



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# LATENSINPOISTON VAIKUTUS CTMP- MASSAN OMINAISUUKSIIN

Jenni Aarniokoski

Opinnäytetyö  
Lokakuu 2018  
Biotuote- ja prosessitekniikka  
Biotuotetekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikka  
Biotuotetekniikka

AARNIOKOSKI, JENNI:  
Latenssinpoiston vaikutus CTMP-massan ominaisuuksiin

Opinnäytetyö 75 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Lokakuu 2018

---

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enso Oyj:n Imatran Kaukopään CTMP-laitokselle.

Työn tarkoituksena oli selvittää CTMP-massan valmistuksessa tehtävän latenssinpoiston vaikutusta valmistetun massan ominaisuuksiin. Latenssinpoiston vaikutusta CTMP-massan ominaisuuksiin, kuten lujuuksiin sekä frenekseen, tutkittiin koeajon avulla, jonka aikana tehtiin sakeuden sekä pH:n muutoksia latenssinpoistosäiliöön.

Teoriaosassa käsiteltiin puun rakennetta, kemikuumahierrettä sekä kemikuumahierteen valmistusta ja ominaisuuksia. Teoriaosa tarkasteli syvemmin latenssin syntyä kuituihin, latenssin poistumista, poistumiseen vaikuttavia tekijöitä prosessissa sekä latenssinpoiston vaikutusta massan laatuominaisuuksiin.

Kokeellisessa osassa suoritettiin kaksi latenssinpoiston koeajoa, joiden tarkoituksena oli selvittää, voidaanko latenssinpoistumista parantaa ja onko parantamisella vaikutusta CTMP-massan laatuominaisuuksiin. Latenssin poistumista kuiduista tutkittiin Stora Enson Tutkimuskeskuksen avulla. Massan muita ominaisuuksia tutkittiin CTMP-massan päivälaboratoriossa. Tehtyjen muutoksien tuloksia verrattiin referenssinäytteisiin sekä peilattiin teoriaan. Tuloksien perusteella CTMP-massan lujuusominaisuudet parantuivat, kun kuidun kihartuneisuus poistui huonommin latenssinpoistossa referenssinäytteeseen verrattuna.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Bioproduct- and process technique  
Bioproduct technique

AARNIOKOSKI, JENNI:

The Effect of Latency Removal Concerning the Quality of CTMP

Bachelor's thesis 75 pages, appendices 7 pages  
October 2018

---

The thesis was commissioned by the CTMP-plant at Stora Enso Oyj Kaukopää mill.

The purpose of this study was to examine the effect of latency removal concerning the quality of CTMP pulp. The effects of latency removal on the quality of CTMP pulp, such as strength and freeness, were investigated by two test runs, where consistency and pH changes were made in the latency removal container.

In the theoretical part the structure of the wood, the chemi-thermomechanical pulp and the manufacturing and properties of the chemi-thermomechanical pulp were introduced. The theoretical part looked closer into the emergence of latency in the fibers, the removal of latency, the factors affecting to the latency removal and the effect of latency removal on the quality properties of the pulp.

In the experimental part, two latency removal test runs were conducted to determine if the latency removal can be improved and whether the improvement has an effect on the quality properties of the CTMP pulp. The latency removal from fibers was investigated by Stora Enso Research Center. Other properties of the pulp were investigated in the daytime laboratory of the CTMP pulp. The results of the changes made were compared to the reference samples and mirrored with the theory. On the basis of the results, the strength properties of the CTMP pulp were improved when the latency of the fiber eliminated worse in latency removal compared to the reference sample.

---

Key words: chemi-thermomechanical pulp, CTMP-pulp, latency removal

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KUITUJEN KEMIALLINEN RAKENNE.....	8
2.1	Solun seinämän rakenne .....	8
2.2	Selluloosa.....	9
2.3	Hemiselluloosa.....	10
2.4	Ligniini ja uuteaineet .....	11
3	KEMIKUUMAHIERTEEN VALMISTUS .....	13
3.1	Hakkeen käsittely.....	15
3.1.1	Hakkeen vastaanotto .....	15
3.1.2	Hakkeen pesu .....	15
3.1.3	Imeytys.....	16
3.2	Jauhatus.....	16
3.2.1	Esilämmitys.....	16
3.2.2	Jauhatusprosessi .....	17
3.2.3	Latenssinpoisto.....	18
3.3	Jälkikäsittely .....	19
3.3.1	Lajittelu ja rejektin käsittely.....	19
3.3.2	Valkaisu .....	20
4	LATENSSI .....	22
4.1	Latenssin synty .....	22
4.1.1	Jauhatus latenssin aiheuttajana.....	24
4.2	Latenssin poistaminen.....	24
4.2.1	Latenssin suoristus .....	24
4.3	Latenssinpoistosäiliö.....	26
4.4	Tärkeimmät muuttujat.....	27
4.5	Latenssin vaikutus massan ominaisuuksiin .....	29
5	CTMP-MASSAN LAATUVAATIMUKSET.....	31
5.1	Kuidun pituus.....	31
5.2	Freeness .....	32
5.3	Lujuudet .....	32
5.3.1	Veto- ja puhkaisulujuus .....	33
5.3.2	Repäisylujuus .....	33
5.4	Tikkupitoisuus .....	33
6	KOKEELLINEN OSA .....	35
6.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	35
6.2	Suunnitelmat .....	36

6.2.1	Ensimmäisen koeajon suunnitelma .....	36
6.2.2	Toisen koeajon suunnitelma .....	37
6.2.3	Näytteidenoton suunnitelmat .....	37
6.3	Koeajot .....	39
6.3.1	Ensimmäinen koeajo .....	39
6.3.2	Toinen koeajo .....	41
6.4	Määrittelyissä käytetyt menetelmät .....	42
6.5	Tulokset .....	43
6.5.1	Kuidun kihartuneisuuden tulokset .....	44
6.5.2	Freeness -tulokset .....	47
6.5.3	Vetolujuuden tulokset .....	50
6.5.4	Repäisyjuuuden tulokset .....	53
6.5.5	Puhkaisulujuuden tulokset .....	55
6.5.6	Tikkupitoisuuden tulokset .....	57
6.6	Pohdinta ja yhteenveto .....	60
6.6.1	Sakeuden ja pH vaikutus latenssinpoistoon .....	60
6.6.2	Kuidun kihartuneisuuden vaikutus lujusominaisuuksiin .....	61
6.6.3	Kuidun kihartuneisuuden vaikutus tikkuihin .....	62
6.6.4	Yhteenveto .....	63
LÄHTEET .....		64
LIITTEET .....		69
Liite 1. Ensimmäisen koeajon mittaustulokset .....		69
Liite 2. Toisen koeajon mittaustulokset .....		72
Liite 3. Määrittelyt .....		75

**ERITYISSANASTO**

CTMP	Chemi-Thermomechanicalpulp, kemimekaaninen massa, kemikuumahierre
KA4	Kartonkikone 4
Bonding	Palstautumislujuus
CSF	The Canadian Standard Freeness, massan suotautuvuusarvo
DTPA	Dietyleenitriamiinipentaetikkahappo
Opasiteetti	Kartongin läpinäkyvyys
Latenssi	Kuidun kihartuneisuus, joka syntyy jauhatuksessa lämmön ja mekaanisen rasituksen seurauksena
Rejekti	Massaan kelpaamaton jae
Aksepti	Haluttu massa
Fibrilloituminen	Kuituuntuminen
Amorfinen	Kiinteän aineen esiintymismuoto kiteisen muodon lisäksi, jossa atomijärjestys ei ole jaksollinen
Fraktio	Kuidun jae
Deformoitunut	Epämuodostunut

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö suoritettiin Stora Enso Oyj:n Imatran Kaukopään tehtaan CTMP-laitoksella. CTMP-laitos valmistaa kemikuumahierrettä kuusihakkeesta noin 200 000 tonnia vuodessa. Valmistettu massa käytetään pääasiassa Kaukopään kartonkikoneiden raaka-aineena. (Stora Enso intranet.) CTMP-massa valmistetaan mekaanisen rasiituksen, lämpötilan sekä kemikaalien avulla. Mekaaninen rasitus ja lämpötilan muutokset saavat puun kuidut kihartumaan. Tämä kuitujen kiharuus eli latenssi vaikuttaa valmistetun massan ominaisuuksiin muun muassa heikentämällä massan lujuuksia, jonka takia kiharuus pyritään poistamaan kuiduista massan valmistuksen aikana.

Kaukopään CTMP-prosessin latenssinpoistoa ei ole juurikaan tutkittu. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, voidaanko prosessiteknisillä ominaisuuksilla parantaa latenssinpoistoa ja siten vaikuttaa tuotetun massan ominaisuuksiin. Opinnäytetyö sisältää kirjallisen sekä kokeellisen osuuden. Kirjallinen osio esittelee CTMP-valmistusprosessin sekä teorian latenssin syntymisestä ja poistumisesta, jotta voidaan ymmärtää latenssinpoistoon sekä massan laatuun vaikuttavat tekijät ja muuttujat. Tiedon hankkimiseksi haastatellaan latenssinpoiston laitevalmistajia sekä Stora Enson tehtaita, joissa valmistetaan mekaanista massaa.

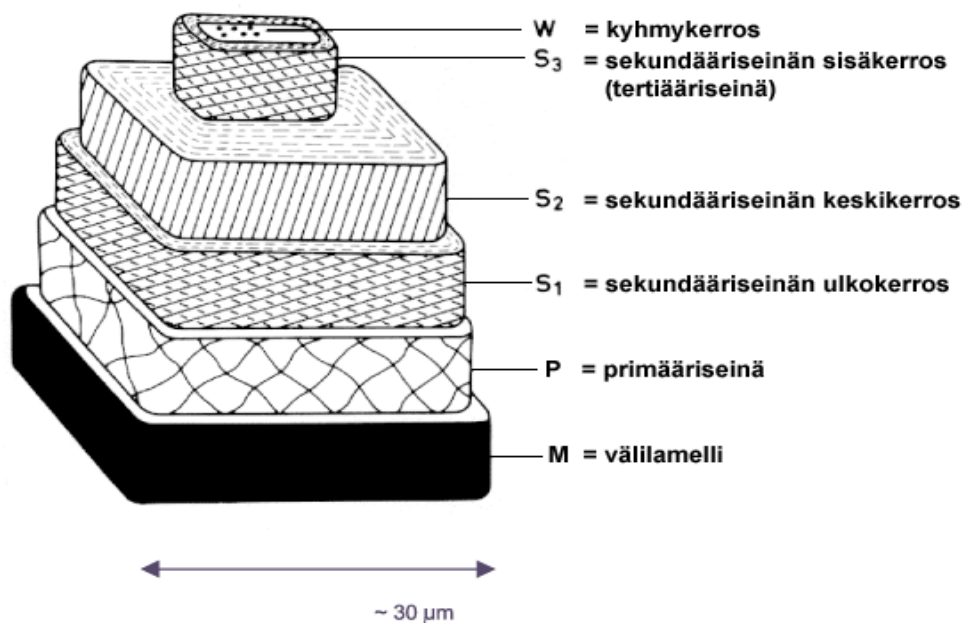
Kokeellisen osan ensisijaisena tavoitteena on tutkia, voidaanko latenssinpoistoon vaikuttavien tekijöiden muutoksilla parantaa latenssin poistumista sekä tutkitaan näiden muutoksien vaikutuksia valmistetun massan laatuominaisuuksissa kuten freenekseen ja lujuuksiin. Koeajon hypoteesina on, että latenssinpoiston sakeuden alentaminen parantaa latenssin poistumista, joka taas parantaa valmistetun massan lujuuksia sekä alentaa freenestä. Työn toisena tavoitteena on selvittää, palautuuko latenssi kuituihin prosessin myöhemmissä vaiheissa. Varsinaiset koeajot suoritetaan pH:ta sekä sakeuksia muuttamalla. Koeajojen tuloksia analysoidaan laboratoriomittauksista sekä CTMP-laitoksen online-mittauksista. Laboratoriomittaukset suoritetaan useasta eri pisteestä otetuista näytteistä. Mittaustuloksien keräämisessä ja käsittelyssä apuna käytetään erilaisia ohjelmistoja.

## 2 KUITUJEN KEMIALLINEN RAKENNE

CTMP-massan valmistuksessa käytetään kuusipuuta. Kuusipuut koostuvat kuiduista, jotka sisältävät hiilihydraatteja. Suurin osa kuusen kuiduista on trakeidikuituja, joiden pituus on 2-4 mm (Hakkila 1998, 144). Kuusen kuidut koostuvat selluloosasta, hemiselluloosasta, uuteaineista sekä ligniinistä. Puuaineesta yli puolet koostuvat amorfisista hemiselluloosasta sekä ligniinistä, jotka ympäröivät jäykkää selluloosaa. Hemiselluloosan ja ligniinin suuren osuuden takia kuitujen käyttäytyminen mekaanisen massan valmistuksessa on riippuvainen näiden rakenneosien polymeerisistä ominaisuuksista. (Lucander 1988, 2.) Kuitujen kemiallinen rakenne vaikuttaa CTMP-massan valmistuksessa latenssin syntymiseen sekä sen poistamiseen kuiduista.

### 2.1 Solun seinämän rakenne

Soluseinän rakenteeseen, joka on esitetty kuvassa 1 (Knowpap A, 2009), kuuluvat välilamelli (M), joka liittää kuidut toisiinsa, primääriseinä (P) sekä kolme sekundääriseinää S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> sekä S<sub>3</sub>. Seinämien rakenne koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta sekä ligniinistä, joista selluloosa muodostaa solun rungon. Hemiselluloosa sekä ligniini ympäröivät selluloosarunkoa. (Isotalo 2004, 31-32.)



KUVA 2. Puukuidun rakenne (Knowpap A, 2009)

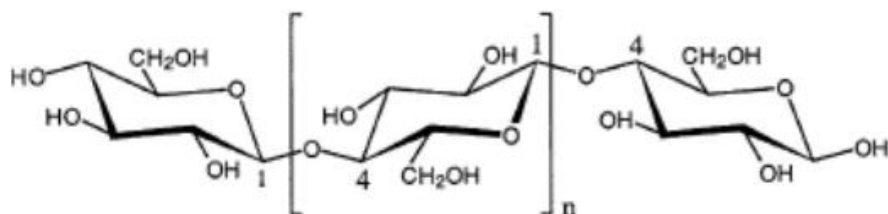


Alhaisessa lämpötilassa kuituihin kohdistettu mekaaninen rasitus rikkoo kuitujen pintaa primääri- sekä sekundääriseinämistä. Kuidut vaurioituvat suurelta osalta, joka lisää hienoaineen määrää mekaanisessa massassa. Tämä on tyypillistä hiokkeelle. Korkeammassa lämpötilassa kuitujen rikkoutumiskohta nousee sekundääriseinän uloimpaan kerrokseen. Tällöin pitkien kuitujen määrä lisääntyy valmistetussa massassa, joka on tyypillistä hierteelle. (Salmén, Lucander & Härkönen 2009, 37.) Jauhatuksen jälkeen hierteen pitkiin kuituihin syntyy kihartuneisuutta (Lucander 1988, 6).

## 2.2 Selluloosa

Hiilihydraateista selluloosa on kuidun pääaines ja sen määrä puun kuiva-aineesta on noin 40 %. Suurin osa selluloosasta sijaitsee kuidun sekundääriseinässä. Selluloosamolekyylit muodostavat vetysidoksia naapurimolekyyliden kanssa antaen puusolulle mekaanisen tuen. (Sjöström 1978, 55-56.)

Selluloosamolekyylit ovat rakenteeltaan lineaarisia, joka nähdään kuvassa 2 (Alén 2000, 34) esitetystä selluloosan molekyyli­rakenteesta. Molekyylit ovat muodostuneet toisiinsa sitoutuneista glukoosiyksiköistä. Jokaisessa glukoosiyksikössä on kolme vapaata hydroksidiryhmää (-OH), joilla on taipumus muodostaa vetysidoksia glukoosiyksiköiden välillä. Natiivin eli puussa olevan selluloosan molekyyli­ssä on noin 10 000 glukoosiyksikköä, mutta luku voi vaihdella puun eri osien ja soluseinän eri kerroksien välillä. Saman selluloosaketjun glukoosiyksiköiden välillä muodostuneet vetysidokset vahvistavat selluloosamolekyylin lineaarisen rakenteen sekä antavat molekyyli­ketjulle jäykkyyttä. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 65-67.)



KUVA 2. Selluloosan kemiallinen rakenne (Alén 2000, 34)

Soluseinän biosynteesin aikana lineaariset selluloosamolekyylit ovat taipuisia muodostamaan sidoksia naapurimolekyylien kanssa kasaantuen 3-4 nanomillin levyisiksi kimpuiksi eli mikrofibrilleiksi. Puun selluloosan mikrofibrilleistä suurin osa on muodoltaan järjestyneitä eli kiteisiä, mutta osa on epäjärjestyneitä eli amorfisia. Kiteisten ja amorfisten muotojen vaihtelun ansiosta selluloosalla voi olla useita erilaisia polymorfisia muotoja, jotka vaikuttavat selluloosan kemiallisiin sekä fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kiteisen rakenteen sekä molekyylien välisten vetysidosten myötä selluloosa ei liukene veteen. Muutamien kemikaalien avulla pystytään kuitenkin tunkeutumaan kiteisten alueiden sisälle, jolloin kiderakenne turpoaa ja reagenssi pääsee lähemmäs hydroksyyliiryhmiä, jonka seurauksena selluloosan liukoisuus kasvaa. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 67-72.)

### 2.3 Hemiselluloosa

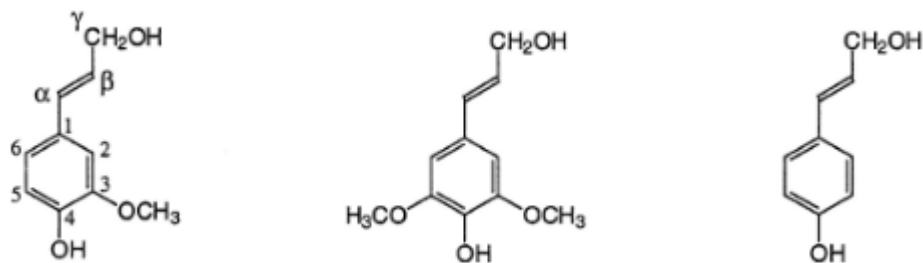
Hemiselluloosa on heteropolysakkaridi, pääosin sekundääriseinässä selluloosamikrofibrillien välissä sijaitseva hiilihydraatti, joka vaikuttaa kuitujen kykyyn muodostaa sidoksia keskenään. Hemiselluloosan määrä puuaineksesta on noin 20-30 %. Rakenteeltaan hemiselluloosat ovat haaroittuneita sekä amorfisia polysakkarideja, jotka koostuvat erilaisista monosakkaridiyksiköistä. Havupuiden hemiselluloosasta pääosa on glukomannaania. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 73; Knowpap B, 2009.)

Selluloosamikrofibrillien välissä sijaitseva hemiselluloosa voi muodostaa vetysidoksia selluloosamikrofibrillien sekä vesimolekyylien kanssa. Ligniinin kanssa hemiselluloosa sen sijaa muodostaa kovalenttisia sidoksia. Soluseinässä sijaitsevan hemiselluloosan tehtävänä onkin säädellä kosteuspitoisuutta soluseinässä yhdessä ligniinin kanssa.

Hemiselluloosat ovat hydrofiilisiä ja jotkut jopa vesiliukoisia. Soluseinän hemiselluloosat ovat sitoutuneita ligniiniin, joten ne eivät liukene veteen helposti. Mekaaninen rasitus kuten jauhatus hajottaa soluseinän hienorakenteen, jonka seurauksena hemiselluloosan glukomannaania liukenee veteen. Kemikaaleilla kuten alkalikäsittelyllä saadaan myös liuotettua hemiselluloosaa. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 82-83.) Kuivan hemiselluloosan pehmenemislämpötila on yli 200 °C ja kosteana hemiselluloosa pehmenee jo huoneenlämmössä. Tällä on suuri merkitys kuidun latenssin syntymisessä sekä latenssin poistamisessa (Lucander 1988, 2).

## 2.4 Ligniini ja uuteaineet

Ligniini on amorfinen luonnonpolymeeri, jonka pitoisuus havupuussa on 26-32 %. Havupuissa esiintyvä ligniini on guajasyyliligniini, joka koostuu 90 prosenttisesti koniferyylialkoholista (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 84). Havupuun soluissa ligniiniä sijaitsee solun sekundääriseinässä sekä välilamelleissa. Kuvassa 3. (Alén 2000, 39) on esitetty ligniinin kemiallinen rakenne. Soluseinässä sijaitsevan ligniinin tehtävä yhdessä hemiselluloosan kanssa on säädellä vesipitoisuutta soluseinässä. Välilamellisissa sijaitsevan ligniinin tehtävänä on sitoa kuidut toisiinsa ja antaa tällä tavoin kuiduille jäykkyyttä. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 82-84; Knowpap B, 2009.)



KUVA 2. Ligniinin kemiallinen rakenne (Alén 2000, 39)

Ligniini on hydrofobinen aine, eivätkä ne siksi muodosta sidoksia keskenään. Hydrofobisuuden sekä ligniinin värillisten kromoforien ryhmien takia sellunvalmistusprosessissa pyritään ligniini poistamaan. Mekaanisten massojen valmistuksessa ligniiniä ei poisteta korkean saannon saavuttamisen takia. (Jääskeläinen & Sundqvist 2007, 65-84; Knowpap B, 2009.) CTMP-massan valmistuksessa ligniinin kromoforiset ryhmät pyritään muuttamaan värittömään muotoon (Knowpap C, 2009).

Kuivan ligniinin pehmenemislämpötila on 200 °C, mutta kosteana ligniini pehmenee 80 °C lämpötilassa. Ligniini jähmettyy lämpötilan pudotessa alle pehmenemislämpötilan. Tällä on suuri merkitys latenssin syntyyn kuiduissa jauhatuksen aikana ja jälkeen sekä latenssin poistamiseen. (Lucander 1988, 2.)

Pieni osa puusta on uuteaineita. Uuteaineisiin lukeutuvat pihka sekä erilaiset fenoliset yhdisteet. Niiden tehtävänä on toimia energian lähteenä ja suojata mikrobiologisilta vahingoilta. Näitä aineita voidaan uutaa neutraaleilla liuottimilla. Uuteaineista

valmistetaan orgaanisia kemikaaleja. Taulukossa 1 on esitetty puuaineiden määrä puulajia kohti. (Knowpap B, 2009.)

TAULUKKO 1. Puuaineuksen jakautuminen. (Knowpap B, 2009, muokattu)

	<b>Selluloosaa, %</b>	<b>Hemiselluloosa, %</b>	<b>Ligniini, %</b>	<b>Uuteaineet, %</b>
<b>Kuusi</b>	<b>42</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>2</b>
<b>Mänty</b>	<b>42</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>5</b>
<b>Koivu</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>20</b>	<b>3</b>

### 3 KEMIKUUMAHIERTEEN VALMISTUS

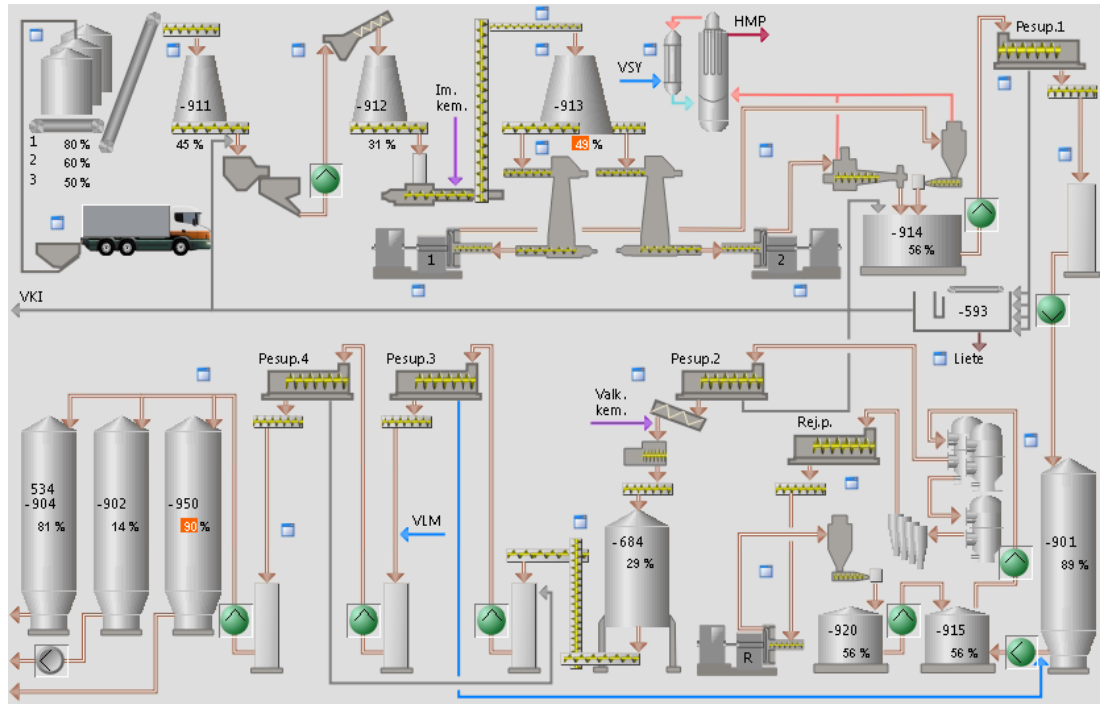
Kemikuumahierre eli CTMP tarkoittaa mekaanista massaa, joka valmistetaan kuusihakkeesta mekaanisen rasituksen, paineen, lämmön sekä kemikaalien avulla. Mekaanisen massan valmistuksessa pyritään tuottamaan korkealla saannolla massaa, jossa kuidut ovat irronneet toisistaan hyvin menettämättä liikaa kuidunpituutta. Kuitujen seinämän rakenteen tulee olla delaminoitunut ja kuidun pinnan fibrilloitunut. (Tiikkaaja 2007, 17). Kuitujen rasittamisella pyritään saamaan joustavia kuituja sekä hienoainesta, joiden avulla massalle saadaan hyvät lujuusominaisuudet.

Kemikuumahierteen saanto on hyvä, 80-90 %, koska ligniiniä ei poisteta massasta. Prosessi kuluttaa kuitenkin huomattavasti enemmän energiaa kuin muiden massojen valmistus. Energian kulutus on jopa 3 MWh/t massatonna kohti. (Seppälä, Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Siitonen, Sironen, 2005, 57; Nickull & Pitkänen, 2009, 248-249.)

Mekaanisena rasituksena hierteen valmistuksessa käytetään jauhimia, joiden terät hiertävät kuidut irti toisistaan (Knowpap D, 2009). Kemikuumahierteen valmistuksessa hake käsitellään lämmön ja kemikaalien avulla ennen jauhatusta, jotta hake saadaan pehmeämmäksi. Pehmentynyt hake on helpompi jauhaa kuiduiksi. Kemikaalikäsittely pehmentää ja osittain irrottaa ligniinin, jotta kuidut irtoaisivat puusta ehjempinä ja pitempinä. Tällöin tikkuisuus vähenee ja, sitä myöten jauhatuksen tarve vähenee. (Seppälä ym. 2005, 58-59; Snellmanin 2015, 14-15 mukaan.)

CTMP-massa on tikutonta, hyvin absorptiokykyistä ja sillä on korkea freeness-arvo. Lisäksi massalla on korkeat lujuudet sekä bulkki. Snellmanin (2015, 13) mukaan näitä ominaisuuksia hyödynnetään kartongin, pehmopapereiden sekä revinnäismassan valmistuksessa. Ligniinistä johtuvan CTMP-massan huono vaaleus rajoittaa sen käyttöä valkoisten paperilajien valmistuksessa. Kartongin valmistuksessa CTMP:tä käytetään monikerroskartongin keskikerroksessa tuomaan kartongille bulkkia, bondingia ja opasiteettia. Kartonkia käytetään paljon pakkauksien materiaalina elintarvikkeille, lääkkeille sekä kosmetiikalle. Tämän takia nestepakkauskartongin valmistuksessa käytetyn CTMP:n pitää olla puhdasta, hajutonta sekä mautonta. (Seppälä ym. 2005, 59.)

Imatran tehtaiden CTMP-laitos on käynnistynyt 1996. Laitos tuottaa valkaistua massaa Kaukopään kartonkikoneiden valmistamiin neste- ja pakkauskartonkeihin. Raaka-aineena CTMP-massan valmistuksessa käytetään kuusihaketta. Tuotanto laitoksella on noin 600 tonnia päivässä eli 200 000 tonnia vuodessa. (Stora Enso Intranet; Snellman 2015, 15 mukaan.) Kuvassa 4. esitetty CTMP-valmistusprosessi.



KUVA 4. CTMP-prosessi

### **3.1 Hakkeen käsittely**

#### **3.1.1 Hakkeen vastaanotto**

Kuusi kuoritaan, haketetaan ja hake kuljetetaan CTMP-laitokselle rekoilla. Rekat tyhjennetään hakkeesta haketaskuun tai hakekentälle riippuen hakkeen kulutuksesta. Jos hakkeen kulutus on vähäistä, varastosiilot täyttyvät. Tällöin rekat tyhjennetään hakkeesta hakekentälle. Hakekentällä hake on suojaamattomana, joten se altistuu lialle sekä sääolosuhteille kuten vedelle, auringolle ja lumelle. Kesäisin hakkeen rakenteen kuivuminen sekä talvisin hakkeen jäätyminen vaikuttavat niin prosessin ajettavuuteen kuin massan laatuun.

Hakkeen laatu ja ominaisuudet vaikuttavat CTMP-massan ominaisuuksiin. Ideaalinen hake mahdollistaa massan valmistuksen alhaisella kustannuksella sekä energian kulutuksella antaen kuitenkin massalle vaaditut laatuominaisuudet. Hakkeen laatuun ja ominaisuuksiin vaikuttaa sääolosuhteille altistumisen lisäksi kosteuspitoisuus, tiheys, kuidun ominaisuudet sekä puun ikä. Hakkeen ominaisuuksiin vaikuttaa myös, onko kyseessä kesä- vai kevätpuu ja, onko hake sydän- vai pintapuuta. Sydänpuu ei sisällä vettä, vaan vesi sijaitsee pintapuussa, jonka tehtävänä on kuljettaa vesi juurista latvaan. Tämä veden määrä taas vaikuttaa uuteaineiden määrään, joka vaikuttaa valmistetun massan ominaisuuksiin. (Sirviö & Tuominen 2009, 70-74.)

Haketaskusta hake kulkeutuu hihnakuljettimilla varastosiiloihin ja sieltä seulonnan kautta CTMP-laitokselle. Seulonnan tarkoituksena on erottaa puru- ja ylisuurijae. Ylisuurijae palautetaan murskauksen jälkeen takaisin lajitteluun. (Seppälä ym. 2005, 60.)

#### **3.1.2 Hakkeen pesu**

Seulonnan jälkeen hake pestään, jotta hakkeen mukana kulkeutunut, seulonnasta jäänyt, purujae, kuoren palaset sekä tikut saadaan erotettua. Purujae, tikut sekä kuoren palaset pyritään poistamaan prosessista, koska ne kuluttavat koneita ja heikentävät massan laatua. Pesun tarkoituksena on poistaa myös kiviä, hiekkaa, metalliromuja sekä muita raskaita jakeita, jotka voisivat vahingoittaa jauhimien teriä. Pesulaitteisto sekoittaa haketta 70-85 °C vedessä irrottaen hakkeesta epäpuhtaudet ja tasoittaakseen hakepalasten kosteuden.

Talvisin lämmin pesuvesi sulattaa viimeisetkin jäät sekä irrottaa hakkeen pintaan jääneen hiekan. Pesun jälkeen hakkeesta poistetaan ylimääräinen vesi. (Seppälä ym. 2005, 60.)

### 3.1.3 Imeytys

Hakkeen pesun jälkeen hake lämmitetään höyryllä ja hakkeeseen lisätään imeytysliuos, jonka tehtävänä on ligniiniä turvottamalla pehmentää haketta, jotta jauhatusprosessi helpottuisi. Ligniinin pehmeneminen muuttaa sen mekaanisia ominaisuuksia heikentäen kuitujen rakennetta kuten välilamellia ja vahvistaa kuitujen seiniä. Imeytyksessä hakkeen viipymäaika on lyhyt, jonka takia imeytyksen täytyy olla tehokas, jotta hake kerkeää reagoida imeytysliuoksen kanssa. Epäonnistunut imeytys voi lisätä tikkupitoisuutta massassa. CTMP-prosessin imeytys tapahtuu imeytystornissa 2-15 minuutin ajan 120-135 °C lämpötilassa pH:n ollessa 9-10. Imeytysliuos sisältää veden lisäksi natriumsulfiittia Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, natriumhydroksidia NaOH sekä DTPA:ta eli dietyleenitriamiini penta-asetaatihappoa. (Nickull & Pitkänen 2009, 248-262.) Imeytysliuoksen määrään vaikuttaa puun kuiva-ainepitoisuus, imeytysliuoksen konsentraatio, prosessin lämpötila, pH sekä imeytysaika. Imeytynyt hake syötetään syöttöruuvilla hakkeen jakosiiloon, joka toimii varastona sekä tasaajana (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto 1981, 46). Jakosiilosta hake annostellaan esilämmittimille.

## 3.2 Jauhatus

### 3.2.1 Esilämmitys

Esilämmitykseen hake syötetään tulpparuuvilla, joka altistaa hakkeen kovalle mekaaniselle puristukselle. Tulpparuuvi tiivistää haketta painaen hakkeen huokosrakennetta kasaan. Huokosrakenteiden tiivistyessä hakkeesta poistuu vettä, liuenneita aineita sekä ilmaa, joka parantaa imeytysliuoksen imeytymistä (Malkov 2002, 42-43). Voimakas puristaminen aiheuttaa hakkeessa myös rakenteellisia muutoksia. Epäjärjestyksessä oleviin hakepalasiin kohdistuu paikallisia leikkausvoimia niiden jakaessa mekaanista räsitystä. Nämä paikalliset leikkausvoimat rikkovat hakepalojen kuiturakenteita, joka parantaa kemikaalien imeytymistä, massan lujuusominaisuuksia sekä pienentää jauhatuksen energiankulutusta jopa 20%. (Sabourin 2000, 50-56; Nelsson 2011, 31-34; Huttunen 2013, 22-24 mukaan.) Hake lämmitetään esilämmityksessä



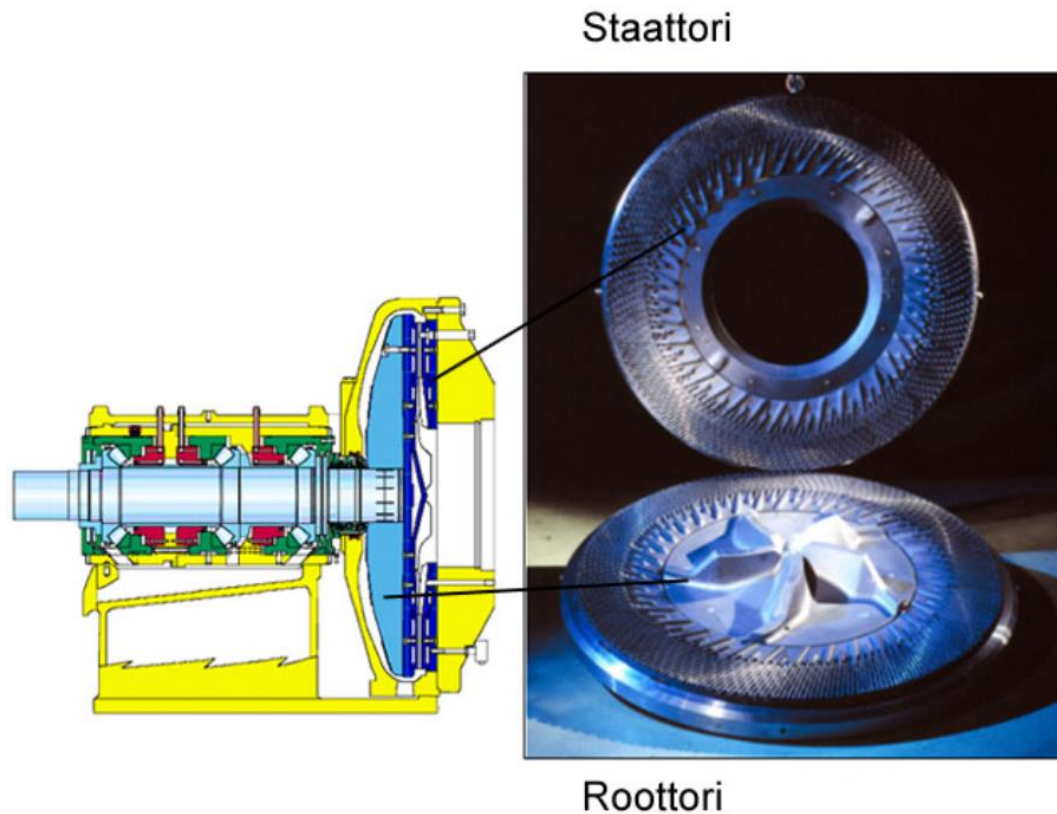
tuorehöyryllä sekä jauhatuksesta syntyneellä höyryllä noin 1,8 baarilla paineistetuissa esilämmittimissä. (Seppälä ym. 2005, 60-61).

### 3.2.2 Jauhatusprosessi

Esilämmitetty hake syötetään 1 ja 2 jauhimille, joissa lämpötila on 143-158 °C ja ylipaine 3-5 baaria. Esilämmittimissä sekä ruuvikuljettimissa on pinta- ja pyörimisnopeussäädöt, jonka avulla pystytään haketta syöttämään jauhimille tuotannon tarpeen mukaan. Hake syötetään jauhimille terien väliin, jossa hake murskautuu pienemmiksi palasiksi ja edelleen kuiduiksi lämpötilan, paineen, mekaanisen rasituspulssien sekä kitkan synnyttämän leikkausvoimien avulla. Kuidutusvaiheessa puristusvoimien aiheuttaman lämmön seurauksena puuaines lämpenee ja rakenne löystyy. Kitkan aiheuttamien leikkausvoimien seurauksena löystynyt puuaines hajoaa kuitukimpuiksi ja edelleen yksittäisiksi kuiduiksi. Jauhatusvaiheessa kuidut haiventuvat ja niiden taipuisuus lisääntyvät. Tämä kasvattaa kuitujen pinta-alaa, jolloin kuidut pystyvät sitoutumaan toisiinsa paremmin. (Seppälä ym. 2005, 60; Snellman 2015, 25 mukaan.)

Jauhatuksessa syntyy suuria määriä lämpöenergiaa, joka höyrystää veden. Massa ja höyry kuljetetaan höyrynerotussyklonille, jossa erotellaan höyry massasta. Höyry kierrätetään lämmöntalteenottoon ja massa kuljetetaan latenssinpoistosäiliöön. (Snellman 2015, 16.)

Jauhatuksessa käytetään yksi tai kaksi teräkielekkoisia levyjauhimia. Yksielekkojauhimissa, SD ja CD, toinen kiekko on kiinteä ja toinen kiekko pyörii akselin avulla. (Seppälä ym. 2005, 60 -61). CD jauhimessa, joka on esitetty kuvassa 5 (Knowpulp A, 2016) on sisempänä tasainen jauhatussyöhyke ja ulompana kartion muotoinen vyöhyke. (Valmet 2018) Kaksielekkojauhimessa DD molemmat kiekot pyörivät akseleiden avulla vastakkaisiin suuntiin. (Seppälä ym. 2005, 60 -61). Jauhimien terissä on murskausvyöhyke, kartiomainen vyöhyke sekä tasomainen vyöhyke, joissa on erikokoisia uria. (Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1981, 61-63). Murskausvyöhykkeessä terien urissa on suuret raot, joiden avulla hake murskautuu. Kartiomaisessa sekä tasomaisessa vyöhykkeessä on pienimmät välit, joiden avulla hake saadaan kuidutettua.



KUVA 5. CD jauhin ja jauhinterät (Knowpulp A, 2016)

Jauhimet valmistetaan ruostumattomista sekä haponkestävistä teräksistä. Teräkiekkojen pinnat valmistetaan kasaamalla valettuja segmenttipaloja. Jauhinten akselien, laakereiden sekä rungon täytyy olla rakenteiltaan kestäviä, koska teriin kohdistuu suuria voimia. (Seppälä ym. 2005, 60-61.)

### 3.2.3 Latenssinpoisto

Latenssinpoistossa eli kuumahajotuksessa massasta poistetaan jauhatuksessa syntynyt latenssi eli kuitujen taipuisuus ja kiharuus. Latenssi syntyy, kun jauhatuksen korkeassa lämpötilassa kuitujen ligniini lämpenee ja täten pehmenee. Jauhatuksen jälkeen massa jäähtyy, jolloin pehmentynyt ligniini jähmettyy aiheuttaen jännitteitä kuidun selluloosaan. Jännitteet saavat kuidut kihartumaan. Latenssinpoisto tapahtuu latenssinpoistosäiliössä 70-80 °C lämpötilassa, jolloin ligniini jälleen pehmenee vapauttaen selluloosan jännitteet. (Lucander 1988, 2-4.) Massa laimennetaan alhaiseen noin 2-4% sakeuteen edistämään kuitujen suoristumista. Latenssinpoistosäiliössä viipymäaika on noin 20-30 minuuttia, jonka aikana massaa sekoitetaan säiliön pohjassa olevien sekoittimien avulla. (Seppälä ym. 2005, 58). Latenssinpoiston jälkeen massasta

pestään likainen vesi pois pesupuristimella, joka puristaa massasta likaisen veden. (Knowpulp B, 2016.)

### **3.3 Jälkikäsitteily**

#### **3.3.1 Lajittelu ja rejektin käsitteily**

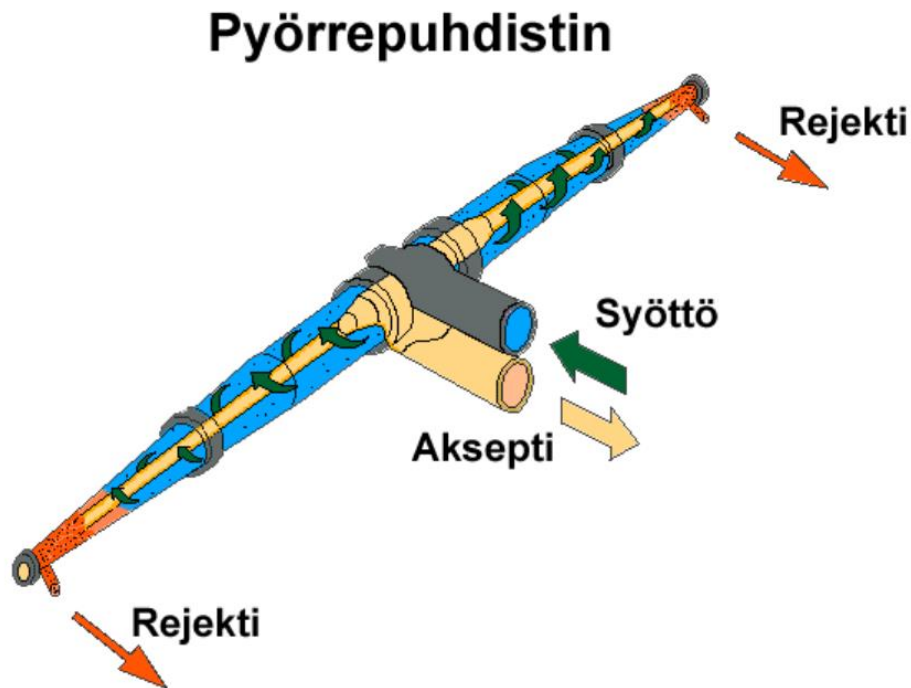
Lajittelussa massasta erotetaan jauhatuksesta jääneet liian suuret tikut sekä kuitukimput korkeapainelajittimella. Eroteltu rejekti eli massaan kelpaamattomat tikut ja kuitukimput kuidutetaan rejektijauhimmella. Uudelleen jauhettu rejekti lajitellaan rejektin lajittimella, jonka viimeisessä vaiheessa poistetaan rejektin seasta hiekka, kivet sekä karkeat tikut pyörrepuhdistuksessa. Rejektin lajittelusta haluttu massa eli aksepti johdetaan takaisin päämassavirran mukaan. (Knowpulp C, 2016.)

Massan päälajittelu tapahtuu paine-erojen avulla, joko keskipakoislajittimella, tai painelajittimella, jotka sisältävät sihdin. Jälkilajittelu suoritetaan pyörrepuhdistuksella. Lajittimeen syötetty massa joutuu pyörivään liikkeeseen ja pauskautuu sihtiä päin. Sihdin raoista mahtuva haluttu jae eli aksepti läpäisee sihdin ja pintaan jää massaan kelpaamaton jae eli rejekti, joka ei mahdu ja taivu rummun reikien tai rakojen läpi. Sihdin pinnalle jäänyt rejekti toimii myös suodattimena, joka estää pienten tikun palojen pääsyn akseptiin. Sihtiin jäänyt rejekti puhdistetaan siivellisen roottorin avulla rummun pinnasta pois rejektijauhimmelle. Jos sihdin raot ovat liian suuria, lajittelutulos jää huonoksi ja massaan pääsee liian suurta jaetta. Jos raot ovat liian pienet, jää sihtirummun kapasiteetti liian pieneksi. (Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1981, 71-73; Knowpulp C, 2016.)

Päälajittelun jälkeen massalle suoritetaan jälkilajittelu pyörrepuhdistuksella. Pyörrepuhdistuksen tarkoituksena on poistaa massasta siihen jääneet epäpuhtaudet kuten kuoripilkut, tikut sekä muut pienet raskaat partikkelit, jotka eroavat painoltaan ja muodoltaan kuiduista. Näiden pienien partikkeleiden erottelu tapahtuu keskipakovoiman avulla pyörrepuhdistukseen tarkoitetuissa kartioissa. (Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1981, 75.)

Pyörrepuhdistuksessa massa, jonka sakeus on hyvin alhainen, syötetään kartion muotoisen pillin yläosaan, jossa akseptin ja rejektin välinen paine-ero on 100-300 kPa. Massa joutuu pillin ulkoreunalla pyörreliikkeeseen, joka suuntautuu kohti kartion kärkeä.

Ulkoreunan pyörteen sisäpuolelle, pillin keskelle, muodostuu päinvastaiseen suuntaan kulkeva ulkoreunan pyörrettä nopeampi pyörre. Epäpuhtaudet erottuvat paine-eron avulla ulkopyörteeseen, jonka mukana ne kulkevat kartion päähän ja poistuvat. Aksepti kulkeutuu sisemmän pyörteen mukana kartion toiseen päähän poistuen akseptiaukosta. Kuvassa 6 on esitetty pyörrepuhdistuksen periaate. (Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1981, 75; Knowpulp C, 2016.)



KUVA 6. Pyörrepuhdistuksen periaate (Knowpulp C, 2016).

Pyörrepuhdistuslaitos erottelee hyvin raskasta ainesta kuten hiekkaa ja metallia, mutta sillä on kuitenkin suuret investointikustannukset ja suuri energian kulutus. Mikäli hake on puhdasta, ei pyörrepuhdistuslaitosta kannata rakentaa suuren investoinnin takia. Myös uusi rakolajittelutekniikka on mahdollistanut pyörrepuhdistuslaitoksesta luopumisen hierteen valmistuksessa. (Seppälä ym. 2005, 65-66; Knowpulp C, 2016.)

### 3.3.2 Valkaisu

Ennen valkaisu massaa pestään pesupuristimessa. Massa pestään vedellä laimentamalla, jonka jälkeen vesi suodatetaan mekaanisesti pois massasta. Näin ollen massasta poistuu liuenneita partikkeleita, hienoainetta sekä likaa. (Lundin & Vuorio 2009, 327-334.)

Valkaisun tarkoituksena on nostaa massan vaaleus paperin tai kartongin valmistuksen vaatimalle tasolle. Vaaleudella tarkoitetaan kartongin tai paperin heijastamaa valon määrää. Tähän valon heijastuskykyyn vaikuttaa absorptio- sekä valonsirontakerroin. Valonsirontakertoimeen vaikuttaa puulaji, massan valmistustapa sekä jauhatustase, eikä siihen voida vaikuttaa valkaisulla. (Isotalo 2004, 84.) Massan valkaisu tapahtuu valkaisuurnissa, jossa massan sakeus on yli 3-5%, pH on 4,5-6,5 ja urnissa lämpötila on 70-75 celsiusastetta. (Kocurek & Leask 1987, 229.)

Massan vaaleutta heikentää puun värilliset yhdisteet kuten uuteaineet sekä ligniini. Mekaanisen massan valkaisuun tarkoituksena on kemikaalien avulla muuttavat ligniinin kromoforit värittömiksi. Havupuumassojen valkaisussa käytetään usein vetyperoksidia, joka hajoaa perhydroksyyli-anioneiksi (HOO<sup>-</sup>). Nämä anionit hapettavat ligniinin kromoforit värittömään muotoon. Natriumhydroksidia (NaOH) käytetään alkalina vetyperoksidin kanssa. Kelatointiin eli metalli-ionien sitomiseen käytetään DTPA:ta. Metallionit täytyy sitoa, etteivät ionit kuluta peroksidia. Valkaisuun annostellaan myös vesilasia eli natriumsilikaattia (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), jonka tehtävänä on toimia pH:n puskuroijana sekä peroksidin hajoamisen ehkäisijänä. (Jäkärä, Persson & Mårtens 2009, 362-399.)

Valkaisuun jälkeen massa pestään vielä kahteen kertaan, jotta ylimääräiset kemikaalit saadaan pois. Pesujen jälkeen massa on valmista asiakkaiden käytettäväksi. Valmis CTMP-massa kuljetetaan massatorneihin, joista kartonkikoneet ottavat massaa käyttöönsä.

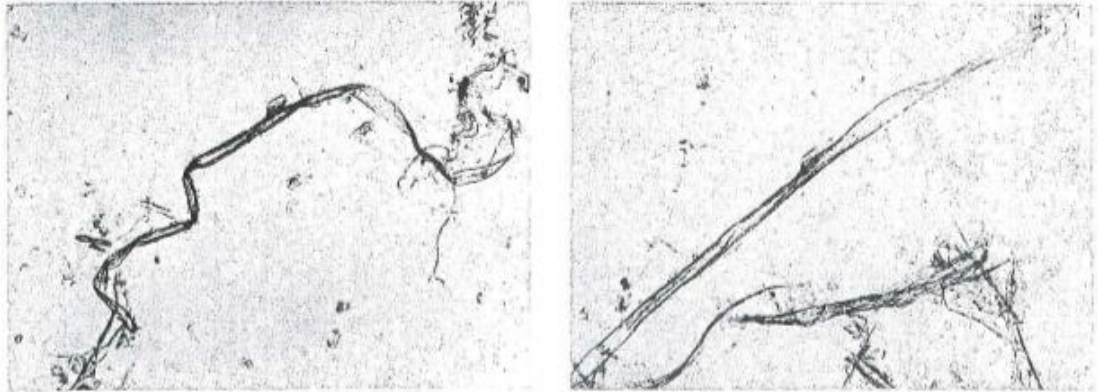
## 4 LATENSSI

Latenssi tarkoittaa kuitujen kihartuneisuutta ja käyrityneisyyttä. Kihartuneisuus määritellään tavallisesti massan freeneksen prosentuaalisena muutoksena kylmä- ja kuumahajotuksessa. (Lucander 1988, 1). Kuidun kihartumista syntyy korkeassa lämpötilassa tapahtuvan jauhatuksen jälkeen, kun kuidut jäähtyvät ja jähmettyvät. Kiharat kuidut alentavat massan lujuuksia sekä lisäävät tikkupitoisuutta, jonka takia latenssi pyritään poistamaan massasta. (Knowpulp B, 2016.)

### 4.1 Latenssin synty

Puun kuidut koostuvat pääosin selluloosasta, hemiselluloosasta sekä ligniinistä. Amorfiset osat eli ligniini ja hemiselluloosa ympäröivät selluloosaa. Ligniinillä sekä hemiselluloosalla on visko elastisia ominaisuuksia, joihin kuuluvat pehmeneminen lämmössä sekä rasituksen aiheuttama ajasta riippuvainen relaksaatioilmiö. Kuiva hemiselluloosa sekä ligniini pehmenevät yli 200 °C lämpötilassa, mutta kosteana hemiselluloosa pehmenee jo huoneenlämmössä ja ligniini 80 °C. Nämä kostean tilan pehmenemislämpötilat määräävät kuitujen reologisen- eli valumiskäyttäytymisen jauhatuksessa. (Lucander 1988, 2.)

Mekaaninen rasitus eli jauhatus kohdistaa kuumaan ja kosteaan kuituun puristus- sekä leikkausvoimia. Nämä voimat mahdollistavat amorfisten osien eli ligniinin ja hemiselluloosan sulamisen sekä valumisen. Kuidun taipuminen ja vääntyminen eivät kuitenkaan aiheuta jännityksiä ligniinissä ja hemiselluloosassa, vaan jännitykset syntyvät selluloosassa, kun ne rasituksen alla muuttavat elastisesti muotojaan. Jauhatuksen jälkeen ligniinin ja hemiselluloosan jäähtyessä ilman, että selluloosaosat palautetaan jännittämättömään tilaan, syntyy kuitujen deformatiivisiin kohtiin sisäisiä jännityksiä. Nämä jännitykset saavat kuidut kihartumaan. Selluloosaosien jännitykset saadaan vapautettua, kun kuidun amorfiset osat saadaan sulaan tilaan eli kuidun lämpötila on nostettava lähelle kostean ligniinin pehmenemispistettä. Kuidut tarvitsevat myös tilaa suoristumiseen, jonka takia massa täytyy laimentaa 2-4% (Leppinen 2018). Tällöin selluloosaosien jännitykset relaksoituvat ja kuitu suoristuu elastisesti. (Lucander 1988, 2-3.)



KUVA 7. Vasemmalla latenttinen kuitu ja oikealla suoristettu kuitu. (Alfthan 1976, 574).

Kuitujen käyristymistä voidaan kuvata kuitujen taipuisuudella suhteessa suoraan kuituun. Jordan ja Page ovat käyttäneet käyristymisindeksiä kuvaamaan kuitujen kihartuneisuutta. Käyristymisindeksi määritellään seuraavasti:

$$I_k = \frac{L}{l} - 1 \quad (1)$$

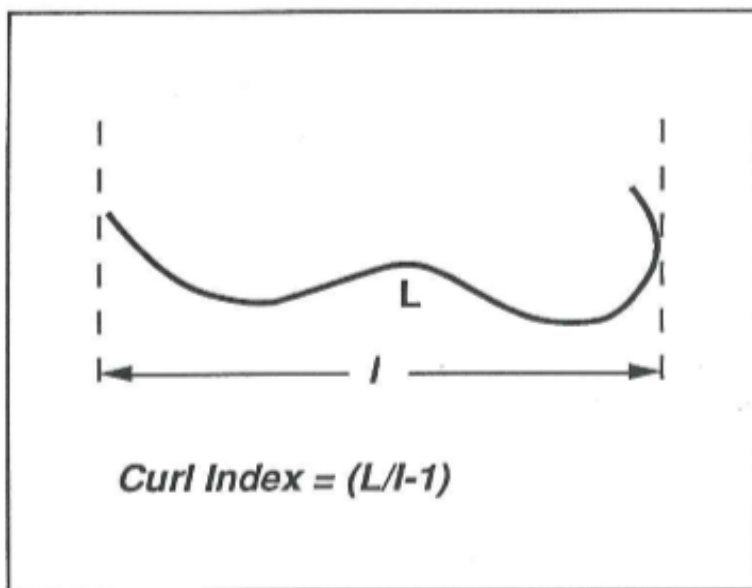
jossa

$I_k$  = käyristymisindeksi

$L$  = kuidun pituus millimetreinä

$l$  = kiharan kuidun suurin projisoitunut pituus.

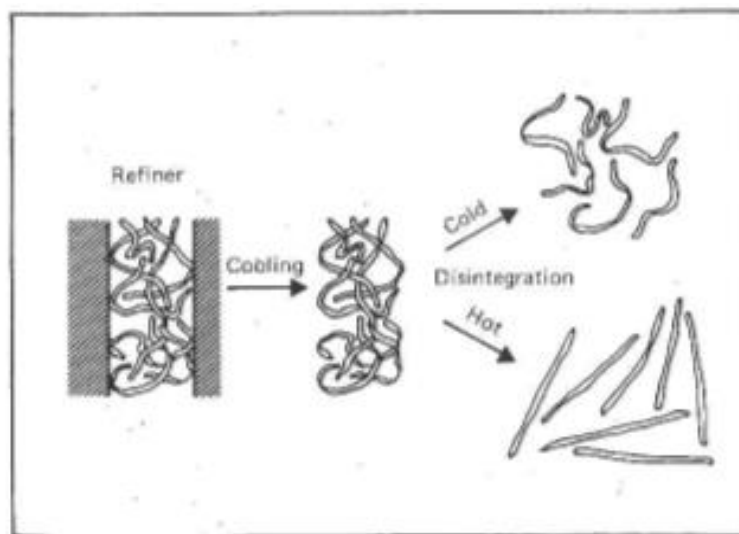
(Lucander 1988, 3.)



KUVA 8. Käyristymisindeksin määritelmä. (Lucander 1988, 3).

### 4.1.1 Jauhatus latenssin aiheuttajana

Jauhatuksessa jauhinten terät kohdistavat hakkeeseen mekaanista rasitusta nopeiden rasitusimpulssien avulla. Murskaus- ja jauhatusvyöhykkeellä hakkeeseen kohdistuu puristus- sekä leikkausvoimia, joiden avulla hake saadaan kuidutetuksi. Puristusvoimat lämmittävät puuainesta ja siten heikentävät kuitujen rakennetta. Leikkausvoimat hajottavat puuaineen kuitukimpuiksi ja yksittäisiksi kuiduiksi. Puristusvoimien aiheuttama rasitus sekä jauhatuksen korkea 143-158 °C lämpötila lämmittää ja täten pehmentää ligniiniä sekä hemiselluloosaa. Jauhatuksen jälkeen ligniini jäähtyy nopeasti korkeassa sakeudessa. Nopea jäähtyminen saa ligniini jäykistymään. Korkea sakeus sekä ligniinin jäykistyminen estävät selluloosan jännitteiden vapautumisen. (Lucander 1988, 2; Leppinen 2018; Lönnberg, 2009, 476; Ellilä 2015, 13; Suuronen 2014, 24 mukaan). Snellmanin mukaan jauhatuksen korkea lämpötila sekä korkea sakeus saavat kuiduissa olevan veden haihtumaan. Veden poistuminen vähentää kuidun kimmoisuutta ja aiheuttaa myös kuidun kihartumista. (Seppälä ym. 2005, 58; Snellman 2015, 29 mukaan). Kuvassa 8 esitetty latenssin synty.



KUVA 9. Latenssin poistuminen (Mohlin 1980, 83)

## 4.2 Latenssin poistaminen

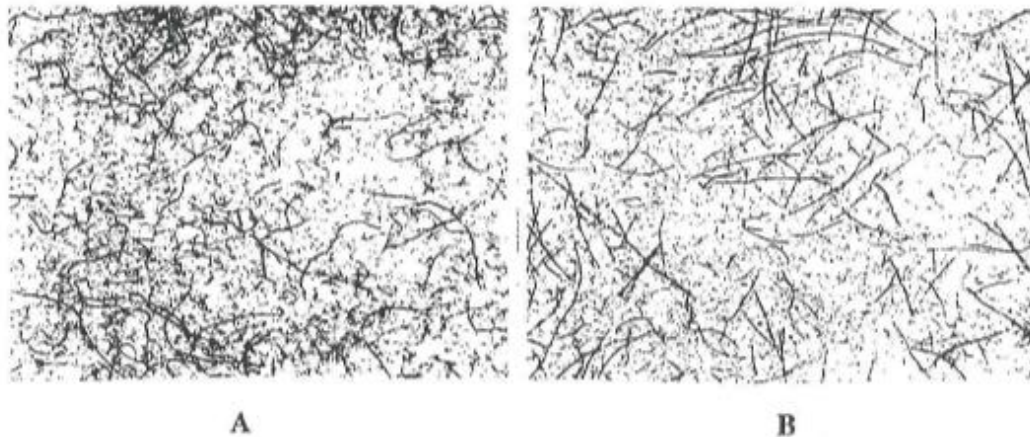
### 4.2.1 Latenssin suoristus

Latenssi saadaan pääasiassa poistettua vapauttamalla kuidun selluloosan jännitteet pehmentämällä ligniini ja hemiselluloosa (Lucander 1988, 3-4). Ligniinin



pehmentämiseksi massan lämpötila nostetaan 70-80 °C. Korkean lämpötilan lisäksi latenssin poistamiseksi massa laimennetaan 2-4%. Alhaisessa sakeudessa kuiduilla on tilaa palautua jännittymättömään tilaan. Laimeaa massaa sekoitetaan noin 30 minuutin ajan, jotta suoristuminen kerkeää tapahtumaan. (Seppälä ym. 2005, 58.) Latenssin poistumista kuiduista tehostetaan sekoittajien avulla. Sekoittimena voidaan käyttää, joko potkureita tai pumppuja. Alhaisessa 1,5-3 % sakeudessa tehokkaaksi sekoittajaksi on osoitettu keskipakopumppu. 2-4 % sakeudessa potkurityyppisellä sekoittajalla saadaan latenssia poistettua tehokkaasti. Lucanderin mukaan korkeammassa 8-15 % sakeudessa keskisakeuspumpulla on saatu lupaavia tuloksia latenssin poistossa. (Lucander 1988, 17.)

Selluloosan sekä hemiselluloosan pehmentyessä kuidun seinämät turpoavat. Tällä uskotaan myös olevan vaikutusta latenssin poistumiseen. (Elillä 2015, 17). Kuitujen turpoamista edistää kemikaalien kuten lipeän annostelu latenssinpoistosäiliöön. Kuvassa 10 nähdään kuidun kihartuneisuus kylmä- sekä kuumahajotuksen jälkeen. (Seppälä ym. 2005, 58; Heinemann & Vehniäinen 2009, 476; Snellman 2015, 29.)

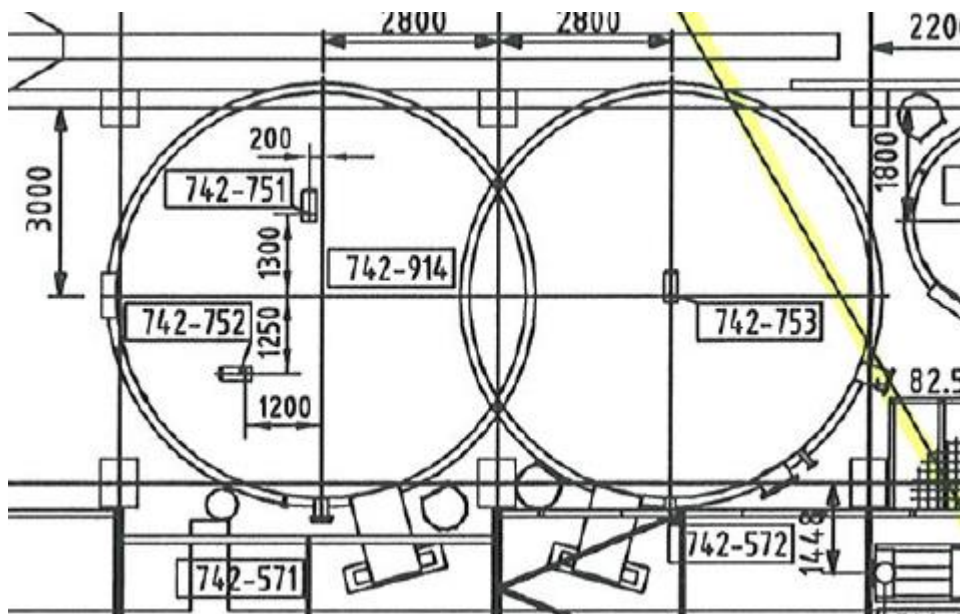


KUVA 10. Kuidut kylmahajotuksen A ja kuumahajotuksen B jälkeen. (Lucander 1988, 10)

Kuitujen kihartuneisuus on palautuva ilmiö, joka tarkoittaa, että, vaikka kuitujen latenssi saadaan poistettua latenssinpoiston säiliössä, kihartuneisuus saattaa palata kuituihin prosessin myöhemmissä vaiheissa. Kuidut lämpenevät myöhemmissä vaiheissa, jolloin kuitujen ligniini pehmenee ja kihartuneisuus palaa. Kuitujen kihartuneisuus palaa mahdollisesti myös massan ollessa väli- ja asiakassäiliöissä. (Kappel 1999, 42.)

### 4.3 Latenssinpoistosäiliö

Latenssin poistaminen kuiduista tapahtuu latenssinpoistosäiliössä, jossa on kaksi sekoittajaa. Muodoltaan säiliö on niin kutsuttu silmälasikyyppeä eli kaksi pyöreää säiliötä on liitettyä yhteen. Säiliön muoto nähdään kuvasta 11. Massa syötetään höyrynerottimelta säiliön yläosasta vasemmalle puolelle massan laimennusveden kanssa, jossa se sekoittuu ensimmäisen sekoittimen toimesta. Säiliön vasemmalle puolelle syötetään myös kemikaalia. Ensimmäiseltä sekoittajalta massa kulkeutuu säiliön oikeanpuoleiseen osaan jälkimmäiselle sekoittajalle. Jälkimmäisen sekoittajan oikealla puolella sijaitsee pumpullinen putki, josta massa poistuu säiliöstä ja kulkeutuu ensimmäiselle pesupuristimelle.



KUVA 11. Latenssinpoistosäiliö

Säiliössä oleva lämpötila määräytyy massan lämpötilasta. Lämpötilaa voidaan nostaa vähentämällä höyrynerottimella höyryn erotusta, jolloin massan mukana kulkeutuu enemmän höyryä säiliöön. Säiliössä olevaa sakeutta voidaan säätää höyrynerottimen ruuville syötetyllä laimennusvedellä, jonka avulla massa saadaan kuljetettua latenssinpoiston säiliöön. Viipymäaikaan säiliössä voidaan vaikuttaa pinnankorkeudella, jota voidaan säätää tulo- ja lähtövirtauksilla. Kun säiliön tulovirtausta nostetaan ja lähtövirtausta pienennetään, saadaan säiliön pintaa korkeammaksi. Saavutettua haluttu pinnankorkeus, tasataan tulo- ja lähtövirtaukset saman kokoisiksi, jolloin pinnankorkeus

pysyy paikoillaan. Säiliön pH:n muutoksia voidaan tehdä muuttamalla kemikaalin annostuksia säiliöön.

#### 4.4 Tärkeimmät muuttujat

Latenssinpoistoon vaikuttavat muuttujat ovat lämpötila, sakeus, viipymäaika sekä sekoitus. Lämpötilan latenssinpoistosäiliössä tulee olla 70-80 °C, jotta ligniini sekä hemiselluloosa lämpenevät ja kihartuneisuus pääsee poistumaan kuidusta. Kuitenkin, liian korkea lämpötila aiheuttaa massan tummumista, mikä ei ole toivottua. Lucanderin artikkelissa mainitussa STFI:ssa suoritetussa tutkimuksessa on osoitettu, että CTMP-massasta voidaan latenssi poistaa alhaisemmassa lämpötilassa kuten 60 °C. CTMP-prosessissa ligniinin sulfonoituminen alentaa lämpötilaa, jossa ligniini pehmenee. Ligniinin pehmeneminen saa aikaan käyristyneiden kuitujen jännitysten laukeamisen ja näin ollen kuitujen suoristumiseen tarvittava lämpötila on myös alentunut. Alhaisempi lämpötila ehkäisee massan tummumista latenssin poiston aikana. (Lucander 1988, 13.)

Latenssinpoistossa tarvitaan säiliössä viipymäaika vähintään 10-30 minuuttia, jotta kuitu kerkeää suoristumaan (Leppinen 2018). Jotta viipymäaika olisi ihanteellinen, massa täytyy syöttää eri puolelle kyyppiä kuin, mistä se pumpataan ulos (Ottelin 2018). Latenssinpoistosäiliön tulee kuitenkin olla mitoitettu oikean kokoiseksi tuotantoon nähden, jotta massa pystyy viipymään säiliössä tarvittavan ajan. Jos säiliö on liian pieni ja viipymäaika halutaan reiluksi, säiliö täytyisi nopeasti. Jotta säiliö ei täytyisi, pitäisi säiliön poisvirtausta lisätä ja näin ollen massan viipymä säiliössä alenisi. Jos massan kierto säiliössä on huono, osa massasta ei viivy säiliössä riittävän kauaa ja osa taas liian kauan. Massan ollessa liian pitkän ajan säiliössä korkeassa lämpötilassa, se alkaa tummua. Viipymäaika vaikuttaa myös massan sekoittumiseen. Mitä pidempään massa viipyy säiliössä, sitä enemmän massaa saadaan sekoitettua. Massan viipymäaika säiliössä saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$t = \frac{V}{f} \quad (2)$$

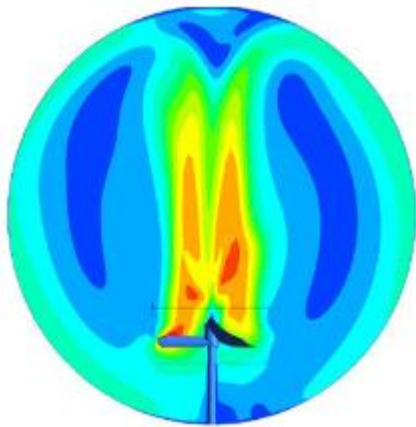
missä

$$t = \text{viipymäaika}$$

$f = \text{virtaus säiliöön/säiliöstä, kun säiliön pinta pysyy tietyssä arvossa}$

$$V = \text{massan määrä säiliössä litroina}$$

Latenssinpoiston tehostamiseksi säiliössä on sekoittajat, joiden tehtävänä on sekoittaa ja vatkata massaa, jotta kuidut suoristuvat. Säiliön sekoittajat saavat aikaan turbulenttisen virtauksen, jossa massa sekoittuu. Tämä turbulenttinen vaihe sijaitsee sekoittajien etupuolella. Sekoittajan sivuilla massan liike on hyvin tasaista eikä sekoittumista tapahdu (Ottelin 2018). Kuvassa 8 on esitetty sekoittajien toiminta. Sakeudella voidaan vaikuttaa sekoittumisen tehokkuuteen. Korkeassa sakeudessa sekoittajien etupuolelle syntyvä turbulenttinen alue pienenee, kun taas alhaisemmassa sakeudessa alue pitenee. Mikäli sekoitus puuttuu, poistuu latenssi kuidusta sitä paremmin, mitä alhaisempi massan sakeus on. Potkurityyppisillä sekoittimilla sekoitettaessa massaa, ihanne sakeus on 2-4%. (Lucander 1988, 17.)



KUVA 12. Sekoittajien toiminta latenssinpoistosäiliössä. (Ottelin 2018)

Jos massan sakeus ei ole riittävän alhainen, täytyy sekoittajien kierroksia lisätä, jotta sekoittumista tapahtuu riittävästi. Sekoitustehojen lisäämisen myötä täytyy sekoittajien lapakulmia muuttaa. Lapakulmien muuttaminen aiheuttaa kuituihin kohdistuvan iskun voimistumisen, josta kuidut voivat vaurioitua. Liian voimakas sekoittaminen voi synnyttää ilmakuplia massan sekaan (Ottelin 2018). Sakeusheitot massassa aiheuttavat epätasaista latenssinpoistumista, koska korkeammassa sakeudessa olevaa massaa ei saada sekoitettua yhtä hyvin kuin matala sakeuksista massaa.

#### 4.5 Latenssin vaikutus massan ominaisuuksiin

Kuitujen latenssi vaikuttaa CTMP-massan laatuominaisuuksista freenekseen, tikkupitoisuuteen, lujuuksiin sekä märkävenymään. Suoran kuidun veto- ja puhkaisulujuudet ovat paremmat kuin kiharan kuidun. Latenssin poistuminen parantaa myös lajittelua, koska suorat ja taipuisat kuidut läpäisevät paremmin sihdin kuin kiharat kuidut ja näin ollen erottelu paranee. Lajittelun parantuessa tikkupitoisuus alenee. Kuitujen kiharuuden poistaminen kuitenkin huonontaa freenestä eli massan suotautuvuutta sekä märkävenymää selvästi.

Latenssia on nähtävissä eri kokoisista deformatuneista partikkeleista. Pitkissä ehjissä kuiduissa sekä pienemmistä partikkeleista esiintyy kihartuneisuutta ja vääntymistä. (Lucander 1988, 5-9). Pienempiin partikkeleihin kuten lamelleihin ja fibrilleihin muodostuu myös nystyröitä sekä yhteen kasautumia. Lucander (1988) esittelee artikkelissaan massan eri fraktioista suoritetuista arkkianalyysistä, joista huomataan, että latenssin vaikutus on voimakkaimmillaan pitkien kuitujen vetolujuuteen. Mitä hienempi jakoiseen ainekseen siirrytään, sitä vähemmän latenssi vaikuttaa lujuuksiin. Latenssilla ei ollut merkitystä hienoaineksesta valmistetun arkin vetolujuuteen. (Lucander 1988, 6.)

Kihartuneita kuituja voidaan hajottaa standardoiduilla kylmähajotuksella 20 °C SCAN-M 2:64 sekä kuumahajotuksella 85 °C SCAN-M 10:77. Lucander (1988) esittelee artikkelissaan hierteen hajotusta kylmässä sekä kuumassa, josta voidaan havaita, että kylmähajotuksessa freeness laskee nopeasti tietylle tasolle, jonka jälkeen se ei juurikaan laske. Kylmähajotuksessa kuitujen ja fibrillien nystyrät hajoavat, joka aiheuttaa freenessin alenemaa. Kuumahajotuksessa nystyröiden hajoamisen lisäksi kiharat kuidut oikenevat, joka alentaa massan freeness-arvoa huomattavasti kylmähajotusta enemmän. (Lucander 1988, 9.)

Latenssin vaikutus massan laatuun on huomattava. Kihartuneesta kuidusta poistuu vesi helpommin ja näin ollen massan freeness-arvo on korkeampi. Taipuisa kuitu katkeaa myös helpommin aiheuttaen korkean tikkupitoisuuden. Kiharan kuidun sitoutumiskyky

on huonompi kuin suoran kuidun, mutta sen bulkki ja huokoisuus ovat suuremmat. (Kappel 1999, 42-23.)

Massan varastointi jauhimien jälkeen korkeassa yli 80 °C lämmössä ja sakeudessa kehittää kuituihin pysyvän latenssin, jota ei saa poistettua edes pitkällä hajotusajalla. Korkeassa lämpötilassa varastoidun massan freeness nousee ja puhkaisulujuus heikkenee. Korkea lämpötila saa massan myös tummumaan. (Lucander 1988, 17-18.)

## 5 CTMP-MASSAN LAATUVAATIMUKSET

Neste- sekä pakkauskartongin valmistuksessa CTMP-massaa käytetään yleisesti kartongin keskikerroksessa. Pakkauskartongeilta vaaditaan hyviä jäykkyyksiä, lujuuksia sekä bulkkia, jotta pakkaukset ovat kestäviä. Mekaaninen massa antaa bulkin ja alhaisen neliömassan avulla haluttua jäykkyyttä alhaisella hinnalla. Kartongin valmistus vaatii massalta myös hyvää suotautuvuutta. CTMP-massan kemikaalikäsittely alentaa massan uuteainepitoisuutta, jotka aiheuttavat maku- ja hajuhaittoja pakkauskartonkeihin.

Mekaanisessa massassa oleellisia kuituominaisuuksia ovat kuidunpituus, pituusmassa, kuidun leveys, seinämävahvuus, kuidun taipuisuus ja lujuus sekä suhteellinen sidospinta-ala. Ohutseinämäiset ja leveät kuidut ovat taipuisia antaen suuren vetolujuuden, kun taas lyhyet kuidut alentavat repäisyjuuutta. Vetolujuutta saadaan parannettua kasvattamalla kuidunpituutta ja -leveyttä, sitoutumis-pinta-alaa sekä ominaissidoslujuutta. Repäisyjuuutta saadaan paranneltua kasvattamalla kuidunpituutta sekä -lujuutta. (Tiikkaaja 2007, 17; Ellilä 2015, 30 mukaan)

### 5.1 Kuidun pituus

Mekaanisessa jauhatuksessa kuidut vaurioituvat väistämättä. Kuidut katkeilevat ja niiden rakenne murtuu. Taulukosta 3 (Knowpulp D, 2016) nähdään, että kuusipuun kuidun pituus on 2,9 mm ennen jauhatusta. Jauhatuksen jälkeen kuidun pituus on Lehtosen (2011, 125) mukaan 1,4-1,8 mm. (Ellilä 2015, 30). Pitkissä kuiduissa esiintyvä kihartuneisuus vaikuttaa eniten massasta tehdyn arkin vetolujuuteen (Lucander 1988, 6).

TAULUKKO 3. Kuitujen kokojakauma (Knowpulp D, 2016.)

	Koivu	Haapa	Euka-lyptus	Akaasia	Mänty kevätpuu/ kesäpuu	Kuusi kevätpuu/ kesäpuu
Kuidun pituus, mm	1,1	0,8	1,0	0,7	2,9/2,9	2,9/2,9
Halkaisija, µm	22	18	16	20	35/20	33/19
Seinämän paksuus, µm	3	3	3	2	2,1/5,5	2,3/4,5

## 5.2 Freeness

Freeness-arvolla kuvataan massan suotautuvuutta eli massan kykyä läpäistä vettä. Yleisesti freenessin mittaamisessa käytetty menetelmä on Canadian Standard Freeness eli CSF (Kultalahti 2012, 17-18). Kartongin valmistuksessa käytettävässä CTMP-massan freeness-arvo on 250-500 ml, jolloin energiaa kuluu 1,4 MWh/t. Mitä alhaisempi on massan freeness-arvo, sitä kalliimpi massa on valmistaa. Alhaisen freenessin massan valmistukseen tarvitaan enemmän voimaa, johon tarvitaan enemmän energiaa kuin korkean freenessin massan valmistukseen. (Metsäteollisuuden Työntajaliitto 1981, 15-17; Nickull & Pitkänen 2009, 275; Snellman 2015, 38 mukaan.)

Freeness-arvo määritellään CSF-laitteella, jonka avulla massanäyte suodatetaan siivilän läpi mittalasiin. Mittalasiin luetaan suotautuneen veden määrä millilitroina, joka kertoo massan freeness-arvon. Määritykset tehdään kahdesta rinnakkaisnäytteestä. Jos rinnakkaisnäytteiden tulokset eroavat yli 4% toisistaan, tehdään määritykset uudestaan. (Stora Enso Intranet, CTMP määritykset.)

Massan freenessiin vaikuttaa jauhatustaso sekä latenssinpoisto. Jauhatustaso kuvaa, kuinka pitkälle massaa on jauhettu. Mitä pidemmälle massaa on jauhettu, sitä isompi on kuitujen ominaispinta-ala ja sitä alhaisempi on freeness-arvo. Kuitujen kihartuneisuus parantaa massan freenessin eli latenssin poistuksessa freeness-arvo laskee. (Knowpulp F, 2009; Knowpulp B, 2016; Suuronen 2017, 69 mukaan.)

## 5.3 Lujuudet

CTMP-massasta määritellään veto-, puhkaisu- sekä repäisyjuuudet. Kuidun latenssin heikentää kaikkia näitä lujuuksia. Latenssinpoiston jälkeen massan lujuusominaisuudet paranevat. Lujuudet määritellään laboratoriossa tarkoin määrättyllä tavalla massasta valmistetusta arkista. (Metsäteollisuuden Työntajaliitto 1981, 17.)



### 5.3.1 Veto- ja puhkaisulujuus

Vetolujuudella tarkoitetaan massa-arkin murtumista siihen kohdistuvan vetävän voiman seurauksena (Knowpap E, 2009). Puhkaisulujuutta voidaan verrata vetolujuuteen. Molemmat kuvaavat kuitujen kykyä sitoutua toisiinsa. Veto- ja puhkaisulujuuteen voidaan vaikuttaa latenssinpoistolla. Kuitujen suoristuessa, niiden sitoutumispinta-ala kasvavat. Vetolujuuteen vaikuttaa yksittäisten kuitujen lujuus. Kihartuneen kuidun vetolujuus on huonompi kuin suoran kuidun. (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto 1981, 17).

### 5.3.2 Repäisylujuus

Repäisylujuudella kuvataan massa-arkin repeämistä siihen kohdistuneen voiman seurauksena. Repäisylujuuteen vaikuttaa kuitujen sitoutuminen toisiinsa. Sitoutumiseen voidaan vaikuttaa jauhatuksella sekä latenssin poistamisella. Liian vähän jauhetut kuidut eivät sitoudu hyvin toisiinsa, joka heikentää repäisylujuutta. Myös kuitujen latenssi heikentää kuitujen tarttumista toisiinsa. Kun latenssi poistetaan kuiduista, kuidut sitoutuvat toisiinsa paremmin ja repäisylujuus paranee. (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto 1981, 17-18; Knowpap G, 2009.)

## 5.4 Tikkupitoisuus

Tikkupitoisuudella kuvataan massan hienojakoisuutta eli kuinka paljon massassa on tikkuja. Tikut koostuvat kuitukimpuista sekä puun osista, jotka ovat nähtävissä ilman mikroskooppia. Paksuus tikuilla on 1-4 mm, mutta paksuus on 0,1 mm, jonka avulla tikut erottuvat kuiduista. Tikkupitoisuus määritellään Somerville-seulalla, joka koostuu vaakatasossa olevasta 0,15 mm rakoisesta seulalevystä sekä levyn alla olevasta värähtelevästä seulalevyn kalvosta. (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto 1981, 17-18; Kappel 1999, 32.)

Tikkuja syntyy jauhatuksessa, kun kuidut muuttavat muotoaan ja niiden pinnat rikkoutuvat. Lajittelun seulonnalla pyritään poistamaan tikut massasta. Tikkujen määrään massassa voidaan vaikuttaa latenssinpoistolla. Kihara kuitu katkeaa helposti ja katkennut

kuitu aiheuttaa tikkuja massaan. Kiharan suoristaminen ehkäisee tikkujen syntyä sekä helpottaa lajittelua, jossa tikut saadaan eroteltua massasta. (Kappel 1999, 42-43.)

## 6 KOKEELLINEN OSA

### 6.1 Työn tausta ja tavoitteet

Lujuudet ovat neste- ja pakkauskartongille tärkeitä ominaisuuksia, jotta pakkaukset kestävät valmistuksen sekä käytön. Neste- ja pakkauskartonkeja valmistavat Kaukopään tehtaan kartonkikoneet käyttävät CTMP-massaa raaka-aineenaan ja näin ollen asettavat CTMP-massalle vaatimuksia lujuuksien osalta. CTMP-massan valmistuksessa latenssinpoistamisella on teoriassa lujuuksia parantava vaikutus. Kaukopään CTMP-laitoksen latenssinpoistoa ole juurikaan tutkittu ja tämän opinnäytetyön kokeellisen osan ensisijaisena tavoitteena onkin tutkia, voidaanko latenssinpoistoon vaikuttavien tekijöiden muutoksilla parantaa latenssin poistumista sekä tutkitaan näiden muutoksien vaikutuksia valmistetun massan laatuominaisuuksissa. Toisena tavoitteena työssä on selvittää, palautuuko latenssi kuituihin prosessin myöhemmissä vaiheissa.

Kirjallisuuden sekä haastattelujen perusteella selvitettiin, että latenssinpoistoon vaikuttavat tekijät ovat sakeus, lämpötila, viipymäaika sekä sekoitus. Kaukopään CTMP-laitoksella lämpötila on optimaalinen 70-80 °C ja massan viipymäajat latenssinpoiston säiliössä ovat pitkät, puolella tuotannolla noin tunnin ja täydellä tuotannolla noin puoli tuntia. Tämä tarkoittaa, että yhden jauhimen tuotannolla latenssinpoistosäiliön viipymäaika on keskimäärin tunnin verran ja kahden jauhimen tuotannolla puoli tuntia. Tuloksien avulla todettiin, ettei viipymäajan pidentämiselle ole tarvetta. Pikemminkin viipymäajan lasku olisi ihanteellisempi kuin pidentäminen massan tummumisen ehkäisemiseksi, mutta tällöin säiliön pinta tulisi laskea niin alas, etteivät säiliöiden sekoittajat peittyisi kokonaan ja tällöin sekoittuminen heikentyisi.

Työn teoriaosuutta tehdessä havaittiin, että Kaukopään CTMP-laitoksella sakeus ei ole ihanteellinen 2-4 %, vaan korkeampi. Koeajolla tutkitaan, onko sakeuden alentamisella 3-4 % vaikutusta kuidun kihartuneisuuteen sekä massan frenekseen ja lujuuksiin. CTMP-laitoksen latenssinpoistosäiliöön syötetään kemikaalia ja massalle on asetettu tietty pH arvo. Kemikaalin syötöstä tai vaaditusta pH arvosta ei kuitenkaan ole mainintaa kirjallisuudessa, joten kokeellisessa osiossa tutkitaan pH vaikutusta latenssinpoistumiseen sekä pH:n ja sakeuden muutoksien yhteisvaikutuksia massan ominaisuuksiin.

Latenssi on palautuva ilmiö. Kokeellisessa osuudessa halutaan tutkia, palautuuko latenssi Kaukopään CTMP-laitoksen prosessin myöhäisemmissä vaiheista. Ilmiön palautumista tutkitaan massanäytteistä tehtyjen laboratoriomittauksien sekä online-mittauksien avulla.

## 6.2 Suunnitelmat

### 6.2.1 Ensimmäisen koeajon suunnitelma

Koeajo suoritetaan yhden jauhimen ajolla latenssinpoistosäiliön pH:ta sekä sakeuksia muuttamalla. Latenssinpoistosäiliön pinnankorkeus pidetään koeajon ajan 50 – 55%. Koeajoja on neljä, joissa jokaisessa on kolme koepistettä. pH muutokset tehdään 7,5 – 8,5 pH:n alueella ja sakeus 5,7 % – 3,8 % alueella. Ensimmäinen koeajo suoritetaan pH:n muutoksilla. Kun pH:n vaikutusta on tutkittu, alennetaan massan sakeus 3-4 %. Sakeuden alentaminen tehdään jokaisen pH muutosasteikolla ja tällä tavoin tutkitaan pH:n ja sakeuden muutoksien yhteisvaikutuksia. pH muutokset suoritetaan kemikaalin virtausta vähentämällä ja lisäämällä. Taulukossa 4. on esitetty koeajon aikataulu. Viides koeajo tehdään, mikäli pH:n tai sakeuden muutoksilla havaitaan olevan positiivisia vaikutuksia latenssinpoistumiseen.

TAULUKKO 4. Koeajon aikataulu

Koeajo	Päivämäärä	Klo
pH 7	16.12.2018	07:00 - 19:00
pH 9	16.-17.12.2018	19:00 - 07:00
pH 9 + sakeus 4,6 %	17.12.2018	07:00 - 19:00
pH 9 + sakeus 3,8 %	17.-18.12.2018	19:00 - 07:00
pH 8 + sakeus 4,6 %	18.12.2018	07:00 - 19:00
pH 8 + sakeus 3,8 %	18.-19.12.2018	19:00 - 07:00
pH 7 + sakeus 4,6 %	19.12.2018	07:00 - 19:00
pH 7 + sakeus 3,8 %	19.-20.12.2018	19:00 - 07:00

Koeajon aiheuttaessa ongelmia prosessissa tai laadussa, tai kartonkikoneet käyttävät CTMP-massaa niin paljon, ettei yhden jauhimen tuotanto riitä, siirrytään koeajon varasuunnitelmaan. Varasuunnitelman koeajo on lyhkäisempi, vain kaksi päivää, kuin

alkuperäinen suunnitelma, eikä siinä tutkita pH:n ja sakeuden yhteisvaikutuksia. Varasuunnitelman aikataulu on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Koeajon varasuunnitelman aikataulu

Koeajo B	Päivämäärä	Klo
pH 7	16.12.2018	07:00 - 19:00
pH 9	16.-17.12.2018	19:00 - 07:00
pH 8 + sakeus 4,6 %	17.12.2018	07:00 - 19:00
pH 8 + sakeus 3,8 %	17.-18.12.2018	19:00 - 07:00

Koeajojen aikana CTMP-massan kulutus tulee olla alhaista, koska koeajo täytyy suorittaa puolella tuotannolla eli ajo tapahtuu yhdellä jauhimella. Massan sakeutta ei voida muuten alentaa 3-4 %, koska epäillään alhaisen sakeuden aiheuttavan muutoksia pesupuristimen toiminnassa. Koeajoja suorittaessa säiliön pinta täytyy pitää samana, jotta viipymäaika saadaan pidettyä samana kuin koeajoa edeltävässä tilanteessa. Tällöin analysoitavat tulokset olisivat vertailukelpoisia aikaisempiin tuloksiin.

### 6.2.2 Toisen koeajon suunnitelma

Ensimmäisen koeajon tuloksien perusteella suoritetaan toinen koeajo. Toinen koeajo suoritetaan ensimmäisen koeajon tavoin yhdellä jauhimella, jotta prosessiolosuhteet olisivat mahdollisimman samanlaiset. Koeajon ensimmäisessä koepisteessä latenssinpoistoa ajetaan sakeudella 4,3 % ja pH:lla 9. Toisessa koepisteessä sakeus palautetaan normaaliksi, noin 5,7 %, mutta pidetään pH 9. Taulukossa 6 on esitetty toisen koeajon suunnitelma.

TAULUKKO 6. Toisen koeajon suunnitelma

Koepiste	Päivämäärä	Kellonaika
Referenssi	15.1.2019 – 16.1.2019	07:00 – 07:00
pH 9, sakeus 4,3 %	16.1.2019 – 17.1.2019	07:00 – 07:00
pH 9	17.1.2019 – 18.1.2019	07:00 – 07:00

### 6.2.3 Näytteidenoton suunnitelmat

Ensimmäisen koeajon näytteet otetaan jokaisen koepisteen jälkeen taulukon 7 mukaisesti. Näytteet otetaan latenssinpoistosäiliöstä, MC 2 – pumpulta sekä MC 4 – pumpulta. Jos

joudutaan siirtymään koeajon varasuunnitelmaan, otetaan näytteet tauluko 7 näytteidenoton varasuunnitelman mukaisesti.

#### TAULUKKO 7. Näytteidenoton aikataulut

##### *Koeajosuunnitelman näytteiden oton aikataulu*

Näytteet	Päivämäärä	Lat.poisto	MC 2	MC 4
pH 7,0	16.12.2018	Klo 19:00	Klo 19:00	Klo 19:00
pH 9,0	17.12.2018	Klo 07:00	Klo 07:00	Klo 07:00
pH 7,0 + sakeus 4,6 %	17.12.2018	Klo 19:00	Klo 19:00	Klo 19:00
pH 7,0 + sakeus 3,8 %	18.12.2018	Klo 07:00	Klo 07:00	Klo 07:00
pH 8,0 + sakeus 4,6 %	18.12.2018	Klo 19:00	Klo 19:00	Klo 19:00
pH 8,0 + sakeus 3,8 %	19.12.2018	Klo 07:00	Klo 07:00	Klo 07:00
pH 9,0 + sakeus 4,6 %	19.12.2018	Klo 19:00	Klo 19:00	Klo 19:00
pH 9,0 + sakeus 3,8 %	20.12.2018	Klo 07:00	Klo 07:00	Klo 07:00

##### *Koeajon varasuunnitelman näytteiden otto*

Näytteet B	Päivämäärä	Lat.poisto	MC 2	MC 4
pH 7,0	16.12.2018	Klo 19:00	Klo 19:00	Klo 19:00
pH 9,0	17.12.2018	Klo 07:00	Klo 07:00	Klo 07:00
pH 8,0 + sakeus 4,6 %	18.12.2018	Klo 19:00	Klo 19:00	Klo 19:00
pH 8,0 + sakeus 3,8 %	18.12.2018	Klo 07:00	Klo 07:00	Klo 07:00

Näytteitä otetaan myös Stora Enso Oyj:n Tutkimuskeskukselle ennen koeajon alkamista sekä koeajon aikana. Näytteet otetaan latenssinpoistosta sekä MC 2 ja MC4 – pumpulta noin 3 desilitraa. Taulukossa 8 on esitetty Tutkimuskeskukselle vietävien näytteiden näytteidenottoaikataulu.

#### TAULUKKO 8. Tutkimuskeskukselle vietävien näytteiden näytteidenoton aikataulu

Näytteet	Päivämäärä	Lat.poisto	MC 2	MC 4
Ennen koeajoa	15.12.2018	Klo 08:00	Klo 08:00	Klo 08:00
pH 9, sakeus 3,8 %	18.12.2018	Klo 08:00	Klo 08:00	Klo 08:00
pH 8, sakeus 3,8 %	19.12.2018	Klo 08:00	Klo 08:00	Klo 08:00
pH 7, sakeus 3,8 %	20.12.2018	Klo 08:00	Klo 08:00	Klo 08:00

Toisen koeajon näytteet otetaan taulukon 9 mukaisesti. Jokaisesta koepisteestä otetaan näytteet latenssinpoistosta, MC 2 – pumpulta sekä MC 4 – pumpulta. Näytteitä otetaan,

jokaisesta näytteenottopisteestä 5 litraa CTMP-päivälaboratorioon sekä 3 desilitraa Tutkimuskeskukselle.

TAULUKKO 9. Näytteiden oton aikataulu

Koepiste	Päivämäärä	Latenssinpoisto	MC 2	MC 4
Referenssi	16.1.2019	07:00	07:00	07:00
pH 9, sakeus 4,3 %	17.1.2019	07:00	07:00	07:00
pH 9	18.1.2019	07:00	07:00	07:00

CTMP-laboratorio määrittää näytteistä freneksen kuumahajotuksella, tikkupitoisuuden sekä lujuudet. Lujuudet määritetään massasta valmistetusta arkista. Tutkimuskeskus määrittää näytteistä kuidun kihartuneisuuden määrän.

Koeajojen tuloksia analysoidaan laboratoriomittauksien sekä CTMP-laitoksen online-mittauksien avulla. Laboratoriomittaukset suoritetaan kolmesta eri pisteestä otetuista näytteistä. Mittaustuloksien keräämisessä ja käsittelyssä apuna käytetään erilaisia ohjelmistoja kuten prosessinohjausjärjestelmää sekä Exceliä.

## 6.3 Koeajot

### 6.3.1 Ensimmäinen koeajo

Koeajo aloitettiin maanantaina 17.12.2018 kello 07:45 suunnitelmana ajaa kahdeksan vuorokautta tehden jokaisena vuorokautena kaksi muutosta latenssinpoistossa. Koeajon ajan CTMP-laitos ajoi minimituotannolla ja latenssinpoistosäiliön pinta sekä lämpötila pyrittiin pitämään samana. Massan laatumääritykset tekivät CTMP-laitoksen päivälaboratorio sekä Stora Enso Oyj:n tutkimuskeskus. Toimitin näytteet itse laadunmäärityspaikoille näytteiden oton jälkeen. Ideana oli ajaa suunnitelman 9.2.1 mukaan, mutta CTMP-massan kulutuksen vuoksi koeajon aikana jouduttiin siirtymään varasuunnitelmaan. Koeajossa toteutuneet koepisteet ovat esitettyinä taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Toteutuneet koepisteet

Koepisteen numero	Aikaväli	pH	Sakeus	Lämpötila
1	Klo 08:30 – 18:30	7	5,5 %	73 – 74 °C
2	Klo 18:30 – 06:00	9	5,5 %	74 – 76 °C
3	Klo 06:00 – 19:00	9	4,1 %	70 – 74 °C
4	Klo 19:00 – 06:15	8	3,4 %	70 – 68 °C

Koeajo aloitettiin ottamalla referenssinäytteet massasta sekä määrittämällä latenssinpoistosta otetun massanäytteen sakeuden. Sakeuden määrittämisen jälkeen kello 08:30 aloitettiin muutoksien tekeminen taulukon 10 koepisteen 1 mukaisesti. Normaalissa ajotilanteessa pH säätö latenssinpoistoon tapahtuu tuotannon mukaan, mutta muutoksen aikaansaamiseksi otettiin tämä säätötapa pois käytöstä ja pienennettiin kemikaalin virtaus latenssinpoistosäiliöön nolnaan. Samalla muutettiin säätötapa niin, että pH säätö syötetyn asetusarvon mukaan.

Latenssinpoiston pH oli laskenut seitsemään kello 11:00. Säiliön vasemmanpuoleisen sekoittajan kuormat heittelivät kello 08:00-18:38 välisenä aikana. Tämän takia massan sekoittuminen on ollut normaalia heikompaa. Heikentynyt sekoittuminen on mahdollisesti vaikuttanut massan pH arvoon, koska syötetty kemikaali on tällöin sekoittunut heikommin massaan. Kemikaali syötetään säiliöön vasemman sekoittajan vierestä. Sekoittajan kuormat saatiin hallintaan syöttämällä laimennusvettä latenssinpoistosäiliöön molemmista päistä käytöstä poistetun höyrynerottajan linjan avulla. Valkaisun kemikaaliannostelija alkoi heitellä kello 19:12 seuraavaan aamuun kello 10:00 asti. Tällä voi olla merkitystä MC2 ja MC4 –pumpuilla otetun massan laatuun. Koepisteen lopussa otettiin näytteet muutoksia sisältävästä massasta.

Seuraava muutos tehtiin taulukon 10 koepisteen 2 mukaisesti. Massan pH saatiin nostettua 9 lisäämällä kemikaalin virtausta latenssinpoistosäiliöön. pH oli noussut 9 kello 22:00. Latenssinpoistosäiliön lämpötila on noussut kello 01:00 hetkellisesti 76 °C, mutta



palautunut 74 °C kello 02:00. Koepisteen 2 mukaan lämpötilan nousua on mahdollisesti aiheuttanut höyrynerottimen tulpan vuotaminen, jonka seurauksena latenssinpoistosäiliöön kulkeutuu höyryä erottimelta. Säiliön pinnankorkeus pysyi koeajon samana ja säiliön sekoittajat toimivat normaalisti. Koepisteen lopussa käytiin ottamassa näytteet muutoksista.

Seuraava muutos tehtiin taulukon 10 koepisteen 3 mukaisesti. Sakeus latenssinpoiston säiliössä saatiin laskettua 4,1% kello 06:20. Säiliön lämpötila laski kello 06:00 74 asteesta 70 asteeseen. pH sekä säiliön pinta pysyivät tasaisena koko koepisteen ajan. Sekoittajat toimivat myös normaalisti koko koepisteen ajan. Automaattinen laadunmittausjärjestelmä lopetti massan freeness- sekä kiharuudenmittauksen, kun sakeus oli alennettu 4,1%. Massa oli todennäköisesti liian laimeaa mittausten suorittamiseen.

Tämän koepisteen aikana todettiin, että CTMP-massan kulutus kasvaa huomattavasti seuraavina päivinä, jonka seurauksena tuotantoa täytyisi nostaa täystuotantoon. Seuraavien koepisteiden sakeuden alentaminen ei olisi ollut mahdollista täydellä tuotannolla, koska pesupuristin 1:n puristuskapasiteetin sekä flotaation kapasiteetin pelättiin olevan riittämätön. Tämän vuoksi päädyimme siirtymään varasuunnitelmaan ja näin ollen lyhentämään koeajoa kello 19:00. Tällöin otettiin näytteet koepisteestä 3.

Seuraava muutos tehtiin taulukon 10 koepisteen 4 mukaisesti. Säiliön pH sekä pinnan korkeus pysyivät koepisteen ajan tasaisena, mutta lämpötila lähti laskuun ja kello 00:00 lämpötila oli 68 °C koepisteen loppuun asti. Säiliön vasemmanpuoleisen sekoittajan kuormat ovat heitelleet kello 18:00-09:00 välisenä aikana, joka aiheuttaa massan huonoa sekoittumista. Koepiste ajettiin loppuun, otettiin näytteet ja palautettiin prosessi normaaliin tilaan. Koeajon viimeisistä näytteistä tehtiin viikkoa myöhemmin uusintamääritykset, jotta nähtiin, onko massan seisottamisella vaikutusta massan laatuun.

### **6.3.2 Toinen koeajo**

Ensimmäisen koeajon perusteella päädyin suorittamaan toisen koeajon, jonka suunnitelma on esitetty kappaleessa 9.2.2. Toinen koeajo aloitettiin ottamalla referenssinäytteet sekä määrittämällä lähtötilanne. Massan sakeus latenssinpoistosäiliössä oli 6,3 % ja pH 7,7. Lämpötila säiliössä oli tällöin 67 °C.

Ensimmäinen muutos latenssinpoistoon tehtiin taulukon 11 koepisteen 1 mukaisesti. Koepisteen alussa pH nousi ensin 9,4, jonka jälkeen laski ja tasaantui 9. Lämpötila latenssinpoistossa oli noussut tällöin 72 °C. Kello 20:00 tehtiin tarkistusmittaukset sakeudesta sekä pH:sta. Latenssinpoistosäiliöstä pesupuristin 1:lle lähtevän linjan online-sakeusmittaus näytti 4,3 % ja laboratoriossa tehty mittaus näytti 4,2 %. Säiliön pH online sekä laboratoriossa tehty käsimittaus näyttivät pH olevan 9,0. Lämpötila säiliössä oli tippunut 69 °C. Koepiste ajettiin loppuun, jolloin haettiin näytteet muutoksista.

TAULUKKO 11. Toteutuneet koepisteet

Koepisteen numero	Aikaväli	pH	Sakeus	Lämpötila
1	Klo 12:30 – 08:00	9	4,3 %	67 – 72 °C
2	Klo 08:00 – 08:00	9	5,8 %	69 – 78 °C

Seuraava muutos tehtiin taulukon 11 koepisteen 2 mukaisesti. Aamulla edellisen koepisteen näytteistä mitattiin pH, jolloin huomasi, että latenssinpoiston pH oli vain 8,2, vaikka online-mittaus oli pysynyt samassa 9:ssä. pH nostettiin 9,5 kello 14:00. Latenssinpoiston säiliön lämpötila alkoi nousta ja kello 15:10 se oli 78 °C. pH noston seurauksena kello 17:00 otetussa tarkistusnäytteessä havaittiin huomattavaa massan tummumista. pH oli tällöin noussut 9,4. Tummunut massa ajettiin valkaistun massan säiliöön, josta se saadaan koeajon jälkeen palautettua prosessiin latenssin poiston säiliöön. Massan tummumisen takia pH:ta laskettiin 9,0 kello 17:20. Lämpötila latenssinpoistosäiliössä laski 75 °C kello 18:30 ja loppu koeajon pysyi tässä. Koepiste suoritettiin loppuun ja otettiin näytteet, jolloin massan tummumista ei ollut enää havaittavissa. Latenssinpoiston näytteestä mitattiin pH, joka oli 8,2. Koeajo päätettiin ja prosessi palautettiin normaaliksi klo 10:00.

#### 6.4 Määrittämissä käytetyt menetelmät

Tässä luvussa esitellään koeajon tuloksien määrittämissä käytettyjä menetelmien standardit. CTMP-päivälaboratorio määrittä koeajomassasta freneksen, veto-, repäisy- sekä puhkaisulujuuden. Kaikkia määrittämiä varten täytyi määrittää massan sakeus. Lisäksi, massanäytteistä valmistettiin massa-arkit, joista massan lujuusominaisuudet

mitattiin. Tutkimuskeskus määrittä massasta kuidun kihartuneisuuden. Määrittäyksissä käytetyt standardit ovat esitettyinä taulukossa 12 ja työn suoritukset liitteessä 3.

TAULUKKO 12. Määrittäysten standardit

<b>Määrittäykset</b>	<b>Standardit</b>
Sakeus	SCAN-C 17:64
Massa-arkki	EN ISO 5270:1999
Vetolujuus	EN ISO 1974:2012
Repäisylujuus	ISO 5267-3:2008
Puhkaisulujuus	ISO 2759:2014
Freeness	ISO 5267-2:2001
Tikut	Soveltaen Tappi useful method 242

## 6.5 Tulokset

Tuloksien avulla tarkastellaan latenssin poistumista kuduista sekä CTMP-massaan laatuominaisuuksia, joihin latenssinpoisto vaikuttaa. Näitä ovat veto-, repäisy- sekä puhkaisulujuus, freeness ja kuidun pituus. Referenssinäytteiden lisäksi jokaisesta koepisteestä otetusta näytteestä on määritetty nämä edellä mainitut ominaisuudet. Tutkimuskeskus määrittä kuitujen kihartuneisuutta ensimmäisestä koeajosta referenssinäytteiden lisäksi taulukon 10 koepisteistä 1, 2 sekä 4 sekä toisen koeajon taulukon 11 koepisteistä 1 ja 2. Koeajojen viimeisistä koepisteistä Tutkimuskeskus teki viikkoa myöhemmin uudet määrittäykset, jotta saatiin selvitettyä, palautuuko latenssi kuituihin massan seistessä.

Koeajon näytteet otettiin kolmesta eri kohdasta prosessia. Ensimmäinen näytteenotto tapahtui latenssinpoistosäiliön jälkeen pesupuristin 1:lle menevän linjan näytteenottopisteestä. Toinen näytteenotto tehtiin MC2 – pumpulta, joka sijaitsee prosessissa valkaisuatornin jälkeen ennen pesupuristin 3. Viimeinen näytteenottopiste sijaitsee MC4 – pumpulla, jolla pumpataan priima massa asiakassäiliöihin.

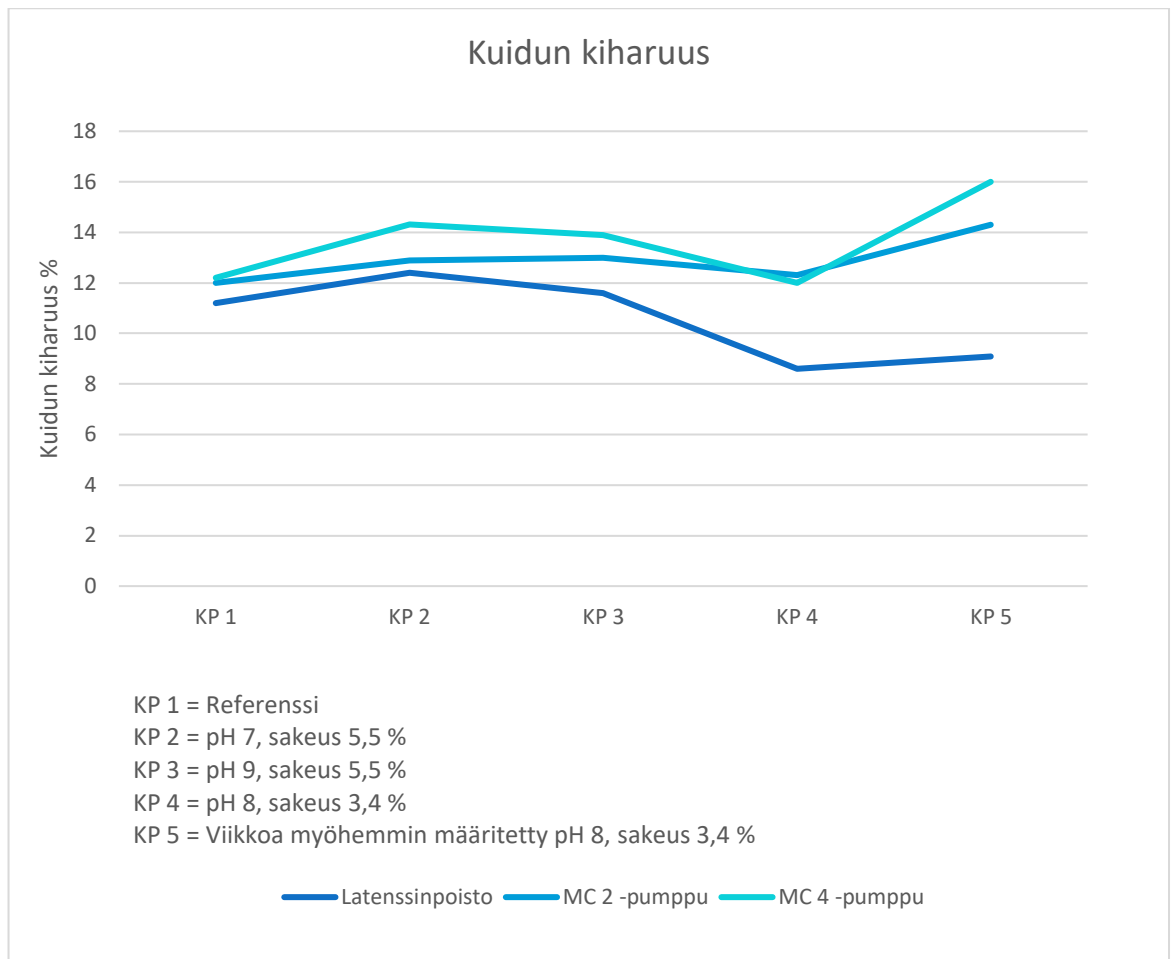
Määritykset pyrittiin tekemään aina suoraan näytteiden oton jälkeen, jotta massat eivät ehtisi seistä ja jäähtyä. CTMP-laitoksen oma laboratorio oli opinnäytetyön ajan remontissa ja CTMP-päivälaboratoriossa on vain yhdet laitteet jokaista määrittystä varten. Tämän vuoksi laboratoriossa pystyy työskentelemään vain yksi laborantti kerralla. Laboratorio-olosuhteet aiheuttivat haasteita näytteiden määrittämisissä. Koepisteen, jossa latenssinpoistoa ajettiin pH:lla 7, näytteet vietiin laboratorioon illasta ja analysoitiin vasta aamusta. Näytteen yön yli jäähtymisellä voi olla vaikutusta tuloksiin. Toisen koeajon näytteiden määrityksistä kaikki tehtiin seuraavina päivinä.

Tutkimuskeskuksella määritykset näytteistä saatiin tehtyä samana päivänä, kun toimitin näytteet. Tutkimuskeskuksella aikataulu oli todella tiukka ja siirryttäessä ensimmäisen koeajon varasuunnitelmaan, päätettiin, ettei siirtymisvaiheessa ajettujen massojen näytteistä määritetä kuidun kihartuneisuutta. Määritykset olisi jouduttu tekemään vasta seuraavan päivänä, jolloin tulokset eivät olisi olleet vertailukelpoiset muiden tulosten kanssa.

Ensimmäisen koeajon tuloksia tarkasteltaessa tutkittiin kuidun kihartuneisuuden vaikutusta jokaisesta koepisteestä otetun massan ominaisuuksiin. Ensimmäisen koeajon tuloksien perusteella suoritettiin toinen koeajo. Toisen koeajon tuloksia tarkasteltaessa tutkittiin kuidun kihartuneisuuden määrää sekä sen vaikutusta priimassa massassa.

### **6.5.1 Kuidun kihartuneisuuden tulokset**

Kappaleessa 9.3.1 esitetyn ensimmäisen koeajon kuidun kihartuneisuuden mittaustuloksista liitteen 1 taulukon 16 avulla nähdään, että kuidun kihartuneisuuden määrä kasvaa prosessin edetessä latenssinpoistosta kohti asiakassäiliötä. Kuvaajassa 1 on esitetty kyseisen taulukon 16 kuidun kihartuneisuuden mittaustulokset jokaisessa koepisteessä. Kuvaajan 1 avulla havaitaan, että massan seistessä viikon, kihartuneisuus palautuu kuituihin.



KUVAAJA 1. Tulokset kuidun kihartuneisuudesta ensimmäisessä koeajossa.

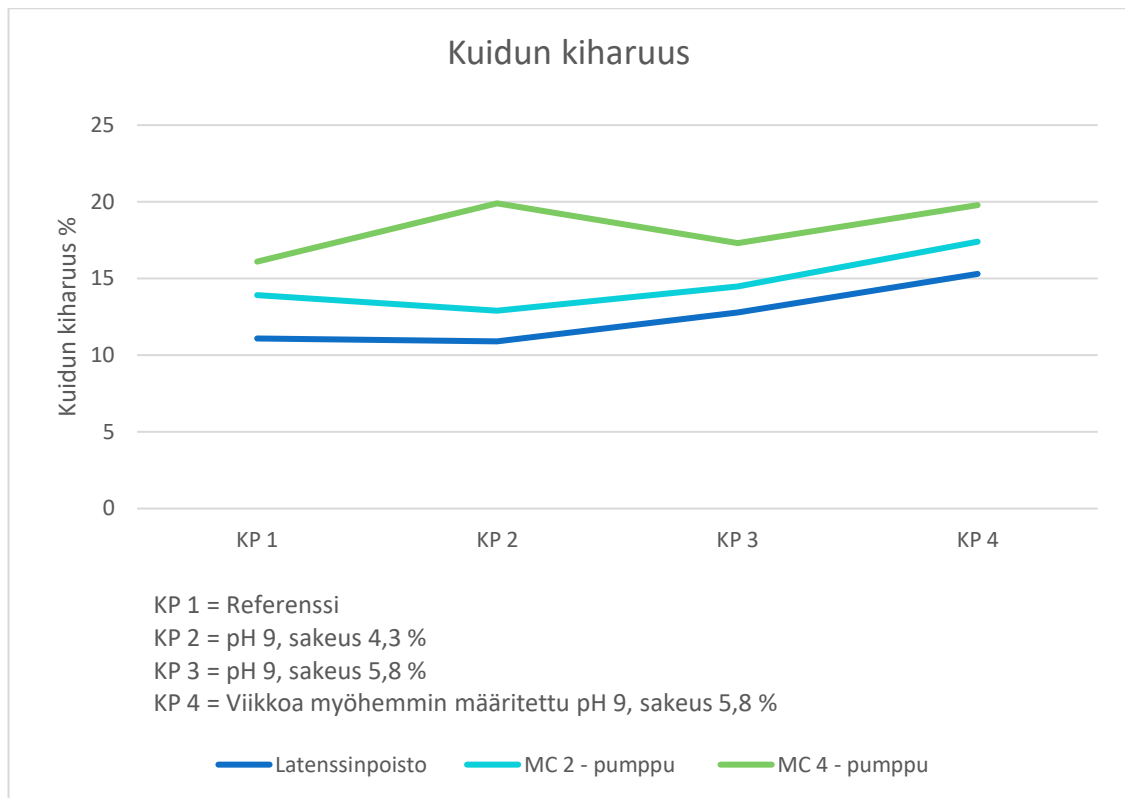
Kuvaajan 1 avulla nähdään ensimmäisen koepisteen tuloksista että, kuidun kihartuneisuuden määrää saatiin lisättyä. Kappaleessa 9.3.1 esitetyn taulukon 10 ensimmäisestä koepisteestä latenssinpoistosta määritetty kihartuneisuus oli 1,2 %, MC 2 – pumpulla 0,9 % ja MC 4 – pumpulla 2,1 % enemmän kuin referenssinäytteessä. pH:n vaikutuksesta latenssinpoistoon ei ollut mainintaa kirjallisuudessa, mutta näiden tuloksien myötä voidaan todeta, että pH ollessa 7 kuidun kihartuneisuus poistui kuiduista huonommin kuin pH ollessa 8.

Kappaleessa 9.3.1 esitetystä toisesta koepisteestä kuitujen kihartuneisuuden poistuminen latenssinpoistosäiliössä oli hieman parempi kuin ensimmäisessä koepisteessä. Liitteen 1 taulukosta 16 kuitenkin huomataan, että referenssinäytteeseen verrattuna kihartuneisuutta on enemmän. MC 4 – pumpulla kihartuneisuus ei ollut palautunut niin paljoa kuin edellisessä koepisteessä. Tuloksista havaitaan, että latenssia poistui paremmin kuiduista pH ollessa 9 kuin pH ollessa 7. Referenssinäytteen tuloksiin verrattaessa molemmat pH muutokset heikensivät latenssin poistumista kuiduista.

Viimeisessä koepisteessä, kappaleessa 9.3.1 esitetyn neljännen koepisteen tuloksista, että latenssinpoistosta otetun näytteen kihartuneisuus oli laskenut edellisiin koepisteisiin sekä referenssinäytteisiin verrattuna. Liitteen 1 taulukosta 16 huomataan, että referenssinäytteestä tulos oli laskenut 2,6 %, joka olikin odotettavissa kappaleessa 6.1 esitetyn teorian mukaan. Tarkasteltaessa tuloksia kuvaajasta 1 huomataan, että MC 2 – pumpulta otetun näytteen kihartuneisuus oli noussut ja MC 4 – pumpun kihartuneisuus oli laskenut hieman verrattuna kyseisten pumppujen referenssinäytteisiin. Näiden tuloksien avulla havaitaan, että latenssinpoiston ja MC 2 – pumpun välissä kihartuneisuus palautuu 3,7 %, joka oli voimakkaampaa kuin aikaisemmissa koepisteissä. Voimakkaan palautumisen takia MC 4 – pumpulla kuidun kiharuuden määrän ero referenssinäytteeseen verrattuna ei ollut niin suurta kuin latenssinpoistoa verrattaessa. Vaikka latenssia poistui huomattavasti enemmän alhaisessa sakeudessa muihin näytteisiin verrattuna, ei priimassa massassa eroa enää juurikaan ollut.

Taulukon 10 neljännen koepisteen näytteistä määritettiin kuidun kihartuneisuus uudelleen viikon myöhemmin. Kirjallisuudessa ei ollut mainintaa kiharuuden palautumisesta massan seistessä, mutta tuloksista huomataan, että näytteen seisominen viikon ajan palauttaa kuidun kihartuneisuutta. Latenssinpoistosta otetun näytteen kihartuneisuus oli palautunut viikossa 0,5 %, MC 2 – pumpun näytteen 2,0 % ja MC 4 – pumpun näytteen 4,0 %.

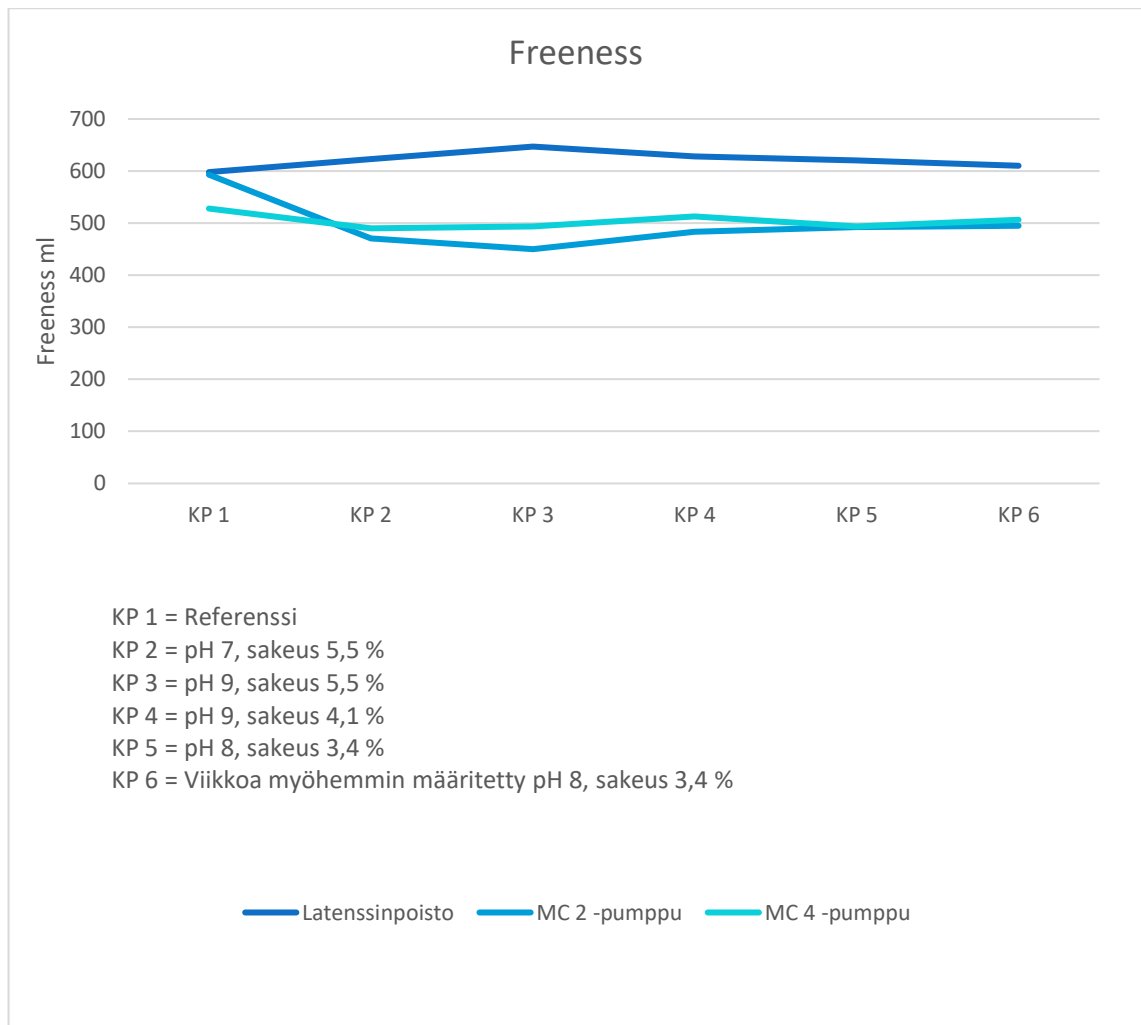
Toisen koeajon kuidun kihartuneisuuden tuloksista, jotka ovat esitettyinä liitteen 2 taulukossa 22, havaitaan samat tulokset kuin ensimmäisestä koeajosta. Taulukon 22 tulokset ovat esitettyinä kuvaajassa 2, josta nähdään, että kuidun kihartuneisuuden määrä kasvaa prosessin edetessä kohti asiakassäiliöitä. Lisäksi nostettaessa latenssinpoiston pH:ta, saadaan lisättyä kuidun kihartuneisuutta massassa. Kappaleessa 9.3.2 esitetyn ensimmäisen koepisteen, taulukossa 22 esitettyjen, tuloksien mukaan, kuidun kihartuneisuutta oli MC 4 – pumpulla 3,8 % enemmän kuin referenssinäytteessä. Kun toisessa koepisteessä palautettiin sakeus normaaliksi latenssinpoistosäiliössä, kuidun kihartuneisuus laski priimassa massassa hieman, mutta tulos on kuitenkin 1,2 % suurempi kuin referenssinäytteessä. Viikkoa myöhemmin tehdyistä määrityksistä havaitaan, kuten ensimmäisen koeajon tuloksistakin, että kuidun kihartuneisuus on lisääntynyt massan seistessä.



KUVAAJA 2. Kuidun kihartuneisuus toisessa koeajossa

### 6.5.2 Freeness -tulokset

Ensimmäisen koeajon freenessin tuloksista, jotka ovat esitettynä liitteen 1 taulukossa 17, havaitaan, että referenssinäytteeseen verrattuna latenssinpoiston freeness kasvaa, kun taas MC 2 ja MC 4 – pumppujen freeness laskivat. Korkeimmillaan freeness on 647 ml latenssinpoistossa ja alhaisimmillaan 450 ml MC 2 – pumpulla taulukon 10 koepisteessä 2. Taulukon 17 tulokset ovat esitettynä kuvaajassa 3, josta havaitaan, että freeness alkaa laskea latenssinpoiston jälkeen prosessin edetessä kohti asiakassäiliötä. Kappaleessa 8.2 esitetyn teorian mukaan freenessin pitäisi olla korkeampi, mitä enemmän kuitu sisältää latenssia. Tuloksista kuitenkin havaitaan, että kuidun kihartuneisuuden kasvaessa freeness laskee.



KUVAAJA 3. Ensimmäisen koeajon tulokset Freeness -määrityksistä

Taulukon 10 ensimmäisen koepisteen tuloksista havaitaan kuvaajan 3 avulla, että kuidun kihartuneisuuden noustessa latenssinpoistosäiliössä, freeness nouse. Kappaleessa 8.2 esitetyn Knowpap F (2009) teorian mukaan näin kuuluukin tapahtua. Freeness kuitenkin laskee voimakkaasti MC 2 ja MC 4 – pumppuilla, vaikka kuidun kihartuneisuus kasvaa latenssinpoistosta, joka taas on kappaleen 8.2 teorian vastaista.

Kuvaajasta 3 havaitaan, että taulukon 10 toisen koepisteen massan freeness kasvaa latenssinpoistossa sekä MC 4 – pumpulla, mutta laskee MC 2 – pumpulla. Referenssinäytteeseen verrattuna latenssinpoiston freeness kasvoi ja MC 2 sekä MC 4 – pumppujen freeness laskivat. Kuvaajan 3 avulla nähdään, että kuidun kihartuneisuutta on latenssinpoistosäiliössä enemmän kuin referenssinäytteessä ja vähemmän kuin taulukon 10 ensimmäisessä koepisteessä. Freeness on kuitenkin suurempi verrattuna kumpaankin edelliseen näytteeseen. Kappaleessa 8.2 esitetty teoria toteutuu

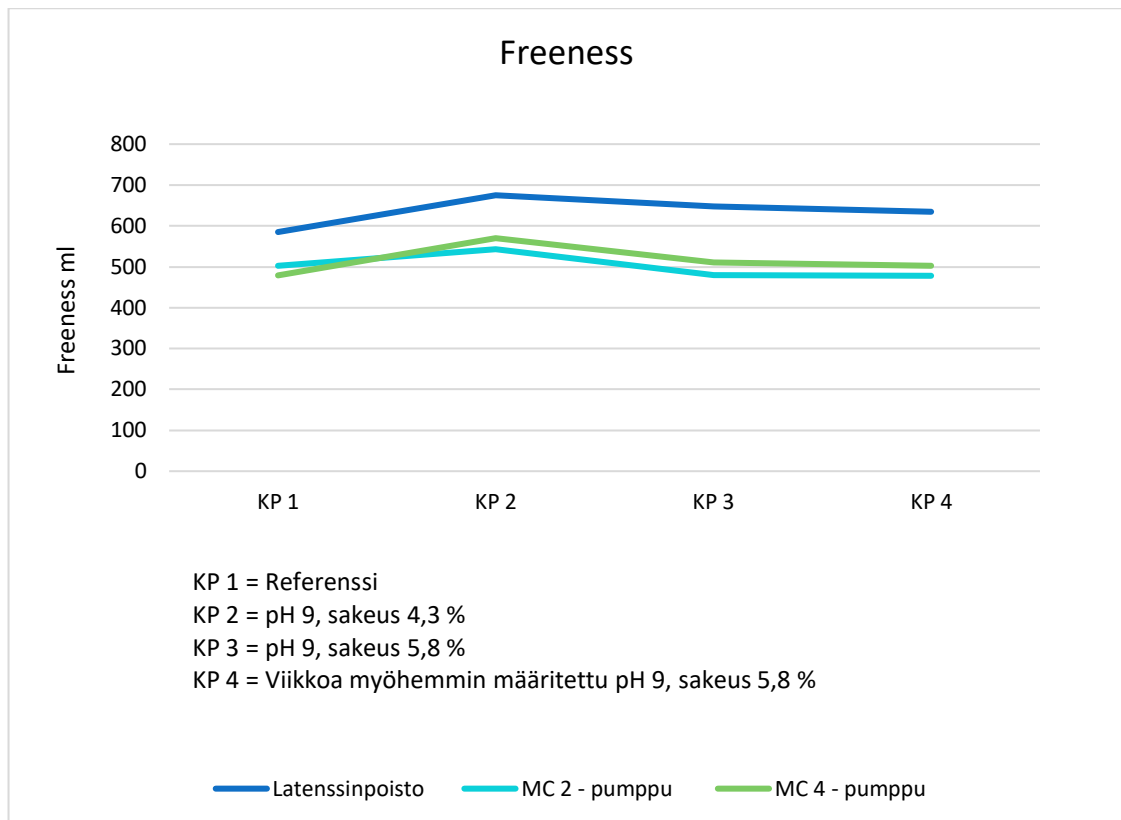


latenssinpoiston osalta verrattaessa toisen koepisteiden tuloksia referenssinäytteeseen, mutta ei toteudu verrattaessa MC 2 sekä MC 4 – pumppujen tuloksia referenssinäytteisiin.

Taulukon 10 neljännen koepisteen tuloksista liitteen 1 taulukosta 17 huomataan samat yhtäläisyydet kuin koepisteiden 1 ja 2 tuloksista. Freeness nousee latenssinpoistossa referenssinäytteestä, mutta laskee MC – pumpuilla. Kappaleessa 8.2 esitetyn teorian mukaan freeneksen olisi pitänyt nousta latenssinpoiston säiliössä, eikä laskea. MC – pumpuilla kuidun kihartuneisuutta oli vähemmän kuin referenssinäytteessä ja kappaleen 8.2 teorian mukaisesti myös freeness oli alhaisempaa tällöin.

Kappaleessa 9.3.1 esitetystä neljännestä koepisteestä viikkoa myöhemmin tehtyjen määrityksien tuloksista huomataan, että kuidun kihartumisen lisääntyessä massan freeness laskee latenssinpoistossa, kun taas MC 2 sekä MC 4 – pumpuilla freeness nousee. Tuloksiin ei ollut kuitenkaan tullut suuria muutoksia, vaikka kuitujen kihartuneisuus oli palautunut tällöin voimakkaasti. Tuloksien avulla voidaan todeta, ettei latenssin poistumisella kuiduista voida juurikaan vaikuttaa massan freenekseen.

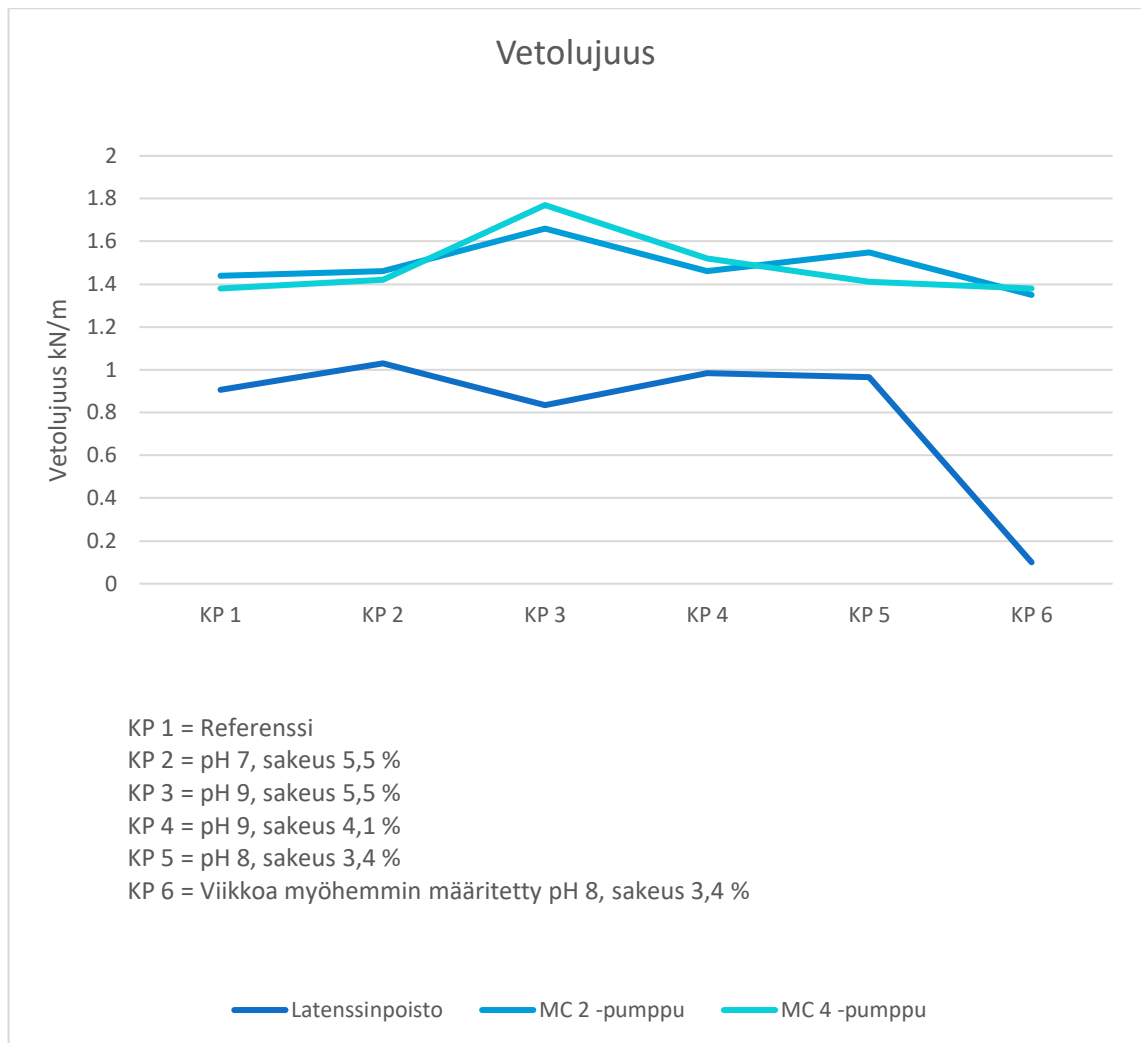
Toisen koeajon freeneksen määritysten tuloksista, jotka ovat esitettynä liitteen 2 taulukossa 23, havaitaan myöskin samat asiat kuin ensimmäisen koeajon tuloksista. Latenssinpoiston säiliössä freeness nousee korkeammalle kuin referenssinäytteen ja MC – pumpuilla tulokset laskevat referenssinäytteiden tuloksien alapuolelle. Liitteen 2 taulukon 23 avulla huomataan, että massan freeness laskee, vaikka kuidun kihartuneisuus nousi. Tuloksen myötä voidaan edelleen todeta, ettei freenekseen voida vaikuttaa latenssin poistamisella. Taulukon 11 koepisteen 2 näytteistä viikkoa myöhemmin tehdyssä määrityksissä freeneksiin ei tullut suuria muutoksia.



KUVAAJA 4. Freeneksen tulokset toisessa koeajossa

### 6.5.3 Vetolujuuden tulokset

Kappaleessa 9.3.1 esitetyn ensimmäisen koeajon vetolujuuksien määrityksien tulokset ovat esitettynä liitteen 1 taulukossa 18. Tuloksista huomataan, että alhaisimmat vetolujuudet ovat referenssinäytteessä sekä taulukon 10 neljännessä koepisteestä viikkoa myöhemmin tehdyissä näytteessä. Vetolujuuksien tulokset ovat esitettynä myös kuvaajassa 5, josta huomataan, että korkeimmat vetolujuuden tulokset ovat taulukon 10 koepisteessä 2. Vetolujuus kasvaa latenssinpoiston jälkeen prosessin edetessä kohti asiakassäiliötä. Verrattaessa vetolujuuksien tuloksia kuidun kiharuuksien tuloksiin, huomataan, että tulokset ovat ristiriitaiset kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) latenssin poiston teorian kanssa.



KUVAAJA 5. Vetolujuuden tulokset ensimmäisessä koeajossa

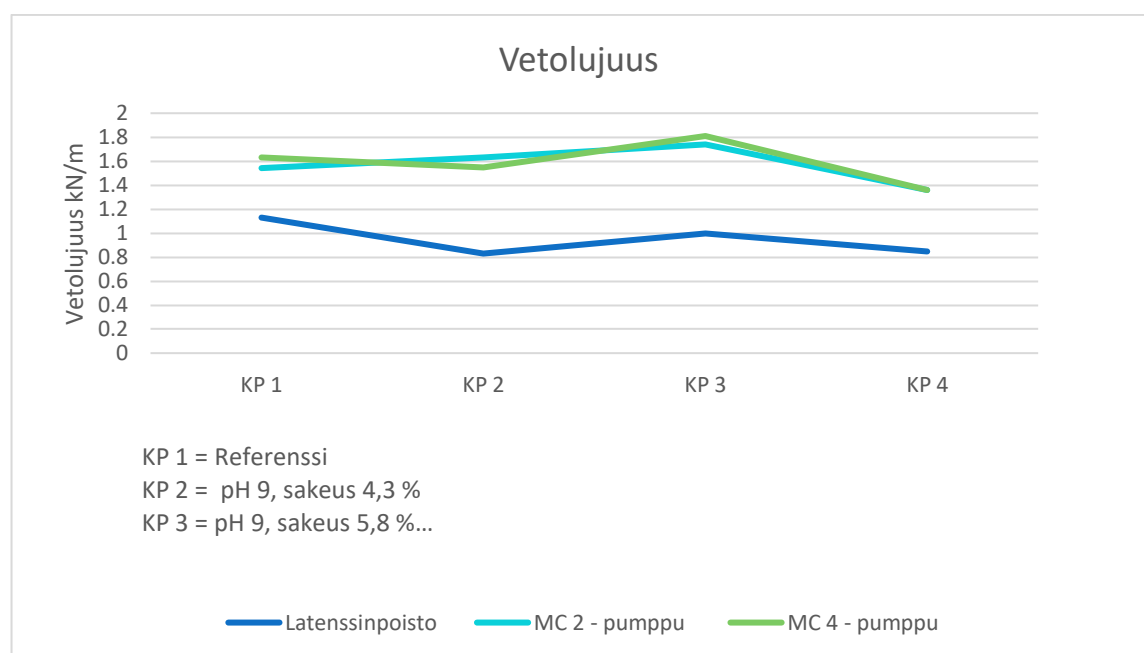
Liitteen 1 taulukosta 18 nähdään, että vetolujuuksia saatiin parannettua muuttamalla latenssinpoiston säiliön pH:ta. Taulukon 10 ensimmäisen koeajon tuloksista nähdään pientä vetolujuuden kasvua, mutta toisen koeajon tuloksissa vetolujuudet ovat selkeästi korkeimmat. Tuloksia tarkasteltaessa latenssinpoiston osalta havaitaan, että kuidun kihartuneisuuden kasvaessa vetolujuudet laskevat. Kun taas tuloksia tarkastellaan MC – pumppuilta, havaitaan, että kuidun kihartuneisuuden kasvaessa latenssinpoistossa, myös vetolujuudet paranevat massassa. Tulokset ovat osittain kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teorian mukaiset ja osittain vastaiset. Latenssinpoiston säiliön vetolujuuden tulokset ovat teorian mukaiset, mutta MC – pumppujen tulokset teorian vastaiset.

Taulukon 18 avulla huomataan, että taulukon 10 viimeisen koepisteessä saatiin kuidun kihartuneisuus poistettua parhaiten. Latenssinpoistossa kuidun kiharuutta oli vain 8,6 %. Kappaleessa 5 esitetyn teorian mukaan tämän koepisteen massoissa kuuluisi olla korkeimmat vetolujuudet alhaisimpien kuidun kihartuneisuuksien takia. Näin

tapahtuukin latenssinpoistosäiliön näytteissä. Kuitenkin kuvaajasta 5 nähdään, että MC 2 ja MC 4 – pumppujen vetolujuudet jäävät selvästi alhaisimmiksi kuin taulukon 10 koepisteen 4 vetolujuudet.

Viikon myöhemmin määritetyistä vetolujuuksista taulukon 10 koepisteen 4 massasta, havaitaan muutoksia. Latenssinpoiston jälkeen otetussa näytteessä vetolujuus oli laskenut todella paljon verrattuna samaiseen viikkoa aikaisemmin määritettyyn näytteeseen. MC – pumppuilta otettujen näytteiden vetolujuudet olivat laskeneet verrattuna viikkoa aikaisemmin tehtyihin määrityksiin. Kirjallisuudessa ei ollut mainintaa kiharuuden palautumisesta massan seistessä ja jäähtyessä sekä sen vaikutuksista massan ominaisuuksiin, mutta nämä tulokset kertovat, että massan laatuominaisuudet heikkenevät massan seistessä.

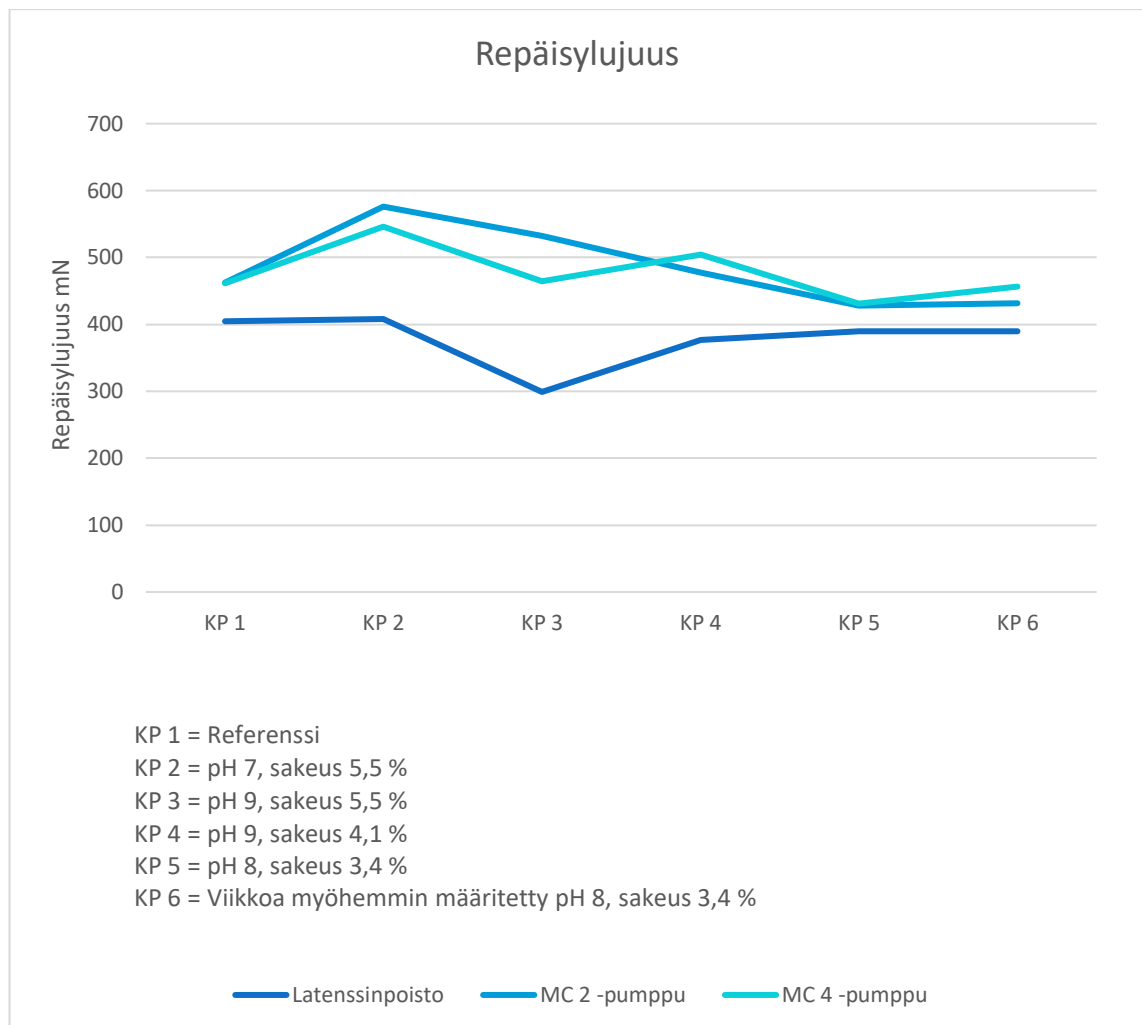
Liitteen 2 taulukossa 24 on esitetty toisen koeajon vetolujuuden tulokset, joista havaitaan samanlaisia tuloksia kuin ensimmäisestä koeajosta. Taulukosta 24 nähdään, että toisen koeajon taulukon 11 ensimmäisessä koepisteessä vetolujuudet ovat hieman alhaisemmat kuin toisessa koepisteessä. Kuvaajassa 6 on esitetty taulukon 24 tulokset, joita verrattaessa kuidun kihartuneisuuteen, havaitaan, että kuvaajan 6 koepiste 3, joissa kuidun kihartuneisuus on korkein, massan vetolujuuskin on korkein. Tällöin voidaan todeta myös toisen koeajon tuloksien olevan päinvastaiset kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teorian kanssa.



KUVAAJA 6. Vetolujuuden tulokset toisessa koeajossa

#### 6.5.4 Repäisylujuuden tulokset

Repäisylujuuden tuloksia tarkasteltaessa kuvaajasta 7 huomataan, että korkeimmat repäisylujuudet ovat massassa, jota ajettiin taulukon 10 koepisteen 1 mukaisesti. Alhaisimmat repäisylujuudet ovat massassa, jota ajettiin taulukon 10 koepisteessä 4. Nämä tulokset ovat kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) latenssin poiston teorian vastaiset.



KUVAAJA 7. Repäisylujuuden tulokset ensimmäisessä koeajossa

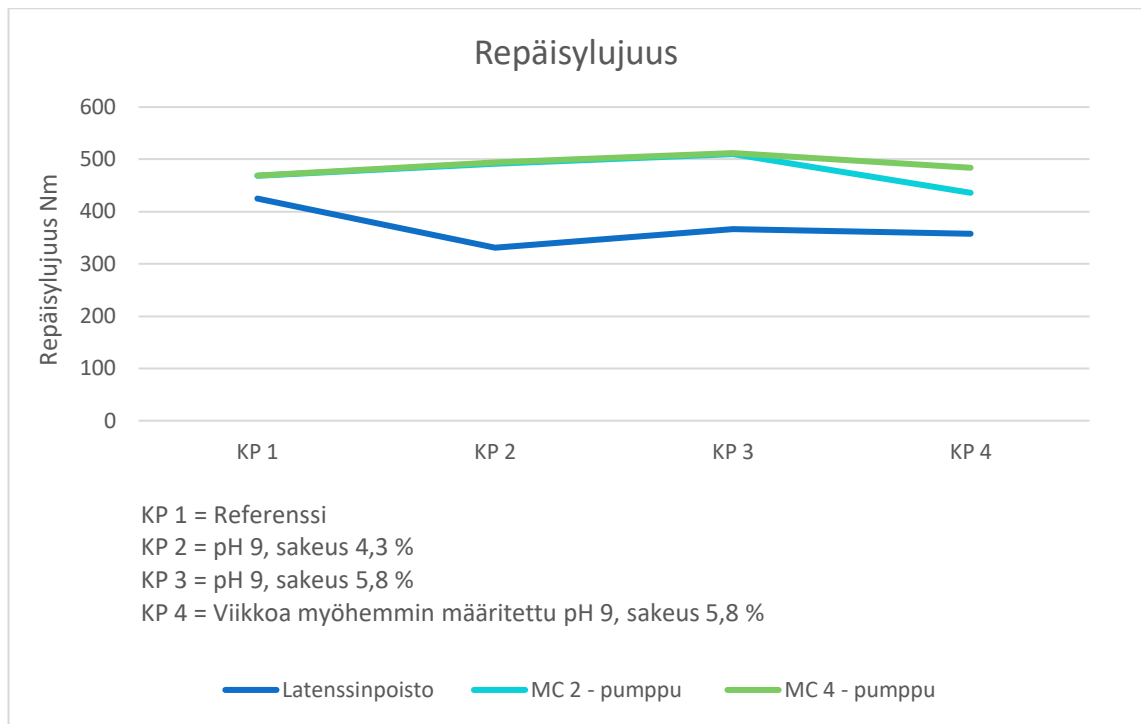
Latenssinpoistosäiliön pH ollessa 7 repäisylujuuden arvot ovat jokaisessa näytteessä korkeammat kuin referenssinäytteessä. Referenssinäytteisiin verrattuna myös kuidun kihartuneisuus oli kasvanut pH ollessa 7. Kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teorian mukaan tuloksien olisi pitänyt olla päinvastaiset. Latenssinpoiston säiliön pH ollessa 9 repäisylujuus latenssinpoistosäiliössä laski huomattavasti verrattuna

referenssinäytteeseen. MC 2 ja MC 4 – pumpuilla repäisylujuus taas kasvoi verrattuna referenssinäytteisiin. Kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teorian mukaan taulukon 10 koepisteen 2 tulokset ovat latenssinpoiston näytteiden osalta teorian mukaiset, mutta MC – pumppujen näytteiden osalta teorian vastaiset.

Taulukon 10 koepisteen 4 tuloksista huomataan kuvaajan 7 avulla, että repäisylujuudet laskivat referenssinäytteisiin verrattuna. Koepisteen 4 muutoksilla saatiin kuidun kihartuneisuus laskemaan latenssinpoistosäiliössä, nousemaan MC 2 – pumpulla ja taas laskemaan MC 4 - pumpulla referenssinäytteisiin verrattuna. Latenssinpoiston ja MC 4 – pumpun näytteiden osalta repäisylujuuden arvot olivat käänteiset kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teoriaan nähden. MC 2 – pumpulta otetun näytteen tulokset olivat sen sijaan teorian mukaiset.

Viikkoa myöhemmin tehdyistä mittauksista taulukon 10 koepisteen 4 näytteistä havaitaan, että latenssinpoistosäiliön näytteessä ei tapahtunut muutoksia repäisylujuudessa, vaikka kuidun kihartuneisuus palautui verrattuna samasta näytteestä viikkoa aikaisemmin tehtyyn määrittelyyn. MC 2 -pumpulta otetussa näytteessä massan repäisylujuus kasvoi samalla, kun kuidun kihartuneisuus palautui viikkoa aikaisemmin tehdystä määrittelystä. MC 4 – pumpun näytteen repäisylujuus kasvoi kuidun kihartuneisuuden noustessa viikkoa aikaisemmin määritetyistä tuloksista. Kappaleessa 5 esitettyyn Knowpulp C (2016) teoriaan nähden tulokset ovat päinvastaiset.

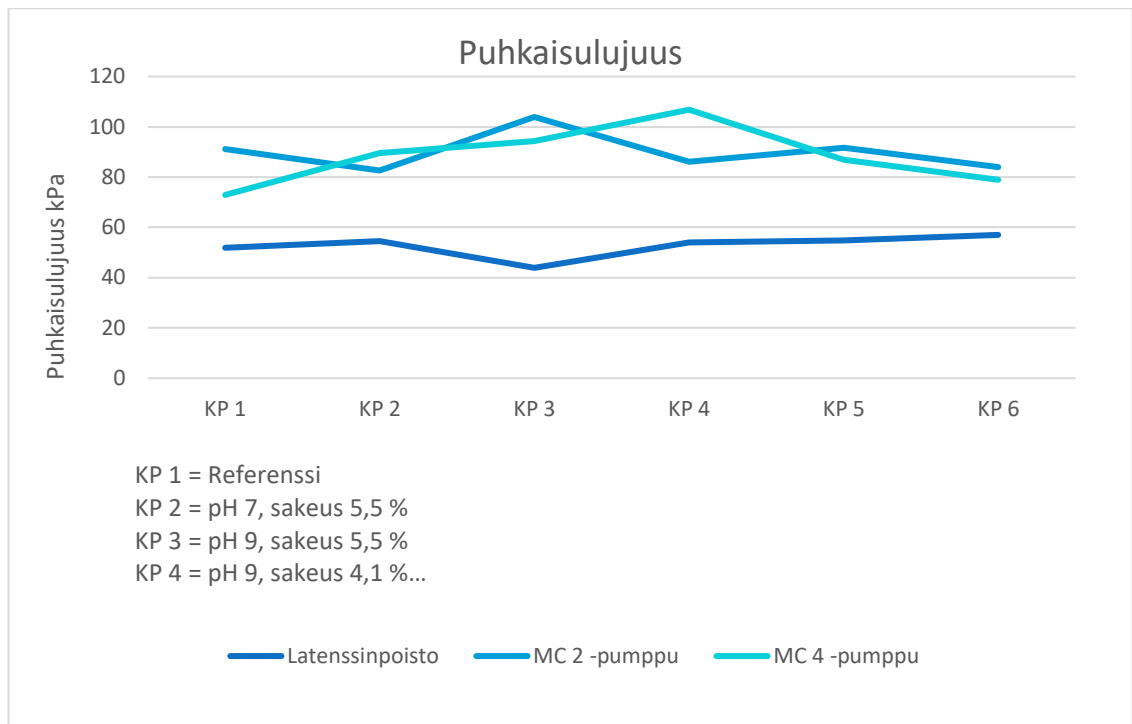
Toisen koeajon tuloksista, kuten ensimmäisen koeajon tuloksista, havaitaan, että kuidun kihartuneisuuden määrän noustessa repäisylujuus kasvaa. Tulokset ovat esitettynä liitteen 2 taulukossa 25 sekä kuvaajassa 8. Taulukon 11 ensimmäisessä koepisteessä MC 4 – pumpun repäisylujuus kasvoi referenssinäytteestä. Taulukon 11 toisessa koepisteessä massan repäisylujuus MC 4 – pumpulla kasvoi edellisestä koepisteeseen verrattuna ja tulos on suurempi kuin referenssinäytteen repäisylujuus. Samasta näytteestä viikkoa myöhemmin tehdyssä määrittelyssä repäisylujuus oli laskenut edellisestä määrittelystä. Tulos on kuitenkin suurempi kuin referenssinäytteen.



KUVAAJA 8. Repäisylujuuden tulokset toisessa koeajossa

### 6.5.5 Puhkaisulujuuden tulokset

Puhkaisulujuuksien tuloksia tarkasteltaessa kuvaajasta 9 havaitaan, että heikoin puhkaisulujuus on MC 4 – pumpulta viikon seisonneessa näytteessä, joka ajettiin taulukon 10 koepisteen 4 mukaan. Korkeimmat puhkaisulujuudet MC 4 – pumpulla ovat taulukon 10 koepisteiden 2 ja 3 mukaan ajetuissa massoissa.



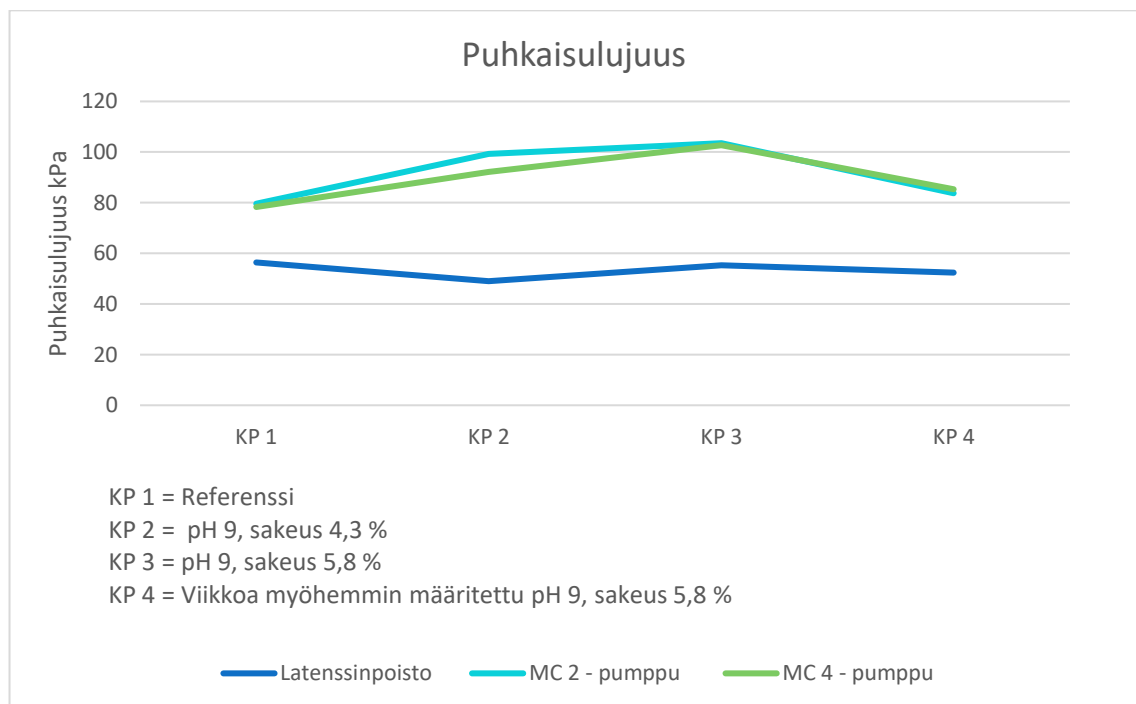
KUVAAJA 9. Puhkaisulujuuden tulokset ensimmäisessä koeajossa

Tuloksia verratessa kappaleessa 5 esitettyyn Knowpulp C (2016) latenssin poiston teoriaan, huomataan, että osa tuloksista ovat teorian mukaisia ja osa teorian vastaisia. Taulukon 10 koepisteiden 1 ja 2 latenssinpoistosta otetuissa näytteissä kuidun kihartuneisuutta on enemmän kuin referenssinäytteessä, mutta silti puhkaisulujuudet ovat suuremmat kuin referenssinäytteen. Puhkaisulujuuden nousu on tällöin teorian vastainen. Taulukon 10 koepisteen 4 latenssinpoistosta otetun näytteen kuidun kihartuneisuus oli alhaisempaa kuin referenssinäytteessä. Tällöin puhkaisulujuudet ovat nousseet, joka on teorian mukaista. Samasta näytteestä viikon myöhemmin tehdyssä mittauksessa kuidun kihartuneisuus sekä puhkaisulujuudet ovat nousseet verrattuna viikkoa aikaisempaan mittaukseen. Puhkaisulujuuden nousu on teorian vastaista.

Priimasta massasta eli MC 4 – pumpulta otetuista näytteistä tehdyissä mittauksissa huomataan samat teorian mukaisuudet sekä vastaisuudet. Teorian vastaisesti taulukon 10 koepisteiden 1 ja 2 puhkaisulujuudet ovat nousseet referenssinäytteestä samalla, kun kuidun kihartuneisuus on lisääntynyt. Taulukon 10 koepisteen 4 näytteen puhkaisulujuus on noussut referenssinäytteestä teorian mukaisesti kuidun kihartuneisuuden laskiessa. Viikkoa myöhemmin samasta näytteestä tehdyssä mittauksessa puhkaisulujuudet ovat laskeneet verrattuna viikkoa aikaisemmin tehtyihin mittauksiin samalla, kun kuidun kihartuneisuus on palautunut. Puhkaisulujuuden lasku on latenssinpoiston teorian mukainen.



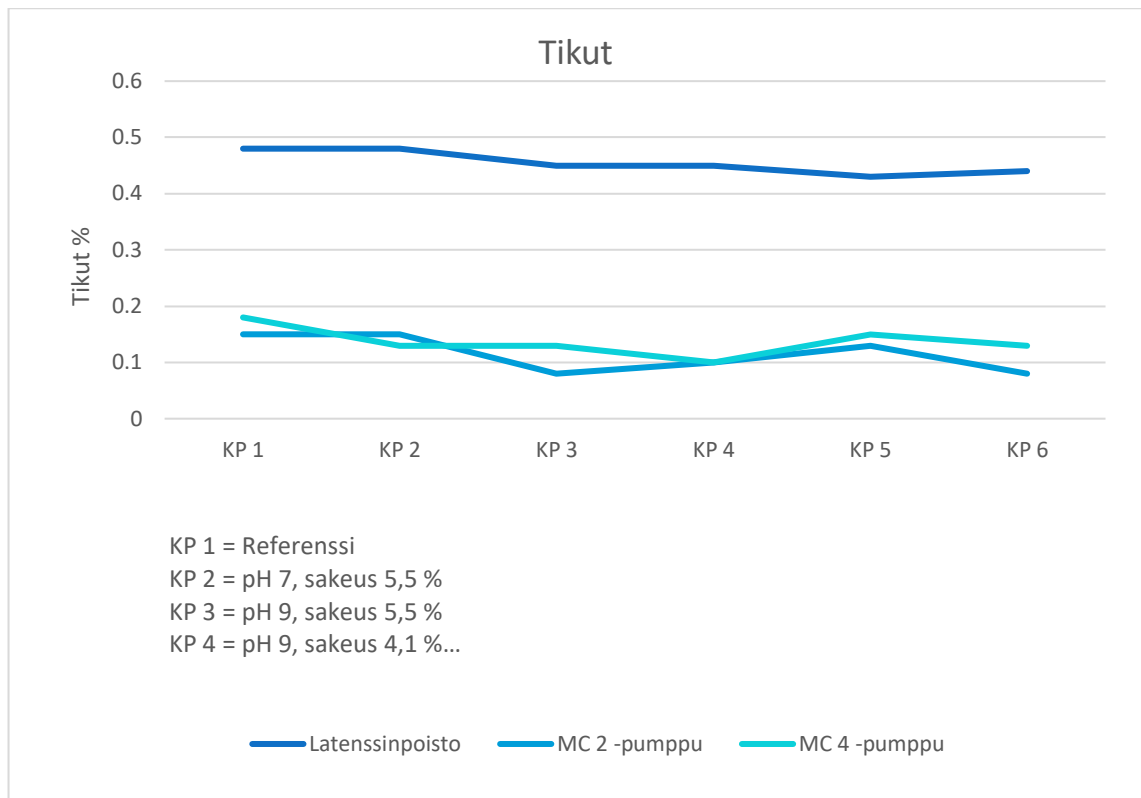
Toisen koeajon tulokset, jotka ovat esitettyinä liitteen 2 taulukossa 26, ovat samanlaiset kuin ensimmäisen koeajon. Kuvaajan 11 avulla huomataan, että priiman massan puhkaisulujuus kasvoi, kun kuidun kihartuneisuuden määrä kasvoi massassa. Taulukon 11 ensimmäisessä sekä toisessa koepisteessä MC 4 – pumpulta otettujen massojen puhkaisulujuudet ovat suuremmat kuin referenssinäytteen massan. Tulokset ovat kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teorian vastaiset. Taulukon 11 koepisteen 2 näytteistä viikkoa myöhemmin tehdyistä määrittelyistä havaitaan, että puhkaisulujuus laskee massan seisoessa.



KUVAAJA 10. Puhkaisulujuuden tulokset toisessa koeajossa

### 6.5.6 Tikkupitoisuuden tulokset

Tikkujen määrän tuloksista huomataan kuvaajan 11 avulla, että eniten tikkuja priimassa massassa eli MC 4 – pumpulla on referenssinäytteessä (liite 1). Taulukon 10 koepisteissä 1-3 priimasta massasta otettujen näytteiden tikkupitoisuudet ovat alhaisimmat. Alhaisin tikkupitoisuus on taulukon 10 koepisteessä 3. Jauhatuksella on suuri vaikutus massan tikkupitoisuuteen. Taulukossa 13 on esitetty jauhimen teräväli koeajon aikana, josta nähdään, että jauhatus on pysynyt koepisteiden aikana samanlaisena, jolloin suuria eroja tikkupitoisuuksissa koepisteiden välillä ei ole.



KUVAAJA 11. Tikkupitoisuuden tulokset ensimmäisessä koeajossa

TAULUKKO 13. Ensimmäisen koeajon jauhimen terävälit

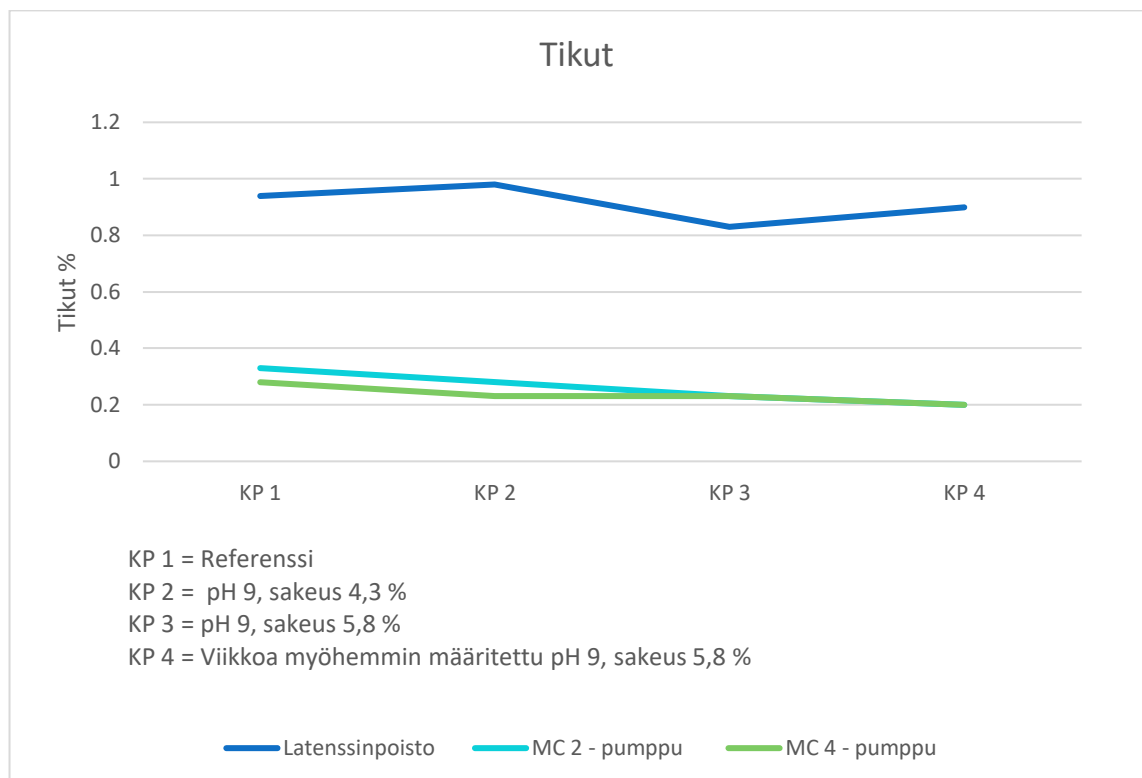
Koepiste	Teräväli mm
1	1,034 - 1,090
2	1,008 - 1,155
3	1,023 - 1,068
4	1,034 - 1,081

Knowpulp C (2016) latenssin poiston teorian mukaan kuitujen kihartuneisuus alentaa massan tikkupitoisuutta, koska lajittelu helpottuu suorien kuitujen myötä. Massan tikkupitoisuuden tuloksia verrattaessa kuvaajan 1 avulla kuidun kihartuneisuuden tuloksiin kuitenkin huomataan, että pH muutoksien lisätessä kuidun kihartuneisuutta, massan tikkupitoisuus alenee. Alimmillaan massan tikkupitoisuus on taulukon 10 koepisteessä 2 MC 2 – pumpulta otetussa näytteessä. Teoriassa massan tikkupitoisuuden olisi pitänyt nousta eikä laskea.

Taulukon 10 koepisteen 4 mukaan massan tikkupitoisuus laski kappaleessa 5 Lucanderin (1988, 17) teorian mukaisesti latenssinpoistosäiliössä kuidun kihartuneisuuden laskiessa. Teorian vastaisesti MC 2 ja MC 4 – pumpuilla tikkupitoisuus nousi, vaikka kuidun

kihartuneisuus on vähäisempää edellisiin koepisteisiin sekä referenssinäytteeseen verrattuna. Latenssinpoistosäiliön jälkeen kuidun kihartuneisuus palautuu huomattavasti MC 2 ja MC 4 – pumpuille, joka tarkoittaa, että lajittelussa kuidun kihartuneisuus ei mahdollisesti ole niin alhaista kuin latenssin poistossa. Samasta näytteestä viikon myöhemmin tehdyssä määrittelyssä latenssin poistossa tikkupitoisuus on noussut, kun taas MC 2 ja MC 4 – pumpuilla tikkupitoisuus on laskenut.

Toisen koeajon tuloksista, jotka ovat esitettyinä liitteen 2 taulukossa 27 sekä kuvaajassa 12, havaitaan, että tikkuja on eniten referenssinäytteessä. Taulukon 11 ensimmäisessä koepisteessä tikkujen määrä priimassa massassa väheni verrattuna referenssinäytteeseen. Toisen koepisteen priiman massan tikkujen määrä ei muuttunut edellisestä koepisteestä. Taulukossa 14 on esitetty jauhimen teräväli koeajon aikana, josta nähdään jauhatuksen pysyneen samanlaisena koepisteiden aikana. Tällä on suuri vaikutus tikkupitoisuuden tasaisuuteen.



KUVAAJA 12. Tikkupitoisuus toisessa koeajossa

TAULUKKO 14. Toisen koeajon jauhimen terävälit

Koepiste	Teräväli mm
1	1,051 - 1,212
2	0,942 - 1,106

## 6.6 Pohdinta ja yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin, onko latenssinpoistolla vaikutusta CTMP-massan ominaisuuksiin. Latenssinpoiston vaikutusta massaan tutkittiin kahdessa eri koeajossa, joissa tehtiin pH sekä sakeuden muutoksia latenssinpoistosäiliöön. Knowpulp C (2016) teorian mukaan latenssinpoiston pitäisi parantaa massan lujuusominaisuuksia sekä vähentää tikkujen määrää.

### 6.6.1 Sakeuden ja pH vaikutus latenssinpoistoon

Kappaleessa 5 esitetyn Lucanderin (1988) teorian mukaan latenssi saadaan poistumaan kuiduista parhaiten, kun sakeus on 2-4 % latenssinpoistosäiliössä. Saimme ensimmäisessä koeajossa latenssinpoiston sakeuden tiputettua 3,4 % ja tämä alhainen sakeus sai kuidun kihartuneisuuden alentumaan. Tuloksien perusteella etenkin latenssinpoistosäiliössä oli selkeästi vähemmän kiharuutta kuiduissa kuin muiden koepisteiden tuloksissa.

Alhainen sakeus saa massan sekoittumaan paremmin kuin korkea sakeus. Sekoittajat kykenevät tietyillä kuormilla sekoittamaan massaa paremmin, koska massa sekoittuu helpommin. Alhaisessa sakeudessa kuiduilla on myös enemmän tilaa suoristua kuin korkeassa sakeudessa. Kuidun kihartuneisuus Lucanderin teorian mukaan syntyy korkeassa sakeudessa, kun massan jäähtyessä jauhatuksen jälkeen kuituihin syntyneet jännitteet eivät pääse purkautumaan.

Alhaisella sakeudella saavutettu parempi kuidun latenttisuuden poisto, kuitenkin latenssin poiston jälkeen kuidun kihartuneisuus palautui reilusti. Tämän seurauksena MC 4 – pumpulla eli priimassa massassa kuidun kihartuneisuus ei ollut juurikaan vähäisempää kuin referenssinäytteessä. Kiharuuden voimakas palautuminen voisi aiheutua pesupuristimissa, joissa massasta pestään lika kastelemalla massa ja sen jälkeen puristamalla ylimääräinen vesi pois. Puristaminen ja kuivuminen voisi aiheuttaa jännitteitä kuidussa, jotka saavat kuidut kihartumaan.

Kiharuuden voimakasta palautumista voisi aiheuttaa myös massan seisominen säiliöissä korkeassa sakeudessa. Taulukossa 15 on esitetty välisäiliön sekä valkaisuatornin pinnan korkeudet molempien koeajojen koepisteissä. Pinnan korkeuksia tarkastellessa huomataan niiden pysyneen lähes samoina molemmissa koeajoissa, joka tarkoittaa, että massan viipymät säiliöissä ovat olleet lähes samat. Tämä ei selitä sitä, miksi toisessa koeajossa kuidun kihartuneisuus massassa palautui huomattavasti voimakkaammin kuin ensimmäisessä koeajossa. Näin ollen tuloksien perusteella ei voida todeta, että säiliöiden viiveillä olisi vaikutusta kuidun kihartuneisuuden palautumiseen.

TAULUKKO 15. Valkaisuatornin sekä välisäiliön pinnankorkeudet

Koeajo 1		Koeajo1	
Koepiste	Valkaisuatornin pinta	Koepiste	Välisäiliön pinta
1	33-36 %	1	57-65 %
2	34-43 %	2	55-66 %
3	27-40 %	3	41-52 %
4	27-31%	4	41-44 %

Koeajo 2		Koeajo 2	
Koepiste	Valkaisuatornin pinta	Koepiste	Välisäiliön pinta
1	30-35 %	1	50-58 %
2	32-35 %	2	54-67 %

### 6.6.2 Kuidun kihartuneisuuden vaikutus lujuusominaisuuksiin

Koeajojen tuloksista havaitaan, että latenssin poistumista kuiduista saatiin parannettua, kun sakeutta laskettiin latenssinpoistosäiliössä. Tuloksista kuitenkin havaitaan, että teorian vastaisesti kihartuneisuuden lasku saa aikaan lujuusominaisuuksien heikkenemisen. Kuidun kihartuneisuuden määrän lisääntyminen vastaavasti parantaa massan lujuusominaisuuksia.

Tulokset ovat kappaleessa 5 esitetyn Knowpulp C (2016) teorian mukaiset, kun tarkastellaan latenssinpoistosta otettujen näytteiden tuloksia. Kun latenssinpoistoa ollaan saatu parannettua, massan lujuusominaisuudet paranivat. Latenssinpoistumisen heikentyessä, massan lujuusominaisuudet heikkenivät. Kuitenkin teoriaan nähden tulokset kääntyvät päinvastaiseksi, kun tarkastellaan valkaisuun jälkeen otettujen

näytteiden tuloksia. Kun latenssinpoistumista oltiin saatu parannettua, valkaisuun jälkeen otetuissa näytteissä nähdään lujuusominaisuuksien heikkenemistä. Kun taas latenssinpoistuminen kuiduista heikkeni latenssinpoistosäiliössä, valkaisuun jälkeen otettujen näytteiden lujuusominaisuudet olivat parantuneet.

Näihin teorian vastaisiin tuloksiin voi vaikuttaa massan pesumenetelmät. Pesupuristimissa tulee suuria sakeuden muutoksia, jotka voivat aiheuttaa jänniteitä kuituihin johtaen kuidun kihartuneisuuden palautumiseen. Teoriassa ei löytynyt mainintaa, millaisia pesuvaiheita prosesseissa on ollut, kun latenssinpoistumista on tutkittu. Lisäksi mainintaa ei löytynyt siitä, onko latenssinpoistumista tutkittu suoraan latenssinpoistosta vai, sen vaikutusta priimassa massassa. Massan seisomisesta säiliössä ja sen vaikutuksesta kuidun kihartuneisuuteen sekä massan ominaisuuksiin ei myöskään löytynyt mainintaa kirjallisuudesta. Massan seisossa korkeassa sakeudessa säiliössä voisi olla mahdollista, että kuitujen kihartuneisuuteen tulee muutoksia aiheuttaen näin muutoksia myös massan ominaisuuksissa. Kuvasta 9 kuitenkin nähdään, että välisäiliön sekä valkaisuurnin pinnankorkeudet ovat olleet molemmissa koeajoissa melko samat, joten viipymien vaikutukset ovat molemmissa koeajoissa samanlaiset, joka ei selitä, miksi toisessa koeajossa kuidun kihartuneisuus on palautunut voimakkaammin kuin ensimmäisessä koeajossa.

### **6.6.3 Kuidun kihartuneisuuden vaikutus tikkuihin**

Knowpulp C (2016) kappale 5 latenssin poiston teorian mukaan kuidun kihartuneisuuden poistaminen alentaa tikkupitoisuutta, koska lajittelu paranee suorien kuitujen myötä. Suorat kuidut läpäisevät helpommin lajittelun sihdit kuin kihartunut kuitu ja tämän ansiosta tikkujen ja kuitujen erottelu paranee. MC 2 ja MC 4 – pumppujen tuloksista huomattiin, ettei lajittelu kuitenkaan parantunut, vaikka kuidun kihartuneisuus laski. Päinvastoin tikkupitoisuus oli massassa kasvanut, kun kuitujen kihartuneisuus oli alentunut.

Syy tikkupitoisuuden kasvuun edellisiin koepisteisiin nähden voisi olla kuidun kihartuneisuuden huomattava palautuminen latenssinpoistosäiliön jälkeen. Latenssinpoistosäiliön sekä MC 2 – pumpun, joka sijaitsee prosessissa lajittelun jälkeen, välillä kuidun kihartuneisuus oli kasvanut huomattavasti, joka tarkoittaa sitä, että mahdollisesti lajittelussa kuitujen kiharuutta on paljon enemmän kuin

latenssinpoistosäiliössä. Kihartuneet kuidut olisivat heikentäneet lajittelua Knowpulp C (2016) teorian mukaisesti heikentämällä tikkujen erottelua.

#### 6.6.4 Yhteenveto

Näistä koeajojen tuloksista voidaan todeta, että latenssin poistuminen kuiduista paranee, kun latenssinpoistosäiliön sakeus alenee. Sakeuden laskun avulla saavutetulla kuidun kihartuneisuuden vähenemisellä ei kuitenkaan saada parannettua valmistetun massan ominaisuuksia. Valmistetun massan ominaisuuksista kuidun kihartuneisuuden muutoksilla oli suurin vaikutus lujuusominaisuuksiin. Kun kuidun kihartuneisuutta oli massassa vähemmän, myös massan lujuusominaisuudet olivat heikommat. Kihartuneisuuden määrän noustessa massassa, massan lujuusominaisuudet paranivat. Kuidun kihartuneisuuden määrän muutoksilla ei ollut suurta merkitystä priiman massan freenekseen eikä tikkujen määrään.

Priiman massan lujuusominaisuuksia saatiin parannettua, kun kuidun kihartuneisuutta saatiin lisättyä. Kuidun kihartuneisuus lisääntyi parhaiten, kun latenssinpoiston säiliön pH:ta muutettiin koeajon 1 taulukon 10 koepisteiden 1-3 mukaisesti. Massan lujuusominaisuuksista etenkin puhkaisulujuuteen saatiin huomattavia parannuksia koeajon 1 taulukon 10 koepisteillä 2-3 sekä taulukon 11 molemmilla koepisteillä.

Latenssinpoiston vaikutusta valmistettuun CTMP-massaan voisi tutkia vielä pidemmällä ajanjaksolla. Kuidun kihartuneisuuden lisäämistä nostamalla pH:ta latenssinpoistosäiliöön voisi ajaa pidemmän ajan ja seurata sen vaikutusta valmistettuun massaan. Lisäksi valmistetun massan vaikutusta voisi seurata kartonkikoneilla tarkkaillen kartonkien lujuusominaisuuksia.

Tämän opinnäytetyön tuloksien perusteella CTMP-laitosta suositellaan ajettavaksi koeajotaulukon 10 mukaisten koepisteiden 2 ja 3 sekä taulukon 11 koepisteiden 1 ja 2 mukaan. Kuitenkaan latenssinpoistosäiliötä ei voida ajaa taulukon 10 koepisteen 3 sekä taulukon 11 koepisteen 1 mukaan, koska sakeuden alentaminen 4,3 % latenssinpoistosäiliöön täydellä tuotannolla ei ole mahdollista. Tämä johtuu ensimmäisen pesupuristimen sekä flotaatioaltaan kapasiteetin loppumisesta. Kapasiteetin sekä koeajojen tuloksien myötä paras ajomalli on taulukon 10 koepisteen 2 sekä taulukon 11 koepisteen 2 mukainen.

## LÄHTEET

Alén R. 2000. *Structure and chemical composition of wood*. Kirjassa: Stenius, P. Papermaking Science and Technology. Book 3, Forest Products Chemistry. Helsinki: Fapet Oy. 34-39.

Alfthan G. 1976. *Latency in mechanical pulp*. Paperi ja Puu 58 (4). 572.

Barton R., Tredway C., Ellis M. & Sullivan E. 1987. *Bleaching conditions*. Kirjassa: Pulp and paper manufacture, Mechanical Pulping, Volume 2. 3. Painos. Atlanta: TAPPI CPPA. ISBN 0-919893-40-6. 227-237.

Ellilä M. 2015. *CTMP:n ja kartongin laadun välisten vuorovaikutusten analysointi tilastollisia analyysejä hyödyntäen*. Espoo. 13-32.

Hagblom I. & Ranta V. 1977. *Sellun valmistus*. 3. painos. Porvoo: WSOY, ISBN 951-0-08123-x.

Hakkila P. 1998. *Structure and properties of wood and woody biomass*. Kirjassa: Papermaking Science and Technology. Book 2. Kellomäki S. Forest Resources and Sustainable Management. Jyväskylä: Fapet Oy, ISBN 952-5216-02-0. 117-185.

Heinemann S. & Vehniäinen A. 2009. *The character and properties of mechanical pulp*. Kirjassa: Papermaking Sciences and Technology. Lönnberg B. Mechanical Pulping. Book 5. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy. ISBN: 978-952-5216-35-6. 456-514.

Huttunen, O. 2013. Diplomityö, *Kemi-termomekaanisen massan ominaisuuksien optimointi*. Espoo: Aalto-yliopisto. 22-26.

Isotalo, K. 2004. *Puu- ja sellukemia*. 3. painos. Kemi: Edita Prima Oy, ISBN 952-13-2059-1. 31-32, 84.



Jäkärä J., Persson M. & Mårtens H. 2009. *Bleaching of mechanical pulps*. Kirjassa Lönnberg B. Papermaking Science and Technology, Mechanical Pulping, book 5. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-35-6. 360-398.

Jääskeläinen A-S. & Sundqvist H. 2007. *Puun rakenne ja kemia*. Helsinki: Hakapaino Oy. ISBN 978-951-672-351-1. 65-84.

Kappel, J. 1999. *Mechanical Pulps: From Wood to Bleached Pulp*. Atlanta: TAPPI PRESS. ISBN: 0-89852-354-0. 42-43.

Knowpap A: AEL / Prowledge Oy, 2009. *Knowpap, Kuitujen rakenne. Versio 15.0*. Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 4.10.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpap B: AEL / Prowledge Oy, 2009. *Knowpap, Kuitujen kemiallinen rakenne. Versio 15.0*. Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 4.10.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpap C: AEL / Prowledge Oy, 2009. *KnowPap. Mekaanisen massan valmistus. Versio 15.0*. Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 4.10.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpap D: AEL / Prowledge Oy, 2009. *Knowpap, Hierre - yleistä. Versio 15.0*. Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 12.10.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpap E: AEL / Prowledge Oy, 2009. *Knowpap. Vetolujuus. Versio 15.0*. Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 15.11.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpap F: AEL / Prowledge Oy, 2009. *Knowpap. Freeness. Versio 15.0.* Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 15.11.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpap G: AEL / Prowledge Oy, 2009. *KnowPap. Repäisylyjuus. Versio 15.0.* Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 15.10.2018.

[http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm)

Knowpulp A: AEL / Prowledge Oy, 2016. *Knowpulp, Hierrejauhimen jauhinterät. Versio 15.0.* Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 5.12.2018.

<http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPulp/suomi/kps/ui/frontpage.htm>

Knowpulp B: AEL / Prowledge Oy, 2016. *Knowpulp. Latenssin poisto. Versio 15.0.* Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 12.10.2018.

<http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPulp/suomi/kps/ui/frontpage.htm>

Knowpulp C: AEL / Prowledge Oy, 2009. *Knowpulp. Kemihierteen lajittelu. Versio 15.0.* Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 12.10.2018.

<http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPulp/suomi/kps/ui/frontpage.htm>

Knowpulp D: AEL / Prowledge Oy, 2016. *Knowpulp, Kuitudimensio. Versio 15.0.* Saatavilla Stora Enson Intranet. Luettu 10.11.2018.

<http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPulp/suomi/kps/ui/knowpulp.htm>

Kultalahti, V. 2012. *Opinnäytetyö, Imeytyksen tehostaminen imeytyskemikaalilla ja sen vaikutus jauhatusergiaan BCTMP-prosessissa*, Imatra: Saimaan ammattikorkeakoulu. 17-18.

Leppinen J., Valmet Oyj. *Haastattelu*. 14.11.2018.

Lucander M. 1988. *Latenssi ja sen poisto*. Porvoo. INSKO 13.-14.12. 1-20.

Lundin, T. & Vuorio P. 2009. *Reject refining*. Kirjassa: Lönnberg B. Papermaking Science and Technology, Mechanical Pulping. Book 5. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-35-6. 328-356.

Malkov S. 2002. *Studies on liquid penetration into softwood chips - experiments, models and applications*. Espoo: Otamedia Oy. ISBN: 951-22-6193-6. 42-43.

METLAS KY, 2000. *Puusta paperiin M-301 Hiokkeen valmistus*. 1. painos. Anjalankoski: Scanark.

Metsäteollisuuden työnantajaliitto. 1981. *Hierteen valmistus. Puusta paperiin M-302*. Lappeenranta: Etelä-Saimaan Kustannus Oy. ISBN 951-9309-19-5. 46, 61-63, 71-75.

Mohlin U-B. 1980. *Latency in thermomechanical pulps*. TAPPI. Nro 3. Vol. 63. 83-86.

Nickull, O. & Pitkänen M. 2009. *Chemimechanical pulping*. Kirjassa: Papermaking Science and Technology, Mechanical Pulping Book 5. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-35-6. 248-262.

Ottelin J., Sulzer Pumps Finland Oy. *Haastattelu*. 7.11.2018.

Salmén L., Lucander M. & Härkönen E. 2009. *Fundamentals of mechanical pulping*. Kirjassa: Lönnberg B. Papermaking Science and Technology, Mechanical Pulping. Book 5. Jyväskylä, Paperi ja Puu Oy, ISBN 978-952-5216-35-6. 36-42.

Seppälä M., Klemetti U., Kortelainen V-A., Lyytikäinen J., Siitonen H. & Sironen R. 2005. *Paperimassan valmistus*. 2-3 painos. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy. ISBN 952-13-1142-8. 57-66.

Sirviö J. & Tuovinen O. 2009. *Wood raw materials*. Kirjassa: Lönnberg B. Papermaking Science and Technology, Mechanical Pulping. Book 5. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-35-6. 68-108.

Sjöström E. 1978. *Puukemia. Teoreettiset perusteet ja sovellutukset*. 4. Painos, ISBN 951-672-077-3 toim. Espoo, Otaniemi: Otakustantamo 1977. 55-56.

Snellman, S. 2015. Opinnäytetyö. *SO<sub>2</sub>-veden korvaaminen rikkihapolla CTMP-prosessissa*. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu. 13-17, 24-25.

Stora Enso Intranet. *Määrittäsohjeet*. Saatavilla rajoitetusti. Luettu 5.10.2018.

Suuronen, S. 2017. Pro gradu -tutkielma. *Kemitermomekaanisen massan valkaisu*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. 24, 68-73.

Tiikkaja E. 2007. Kokeellinen tutkimus. *Konenäköä soveltavan kuituanalysoijan ja virtauskenttäfraktioijan mittauksen yhteydet kuumahierteen paperitekniikan ominaisuuksiin*. Oulu: Acta Universitatis Ouluensis C Technica 285. 16-19.

Valmet Forward. 2018. *Conical disc refiner*. Luettu 5.12.2018.

<https://www.valmet.com/pulp/mechanical-pulping/refining-and-grinding/conical-disc-refiner/>

Valmet Forward. 2019. *Valmet Fiber Image Analyzer*. Luettu 3.1.2019.

<https://www.valmet.com/automation-solutions/analyzers-and-measurements/analyzers/fiber-image-analyzer-for-external-fibrillation-fiber-length-measurement/>

## LIITTEET

### Liite 1. Ensimmäisen koeajon mittaustulokset

TAULUKKO 16. Kuidun kihartuneisuuden tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4
1. Referenssi	11,2	12	12,2
2. pH 7	12,4	12,9	14,3
3. pH 9	11,6	13	13,9
4. pH 8; 3,4	8,6	12,3	12
5. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 4	9,1	14,3	16

TAULUKKO 17. Freeness -tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4	Freeness ml latenssinpoisto	Freeness ml MC2	Freeness ml MC4
1. Referenssi	11,2	12	12,2	598	593	528
2. pH 7	12,4	12,9	14,3	623	470	490
3. pH 9	11,6	13	13,9	647	450	494
4. pH 9; 4,3				628	483	513
5. pH 8; 3,4	8,6	12,3	12	620	492	494
6. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 4	9,1	14,3	16	610	495	506

TAULUKKO 18. Vetolujuuden tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4	Vetolujuus kN/m latenssinpoisto	Vetolujuus kN/m MC2	Vetolujuus kN/m MC4
1. Referenssi	11,2	12	12,2	0,907	1,44	1,38
2. pH 7	12,4	12,9	14,3	1,03	1,46	1,42
3. pH 9	11,6	13	13,9	0,835	1,66	1,77
4. pH 9; 4,3				0,985	1,46	1,52
5. pH 8; 3,4	8,6	12,3	12	0,965	1,55	1,41
6. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 4	9,1	14,3	16	0,100	1,35	1,38

TAULUKKO 19. Repäisyjuuuden tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4	Repäisyjuuus mN latenssinpoisto	Repäisyjuuus mN MC2	Repäisyjuuus mN MC4
1. Referenssi	11,2	12	12,2	405	462	461
2. pH 7	12,4	12,9	14,3	408	576	546
3. pH 9	11,6	13	13,9	299	532	464
4. pH 9; 4,3				377	477	504
5. pH 8; 3,4	8,6	12,3	12	390	428	431
6. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 4	9,1	14,3	16	390	432	456

TAULUKKO 20. Puhkaisulujuuden tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4	Puhkaisu- lujuus kPa latenssinpoisto	Puhkaisu- lujuus kPa MC2	Puhkaisu- lujuus kPa MC4
1. Referenssi	11,2	12	12,2	51,9	91,2	72,9
2. pH 7	12,4	12,9	14,3	54,4	82,6	89,6
3. pH 9	11,6	13	13,9	43,9	103,9	94,2
4. pH 9; 4,3				54,0	86,0	106,8
5. pH 8; 3,4	8,6	12,3	12	54,9	91,6	87,0
6. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 4	9,1	14,3	16	57,0	84,0	79,0

TAULUKKO 21. Tikkupitoisuuden tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4	Tikut % latenssinpoisto	Tikut % MC2	Tikut % MC4
1. Referenssi	11,2	12	12,2	0,48	0,15	0,18
2. pH 7	12,4	12,9	14,3	0,48	0,15	0,13
3. pH 9	11,6	13	13,9	0,45	0,08	0,13
4. pH 9; 4,3				0,45	0,10	0,10
5. pH 8; 3,4	8,6	12,3	12	0,43	0,13	0,15
6. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 4	9,1	14,3	16	0,44	0,08	0,13

Liite 2. Toisen koeajon mittaustulokset

TAULUKKO 22. Kuidun kihartuneisuuden tulokset

Koepiste	FS5 % latenssinpoisto	FS5 % MC2	FS5 % MC4
1. Referenssi	11,1	13,9	16,1
2. pH 9, sakeus 4,3 %	10,9	12,9	19,9
3. pH 9	12,8	14,5	17,3
5. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 3	15,3	17,4	19,8

TAULUKKO 23. Freeness -tulokset



Koepiste	Freeness ml latenssinpoisto	Freeness ml MC2	Freeness ml MC4
1. Referenssi	585	503	479
2. pH 9, sakeus 4,3 %	675	543	570
3. pH 9	648	480	511
5. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 3	635	478	503

TAULUKKO 24. Vetolujuuden tulokset

Koepiste	Vetolujuus kN/m latenssinpoisto	Vetolujuus kN/m MC2	Vetolujuus kN/m MC4
1. Referenssi	1,13	1,54	1,63
2. pH 9, sakeus 4,3 %	0,83	1,63	1,55
3. pH 9	1,00	1,74	1,81
5. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 3	0,85	1,36	1,36

TAULUKKO 25. Repäisylujuuden tulokset

Koepiste	Repäisylujuus mN latenssinpoisto	Repäisylujuus mN MC2	Repäisylujuus mN MC4
1. Referenssi	425	468	469
2. pH 9, sakeus 4,3 %	331	492	494
3. pH 9	367	510	512
5. Viikon myöhemmin tehty määrittys koepisteestä 3	357	436	484

TAULUKKO 26. Puhkaisulujuuden tulokset

Koepiste	Puhkaisulujuus kPa latenssinpoisto	Puhkaisulujuus kPa MC2	Puhkaisulujuus kPa MC4
1. Referenssi	56,4	79,6	78,3
2. pH 9, sakeus 4,3 %	49,0	99,2	92,2
3. pH 9	55,4	103,5	102,7
5. Viikon myöhemmin tehty määrittäminen koepisteestä 3	52,5	83,6	85,3

TAULUKKO 27. Tikkupitoisuuden tulokset

Koepiste	Tikkupitoisuus % latenssinpoisto	Tikkupitoisuus % MC2	Tikkupitoisuus % MC4
1. Referenssi	0,94	0,33	0,28
2. pH 9, sakeus 4,3 %	0,98	0,28	0,23
3. pH 9	0,83	0,23	0,23
5. Viikon myöhemmin tehty määrittäminen koepisteestä 3	0,90	0,20	0,20

### Liite 3. Määrittäykset

#### **Freeneksen määrittäminen**

Canadian Standard Freeness -luku (CSF) mittaa massan suotautumiskykyä. Freeness on massansuotautumisnopeudelle määritelty suhteellinen luku, joka määritetään ISO 5267-2:2001 avulla. Määrittäminen tehdään freeness -laitteen avulla, johon mitataan 1 litra sulppua, jonka sakeus on 3g/l. Määrittämisestä saatu suodostilavuus ilmoitetaan millilitroina. Tulos on sitä pienempi, mitä hitaammin massa suotautuu. (Stora Enso Intranet, *määrittämisohjeet*)

#### **Massa-arkin valmistus**

CTMP-massa-arkin valmistus tehdään standardin SCAN-C 17:64 mukaan. Massa-arkin valmistusta varten määritetään massan sakeus sekä tehdään kuumahajotus. Itse arkit tehdään arkkimuotilla, jonka jälkeen valmistunutta arkkia puristetaan 5 minuuttia puristimella sekä kuivataan 1 tunnin ajan tasokuivaimella. (Stora Enso Intranet, *määrittämisohjeet*)

#### **Vetolujuuden määrittäminen**

Vetolujuudella määritetään, kuinka hyvin kuidut ovat sitoutuneet toisiinsa. Määrittäminen tehdään L&W SE 064- vetolujuuslaitteella standardin ISO 1924-3:2005 avulla. Tulos ilmoitetaan kN/m ja luku on sitä suurempi, mitä paremmin kuidut ovat sitoutuneet toisiinsa. (Stora Enso Intranet, *määrittämisohjeet*)

#### **Repäisylujuuden määrittäminen**

Repäisylujuudella määritetään työn määrä, joka tarvitaan tietyn suuruisen repeämän aikaansaamiseksi massa-arkissa. Repäisylujuus määritetään APPITA-Elmendorf heilurimittalaitteella standardin EN ISO 1974:2012 avulla. Tulos ilmoitetaan milli Newtonina. (Stora Enso Intranet, *määrittämisohjeet*)

### **Puhkaisulujuuden määrittäminen**

Puhkaisulujuudella määritetään, kuinka suuren pintaa vastaan kohtisuoraan tulevan paineen massa-arkki kestää murtumatta. Määrittys tehdään Mullen-puhkaisulujuuslaitteella standardin ISO 2759:2014 avulla. Tulos ilmoitetaan kilo Pascaleina. (Stora Enso Intranet, *määrittämissuhteet*)

### **Tikkujen määrittäminen**

Massan tikkupitoisuus määritetään Sommervillen menetelmällä soveltaen standardia Tappi useful method 242. Menetelmässä massa seulotaan vedenpaineen sekä levyn, jossa on 0,15 mm rakoja, avulla. Tikkupitoisuus massassa ilmoitetaan prosentuaalisena painosuutena kuivasta massasta. (Stora Enso Intranet, *määrittämissuhteet*.)

### **Kuidun kihartuneisuuden määrittäminen**

Kuitujen kihartuneisuus määritetään Valmet FS5 -laitteen avulla, joka on esitetty kuvassa 13. Mittausta varten näyte laimennetaan 0,2 % sakeuteen. Laite sekoittaa näytettä samalla, kun ottaa siitä valokuvia. Valokuvien perusteella laite määrittää kuitujen kihartuneisuuden ja tuo tulokset tietokoneelle.



KUVA 13. Valmet Fiber Image Analyzer (Valmet 2019).