn ja näytteiden vaaleuden välinen korrelaatio



Kuvaaja 12. Näytteiden ISO vaaleuden ja johtokyvyn välinen suhde 95 % luotettavuusväleillä.

Analyysien perusteella voidaan vahvistaa väite, että NSSC massan johtokyvyllä on suora korrelaatio flutingista irtoavaan väriin. Tästä johtuen ehdotetaan, että

värinsiirtymän ja johtokyvyn välille aletaan rakentaa syvällistä ymmärrystä, jotta voidaan tuntea liiallisen värinsiirtymän rajapiste johtokyvyn funktiona ja mahdollisesti myös löytää juurisyyn värinsiirtymälle. Kirjallisuuden perusteella voidaan olettaa, että irtoava väri on peräisin lipeään liuenneista kromoforiyhdisteistä, jotka ovat riittämättömän pesun tuloksena jääneet lopputuotteeseen eivätkä päätyneet kemikaalikiertoon. Tähän liittyen tehtaalla on jo käynnissä investointiprojekti massan epäpuhtauksien vähentämiseksi (Lammi, 2017).

Värinsiirtymää mitattiin myös aallotetun ja aallottamattoman flutingin välillä. Tilastollisessa analyysissä käytettiin 95 % luottamustasoa, eikä havaittu tilastollisesti merkittävää eroa näytteiden välillä (P-arvo > 0,005). Tulokset ovat esitetty taulukossa 19.

*Taulukko 19. Aallotetun ja aallottamattoman flutingin tulokset.*

<b>Väite: Aallotustelan läpi menneestä aallotuskartongista siirtyy vähemmän väriä kuin aallottamattomasta aallotuskartongista.</b>				
<b>Nollahypoteesi H0: ISO vaaleus aallotettu = ISO vaaleus aallottamaton</b>				
<b>Vaihtoehtoinen hypoteesi H1: ISO vaaleus aallotettu ≠ ISO vaaleus aallottamaton</b>				
	Näytteiden lkm	Keskiarvo	Hajonta	Keskivirhe
<b>Aallottamaton</b>	15	87,181	2,053	0,53
<b>Aallotettu</b>	15	86,622	3,086	0,797
<b>95% luottamustasolla alaraja havaittavalle erotukselle keskiarvossa: 2,40</b>				
<b>P-arvo = 0,700. Nollahypoteesiä ei voida hylätä.</b>				

Näytteitä analysoitaessa havaittiin, että alapuolelle siirtyy enemmän väriä kuin yläpuolelle (analysoitu Liite F). Havaittiin myös, että valituilla reagensseilla ei ollut tilastollisesti havaittavaa eroa värinsiirtymään (Liite F).

Kartonkikoneen läpi ajetusta flutingista siirtyi huomattavasti vähemmän väriä kuin analyysissä käytetyistä NSSC-massakakuista, vaikka johtokyky molemmissa ajotilanteissa oli korkea. Tästä voidaan päätellä, että kartonkikoneen puristus- ja kuivausprosessit vähentävät värinsiirtymän määrää.

### 13. Johtopäätelmät kokeellisesta osiosta

Pisteytysvertailun perusteella aallotuskartongin valmistukseen soveltuu parhaiten havusulfaattisellu (UKP) ja aaltopahvileikkuujäte (CLC). Arvioitiin, että havusulfaattimassan lisäyksellä olla 2 % liikevoittoa parantava vaikutus ja CLC:n käytöllä noin 1 % liikevoittoa parantava vaikutus. Kustannuslaskelmista pääteltiin, että 15 % lisäys CLC:n ja UKP:n lähtökustannuksiin tekisi lisämassan käytöstä vähemmän kannattavaa kuin pelkän NSSC:n käytöstä.

Havusulfaattimassan käyttöä kokeiltiin alun perin CLC:n käsittelyyn rakennetulla linjalla. Havaittiin, että linja kärsi suuresta sakeusvaihtelusta UKP:lla, jonka johdosta lajittamo toimi linjan pullonkaulana. Ehdotettiin, että lajittamo ohitetaan putkilinjalla, sillä UKP ei vaadi lajittelua. Pulpperin rakenteellista muuttamista avoimesta suljetuksi suositeltiin myös harkitsemaan, sillä avoinrakenteinen pulpperi saattaa heikentää UKP:n kokonaissaantoa ja UKP ei sisällä lainkaan rejektijakeita. Toisaalta tällöin myös mahdollisuus käyttää CLC:tä häviäisi. Lisäksi koeajossa olleet lisämassajauhimet eivät soveltuneet UKP:lle, minkä takia koeajon laatu- ja ajettavuusvaikutusta koneella ei havaittu. Tehokkaammasta jauhatuksesta tehtiin laboratoriosimulaatio ja havaittiin, että repäisy- ja vetolujuutta voidaan parantaa UKP-lisäyksellä. Paremmat lujuusominaisuudet vähentävät kartongin murenevuutta ja katkoherkkyyttä, mikä tarkoittaa potentiaalista ajettavuuden parantumista. Päätelmien pohjalta tehtiin investointilaskelmat vaadittavista investoinneista, jauhimesta ja ohituslinjasta. Laskelmien perusteella investointien takaisinmaksuaika on 0,7 – 3,5 vuotta -10 – 10 % herkkydellä.

Aallotuskartongista vuotavan värin johtokykyriippuvuustesteissä havaittiin suora korrelaatio NSSC massan johtokyvyllä ja näytteiden vaaleudella. Testien perusteella aallotuskartongin tuoteturvallisuuden mittarina voidaan pitää massan johtokykyä. Ehdotuksena on, että kartonkikoneen kiertoveden johtokyvyssä tapahtuneiden muutosten vaikutusta flutingin värinsiirtymään seurataan

säännöllisesti, jotta voidaan rakentaa syvälinen ymmärrys johtokyvyn ja värinsiirtymän väliselle yhteydelle. Industry Guideline ohjeistuksen mukaisesti värinsiirtymäanalyysin valitsemista tehtaan rutiinimittaukseksi myös ehdotetaan, sillä sen avulla voidaan tehdä päätelmiä aallotuskartongista vuotavan materiaalin määrästä ja siten myös mahdollisista tuoteturvallisuusriskeistä.

## 14.Liitteet

## Liite A. Luettelo kohdetehdasta ympäröivistä tehtaista

Laji	1000 km säteen kokonaiskapasiteetti	Käytettävissä oleva kapasiteetti	Tehtaiden lkm	Lähin tehdas etäisyys	2. lähin tehdas etäisyys
Valkaisematon havusellu	998 500	988515	5	190	200
Valkaistu havusellu	4 986 667	4936800	12	70	125
Valkaistu koivusellu	1 711 667	1694550	5	70	160
Fluting	720 833	7208	5	260	590
Laineri	1 438 333	14383	6	190	200
Aaltopahvi (CLC)	160 000	8000	8	5	50
Mekaaninen massa	3 154 167	3122625	14	340	370
Taivekartonki	4 686 667	46867	17	100	180
Paperit	7 033 000	70330	20	70	100
Erikoispaperit ja hylsykartonki	452 000	4520	3	70	120

TEHDASTYYPPI	PAIKKAKUNTA	TUOTTEET	ETÄISYYS	TUOTANTO (t/a)
Kartonkitehdas	Heinola	FK	0	300 000
Paperitehdas	Kouvola, Kuusankoski	TP, EP	70	800 000
Sellutehdas	Kouvola, Kymi	VHS, VKS	70	700 000
Kartonkitehdas	Inkeroinen	TK	100	280 000
Paperitehdas	Kouvola, Anjalankoski	TP	100	400 000
Paperitehdas	Janakkala, Tervakoski	TP, EP	115	110 000
Pakkaustehdas	Kotka, Korkeakoski	HK	120	90 000

Sellutehdas	Kotka, Sunila	VHS	125	370 000
Paperitehdas	Jämsä, Kaipola	TP	130	710 000
Paperitehdas	Kotka	TP, EP	130	336 000
Paperitehdas	Jämsänkoski	TP, EP	140	610 000
Paperitehdas	Valkeakoski, Tervasaari	TP, EP	150	300 000
Paperitehdas	Lappeenranta, Kaukaa	TP	160	310 000
Sellutehdas	Lappeenranta, Kaukaa	VHS, VKS	160	740 000
Kartonkitehdas	Tampere, Tako	TK	180	205 000
Kartonkitehdas	Äänekoski	TK	180	240 000
Paperitehdas	Lohja, Kirkniemi	TP	180	740 000
Paperitehdas	Mänttä	PP	180	122 000
Sellutehdas	Joutseno	VHS	180	690 000
Sellutehdas	Äänekoski	VHS	180	530 000
Kartonkitehdas	Varkaus	EVHS, LK	190	390 000
Paperitehdas	Nokia	PP	190	100000
Kartonkitehdas	Imatra, Kaukopää	TK	200	670 000
Kartonkitehdas	Imatra, Tainionkoski	TK	200	270 000
Paperitehdas	Imatra, Kaukopää	EP	200	100 000
Sellutehdas	Imatra, Kaukopää	VHS, VKS	200	850 000
Sellutehdas	Imatra, Tainionkoski	EVHS, LK	200	170 000
Kartonkitehdas	Kyröskoski	TK	220	190 000
Kartonkitehdas	Simpele, Rautjärvi	TK	240	300 000
Paperitehdas	Simpele	EP	240	280 000
Kartonkitehdas	Kuopio, Sorsasalo	FK	260	275 000
Paperitehdas	Eura, Kauttua	EP	270	82 000
Kartonkitehdas	Pori	HK	280	120 000
Paperitehdas	Rauma	TP	300	955 000
Sellutehdas	Rauma	ES	300	150 000
Sellutehdas	Rauma	VHS	300	650 000
Sellutehdas	Uimaharju	VHS, VKS, ES	350	500 000
Kartonkitehdas	Liekka, Pankakoski	EK	400	95 000
Paperitehdas	Pietarsaari	VP	400	200 000
Sellutehdas	Pietarsaari	VHS, VKS	400	800 000
Sellutehdas	Oulu	TP	500	370 000
Kartonkitehdas	Kemi	TK	600	420 000
Paperitehdas	Kemi, Veitsiluoto	TP, EP	600	800 000
Sellutehdas	Kemi	VHS	600	590 000
Sellutehdas	Kemi, Veitsiluoto	VHS	600	400 000
Pakkaustehdas	Ii	AP	520	20000
Pakkaustehdas	Kuopio	AP	260	20000
Pakkaustehdas	Turku	AP	280	20000
Pakkaustehdas	Viiala	AP	170	20000

Pakkaustehdas	Heinola	AP	5	20000
Pakkaustehdas	Lahti	AP	50	20000
Pakkaustehdas	Tiukka	AP	350	20000
Mekaaninen massa	Kaskinen	MMM	370	340000
Mekaaninen massa	Kunda, Viro	MMM	340	160000
Paperitehdas	Kehra, Viro	VP	280	20000
Kartonkitehdas, Paperitehdas, Sellutehdas	Arkhangel, Venäjä	VHS, TK, TP	1500	285000
Kartonkitehdas, Paperitehdas, Sellutehdas	Koryazhma, Venäjä	VHS, LK, FK, TP	1600	1000000
Pakkaustehdas	Kommunar, Venäjä	AP	400	20000
Mekaaninen massa, Paperitehdas	Svetogorsk	MM, TP	200	200000
Sellutehdas, Paperitehdas	Karlsborg, Ruotsi	MS, VP	870	350000
Kartonkitehdas, Sellutehdas	Husum, Ruotsi	MS, TK, LK	610	750000
Kartonkitehdas, sellutehdas	Östrand, Ruotsi	MS, TK, MM	770	550000
Kartonkitehdas, sellutehdas	Iggesund, Ruotsi	MS, TK	880	350000
Sellutehdas	Vallvik, Ruotsi	MS (EVHS)	760	250000
Sellutehdas	Skutskär, Ruotsi	MS	690	550000
Sellutehdas, kartonkitehdas	Gruvön, Ruotsi	MS, FK, MM, TK, LK, VP	910	650000
Sellutehdas, paperitehdas	Bäckhammar, Ruotsi	MS (EVHS), VP	860	200000
Sellutehdas	Munksjö, Ruotsi	MS (EVHS)	920	150000
Sellutehdas, kartonkitehdas, Paperitehdas	Solna, Ruotsi	MS, FK, MM, VP	590	350000
Sellutehdas	Värö, Ruotsi	MS	1080	450000
Sellutehdas	Mönsterås, Ruotsi	MS	970	750000
Sellutehdas	Mörrum	MS, ES	1120	450000
Kartonkitehdas	Munksund, Ruotsi	LK	790	350000
Kartonkitehdas	Obbola, Ruotsi	LK	520	450000
Paperitehdas	Dynäs, Ruotsi	VP	720	250000
Kartonkitehdas	Gävle, Ruotsi	TK, LK	710	750000
Kartonkitehdas	Frövi, Ruotsi	TK	760	450000
Kartonkitehdas	Skoghall, Ruotsi	MM, TK, LK	890	750000
Sellutehdas	Domsjö, Ruotsi	MS, ES	650	250000
Sellutehdas, Paperitehdas	Nymölla, Ruotsi	MS, TP	1160	450000
Mekaaninen massan	Rottnero, Ruotsi	MMM	940	150000
Mekaaninen massa	Bråviken, Ruotsi	MMM, TP	740	550000
Mekaaninen massa	Waggeryd, Ruotsi	MMM	950	150000
Paperitehdas	Ortviken	MM, TP	780	800000
Paperitehdas	Kvarnsveden, Ruotsi	MM, TP	790	800000
Kartonkitehdas	Fors, Ruotsi	MM, TK	730	450000
Paperitehdas	Hallsta, Ruotsi	MM, TP	720	650000

LYHENNE	SELITYS
MS	Markkinasellu
EVHS	Valkaisematon havusellu
VHS	Valkaistu havusellu
VKS	Valkaistu koivusellu
ES	Erikoissellu
MM	Mekaaninen massa: BCTMP, CTMP, TMP, muut
MM	
M	Markkina mekaaninen massa
FK	Fluting
TK	Taivekartonki
LK	Laineri
HK	Hylsykartonki
EK	Erikoiskartonki
AP	Aaltopahvi
TP	Tavalliset paperit: aikakauslehtipaperi, luettelopaperi, sanomalehtipaperi, painopaperit, hienopaperit
VP	Voimapaperi
PP	Pehmopaperi

#### Liite B. NSSC massan valmistuskustannusarvio

Selitteet kaavoissa käytetyistä lyhenteistä ja alkuarvot:

- $T_{\text{tehdas}}$  = Tehtaan vuosituotanto, ADt/a
- $T_{\text{puu}}$  = Puun vuosikulutus t/a (kuorittu puu)
- $T_{\text{kuori}}$  = Kuoren vuosikulutus t/a
- $V_{\text{puu\&kuori}}$  = Puun ja kuoren vuosikulutus m<sup>3</sup>/a (tehtaalle tuotava puu)
- $V_{\text{kuori}}$  = Kuoren vuosikulutus (m<sup>3</sup>/a)
- $c_{\text{kuori}}$  = 12,2 %, missä  $c_{\text{kuori}}$  on kuoren massaosuus
- $\rho_{\text{kuori}}$  = 320 kg/m<sup>3</sup>, missä  $\rho_{\text{kuori}}$  on kuoren tiheys
- $\rho_{\text{puu}}$  = 400 kg/m<sup>3</sup>, missä  $\rho_{\text{puu}}$  on puun tiheys
- $d_{\text{oper}}$  = 350 d, missä  $d_{\text{oper}}$  on tehtaan operointipäivät vuodessa
- $E_{\text{kuori}}$  = Kuoresta saatava lämpöarvo tuotettua kartonkitonnia kohti (GJ/ADt)
- $C_{\text{kuori}}$  = 20 MJ/kg, missä  $C_{\text{kuori}}$  on kuoren lämpökapasiteetti
- $\eta_{\text{kuori}}$  = 85 %, missä  $\eta_{\text{kuori}}$  on kuorikattilan hyötysuhde



- $\sigma_{\text{kuorikattila}} = 90 \%$  höyryä, missä  $\sigma_{\text{kuorikattila}}$  on kuorikattilan rakennussuhde ( $1 - \sigma_{\text{kuorikattila}} = \text{sähkön osuus}$ )
- $T_{\text{höyry}} = \text{Höyryn tuotanto kattilasta}$
- $c_{\text{NSSC}} = 80 \%$ , missä  $c_{\text{NSSC}}$  on keiton saanto puusta
- $KAP_{\text{hake}} = 50 \%$ , missä  $KAP_{\text{hake}}$  on hakkeen kuiva-ainepitoisuus
- $E_{\text{org}} = \text{orgaanisesta aineksesta saatava lämpömäärä GJ/ADt}$
- $C_{\text{org}} = 13,5 \text{ MJ/kg}$ , missä  $C_{\text{org}}$  on mustalipeän orgaanisen aineksen lämpöarvo
- $T_{\text{org}} = \text{Mustalipeään liunneen orgaanisen aineksen tuotanto t DS. /a}$
- $T_{\text{soodakattila}} = \text{soodakattilan päivätuotanto t DS. org / d}$
- $\eta_{\text{soodakattila}} = 75 \%$ , missä  $\eta_{\text{soodakattila}}$  on soodattilan hyötysuhde
- $\sigma_{\text{soodakattila}} = 90 \%$  höyryä, missä  $\sigma_{\text{soodakattila}}$  on soodakattilan rakennussuhde ( $1 - \sigma$  on sähkön osuus)
- $\eta_{\text{ostetut polttoaineet}} = 75 \%$ , missä  $\eta_{\text{ostetut polttoaineet}}$  on ostettujen polttoaineiden kattilan hyötysuhde
- $C_{\text{ostetut polttoaineet}} = 3 \text{ GJ/ADt}$ , missä  $C_{\text{ostetut polttoaineet}}$  on ostettujen polttoaineiden lämpöarvo
- $\sigma_{\text{ostetut polttoaineet}} = 90 \%$  höyryä, missä  $\sigma_{\text{ostetut polttoaineet}}$  on ostettujen polttoaineiden kattilan rakennussuhde ( $1 - \sigma$  on sähkön osuus)

NSSC integraatin vuosikulutuslaskelmat					
<b>Materiaalivirrat</b>					
<b>Tehtaan tuotanto</b>				285000	ADt/a
<b>Tehtaan operointipäivät vuodessa</b>				350	d
<b>Puu+kuori yhteensä</b>				912941	m3/a
<b>Kuorta</b>	puussa	12	%	109553	m3/a
	Tiheys	500	kg/m3	54776	t/a
				803388	m3/a
<b>Puuta</b>	Tiheys	400	kg/m3	321355	t/a
<b>Kuorikattilan energiantuotanto</b>	Lämpökapasiteetti	20	MJ/kg	3,84	GJ/ADt
	hyötysuhde	85 %			
<b>Höyryntuotanto, GJ/ADt</b>				2,93	GJ/ADt
<b>Sähköntuotanto, GJ/ADt</b>				0,33	GJ/ADt

<b>Keiton saanto, % puusta</b>		80 %			
<b>Hakkeen kosteuspitoisuus</b>		50 %			
<b>Liennut orgaaninen materiaali mustalipeässä</b>				0,25	t DS org./ADt
<b>Org. aineksen lämpöarvo</b>		13,5	MJ/kg ds		
		3,375	GJ/ADt		
<b>Soodakattilan mitoitus, t DS/d</b>				204,0	t DS org / d
	hyötysuhde	75 %			
<b>Höyryn tuotanto GJ/ADt</b>				2,28	
<b>Sähkön tuotanto GJ/ADt</b>				0,25	
<b>Rakennussuhde</b>	Höyryä	90 %			
	Sähköä	10 %			
<b>Ostetut polttoaineet</b>				2,82	GJ/ADt
	hyötysuhde	75 %			
<b>Höyryn tuotanto GJ/ADt</b>				1,90	
<b>Sähkön tuotanto GJ/ADt</b>				0,21	
<b>Rakennussuhde</b>	Höyryä	90 %			
	Sähköä	10 %			
<b>NSSC integraatin energiataselaukukset</b>					
<b>NSSC integraatin höyrytase</b>			GJ/ADt	GJ/a	
<b>Kulutus</b>					
<b>Puunkäsittely</b>			0,00	0	
<b>Keitto ja kuidutus</b>			0,80	228683	
<b>Pesu ja jauhatus</b>			0,00	0	
<b>Talteenotto</b>			1,90	543313	
<b>Kartonkikone</b>			3,41	973761	
<b>Yhteensä</b>			6,11	1745757	
<b>Höyrytuotanto soodakattila + kuorikattila</b>			7,12	2032764	
<b>Lämpötase</b>			1,00	287007	
<b>NSSC integraatin sähkötase</b>	GJ/a	GJ/ADt	kWh/ADt	kWh/a	
<b>Kulutus</b>					
<b>Puunkäsittely</b>	51413	0,18	50	14282460	
<b>Keitto ja kuidutus</b>	102825	0,36	100	28564920	

<b>Pesu ja jauhatus</b>	51413	0,18	50	14282460	
<b>Haihduuttamo</b>	30848	0,11	30	8569476	
<b>Talteenotto muut</b>	30848	0,11	30	8569476	
<b>Kartonkikone</b>	102825	0,36	100	28564920	
<b>Muut</b>	61695	0,22	60	17138952	
<b>Jäteveden käsittely</b>	20565	0,07	20	5712984	
<b>Yhteensä</b>	452432	1,58	440	12568564 9	
<b>Sähköntuotanto soodakattila + kuorikattila</b>	165425	0,58	161	45955057	
<b>Sähkötase</b>	-287007	-1,00	-279	- 79730592	
<b>Energia-omavaraisuus</b>				<b>100 %</b>	
Josta ostetun energian osuus				<b>28 %</b>	

### Liite C. Jauhininvestoinnin kustannuslaskelmat

<b>Arvio kokonaisinvestoinnin suuruudesta</b>		
<b>Yksikkö: euro</b>		
<b>Havumassan jauhatus + jauhimen ohituslinja</b>		<b>Hinta-arvio</b>
<b>Suorat kustannukset</b>		
Laite ostettu ja toimitettuna		1 000 000,00
Asennustyöt		500 000,00
Instrumentointi ja kontrollointi		100 000,00
Putkityöt		50 000,00
Sähkötyöt		50 000,00
Rakennukset		50 000,00
<b>Suorat kustannukset yhteensä</b>		<b>1 750 000,00</b>
<b>Epäsuorat kustannukset</b>		
Työnjohto		300 000,00
Työmaakulut		20 000,00
<b>Epäsuorat ja suorat kustannukset yhteensä</b>		<b>320 000,00</b>
Urakoitsijan palkkio		100 000,00
Ennalta-arvaamattomat kulut		249 000,00
<b>Kokonaisinvestoinnin suuruus</b>		<b>2 419 000,00</b>

Rahavirran ennuste kun jauhininvestointi tuo lisäkapasiteettia 23100 t/a UKP:lla							
Vuosi	0	1	2	3	4	5	Yksikkö
Myyntitulot	0	100	100	100	100	100	% myyntitulosta
Muuttuvat kustannukset		-75 %	-75 %	-75 %	-75 %	-75 %	% myyntitulosta
Myyntikate		25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	% myyntitulosta
Kiinteät käyttökustannukset €/a		-3 %	-3 %	-3 %	-3 %	-3 %	% myyntitulosta
Käyttökate		22 %	22 %	22 %	22 %	22 %	% myyntitulosta
Poistot		-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	% myyntitulosta
EBIT		18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	% myyntitulosta
Verot 20 %		-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	% myyntitulosta
Nettotulo		14 %	14 %	14 %	14 %	14 %	% myyntitulosta
Korko	0	0	0	0	0	0	% myyntitulosta
Investointi	-2 419 000,00	0	0	0	0	0	€
Arvonlennus	0	481800	481800	481800	481800	481800	€
Liikevoitto ennen veroja		18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	% myyntitulosta
Diskonttokorko	1	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	
Nykyarvo PV		2129943	2122945	2135811	2141522	2135242	€
Nettonykyarvo NPV	5663235						€
ROI %	-100	88,14	88,14	88,14	88,14	88,14	%
Takaisinmaksuaika-keskiarvo	1,5	a					

## Liite D. Havusulfaattimassan laboratoriokokeiden tulokset

Näytekoodi	g (massa)	g (arkki)	Näyte2	g/m <sup>2</sup>	Puristuslujusmittaus (kN/m)	Taivutusmittaus (mNm)	stiffness	Repäisyjuuuden mitaaminen	Vetojujuus (kN/m)	Venyä (%)	Paksuus (µm)
F1	47,1	3,427	Fluting	125,9	1,99	2,04	762				223
F2	45	3,004	Fluting	110,3	1,52	1,32	549				
F3	44,7	2,885	Fluting	106,0				3,0602		1,80	
F4	49,6	3,316	Fluting	121,8							
F5	48,5	3,08	Fluting	113,1	1,46	1,58	762			3,85	1,75
F6	47,8	3,189	Fluting	117,1						3,40	2,32
F7	47,7	2,965	Fluting	108,9	1,79	1,00	696				
F8	49,1	2,998	Fluting	110,1	1,78	1,00	555			3,49	2,38
F9	45,2	2,90	Fluting	106,5						3,41	2,39
F10	47,2	2,97	Fluting	109,1							
F11	48,1	2,92	Fluting	107,1							
F12	47,6	2,92	Fluting	107,4	1,69	1,16	542			3,38	2,57
F13	48,4	3,04	Fluting	111,5							
<b>Fluting Keskiarvo</b>				<b>111,9</b>	<b>1,70</b>	<b>1,25</b>	<b>627</b>		<b>3,43</b>	<b>2,20</b>	<b>248,8</b>
Flutign Hajonta				6,7	0,22	0,34	105,9		0,28	0,32	18,2
Fluting hajonta % kasta				6%	13%	27%	17%		8%	15%	7%
UKP1	50,8	2,76	UKP+Flut.	101,3	1,20	0,91	764				230
UKP2	50,4	2,95	UKP+Flut.	108,2							
UKP3	49,1	3,21	UKP+Flut.	117,7							
UKP4	49,7	2,95	UKP+Flut.	108,4	1,67	1,07	877			3,73	3,02
UKP5	49,4	3,08	UKP+Flut.	113,1							
UKP6	49,9	3,10	UKP+Flut.	114,0	1,77	1,13	867			3,71	2,75
UKP7	50,3	3,13	UKP+Flut.	114,9							
UKP8	50,2	3,42	UKP+Flut.	125,5	2,09	1,93	799			4,16	2,48
UKP9	48,9	3,27	UKP+Flut.	120,1							275
UKP10	50,5	3,01	UKP+Flut.	110,6	1,85	1,28	867			3,76	2,78
UKP11	48,9	3,02	UKP+Flut.	111,1							251
UKP12	48,4	2,93	UKP+Flut.	107,5	1,77	1,02	791			3,43	2,65
UKP13	48,8	2,75	UKP+Flut.	101,0							
UKP14	48,9	2,87	UKP+Flut.	105,5	1,52	1,04	700				230
UKP15	49,2	2,95	UKP+Flut.	108,4						3,01	2,13
<b>UKP Keskiarvo</b>				<b>111,2</b>	<b>1,69</b>	<b>1,22</b>	<b>799,125</b>		<b>3,65</b>	<b>2,68</b>	<b>250,2</b>
UKP Hajonta				5,6	0,16	0,34	41,6		0,26	0,20	12,1
UKP hajonta % kasta				5%	10%	28%	5%		7%	7%	5%

## Liite E. Värinsiirtymäanalyysimittausten tulokset

Näytteen nimi	Johtokyky mS/cm	water/acetic	ISO brightness
Ref1_100	1,55	acetic	89,47
Ref2_100	1,55	water	90,02
Ref3_100	1,55	acetic	89,95
Ref4_100	1,55	water	88,15
Ref5_100	1,55	acetic	85,2
Ref6_100	1,55	water	87,32
Pesuvesi1_100	9,45	acetic	73,16
Pesuvesi2_100	9,45	water	77,48
Puristinsuodos1_100	10,26	acetic	70,92
Puristinsuodos2_100	10,26	water	73,94
Puristinsuodos3_100	10,26	acetic	64,7
Puristinsuodos4_100	10,26	water	67,83
2_Pesuvesi_100	7,48	acetic	76,18
2_Pesuvesi2_100	7,48	acetic	78,09
2_Pesuvesi3_100	7,48	water	81,66
2_Pesuvesi4_100	7,48	water	80,53
2_Pesuvesi5_100	7,48	acetic	84,21
Ref7_100	1,55	acetic	82,83
Ref8_100	1,55	water	86,12
Ref9_100	1,55	acetic	88,05
Ref10_100	1,55	water	84,14
Ref11_100	1,55	acetic	89,12
Ref12_100	1,55	water	82,89
Pesuvesi3_100	9,45	acetic	66,28
Pesuvesi4_100	9,45	water	68,54
Suodos1_100	10,26	acetic	76
Suodos2_100	10,26	water	77,33
Suodos3_100	10,26	acetic	69,5
Suodos4_100	10,26	water	62,87
2Pesuvesi	7,48	acetic	71,05
2Pesuvesi2	7,48	acetic	68,76
2Pesuvesi3	7,48	water	71,07
2Pesuvesi4	7,48	water	70,83
2Pesuvesi5	7,48	acetic	69,32

Kaikki näytteet	Näytteiden lkm	Keskia rvo	Keskivirhe	Keskihajonta	Minimi	Kvartii li1	Media ani	Kvartii li3	Maksi mi
Alhainen_johtoky ky	12	86,938	0,766	2,652	82,83	84,405	87,685	89,382	90,02
Korkea_johtokyky	10	75,17	1,8	5,68	68,76	70,45	73,63	80,81	84,21
Erittäin_korkea_johtokyk	12	70,71	1,42	4,92	62,87	66,67	70,21	75,48	77,48
<b>Kaikki näytteet</b>	<b>34</b>	<b>77,75</b>	<b>1,43</b>	<b>8,36</b>	<b>62,87</b>	<b>70,5</b>	<b>77,41</b>	<b>85,43</b>	<b>90,02</b>

		Näytteiden lkm	Keskia rvo	Keskivirhe	Keskihajonta	Minimi	Kvartii li1	Mediaani	Kvartii li3	Maksimi
ISO_ylä	acetic	9	79,1	2,91	8,72	64,7	72,04	78,09	87,34	89,95
	water	8	80,87	2,7	7,64	67,83	74,83	81,09	87,94	90,02
ISO_ala	acetic	9	75,66	2,94	8,81	66,28	69,04	71,05	85,44	89,12
	water	8	75,47	2,97	8,41	62,87	69,11	74,2	83,83	86,12

		Näytteiden lkm	Keskia rvo	Keskivirhe	Keskihajonta	Minimi	Kvartii li1	Mediaani	Kvartii li3	Maksimi
ISO_ylä		17	79,93	1,95	8,02	64,7	73,55	80,53	87,73	90,02
ISO_ala		17	75,57	2,03	8,35	62,87	69,04	71,07	83,52	89,12

Muuttuja	Näyte lkm	Keskia rvo	Keskihajonta	Standardipoikkeama	95% luottamusväliillä minimi	95% luottamusväliillä maksimi
Alhainen_johtoky ky	12	86,938	2,652	0,766	85,253	88,623
Korkea_johtokyky	10	75,17	5,68	1,8	71,11	79,23
Erittäin_korkea_johtokyk	12	70,71	4,92	1,42	67,59	73,84
ISO vaaleus kaikki	34	77,75	8,36	1,43	74,83	80,67
Yläpuoli	17	79,93	8,02	1,95	75,81	84,05
Alapuoli	17	75,57	8,35	2,03	71,28	79,86

<b>Väite: Väriä siirtyy näytteiden ylä- ja alapuolille saman verran.</b>
<b>Nollahypoteesi H0: ISO_ylä = ISO_ala</b>
<b>Vaihtoehtoinen hypoteesi H1: ISO_ylä &gt; ISO_ala.</b>
<b>Luottamusväli 95 %.</b>

	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskivirhe
ISO_ylä	17	79,93	8,02	1,95
ISO_ala	17	75,57	8,35	2,03
Erotus	17	<b>4,36</b>	5,83	1,41
<b>95% luottamustason keskiarvoeron alaraja eron vahvistamiselle: 1,89</b>				
<b>P-arvo = 0,004</b>				

<b>Väite: Korkean johtokyvyn näytteestä siirtyy vähemmän väriä kuin erittäin korkean johtokyvyn näytteestä.</b>			
<b>Nollahypoteesi H0: ISO_ylä = ISO_ala</b>			
<b>Vaihtoehtoinen hypoteesi H1: ISO_ylä &gt; ISO_ala.</b>			
<b>Luottamusväli 95 %.</b>			
	N	Mean	StDev
Korkea_johtokyky	12	75,02	5,16
Erittäin_korkea_johtokyky	12	70,71	4,92
Difference	12	4,31	7,28
<b>95% luottamustason keskiarvoeron alaraja eron vahvistamiselle: 0,53</b>			
<b>P-arvo = 0,033</b>			

<b>Väite: Aallotustelan läpi menneestä aallotuskartongista siirtyy vähemmän väriä kuin aallottamattomasta aallotuskartongista.</b>				
<b>Nollahypoteesi H0: ISO vaaleus aallotettu = ISO vaaleus aallottamaton</b>				
<b>Vaihtoehtoinen hypoteesi H1: ISO vaaleus aallotettu = ISO vaaleus aallottamaton</b>				
	Näytteiden lkm	Keskiarvo	Hajonta	Keskivirhe
Aallottamaton	15	87,181	2,053	0,53
Aallotettu	15	86,622	3,086	0,797
Difference	15	<b>0,56</b>	4,04	1,04
<b>95% luottamustasolla alaraja havaittavalle erotukselle: 2,40</b>				
<b>Nollahypoteesin T-testi keskiarvon erotukselle = 0 (vs vaihtoehtoinen hypoteesi &lt; 0): T-arvo = 0,54 P-arvo = 0,700</b>				

**Väite: käytettävällä reagenssilla (vesi ja etikkahappo) on merkitystä tuloksiin.**



water/acetic_1_1	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskivirhe
acetic	18	77,38	8,68	2
water	16	78,17	8,25	2
Erotus = $\mu$ (acetic) - $\mu$ (water)				
Erotuksen estimaatti: -0,79				
95% luottamustasolla vaaditut rajat eron vahvistamiseen: (-6,72; 5,13)				
P-arvo = 0,787				

Testattava väite: Näytteiden ISO vaaleus on riippuvainen massan johtokyvystä.

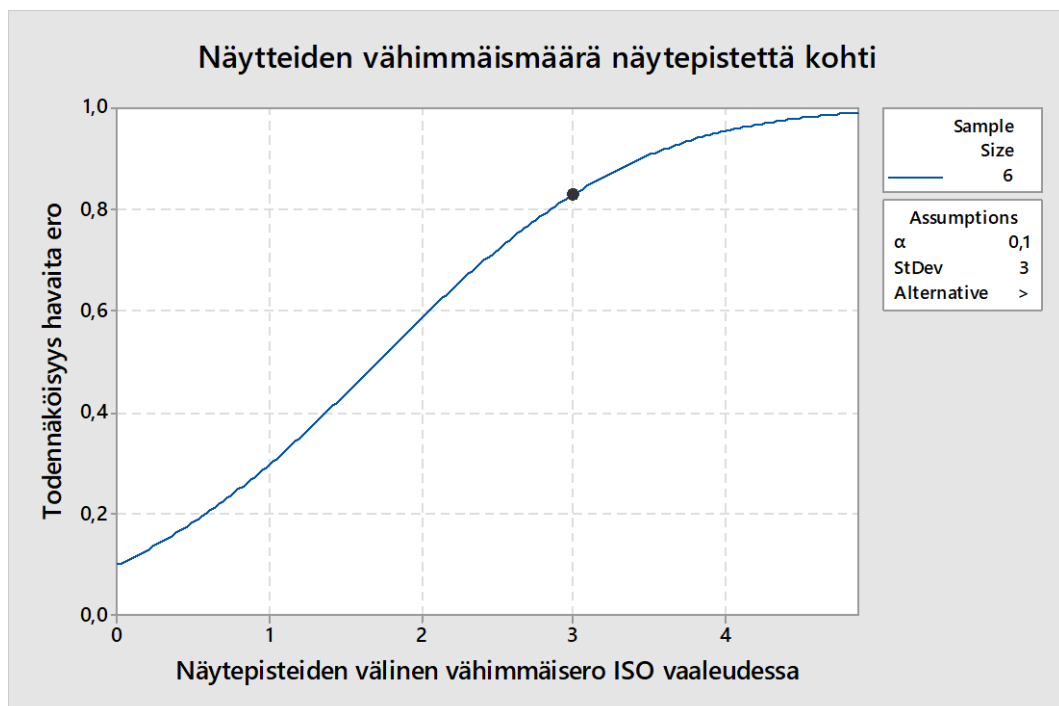
Vaihtoehtoinen hypoteesi: ISO vaaleus korkea johtokyky > ISO vaaleus erittäin korkea johtokyky

Nollahypoteesi: ISO vaaleus korkea johtokyky = ISO vaaleus erittäin korkea johtokyky

Oletetaan, että hajonta on 3.

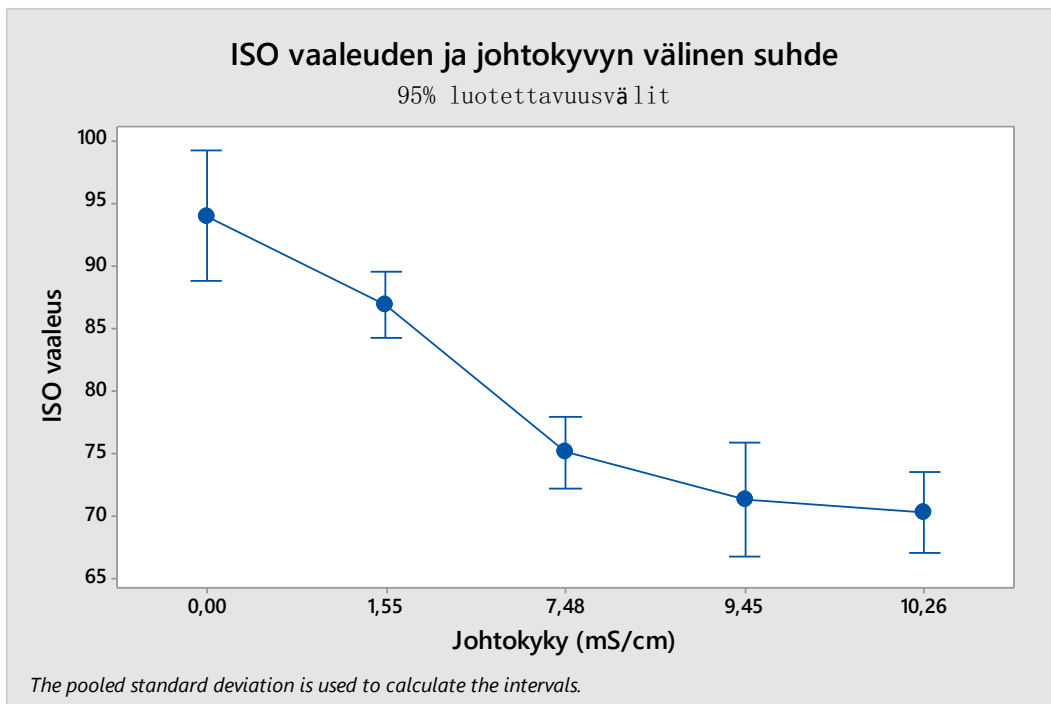
Haluamme 80 % todennäköisyyden havaita 3 yksikön ero ISO vaaleudessa.

Luottamustaso 90 %



Väite: On olemassa lineaarinen korrelaatio aallotuskartonin johtokyvyn ja näytteiden vaaleuden välillä.

<b>95 % luottamustaso.</b>
<b>Nollahypoteesi: <math>\rho = 0</math>, missä <math>\rho</math> on korrelaatiokerroin.</b>
<b>Vaihtoehtoinen hypoteesi: <math>\rho \neq 0</math></b>
<b>Käytettävä metodi: Pearson korrelaatio</b>
<b>Pearson correlation of Johtokyky_mS/cm_1 and ISO_brightness = -0,852</b>
<b>P-arvo = 0,000</b>
<b>P arvo on alhainen, joten vaihtoehtoinen hypoteesi (testattu väite) jää voimaan.</b>
<b>R2 = 77,9 % eli lineaarinen riippuvuus pystyy selittämään noin 80 % aineiston muutoksista.</b>



## 15. Lähteet

Aboksari, A. B. *et al.* (2013) 'Economic assessment of producing a fluting paper using agricultural residues - a case study: Iran, Mazandaran Province', *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(3), s. 278–284. doi: 10.1080/19397038.2012.727497.

Alanko, K., Paulapuro, H. and Stenius, P. (1995) 'Recyclability of thermomechanical pulp fibers', *Paperi ja puu*, 77(5), s. 315–328.

Aurela, B. (2001) 'Migration of Substances From Paper and Board Food', *KCL Communications 3*, s. 1–70.

Banavath, H. N., Bhardwaj, N. K. and Ray, A. K. (2011) 'A comparative study of the effect of refining on charge of various pulps', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 102(6), s. 4544–4551. doi: 10.1016/j.biortech.2010.12.109.

Bundeninstitut für Risikobewertung (2017) *Database BfR Recommendations on Food Contact Materials*.

Börås, L. and Gatenholm, P. (2005) 'Surface Composition and Morphology of CTMP Fibers', *Holzforschung.*, 53(2), s. 188–194. doi: 10.1515/HF.1999.031.

CEPI (2016) 'Key Statistics 2015', s. 32. Saatavilla: <http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/statistics/2016/FINALKeyStatistics2015web.pdf>.

Chen, Y. *et al.* (2010) 'Crystal and pore structure of wheat straw cellulose fiber during recycling', *Cellulose*, 17(2), s. 329–338. doi: 10.1007/s10570-009-9368-z.

Dimitrov, K. and Heydenrych, M. (2009) 'Relationship between the edgewise compression strength of corrugated board and the compression strength of liner and fluting medium papers', *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 71(3),

s. 227–233. doi: 10.2989/SF.2009.71.3.7.919.

Fardim, P. (2011) *Papermaking science and technology : Book 6, Chemical pulping. Part 1, Fibre chemistry and technology.*

FEFCO, T. E. F. of C. B. M. (2016) 'Fefco Annual Statistics 2016', s. 32. Saatavilla: <http://www.fefco.org/media-publications/industry-statistics>.

Forouzanfar, R., Sukhtesaraie, A., *et al.* (2016) 'NSSC pulp from planted populus and hardwood sawdust for flutting production', *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. Springer India, 13(1), s. 73–81. doi: 10.1007/s13196-016-0168-4.

Forouzanfar, R., Vaysi, R., *et al.* (2016) 'Study on production of fluting paper from poplar pulp mixed with hardwood NSSC pulp', *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. Springer India, 13(1), s. 55–63. doi: 10.1007/s13196-016-0166-6.

Gharehkhani, S. *et al.* (2015) 'Basic effects of pulp refining on fiber properties - A review', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 115, s. 785–803. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.08.047.

Gulsoy, S. K., Kustas, S. and Erenturk, S. (2013) 'The effect of old corrugated container (OCC) pulp addition on the properties of paper made with virgin softwood kraft pulps', *BioResources*, 8(4), s. 5842–5849.

Hietaniemi, M. S. M. (2013) 'School of Chemical Technology Degree Programme of Forest Products Technology Joonas Hokka STRENGTH AND DRAINAGE POLYMER CHEMISTRY Master ' s thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection , Espoo , 23 rd September , 2013'.

Hubbe, M. A., Venditti, R. A. and Rojas, O. J. (2007) 'What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review', *BioResources*, 2(4), s. 739–788. doi: 10.15376/biores.2.4.739-788.

Hubbe, M. a and Heitmann, J. a (2007) 'Review of factors affecting the release of

water from cellulosic fibers during paper manufacture', *Bioresources*, 2(August 2007), s. 500–533. doi: 10.15376/biores.2.3.500-533.

Höglund, H. and Bodin, O. (1976) 'Modified the[1] M. Kiaei, A. Samariha, and J. E. Kasmani, "Characterization of biometry and the chemical and morphological properties of fibers from bagasse, corn, sunflower, rice and rapeseed residues in iran," *African J. Agric. Res.*, vol. 6, no. 16, pp.', *Svensk papperstidning*, 79(11), s. 343–347.

Höke, U. and Schabel, S. (2010) *Papermaking science and technology : Book 7, Recycled fibre and deinking*.

Jain, A. K. *et al.* (2003) 'A Comparative Study of Adsorbents Prepared from Industrial Wastes for Removal of Dyes', *Separation Science and Technology*, 38(2), s. 463–481. doi: 10.1081/ss-120016585.

Kasmani, J. E., Samariha, A. and Nemat, M. (2014) 'Effect of Mixing Different Contents of OCC Pulp on NSSC Pulp Strength', *BioResources*, 9(3), s. 5480–5487.

Kermanian, H. *et al.* (2013) 'The influence of refining history of waste NSSC paper on its recyclability', *BioResources*, 8(4), s. 5424–5434.

Kiaei, M., Samariha, A. and Kasmani, J. E. (2011) 'Characterization of biometry and the chemical and morphological properties of fibers from bagasse, corn, sunflower, rice and rapeseed residues in iran', *African Journal of Agricultural Research*, 6(16), s. 3762–3767. doi: 10.5897/AJAR10.752.

Koikkalainen, J. (2017) *Haastattelu 4.10.2017*.

Koning Jr., J. W. and Godshall, W. D. (1974) 'Repeated Recycling of Corrugated Containers and Its Effects on Strength Properties', *Technometrics*, s. 203–217. Available at: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1975/konin75a.pdf>.

Laakso, O. and Rintamäki, T. (2000) *Aaltopahvin valmistus ja jalostus*.

Lammi, L. (2017) *Valmet to supply an upgrade of the washing process area for Stora Enso's Heinola fluting mill, in Finland, Valmet Oyj Press release*. Saatavilla: <http://www.valmet.com/media/news/press-releases/2017/valmet-to-supply-an-upgrade-of-the-washing-process-area-for-stora-ensos-heinola-fluting-mill-in-finland/> (Haettu: 31.12.2017).

Masrol, S. R. *et al.* (2016) 'Characteristics of linerboard and corrugated medium paper made from durian rinds chemi-mechanical pulp', *MATEC Web of Conferences*, 51(2007), s. 1–10. doi: 10.1051/mateconf/20165102007.

Materials, B. and Contact, F. (2012) 'Industry Guideline', (2).

Morais, L. C. *et al.* (2000) 'Reactive dyes removal from wastewaters by adsorption on eucalyptus bark - adsorption equilibria', *Environmental Technology (United Kingdom)*, 21(5), s. 577–583. doi: 10.1080/09593332108618096.

Ochoa de Alda, J. A. G. (2008) 'Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries', *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), s. 965–972. doi: 10.1016/j.resconrec.2008.02.005.

Patrignani, F. *et al.* (2016) 'Contribution of two different packaging material to microbial contamination of peaches: Implications in their microbiological quality', *Frontiers in Microbiology*, 7(JUN), s. 1–13. doi: 10.3389/fmicb.2016.00938.

Paulapuro, H. (2008) *Papermaking science and technology : Book 8, Papermaking : part 1: Stock preparation and wet end*.

Paulapuro, H. and Gullicshen, J. (2000) *Papermaking science and technology : Book 18, Paper and board grades*.

Paulapuro, H., Gullicshen, J. and Neimo, L. (1999) *Papermaking science and technology : Book 4, Papermaking chemistry*.

Pettersson, G., Norgren, S. and Höglund, H. (2017) 'Strong paper from spruce

CTMP - Part I', *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 32(1), s. 054–058. doi: 10.3183/NPPRJ-2017-32-01-p054-058.

Samariha, A. and Khakifirooz, A. (2011) 'Application of NSSC pulping to sugarcane bagasse', *BioResources*, 6(3), s. 3313–3323.

Senthilkumar, S. *et al.* (2005) 'Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: Kinetics and equilibrium studies', *Journal of Colloid and Interface Science*, 284(1), s. 78–82. doi: 10.1016/j.jcis.2004.09.027.

SFS (2006) 'SFS-EN 646 Paper and board intended to come into contact with foodstuffs. Determination of colour fastness of dyed paper and board.'

SFS (2014) *SFS-EN 643 Paper and board. European list of standard grades of paper and board for recycling.*

Sheikhi, P. *et al.* (2013) 'An optimum mixture of Virgin bagasse pulp and recycled pulp (OCC) for manufacturing fluting paper', *BioResources*, 8(4), s. 5871–5883. doi: 10.15376/biores.8.4.5871-5883.

Sixta, H. (2005) *Handbook of pulp.*

Springer, A. M., Dullforce, J. P. and Wegner, T. H. (1985) 'The effects of closed white water system contaminants on strength properties of paper produced from secondary fiber', *Tappi J*, 68(4), s. 78–82.

Stana-Kleinschek, K., Strnad, S. and Ribitsch, V. (1999) 'Surface characterization and adsorption abilities of cellulose fibers', *Polymer Engineering & Science*, 39(8), s. 1412–1424. doi: 10.1002/pen.11532.

Suominen, I., Suihko, M. L. and Salkinoja-Salonen, M. (1997) 'Microscopic study of migration of microbes in food-packaging paper and board.', *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 19(2), s. 104–113. doi: 10.1038/sj.jim.2900424.

Söderhjelm, L. *et al.* (1999) *Papermaking science and technology : Book 17, Pulp and paper testing.*

Tikka, P. (2008) *Papermaking science and technology : Book 6, Chemical pulping. Part 2, Recovery of chemicals and energy.*

Triantafyllou, V. I., Akrida-Demertzi, K. and Demertzis, P. G. (2007) 'A study on the migration of organic pollutants from recycled paperboard packaging materials to solid food matrices', *Food Chemistry*, 101(4), s. 1759–1768. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.02.023.

Uotinen, H. (2016) *Saostumat kartonkikoneen märkässä sekä kemikaalikierrossa.*

Urbanik, T. J. (2001) 'Effect of Corrugated Flute Shape on Fibreboard Edgewise Crush Strength and Bending Stiffness', *Journal of Pulp and Paper Science*, 27(10), s. 330–335.

Veitola, K. (2016) 'Future food contact regulation in Europe risk assessment'.

Virkola, N.-E. (1983) *Puumassan valmistus.*

Zeydi, F. B. *et al.* (2014) 'Optimum Consumption Levels of China Clay and GCC in Mixed NSSC/OCC Fluting Paper', 3(2), s. 169–175.