



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VAAHDOTUSKENNOJEN EROTUSTEHOK- KUUDEN NOSTO

Laura Warjus

Opinnäytetyö
Joulukuu 2017
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka

LAURA WARJUS:
Vaahdotuskennojen erotustehokkuuden nosto

Opinnäytetyö 143 sivua, joista liitteitä 49 sivua
Joulukuu 2017

Opinnäytetyössä tutkittiin Oy SCA Hygiene Products Ab:n Nokian tehtaan siivoustekniikan vaahdotusta. Työn tavoitteena oli tutkia vaahdotuskennojen toimintaa ja nostaa uusiomassan vaaleutta vaahdotuksen jälkeen. Kennojen toiminnan tutkimuksen tarkoituksena oli oppia ymmärtämään kennojen ominaisuuksia ja eri parametrien vaikutusta vaahdotukseen. Vaaleuden nostamisella pyrittiin säästämään tuotantokustannuksissa muuttamalla siivoustekniikka tai vaihtoehtoisesti muuttamalla paperitehtaalla massareseptiä.

Vaahdotuskennojen toimintaa tutkittiin muuttamalla kennojen prosessiparametreja. Parametreja muuttamalla yritettiin saada kennoihin mahdollisimman samanlaiset tulokset ja toiminta. Kennojen toiminnan tutkimuksen jälkeen kennot pyrittiin optimoimaan tuottamaan vaaleampaa massaa. Työssä tehtiin myös koeajoja uudella vaahdotuksessa käytettävällä kemikaalilla, jonka tarkoituksena on parantaa vaahdotusprosessia. Tutkimuksia tehtiin silmämääräisesti, sekä ottamalla massanäytteitä. Massanäytteitä tutkittiin mittaamalla massan vaaleutta ja vaaleuden muutosta ennen ja jälkeen vaahdotuksen.

Työn tuloksina todettiin, että vaahdotuksessa kennojen asetukset ovat olleet erilaiset ja niiden käyttö ei ole ollut optimaalista. Työssä todettiin myös, että vaahdotuksessa käytetty koeajokemikaali ei vaikuttanut prosessissa toivotulla tavalla.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Paper, Textile and Chemical Engineering

LAURA WARJUS:
Increasing of The Separation Capacity of Flotation Cells

Bachelor's thesis 143 pages, appendices 49 pages
December 2017

The purpose of this thesis was to study the flotation process of the deinking plant at Oy SCA Hygiene Products Ab Nokia mill. The target was to increase the brightness gain in the flotation process. The purpose on studying the flotation cells was to understand the properties and effects of individual cells in the flotation. The purpose of increasing the brightness of the pulp was to decrease the production costs. This would give a chance to change deinking pulp recipes or the pulp recipes in paper mill.

The properties of the cells were studied by changing the process parameters of flotation. The aim was to achieve same operations and results for individual cells. After that the cells were optimized to produce brighter pulp. Also, the effect of a new flotation chemical on increasing the brightness of pulp was studied. These studies were done by visually and by collecting pulp samples. The brightness of the pulp samples was measured before and after the flotation cells.

The results suggested that parameters of flotation cells have not been optimized. Also, the flotation chemical did not have desired effect.

Key words: deinking, recycled pulp, flotation, brightness

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	OY SCA HYGIENE PRODUCTS AB	9
3	UUSIOMASSA RAAKA-AINEENA PAPERIN VALMISTUKSESSA	10
4	UUSIOMASSAN VALMISTUKSEN PROSESSIT	13
4.1	Pulperointi.....	15
4.1.1	HC-pulppi eli korkeasakeuspulppi.....	16
4.1.2	MC-pulppi eli keskisakeuspulppi	18
4.1.3	LC-pulppi eli matalasakeuspulppi	18
4.1.4	Rumpupulppi.....	20
4.2	Karkealajittelu.....	21
4.2.1	Lajittelumenetelmät.....	22
4.2.2	Painelajittelu.....	22
4.2.3	HC-puhdistus	27
4.2.4	Karkealajittelun kytkentäjärjestelmä.....	27
4.3	Pyörrepuhdistus	27
4.3.1	HC-pyörrepuhdistus	30
4.3.2	MC-pyörrepuhdistus	31
4.3.3	LC-pyörrepuhdistus	31
4.4	Vaahdotus eli flotaatio	33
4.4.1	Selektiivinen vaahdotus	33
4.4.2	Perusedellytykset vaahdotukselle.....	34
4.4.3	Vaahdotusprosessi.....	34
4.4.4	Vaahdotuslaitteistoja	39
4.4.5	Vaahdotuksen kemiaa	41
4.4.6	Laatukriteerit	45
4.5	Hienolajittelu	48
4.6	Saostus	49
4.6.1	Rumpusaostin.....	50
4.6.2	Viirasaostin	51
4.6.3	Kiekkosaostin.....	52
4.6.4	Ruuvisaostin.....	52
4.7	Massan pesu.....	53
4.7.1	Viirapesuri.....	54
4.7.2	Kiekkosaostin.....	54
4.7.3	Painelajitin	55
4.7.4	Suihkupesuri.....	55

4.8	Dispergointi	55
4.8.1	Levydispergaattori.....	57
4.8.2	Kartiodispergaattori.....	58
4.8.3	Kneading-dispergaattori.....	58
4.9	Valkaisu	59
4.9.1	Vetyperoksidivalkaisu.....	59
4.9.2	Natriumditioniittivalkaisu	60
4.10	Uusiomassan varastointi	60
4.11	Rejektin käsittely	60
4.11.1	Karkearejekti	61
4.11.2	Lietteen käsittely	61
5	UUSIOMASSAPROSESSI PEHMOPAPERIN TUOTANNOSSA.....	62
6	TYÖN TAVOITTEET	64
7	TYÖN TOTEUTUS	65
7.1	Näytteiden ottaminen ja vaaleuden määrittäminen.....	65
7.2	Vaahdotuksen tutkiminen	66
7.3	Vaahdotuskennon ilmamäärän tutkimus vaahdotuskennossa.....	67
7.4	Massan takaisinkierätyksen tutkimus vaahdotuskennossa	70
7.5	Kemikaalin koeajot	71
7.6	Kennojen optimointi	72
7.7	Massan sakeuden tutkimus vaahdotuskennoissa	73
8	TULOKSET JA ANALYSOINTI.....	74
8.1	Ilmamäärän tutkimus vaahdotuskennossa.....	74
8.2	Massan takaisinkierätyksen tutkimus vaahdotuskennossa	77
8.3	Kemikaalin koeajot	78
8.3.1	Askelvastekoe	78
8.3.2	Koeajo 1	79
8.3.3	Koeajo 2	80
8.4	Kennojen optimointi	83
8.5	Massan sakeuden tutkimus vaahdotuskennossa	86
9	POHDINTA.....	88
9.1	Ilmamäärän tulokset.....	88
9.2	Massan takaisinkierätyksen tulokset	88
9.3	Kennojen optimoinnin tulokset.....	88
9.4	Kemikaalin koeajojen tulokset.....	89
9.5	Massan sakeuden tutkimuksen tulokset.....	89
9.6	Muita havaintoja	89
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEIDEN EHDOTUKSET	92
	LÄHTEET.....	93

LIITTEET	95
Liite 1. Sunds värinpoistokennot -ohjekirja	95
Liite 2. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U1, ISO-vaaleus	110
Liite 3. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U1, D65-vaaleus.....	111
Liite 4. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U3, ISO-vaaleus	112
Liite 5. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U3, D65-vaaleus.....	113
Liite 6. Ilmamäärän tutkimus kennossa 4, lajilla U1, ISO-vaaleus	114
Liite 7. Ilmamäärän tutkimus kennossa 4, lajilla U1, D65-vaaleus.....	115
Liite 8. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U3, ISO- vaaleus	116
Liite 9. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U3, D65- vaaleus	117
Liite 10. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, ISO- vaaleus	118
Liite 11. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, D65- vaaleus	119
Liite 12. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, ISO- vaaleus	120
Liite 13. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, D65- vaaleus	121
Liite 14. Askelvastekoe Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, ISO-vaaleus	122
Liite 15. Askelvastekoe Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, D65-vaaleus	123
Liite 16. Koeajo 1 Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, ISO-vaaleus.....	124
Liite 17. Koeajo 1 Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, D65-vaaleus	125
Liite 18. Koeajo 2 Nopcoflot EGA 3040, 200 g/t, ISO-vaaleus.....	126
Liite 19. Koeajo 2 Nopcoflot EGA 3040, 200 g/t, D65-vaaleus	127
Liite 20. Koeajo 2 Nopcoflot EGA 3040, 0 g/t, ISO-vaaleus.....	128
Liite 21. Koeajo 2 Nopcoflot EGA 3040, 0 g/t, D65-vaaleus	129
Liite 22. Optimointi lajilla U1, ISO-vaaleus	130
Liite 23. Optimointi lajilla U1, D65-vaaleus.....	131
Liite 24. Optimointi lajilla U3, ISO-vaaleus	132
Liite 25. Optimointi lajilla U3, D65-vaaleus.....	133
Liite 26. Optimointi lajilla U1, ISO-vaaleus	134
Liite 27. Optimointi lajilla U1, D65-vaaleus.....	135
Liite 28. Optimointi lajilla U1, ISO-vaaleus	136
Liite 29. Optimointi lajilla U1, D65-vaaleus.....	137
Liite 30. Sakeuden tutkimus lajilla U1, ISO-vaaleus	138
Liite 31. Sakeuden tutkimus lajilla U1, D65-vaaleus.....	139
Liite 32. Sakeuden tutkimus lajilla U1, ISO-vaaleus	140
Liite 33. Sakeuden tutkimus lajilla U1, D65-vaaleus.....	141

Liite 34. Sakeuden tutkimus lajilla U1, ISO-vaaleus	142
Liite 35. Sakeuden tutkimus lajilla U1, D65-vaaleus.....	143
Liite 36. Vaahdotuksen vaaleudet 2016	144

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia SCA Hygiene Products Ab Oy:n Nokian tehtaan siivoustalouden vaahdotuskemien kykyä erottaa epäpuhtauksia uusiomassasta.

Työn ensisijaisena tavoitteena oli parantaa uusiomassojen vaaleutta vaahdotusprosessissa. Tämä mahdollistaisi massareseptien muokkaamisen ja näin tuotantokustannusten alentumisen läpi prosessin. Työssä tutkittiin kuinka vaahdotuskemot toimivat ja kuinka kemien säädöt olisi mahdollista optimoida niin, että vaaleuden muutos kemien yli olisi paras mahdollinen.

Optimoinnin lisäksi tutkittiin vaahdotuksen apukemikaalin toimivuutta kemioissa ja sen vaikutusta uusiomassojen vaaleuteen.

Työssä käsitellään myös siivoustaloutta yleisesti sekä Oy SCA Hygiene Products Ab:n Nokian tehdasta.

2 OY SCA HYGIENE PRODUCTS AB

SCA Nokian pehmopaperitehdas on yhdessä Espoossa sijaitsevan myyntitoimiston kanssa Oy SCA Hygiene Products Ab, joka on osa ruotsalaista Svenska Cellulosa Aktiebolaget SCA:ta. Nokian tehtaan historia alkaa jo vuodesta 1865, kun Tampereelle perustettiin puulumpputehdas. Pehmopaperia aloitettiin valmistamaan vasta 1960-luvulla. SCA Nokian tehtaalla on nykyään 2 paperikonetta, 6 jalostuslinjaa ja siivoustuslaitos. Tehdas työllistää noin 200 työntekijää. (SCA 2017a.; SCA 2017b.)

PK7 on käynnistetty vuonna 1965, jonka jälkeen sitä on uusittu useaan kertaan (Toivola 2005, 638; SCA 2016b.). PK7 leveys on 3,4 m. (Pentti, S. 2017.)

PK9 on paperikoneista suurin ja uusin kone vuodelta 1972. Tämän jälkeen sitä on uusittu kaksi kertaa. (Toivola 2005, 638; SCA 2016b.). Sen leveys on 5,2 m. Molempien paperikoneiden kokonaistuotantokapasiteetti on 75 000 tonnia vuodessa. (Pentti, S. 2017).

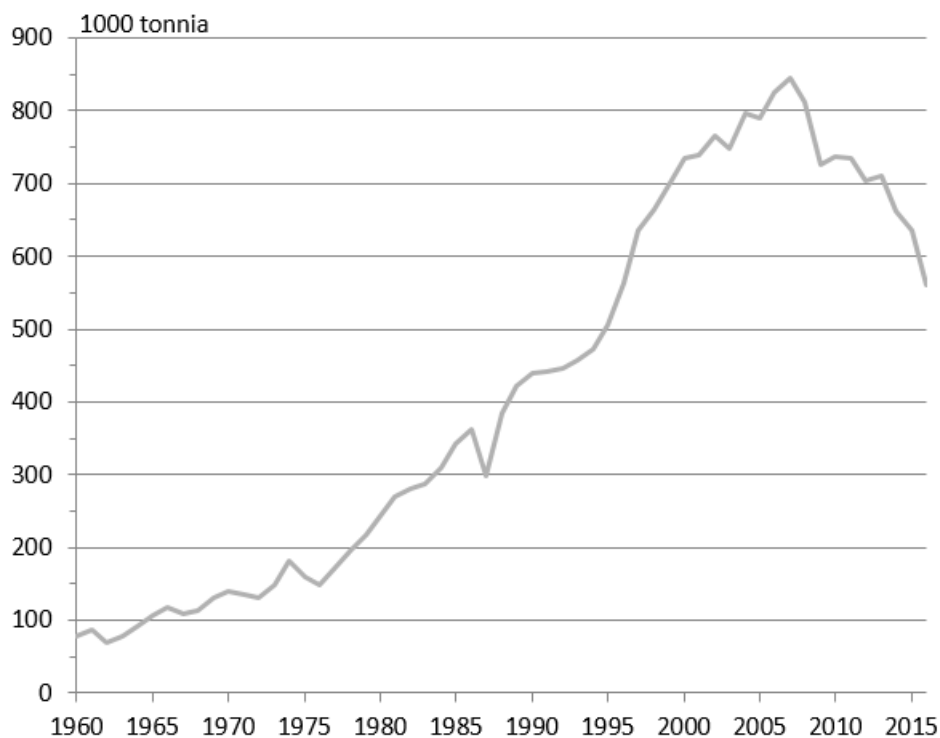
Siivoustuslaitos käynnistettiin vuonna 1986, jonka jälkeen sitä on uusittu useaan kertaan. (Toivola 2005, 639; SCA 2016b.). Laitoksen tuotantokapasiteetti on 44 000 tonnia vuodessa (Pentti, S. 2017.)

Nokian tehtaalla valmistetaan Lotus-, Zewa- ja Tork-tuotemerkkien tuotteita kuten wc-papereita, talouspapereita, veto- ja käsipyyhkeitä sekä taitettuja käsipyyhkeitä. (SCA 2017a.) SCA jakautui kesällä 2017 kahteen itsenäiseen yritykseen, joista hygienia- ja terveysalan liiketoiminta toimii nyt uudella nimellä Essity, kun taas metsäteollisuustoiminnot jatkavat nimellä SCA. (Tork. 2017.)

3 UUSIOMASSA RAAKA-AINEENA PAPERIN VALMISTUKSESSA

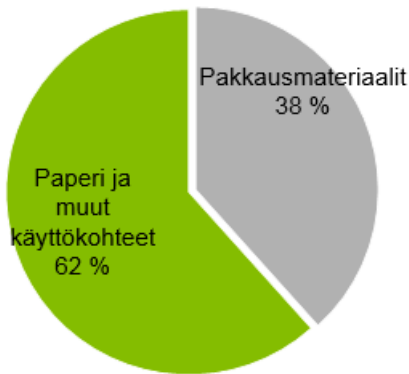
Kierrätyspaperin käyttäminen paperinvalmistuksessa on nykyään kasvamaan päin. Nykyään 50 % maailman kartonki- ja paperiteollisuuden raaka-aineesta on kierrätyspaperia ja tämä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Tähän vaikuttaa raaka-aineen edullinen hinta, saatavuus, sekä se että kierrätysmassan ominaisuudet vastaavat hyvin loppukäyttötuotteen vaatimuksia. Ympäristö- ja energiatekniset näkökulmat sekä lainsäädännölliset pakotteet ovat myös osasy syy kierrätyspaperin käytölle. (Prowledge 2017).

Keräyspaperin ja kartongin talteenottoaste Suomessa on Euroopan ja koko maailman huippua. Keräyspaperilla talteenottoaste on noin 66 %, joka vastaa 560 tuhatta tonnia vuodessa (Metsäteollisuus 2017). Talteenottoasteella tarkoitetaan talteen otetun paperin määrää suhteessa paperin kokonaiskulutukseen. Noin 19 % kaikesta paperin käytöstä on sellaista josta paperia ei voida kerätä takaisin, kuten tapettipaperit ja toilettipaperit (Prowledge 2017).



KUVIO 1. Keräyspaperin talteenottomäärien kehitys Suomessa (Metsäteollisuus 2017)

Suomessa kierrätyskuitu ei kuitenkaan ole pääsääntöinen kuituraaka-aine vain 5 % osuudellaan kaikista kuituraaka-aineista (Prowledge 2017). Vuonna 2016 keräyspaperia ja -kartonkia käytettiin teollisessa tarkoituksessa 550 tuhatta tonnia, josta noin 38 % käytettiin pakkausmateriaalien valmistukseen ja loput 62 % paperin ja muiden tuotteiden valmistukseen (Metsäteollisuus 2017).



KUVIO 2. Keräyspaperin ja -kartongin käyttö teollisessa tarkoituksessa vuonna 2016 (Metsäteollisuus 2017)

TAULUKKO 1. Euroopan suurimmat keräyspaperia käyttävät yritykset (Diesen, M. 2007, 88, muokattu)

yritys	milj. tonnia / vuosi
SKG	5,4
SCA	4,2
Norske	3,3
UPM	2,9
Stora Enso	2,8

Paperin ja kartongin kulutus maailmassa henkeä kohti vaihtelee suuresti alueittain. Pohjois-Amerikan suurimmasta kulutuksesta 218 kilosta Afrikan ja Lähi-idän pienimpään 13 kiloon henkeä kohden on suuret erot. Euroopassa vastaava luku on 129 kg ja Suomessa 163 kg. Näihin kulutuksiin kuuluu kaikkien erilaisten paperituotteiden kulutukset, kuten paino- ja kirjoituspaperit, hygieniapaperit, pakkauspaperit ja -kartongit. (Metsäteollisuus 2017). Osa näistä paperituotteista jää niin sanotusti käyttöön ”arkistoihin”, eikä kulkeudu eteenpäin kierrätykseen, polttoon tai kaatopaikalle. Tämä vaikuttaa myös osaltaan kierrätysasteeseen. (Prowledge 2017).

Uusiokuidun hinta on yleisesti halvempaa kuin ensiökuidun, joka osaltaan selittää uusiokuidun käyttöä paperin valmistuksessa. Suomessa keräyspaperin hinta vaihtelee noin 50 – 200 €/t välillä lajista riippuen. Mitä paremmin lajiteltua, vähemmän epäpuhtauksia sisältävää ja vaaleampaa, sitä kalliimpaa keräyspaperi on. Raaka-ainekustannusten suuri vaihtelu vaikuttaa negatiivisesti uusiomassan valmistukseen. (Prowledge 2017).

Tyypillisesti pehmopapereiden sekä paino- ja kirjoituspapereiden valmistuksessa käytetään siistattua uusiomassaa. Pehmopaperin valmistuksessa käytetään yleensä sekalaista toimistojätepaperia (MOW), kotikeräyspaperia (ONP/OMG 100-50/30-50) ja erilaisia sekoituksia (MOW/OMG, MOW/WL). Suuri osa pehmopaperin tuotannon massasta on uusiomassaa eli kuiduista on uusiokuitua noin 67 % ja loput 33 % ensiökuitua. (Prowledge 2017).

Keräyspaperin lajittelulla saadaan ryhmiteltyä raaka-aineita paperiteknisten ominaisuuksien mukaan. Lajittelemalla keräyspaperia voidaan käyttää uusiomassaa sellaisen paperilajin valmistukseen johon se soveltuu parhaiten. (Prowledge 2017). Suomessa keräyspaperin luokitteluun käytetään CEN:n (The European Committee for Standardization) Euroopan laajuista standardia EN 643. Tämä määrittelee Euroopassa kerättävän paperin ja kartongin luokittelun ja niiden standardit. (SFS EN 643:2014).

4 UUSIOMASSAN VALMISTUKSEN PROSESSIT

Keräyspaperin kierrätysprosessia eli puhdistusta ja painomusteen poistamista kutsutaan siistaamiseksi. Tavoitteena on saada uusiomassaa, joka on niin puhdasta ja vaaleaa kuin mahdollista. Tätä puhdistusta tehdään sekä kemiallisten että mekaanisten menetelmien avulla. Puhdistuksella tavoitellaan paperikuitujen alkuperäisien ominaisuuksien palauttamista. Keräyspaperin käytössä pitää ottaa huomioon seuraavat seikat:

- uusiomassa on yleensä useiden kuitutyypin sekoitus
- kuidut ovat jauhettu ja kuivattu ainakin kerran
- paperiin ovat vaikuttaneet vanhenemisilmiöt, kuten valo ja lämpö
- massa sisältää epäpuhtauksia. (Prowledge 2017).

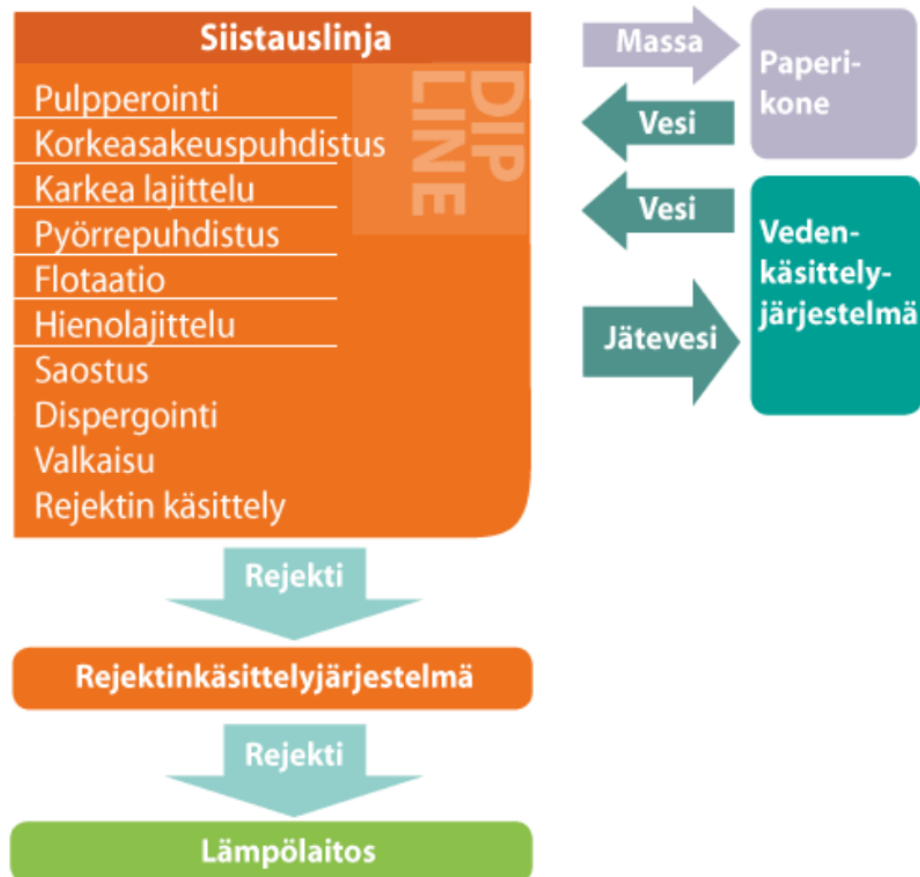
Kuitujen ominaisuudet muuttuvat kierrätyksessä. Muutokset riippuvat siitä millaisen paperinvalmistusprosessin ja siistausprosessin kuidut ovat jo aiemmin läpikäyneet. Yksittäinen kuitu voidaan kierrättää jopa 3 – 5 kertaa. Kuitu lyhenee jokaisella käyttökerralla ja sen arvo raaka-aineena vähenee. Kemiallisen ja mekaanisen massan kuidut käyttäytyvät eri tavoin. Sen takia on tärkeää tietää minkä tyyppisestä massaseoksesta on kysymys. Koska useimmat paperilajit sisältävät molempia massalajeja, on ymmärrettävä että kierrätyksen vaikutus riippuu siitä millaisessa suhteessa näitä kuitulajeja on seoksessa. (Prowledge 2017).

Kemiallisessa massassa tyypillinen ilmiö on kuivatuksen aiheuttama kuituaineksen sarveistuminen, hornifikaatio. Tämä näkyy kuitujen kyllästyspisteen laskuna. Hornifikaatiota tapahtuu paperin kuivatuksessa, mutta siihen vaikuttaa myös märkäpuristuksen sekä kuivatuksen rajuus. Merkittävin muutos näkyy ensimmäisen kierrätyskierroksen aikana kuitujen jäykistymisenä ja sitoutumiskyvyn alenemisenä. Kalanteroinnin on huomattu myös vaikuttavan kemiallisen massan ominaisuuksiin. Joissain tapauksissa kalanterointi alentaa kuitupituutta ja lisää hienoaineen määrää kierrätyksessä. (Prowledge 2017).

Mekaanisella massalla suurin vaikuttava ominaisuus kierrätyksessä on kuitujen luhistumisasteen kasvu. Tähän vaikuttaa niin paperinvalmistusprosessi kuin siistauksen aikana käytettävät kemikaalit. Tämä tuo kuituihin positiivisia ominaisuuksia kuten mukautumis- ja sitoutumista, mitkä parantavat paperin lujuusominaisuuksia. Toisaalta tämä myös heikentää optisia ominaisuuksia. (Prowledge 2017).

Verrattaessa kemiallista ja mekaanista massaa toisiinsa on huomattu, että noin viiden kierrätyskierröksen jälkeen massojen kuitujen lujuusominaisuuksissa ei ole suurta eroa, mutta mekaanisen massan valonsirontakerroin on suurempi. Tämä kertoo siitä, että kuitujen lujuusominaisuudet eivät rajoita kierrätysastetta, vaan suurempi tekijä on kierrätyksessä mukana prosessiin tulevat epäpuhtaudet jotka kumuloituvat kiertovesiin. (Prowledge 2017).

Siistauslinjan rakenne riippuu täysin siitä käytetäänkö massa paino- ja kirjoituspaperien vai pehmopaperien valmistukseen. Suurin ero linjoissa on se, että pehmopaperin valmistukseen käytettävässä massasta poistetaan tuhka niin hyvin kuin mahdollista. Toisaalta sanomalehtipaperia varten valmistettavassa massassa puhdas tuhka on arvokas raaka-aine. (Prowledge 2017).



KUVIO 3. Siistauslinjan rakenne (Prowledge 2017)

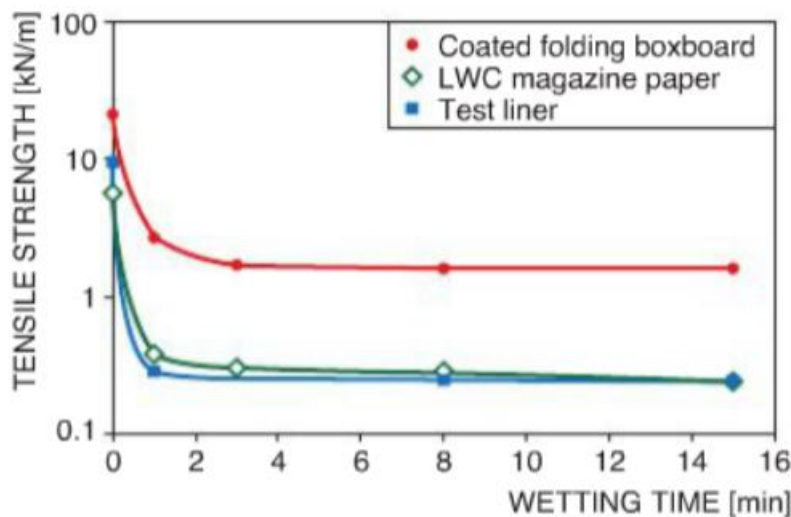
Sanomalehden valmistuksessa siistauslinjan saanto vaihtelee 80 – 85 % välillä, kun taas pehmopaperin valmistuksessa siistauslinjan saanto on vain 50 – 70 %. Tämä ero johtuu raaka-aineen tuhkapitoisuudesta, joka voi olla jopa 30 %. (Prowledge 2017).

4.1 Pulperointi

Siistaus alkaa keräyspaperin hajottamisella, eli pulperoinnilla missä paperi hajoitetaan pumpattavaan muotoon. Pulperoinnin tehtävänä uusiomassan valmistusprosessissa on:

- kastella keräyspaperi
- erotella keräyspaperin kuidut toisistaan
- irrottaa mustepartikkeleita kuiduista
- erotella karkea rejekti massasta
- sekoittaa kemikaaleja massan joukkoon
- homogenisoida massa (Höke & Schabel 2010, 141 – 142).

Pulperoinnissa vedellä on suurin vaikutus paperin hajottamiselle. Tämän lisäksi hajotavina voimina käytetään mekaanisia ja kemiallisia voimia sekä lämpöä. Paperin tehokkaan hajoamisen edellytyksenä on nopea ja täydellinen kastuminen. Jo ensimmäisen minuutin aikana vetolujuus pienenee 95 % pienien neliöpainon omaavilla papereilla. (Höke & Schabel 2010, 142).



KUVIO 4. Paperilajien vetolujuuden muutos kastuessa (Höke & Schabel 2010, 143)

Pulperointi ei kuitenkaan voi olla liian voimakasta, sillä keräyspaperissa olevat epäpuhtaudet eivät saa hajota liian pieniksi partikkeleiksi massan sekaan. Keräyspaperin mukana pulperiin voi joutua suuria partikkeleita kuten kiviä ja metallia, jotka voivat rikkoa pulperin. Liian voimakas pulperointi voi myös hajottaa mustepartikkeleita, muoviva, liima-

aineita, kalvoja ja kuumasulatteita liian pieniksi, jolloin niitä on vaikea erotella myöhemmissä vaiheissa. Paperilajeilla, joita on vaikea hajottaa, tarvitaan pulpperoinnissa korkeaa lämpötilaa. Joskus turvaututaan myös apukemikaalien käyttämiseen paperin hajottamiseksi. Tyypillisiä pulpperiin lisättäviä kemikaaleja ovat peroksidi, natriumsilikaatti, natriumhydroksidi ja saippua. (Höke & Schabel 2010, 143; Prowledge 2017).

Ennen pulpperointia keräyspaperipaaleista poistetaan paalilangat ja paalit hajoitetaan. Keräyspaperi voi olla myös varastoitu irtonaisena. Keräyspaperi annostellaan pulpperiin kuljettimella. Pulpperiin syötetään reseptin mukainen tonnimäärä paperia, joka voidaan mitata radiometrisellä vaa'alla tai silmämääräisesti arvioimalla. (Prowledge 2017). Pulpperityyppejä ja niiden yhdistelmiä löytyy monenlaisia. Alhaalla on taulukoitu yleisimpien tyyppien ominaisuuksia.

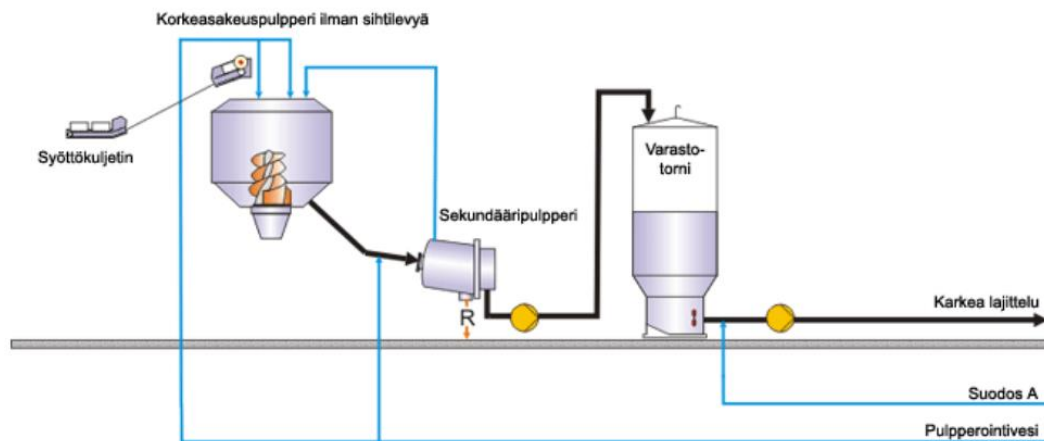
TAULUKKO 2. Pulpperityyppien ominaisuuksia (Höke & Schabel 2010, 145 muokattu)

pulpperityyppi	raaka-ainelaji	sakeus [%]	kapasiteetti [t/d]	pulpperointiaika [min]	toiminta	akseli	sihti-levy	pulpperin halkaisija [mm]
HC-pulpperi	sanomalehti aikakausilehti	< 19	30 – 400	15 – 25	panos	pys-tys.	ei /kyllä	< 7000
MC-pulpperi	sanomalehti aikakausilehti	< 12	140 – 500	25 – 30	panos	pys-tys.	ei /kyllä	< 6000
LC-pulpperi	fluting liner märkälujatlatjit	< 6	200 – 1 600	5 – 40	jatkuva	pys-tys. vaa-kas. kal-teva	kyllä	< 8000
Rumpupulpperi	sanomalehti aikakausilehti fluting liner	<20<5	100 – 1600	20 – 40	jatkuva	vaa-kas.	kyllä	< 4250

4.1.1 HC-pulpperi eli korkeasakeuspulpperi

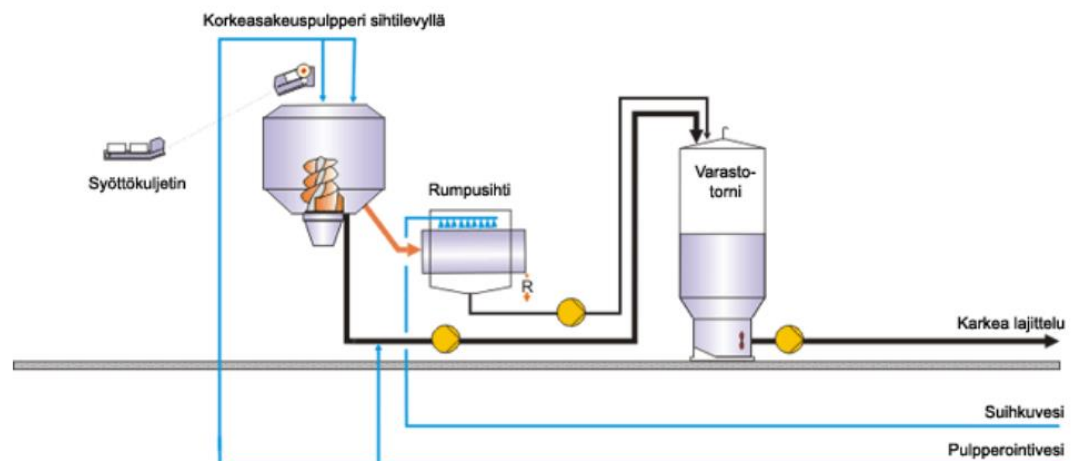
Korkeasakeuspulpperi koostuu yleisesti syöttökuljettimesta, panostoimisesta korkeasakeuspulpperista, sekundääripulpperista ja rumpusihdistä. Pulpperi voi olla varusteltu sihdillä. HC-pulppereita käytetään monenlaisissa olosuhteissa riippuen kuitumateriaalista. Sakeuteen vaikuttaa paperin tuhkapitoisuus, mutta sakeus voi olla jopa 19 %. Pulp-

perointiin kuuluu ensimmäisen laimennusveden syöttö, raaka-aineen syöttö, toisen laimennusveden syöttö, pulpperointi ja pulpperin tyhjennys. Tämän syklin kesto on 25 – 40 minuuttia, kun itse pulpperoinnin kesto tästä on 15 - 25 minuuttia. Pulpperoinnin jälkeen pulperi tyhjenetään roskasihdin tai sekundääripulpperin kautta. Sekundääripulpperi viimeistelee hajotuksen ja erottelee karkean rejektin massan joukosta 4 – 6 mm sihtilevyllä. Rejekti kulkeutuu rejektin talteenottoon tai rumpusihdille joka kerää rejektin joukosta viimeisetkin kuidut talteen pesemällä ja saostamalla. (Höke & Schabel 2010, 146 – 148; Prowledge 2017).



KUVIO 5. HC-pulperi sekundääripulpperilla (Prowledge 2017)

Jos HC-pulperia ei ole varusteltu sekundääripulpperilla, vaan poistuva massa kulkeutuu roskasihdin (10 – 12 mm reiät) kautta, kulkeutuu aksepti suoraan purkusäiliöön. Rejekti kulkeutuu HC-pulperin sihtilevyllä rumpusihdille, jonka reiät ovat 8 mm ja siitä eteenpäin rejektin käsittelyyn. (Prowledge 2017).



KUVIO 6. HC-pulperi sihtilevyllä (Prowledge 2017)

HC-pulpperin etuja ovat epäpuhtauksien vähäinen pilkkoutuminen massan sekaan. Se myös hajottaa minimaalisesti painomuste- ja painoväripartikkeleita pienemmiksi, ja näin parantaa lajittelun, pesun ja vaahdotuksen tehokkuutta. (Prowledge 2017).

4.1.2 MC-pulpperi eli keskisakeuspulpperi

Keskisakeuspulpperin toimintaperiaate on sama kuin HC-pulpperissa. MC-pulpperissa pulpperointiaika kasvaa 25 – 30 minuuttiin sakeuden ollessa < 12 %. (Höke & Schabler 2010, 146 – 148).

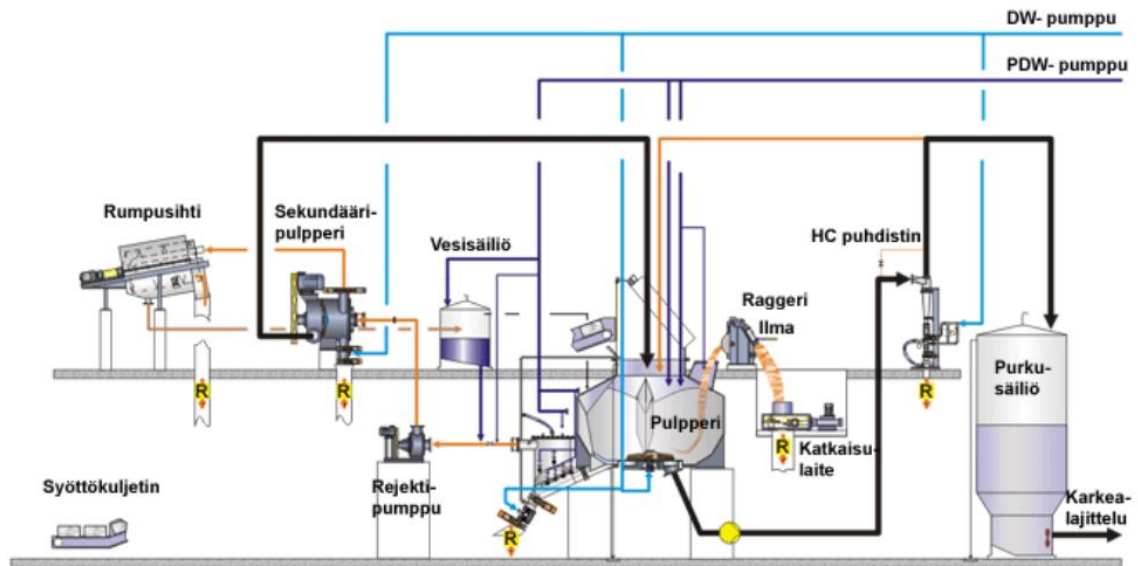
4.1.3 LC-pulpperi eli matalasakeuspulpperi

Matalasakeuspulpperissa sakeus on alle 6 %. Niitä käytetään tyypillisesti aaltopahvin ja korkean märkälajuuden omaavien laatuojen pulperoimiseen. LC-pulpperit ovat yleensä niin kutsuttuja jatkuvatoimisia pulppereita ja niiden pulperointiaika vaihtelee suuresti 5 – 40 minuutin välillä. LC-pulppereiden tilavuus voi olla jopa 160 m³ ja ne ovatkin huomattavasti suurempia kuin HC- ja MC-pulpperit. (Höke & Schabel 2010, 148 – 150).

LC-pulpperissa on sihtilevy jonka koko voi vaihdella suuresti 6 – 20 mm välillä. Pienemät reiät sihtilevyssä vaativat pidemmän pulperointiajan, sillä suuremmat kuitukimput eivät kulje sihtilevyn läpi. Suuremman reikäkoon omaavat sihtilevyt vaativat lyhyemmän pulperointiajan, mutta päästävät lävitseen isompia kuitukimppuja. Sihdin reikien koossa ja pulperointiajassa tulee ottaa huomioon, että kuitukimppujen suuri määrä ja koko voivat aiheuttaa sihdin tukkeutumisen. Helposti pumpattavassa massassa kuitukimppuja on 15 – 20 % kun taas vaikeasti pumpattavassa massassa on noin 20 – 40 %. (Höke & Schabel 2017, 148 – 150).

Jatkuvatoimisessa pulperoinnissa pitää ottaa huomioon, että kerääntyviä epäpuhtauksia pitää poistaa myös jatkuvasti. Osa pulpperin massasta kuljetetaan sekundääripulpperin syöttökammioon. Syöttökammiossa raskaat epäpuhtaudet, kuten kivet ja metalli, erottuvat laimennuksen ansiosta romuloukkuun. Kuidut, sekä kevyemmät epäpuhtaudet kulkeutuvat romuloukun läpi sekundääripulpperille. Sekundääripulpperi hajottaa läpi pääskeitä kuitukimppuja ja erottelee loput epäpuhtaudet sihtilevyllä. Sihtilevyn läpäisseet kuidut ja hienoaineet kulkeutuvat vielä rumpusihdille, joka kerää viimeisetkin kuidut talteen

rejektin joukosta pesemällä ja saostamalla. Sekundääripulperin aksepti kuljetetaan takaisin LC-pulperiin ja rejekti kulkeutuu rejektin käsittelyyn. (Hölik & Schabel 2010, 148 – 150; Prowledge 2017).



KUVIO 7. LC-pulperointi (Prowledge 2017)

Suurempien epäpuhtauksien kuten muovien, paalilankojen ja sidenarujen poistossa käytetään raggeria. Raggeri on pulperin ulkopuolella oleva laite joka vetää pulperiin massan joukkoon laitettavaa köyttä pulperista ulos. Köysi kerää itseensä massan seasta epäpuhtauksia, jotka ovat riittävän suuria tai pitkiä kietoutumaan köyden ympärille. Köysi kasvaa kun sen häntä liikkuu massavirtauksen mukana. Massan sakeuden ollessa yli 6 % massan pyöriminen pulperissa hidastuu ja köydenmuodostuminen on huonoa. Ihanteellinen sakeus köydenmuodostamiselle on 3,5 – 5,5 %. Pulperiammeen rakenne on oleellinen köyden punoutumisen kannalta. Punoutumiseen vaikuttaa myös roottorin sijainti, joka voi olla pulperiammeen pohjalla pystysuunnassa, seinämällä vaakasuunnassa tai kaltevalla pinnalla vinottain. (Hölik & Schabel 2010, 150; Prowledge 2017).

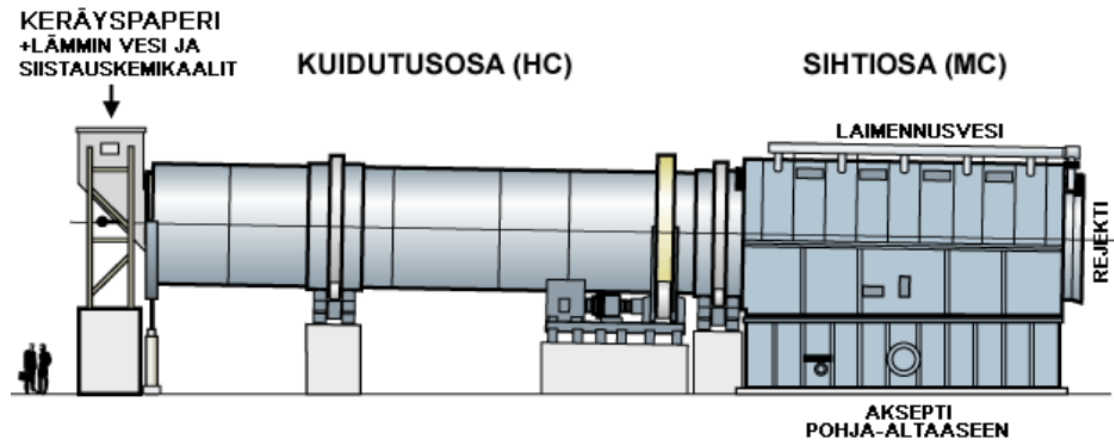
Raggeri estää köyden liukumisen pulperiin. Kun köysi kasvaa pidemmäksi, raggeri vetää köyttä kasvaneen pituuden verran ulos pulperista. Jos köyttä ottaa liian nopeasti ulos, köydestä tulee liian ohut ja on vaarana että köysi katkeaa. Jos köyttä vetää liian hitaasti ulos, köydestä tulee liian iso ja se voi sotkeentua ja hajota uudestaan pulperin roottoreihin. Katkennut kappale voi myös upota pulperin pohjalle ja pysäyttää pulperin toiminnan. Pulperin rakenne, roottorien sijainti, massan sakeus ja massan syötön paikka ovat oleellisia raggerin toiminnalle. Ulosvedetty köysi leikataan palasiksi katkaisulaitteen

avulla. Köyden palaset kerätään ja hävitetään. (Hölik & Schabel 2010, 150; Prowledge 2017).

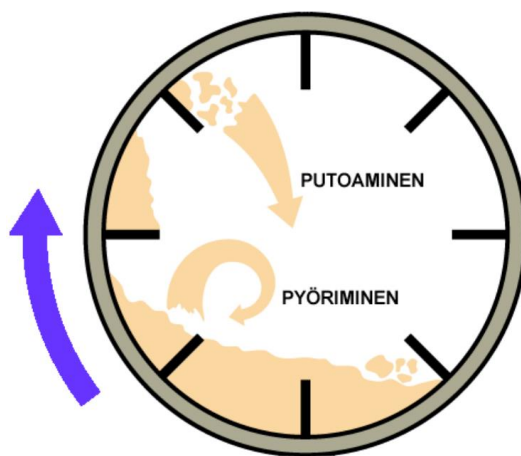
4.1.4 Rumpupulpperi

Rumpupulpperit pulperoiivat hellävaraisemmin kuin HC-, MC- ja LC-pulpperit. Tämä minimoi epäpuhtauksien, kuten tahmojen, hajoamisen pulperoinnin aikana, mikä helpottaa niiden erottamista massasta myöhemmissä prosessivaiheissa. Tahmot ovat pieniä liiman kaltaisia partikkeleita jotka muodostuvat itsekiinnittyvistä aineista kuten kuuma-liimoista (McKinney 1995, 150). Hellävaraisemman käsittelyn vuoksi rumpupulpperia käytetään vähemmän märkälujuuominaisuuksia omaavien paperilajien pulperoinnissa. Rumpupulpperit tuottavan hyvin puhdasta massaa likasemmastakin raaka-aineesta. Korkea sakeus (< 20 %) mahdollistaa tehokkaan kuituuntumisen ja painovärin irtoamisen. Jatkuvatoiminen pulperointi parantaa tuottoa tekemällä tasalaatuisempaa massaa. Tämä mahdollistaa huonommankin raaka-aineen käytön, joka parantaa prosessin kokonaistaloudellisuutta. (Hölik & Schabel 2010, 150 – 152, Prowledge 2017).

Rumpu koostuu kahdesta osasta: pulpperista joka tekee hajotuksen ja lajitteluosasta joka erottaa rejektin ja akseptin. Nämä osat pyörivät eri suuntiin. Pulpperi on noin kaksi kolmasosaa koko rummun pituudesta. Massa syötetään 14 – 20 % sakeudessa (HC) pulperiin. Rummun pyöriessä rummun sisällä olevat laipat nostavat massaa rummun yläosaan, josta pudotessaan rummun pohjalle massaa hajoaa. Massan pyöräminen rummun mukana aiheuttaa raaka-aineen pulperoitumisen. Pulperoitumisen jälkeen massa laimennetaan 3 – 5 % (MC) sakeuteen lajitteluosalla. Lajitteluosassa on reikälevy, jonka reikien läpi massa ja laimennusvesi kulkevat kokoomasäiliöön. Hajoamaton materiaali ja epäpuhtaudet rejektoituvat rummun päässä. (Hölik & Schabel 2010, 150 – 152, Prowledge 2017).



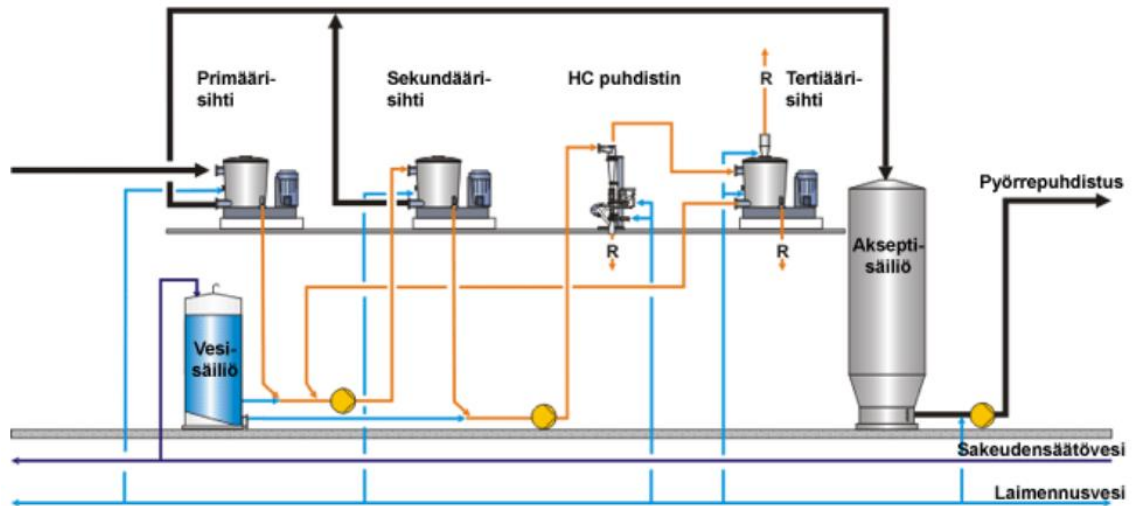
KUVIO 8. Rumpupulpperi (Prowledge 2017)



KUVIO 9. Massan pyöriminen rumpupulpperissa (Prowledge 2017)

4.2 Karkealajittelu

Karkealajittelun tehtävänä on poistaa massan joukosta raskaita, kevyitä ja karkeita partikkeleita ja epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, kiviä, niittejä, metallia ja tahmoja. Samalla kun lajittelu puhdistaa massaa, se suojaa myös seuraavia prosessilaitteita poistamalla mahdollisia vaurioita aiheuttavia kappaleita. Uusiomassan hyvän laadun tärkeimpänä kriteerinä voidaan pitää tahmojen vähäistä määrää. Lajittelun tärkeimpiä tehtäviä onkin tahmojen poisto, sillä se vaikuttaa massan vaaleuteen sekä ajettavuuteen paperikoneella. Täydellistä lajittelua ei voi tehdä yhdessä vaiheessa, vaan tarvitaan eri tyyppisiä lajittelulaitteistoja joiden ominaisuudet vaihtelevat. Karkealajittelussa voidaan käyttää erilaisia painesiehtejä ja HC-puhdistinta. (Höke & Schabel, 158, 179; Prowledge 2017).



KUVIO 10. Karkelajittelun linja (Prowledge 2017)

4.2.1 Lajittelumenetelmät

Barrier-lajittelussa epäpuhtauksien erottaminen massasta perustuu siihen, että niiden koko kaikissa kolmessa ulottuvuudessa on suurempi kuin sihdin aukon koko. Tätä menetelmää käytetään enimmäkseen karkealajittelussa kun aukon muoto on reikä, epäpuhtaus on suuri ja jäykkä tai epäpuhtaus on pallon tai kuution mallinen. (Höke & Schabel 2010, 157).

Toinen menetelmä on todennäköisyyslajittelu. Epäpuhtaudet voivat olla muodoltaan erilaisia eri ulottuvuuksissa. Yhdestä suunnasta mitattuna partikkeli ei pysty läpäisemään aukkoa, mutta voi toisesta suunnasta sen läpäistä. Epäpuhtaus voi siis läpäistä sihdin jos se on pienempi yhdessä tai kahdessa ulottuvuudessa. Tällaiset epäpuhtaudet voivat olla sekä jäykkiä, että taipuisia partikkeleita. (Höke & Schabel 2010, 157 – 158).

4.2.2 Painelajittelu

Painelajittelu tapahtuu painesihdeillä. Painesihdit voidaan lajitella niiden geometrisen muodon mukaan levymallisiksi ja sylinterimallisiksi. Levymallisissa painesihdeissä käytetään isoja reikiä, kooltaan 2 – 3 mm, ja niiden tarkoituksena on erottaa suurimmat partikkelit massan joukosta. Sylinterimallisissa sihtikorit ovat yleensä varusteltu pienemmillä aukoilla. Ne voivat olla levysihdin tapaan reikiä (engl. hole), mutta pienemmän kokoisia 0,8 – 1,5 mm, tai rakoja (engl. slot) vielä pienemmällä koolla 0,08 – 0,35 mm.

Sylinterimalliset painesihdit toimivat pienemmillä sakeuksilla, sillä sihtilevyt tukkeutuvat herkemmin kuin suurempiaukkoiset levysihdit. Levypainesihdeissä pystytäänkin käyttämään korkeampaa sakeutta. (Höke & Schabel 2010, 158 – 159, 173)

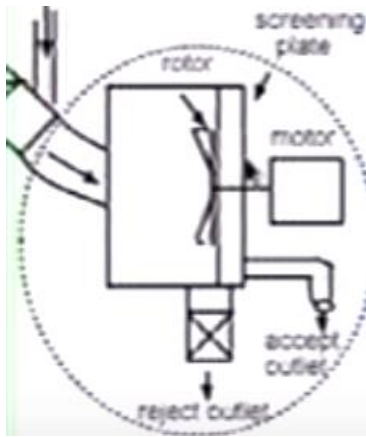
TAULUKKO 3. Levy- ja sylinteripainesihdin eroja (Höke & Schabel 2010, 158, 173, muokattu)

	Levy	Sylinteri
sihtilevyn rakokoko [mm]	2 - 3	0,08 – 1,5
roottorin nopeus [m/s]	20 - 30	8 – 30
sakeus	< 6 %	< 4,5 %
ominaisuuksia	hyvin vankka rakenne pystyy erottelemaan suuriakin määriä epäpuhtauksia hyvä kuitukimppujen hajottamiskyky rajallinen kyky erotella pieni partikkeleita	hyvä erottelukyky suhteessa sihtilevyn pinta-alaan korkein mahdollinen erotuskyky pieni energiankulutus hellävarainen prosessi

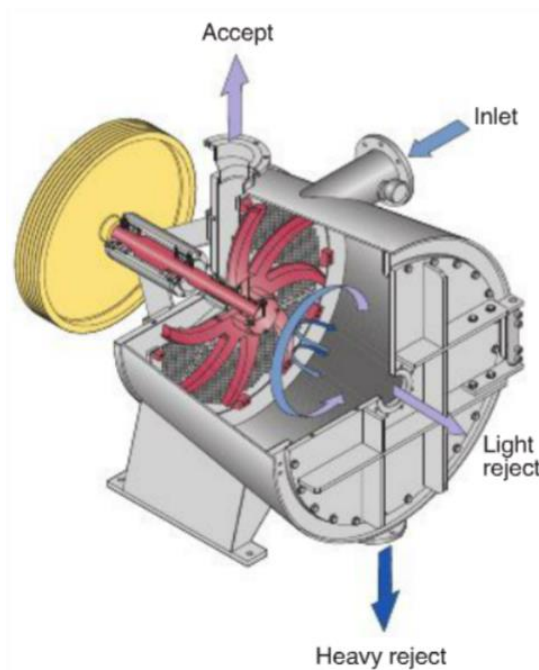
Levypainesihdit

Levypainesihdit sijaitsevat yleensä heti pulperoinnin jälkeen. Levypainesihtejä käytetään ensisijaisesti poistamaan massan joukosta suuret epäpuhtaudet ja hajottamaan kuitukimput. Levymallisen painesihdin rakenne on vankka ja se pystyy rikkoutumatta erottelemaan massaa jossa voi olla suuria määriä epäpuhtauksia. Lajittelutulokseen vaikuttavat sihtiparametrit ovat sihtilevyn ja roottorin rakenne. (Höke & Schabel 2010, 158, 173 – 174; Prowledge 2017).

Massa syötetään pulperoinnin jälkeen levypainesihtiin. Sihdin roottori pyörittää massaa ja aiheuttamallaan paineella työntää massaa sihtilevylle. Kuidut ja pienemmät partikkelit läpäisevät sihtilevyn reiät (2 – 3 mm), kun taas suuret epäpuhtaudet jäävät sihtiin. Läpäisemättömät kuitukimput hajoavat roottorin lähellä sijaitseviin laippoihin. Sihtiin jääneet epäpuhtaudet kulkeutuvat rejektinä rejektinkäsittelyyn. (Höke & Schabel 2010, 173 – 174).



KUVIO 11. Kuvakaappaus levypainesihdin toiminnasta (Paper Recycling 5/23: Screening, Youtube, 2013)

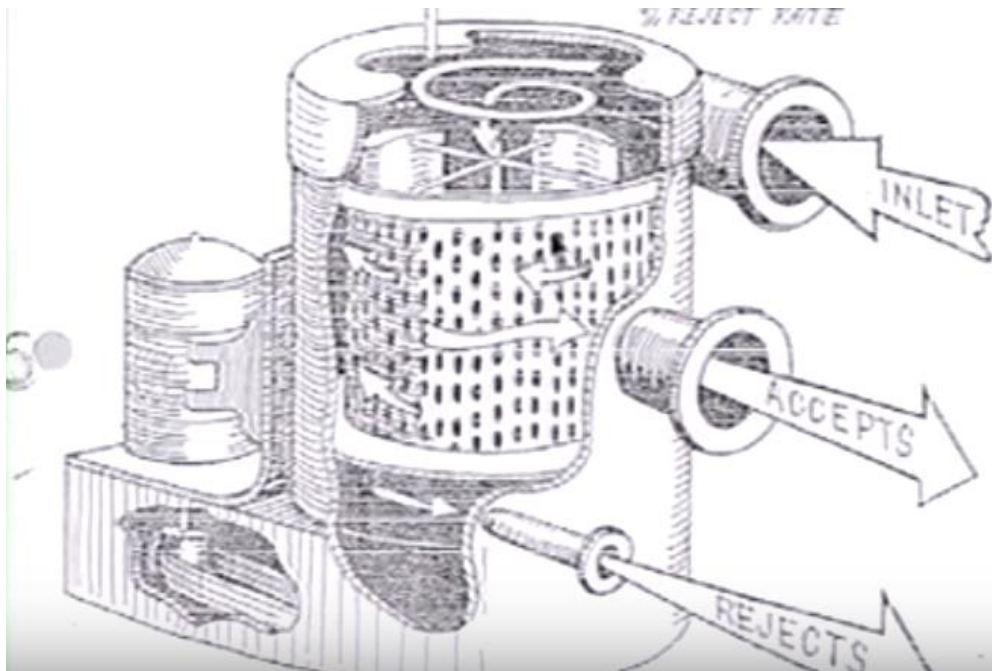


KUVIO 12. Levypainesihdin rakenne (Höke & Schabel 2010, 156)

Sylinteripainesihdit

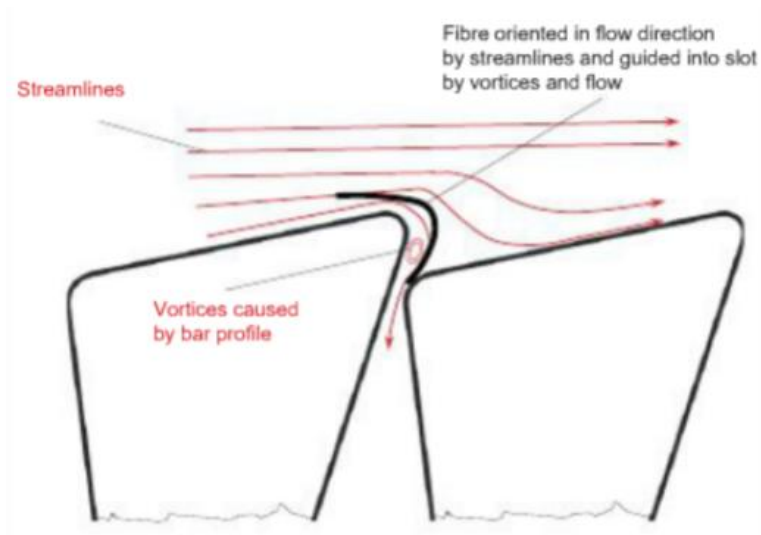
Sylinteripainesihdit sijaitsevat levymallisen painesihdin jälkeen. Sylinterimalliset painesihdit poistavat epäpuhtauksia ja hajottavat jonkin verran kuitukimppuja, jotka ovat kulkeutuneet edellisistä vaiheista läpi. Tyypillisesti kaikki sylinterimalliset painesihdit koostuvat sylinterimallisesta sihtilevystä, eli sihtikorista, ja sitä puhdistavasta elementistä. Jatkuvatoimisen puhdistuksen tarkoitus on pitää sihtilevy puhtaana ja estää sen tukkeutuminen. Nykypäivänä yleisessä sylinteripainesihdin rakenteessa massa virtaa sihti-

korin sisältä ulos ja pyörivät puhdistuselementit ovat sihtikorin sisällä. Tällä keskipakovoimalla toimivalla mallilla saadaan suurin erotuskyky, ja rakenteen ansiosta epäpuhtaudet eivät pääse koskettamaan ja mahdollisesti rikkomaan sihtiä. Epäpuhtaudet kulkevat sihtikorin pohjalle ja poistuvat rejektinä rejektinkäsittelyyn. Tärkeimmät lajittelutulokseen vaikuttavat sihtiparametrit ovat sihtirummun ja roottorin rakenne. Sihtirummun muuttujia ovat avoin pinta-ala, aukon koko ja rummun profiili. Roottorissa vaikuttaa roottorin muoto, foilin muoto, foilikulma, sekä foilin ja sihtirummun välinen etäisyys. Tässä työssä sylinteripainesihtillä tarkoitetaan tätä yleisintä ja tehokkainta mallia. (Höke & Schabel 2010, 158 – 159; Prowledge 2017).



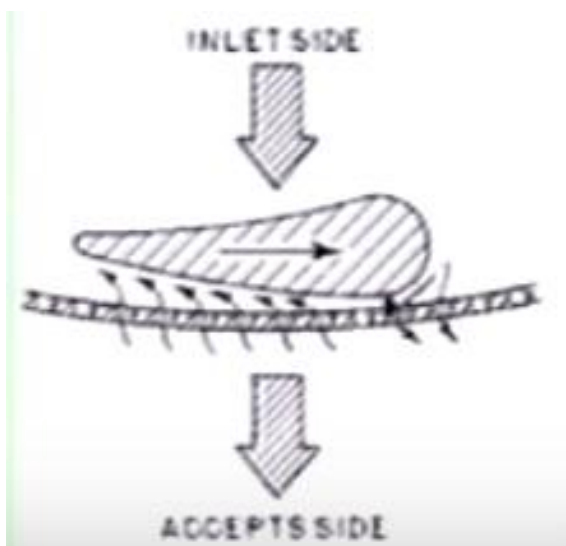
KUVIO 13. Keskipakovoimalla toimiva sylinterimallinen painesihti jossa massan virtaus on sihtikorin sisältä ulospäin ja puhdistus tapahtuu foileilla sihtikorin sisällä. Kuvakaappaus. (Paper Recycling 5/23: Screening, Youtube, 2013)

Varmistaakseen että pelkästään kuidut kulkevat sihtikorin läpi, eikä epäpuhtaudet, olisi optimaalisinta että aukon koko on mahdollisimman pieni. Kuitujen halkaisija on 10 – 50 μm ja pituus on 0,8 – 2 mm. Karkealajittelun kannalta olisi parasta, jos kuitu kulkisi aukosta pituussuunnasta, eli aukon tarvitsisi olla pienempi kuin jos kuitu kulkisi suuremasta aukosta poikittain. Sihtilevyjen profiili ja aukot on suunniteltu niin, että kuidut pyrkivät kulkemaan pituussuunnassa aukossa. Sihtilevyssä kuitujen kulkeutumiseen aukossa vaikuttaa aukon leveys, profiilin kulma, ja kuitujen pituus. (Höke & Schabel 2010, 159 – 162).



KUVIO 14. Kuitujen kulkuun vaikuttaa sihtilevyn profiili (Höke & Schabel 2010, 160)

Puhdituselementtinä toimivat roottorin pyörittämät foilit. Foileilla on kaksi tehtävää: ne sekoittavat ja pyörittävät massaa sekä puhdistavat sihtikoria. Foilit pyörivät suurella nopeudella hyvin lähellä sihtikorin pintaa korin sisäpuolella. Foilin siiven mallinen etupuoli aiheuttaa sihtikoria vasten paineen. Tämä paine saa kuidut kulkemaan aukoista akseptipuolelle. Foilin siiven mallinen takaosa taas aiheuttaa alipaineen, joka saa osan kuiduista vedettyä takaisin sihtikorin sisäpuolelle. Tämä foilin paineiden aiheuttama kuitujen edestakainen liike pitää aukot puhtaina. (Höke & Schabel 2010, 162 – 164).



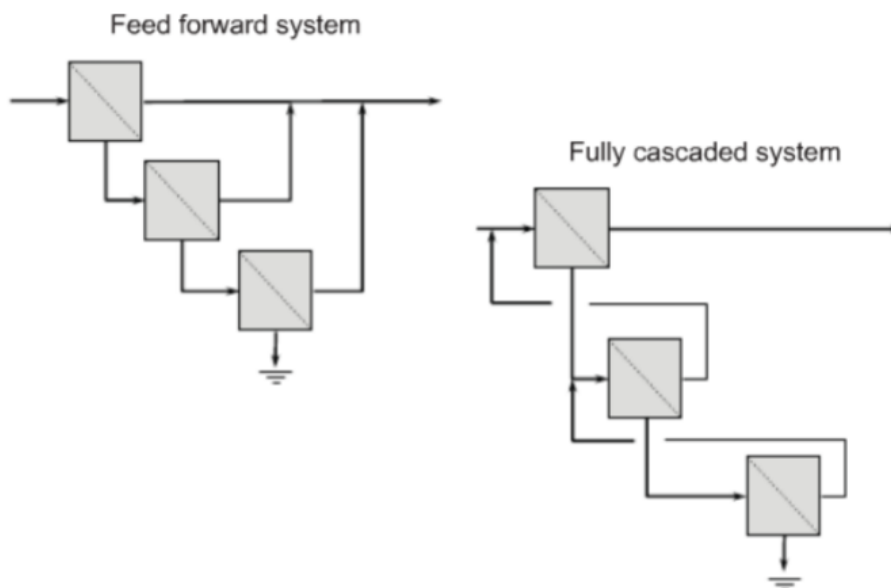
KUVIO 15. Foilin aiheuttama paine saa kuidut sihtilevystä akseptipuolelle ja alipaine vetää kuituja takaisin sihtikorin sisään. Kuvakaappaus. (Paper Recycling 5/23: Screening 2013)

4.2.3 HC-puhdistus

HC-puhdistus voi olla osana karkealajittelu prosessia. HC-puhdistimen prosessi käydään läpi luvussa 4.3.

4.2.4 Karkealajittelun kytkentäjärjestelmä

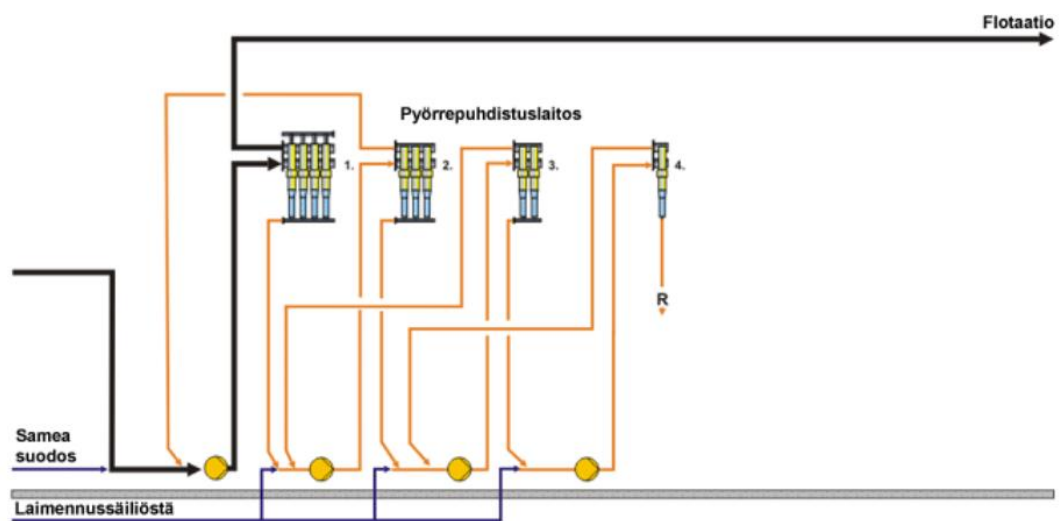
Massassa esiintyvien epäpuhtauksien erilaisuuden vuoksi on lajittelu suoritettava useassa vaiheessa. Lajittamon peruskytkentöinä käytetään kaskadikytkentää ja sarjakytkentää. Painesihdit voidaan kytkeä monin tavoin, mutta kaikkein eniten kuituja säästävä järjestelmä on kaskadikytkentä. 3-tasoisessa kaskadikytkennässä on kolme painesihtiä. Primääriportaalla on ensimmäinen painesihti, jonka aksepti jatkaa uusiomassan valmistusprosessissa eteenpäin. Rejekti kulkee sekundääriportaalle eli seuraavalle painesihdille. Toisen painesihdin rejekti kulkee kolmannelle painesihdille, tertiääriportaalle ja aksepti kulkee takaisin primääritasoon ensimmäiselle sihdille eroteltavaksi. Tertiääriportaan aksepti kulkeutuu takaisin sekundääriportaalle erotteluun. Viimeisen portaan rejekti on täten moneen kertaan käynyt erottelun ja sisältää vähän kuituja. (Seppälä 1999, 114 – 115).



KUVIO 16. Kytkentäjärjestelmiä. (Höke & Schabel 2010, 172)

4.3 Pyörrepuhdistus

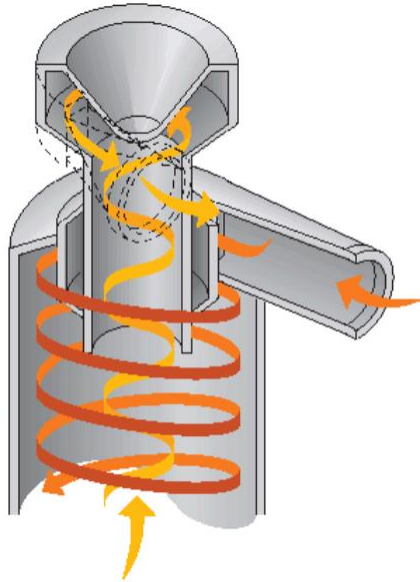
Partikkeleita, jotka huonontavat paperin laatua tai kuluttavat seuraavia osaprosesseja voidaan poistaa pyörrepuhdistimilla. Partikkelit voivat olla raskaita ja jäykkiä epäpuhtauksia kuten hiekkaa ja metallia, tai kevyempiä ja joustavia kuten muovia. Tehokkaan epäpuhtauksien erottelun tuloksen saamiseksi partikkelien tiheyden pitää olla eri kuin vedellä ja muodon on oltava erilainen kuin kuiduilla. Pyörrepuhdistimia käytetäänkin usein pulperoinnin jälkeen. Pyörrepuhdistus on olennainen osa epäpuhtauksien erotteluprosesseja ja pyörrepuhdistimia voidaanakin käyttää osana karkealajittelua. Pyörrepuhdistimia käytetään monilla eri sakeusalueilla. Pyörrepuhdistimet voivat olla rakenteeltaan hyvin vankkoja, jolloin ne kestävät enemmän epäpuhtauksien aiheuttamaa kulutusta, tai niissä voi olla helposti vaihdettavia osia kuluneiden tilalle. (Höke & Schabel 2010, 187 – 189).



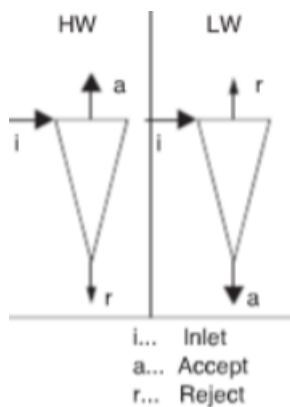
KUVIO 17. Pyörrepuhdistuslinja (Prowledge 2017)

Massa pumpataan syötöstä puhdistimen sisään tangentiaalisesti ja puhdistimen muodon aiheuttamana sisälle muodostuu pyörivä virtaus. Vastavirtauspuhdistimissa raskaat partikkelit pakkautuvat pyörrepuhdistimen reunoille, kun taas kevyempi materiaali jää keskelle. Raskaat partikkelit poistuvat puhdistimelta alaosasta ulos, kun taas kevyemmät poistuvat puhdistimen keskelle syntyvän vastakkaissuuntaisen virtauksen mukana yläkautta ulos. Raskaammilla partikkeleilla on suurempi nopeus kuin kevyemmillä partikkeleilla, joten ne kerääntyvät puhdistimen reunoille ennen kevyempiä. Reunoille kerääntyneet kuituja raskaammat partikkelit poistuvat rejektinä, tai vastaavasti reunoille kerääntynyt massa, joka on raskaampaa kuin epäpuhtaudet, poistuu akseptina. Vastavirtauspuhdistimien lisäksi on myös yksisuuntainen puhdistin. Yksisuuntaisessa pyörrepuhdisti-

messa sekä aksepti että rejekti poistetaan puhdistimen alaosasta. Raskaampi aines edelleen kerääntyy puhdistimen reunoille ja kevyempi pysyy keskellä, mutta molemmat poistuvat samanaikaisesti puhdistimelta alakautta. (Höke & Schabel 2010, 187 - 189).



KUVIO 18. Akseptin ja rejektin kulku pyörrepuhdistimessa (Prowledge 2017)



KUVIO 19. Raskaampien ja kevyempien epäpuhtauspartikkeleiden suunta (Höke & Schabel 2010, 201, muokattu)

Pyörrepuhdistimet jaotellaan kolmeen malliin niiden toimintasakeuden mukaan: HC-pyörrepuhdistin, MC-pyörrepuhdistin ja LC-pyörrepuhdistin. Taulukossa 4 on kuvailtu näiden pyörrepuhdistimien eroja.

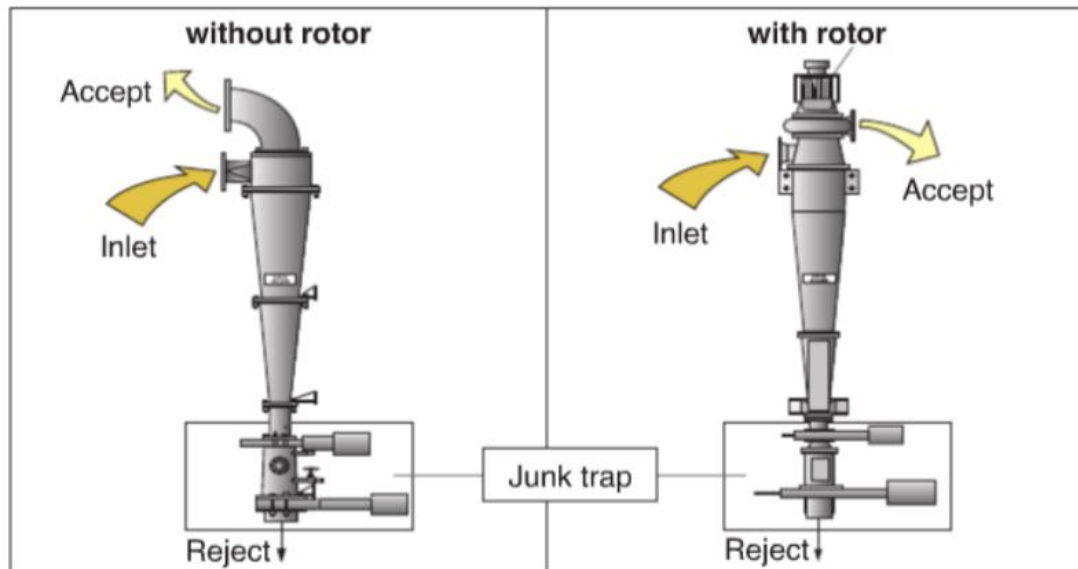
TAULUKKO 4. Pyörrepuhdistimien eroja (Höke & Schabel 2010, 197, muokattu)

	HC	MC	LC (HW)	LC (LW)
virtausmenetelmä	vastavirta	vastavirta	vastavirta	yksisuuntainen
sakeus [%]	2 – 6	1 – 2	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5
kapasiteetti [l/min]	80 – 10 000	600 – 3 000	100 – 1 000	100 – 500
G-tekijä	< 60	< 100	< 100	< 1 000
rejektivirta [%]	0,1 – 1,0	0,1 – 1,0	5 – 30	3 – 20
puhdistusyksikön halkaisija max [mm]	100 – 700	100 – 700	75 – 300	110 – 450

4.3.1 HC-pyörrepuhdistus

HC-pyörrepuhdistimia käytetään esipuhdistimina jotka poistavat karkeita ja raskaita epäpuhtauksia estääkseen myöhempien osaprosessien ja laitteiden kulumista ja vahingoittumista. HC-pyörrepuhdistimia käytetään yleensä pulperoinnin ja karkealajittelun välissä, tai osana karkealajittelua. Eroteltavan epäpuhtauden pitää olla suurempi kuin 1 mm ja tiheydeltään paljon suurempi kuin vedellä, 1 g/cm³. Tällaisia ovat esimerkiksi niitit, rautalangat, lasi ja kivet. HC-pyörrepuhdistimet ovat suurikokoisia, etteivät epäpuhtaudet tuki virtausaukkoja, kuten rejektinpoistoa. Sakeus HC-pyörrepuhdistimilla on 2 – 6 %. Niiden toiminta perustuu vastavirtapuhdistukseen. HC-pyörrepuhdistin voi olla varustettu roottorilla tai ilman. Roottori sijaitsee syötön läheisyydessä ja kiihdyttää massanvirtauksen pyörimisliikkeeseen. (Höke & Schabel 2010, 198 – 199).

HC-pyörrepuhdistimien erottelema rejekti kerääntyy puhdistimen alapuolella sijaitsevaan romuloukuun. Romuloukkuun tuleva rejekti tulee yläpuolella sijaitsevalta puhdistimelta venttiilin ollessa auki. Romuloukun täytyessä yläpuolen venttiili sulkeutuu ja alapuolen poistoventtiili tyhjentää loukun. Poistoventtiilin mennessä kiinni yläpuolen venttiili avautuu ja päästää uutta rejektiä romuloukkuun. Romuloukun tyhjennys tapahtuu automaattisesti ajoittain. Rejekti kulkeutuu rejektikuljettimella pois prosessista. HC-puhdistimelle syötetystä massasta 0,1 – 1 % epäpuhtauksista poistuu HC-puhdistimella, riippuen epäpuhtauksien määrästä ja ominaisuuksista. (Höke & Schabel 2010, 199 – 200).



KUVIO 20. HC-pyörrepuhdistin roottorilla ja ilman sekä romuloukku (Höke & Schabel 2010, 198)

4.3.2 MC-pyörrepuhdistus

MC-pyörrepuhdistimia käytetään 2 % sakeuksissa. MC-pyörrepuhdistimien rakenteessa ei ole roottoria ja niiden pohjalla on romuloukku. Ne puhdistavat raskaita ja karkeita partikkeleita, kuten HC-pyörrepuhdistinkin. Rejektin virtaus on myös 0,1 – 1 % riippuen massan epäpuhtauksien määrästä ja ominaisuuksista. (Höke & Schabel 2010, 200)

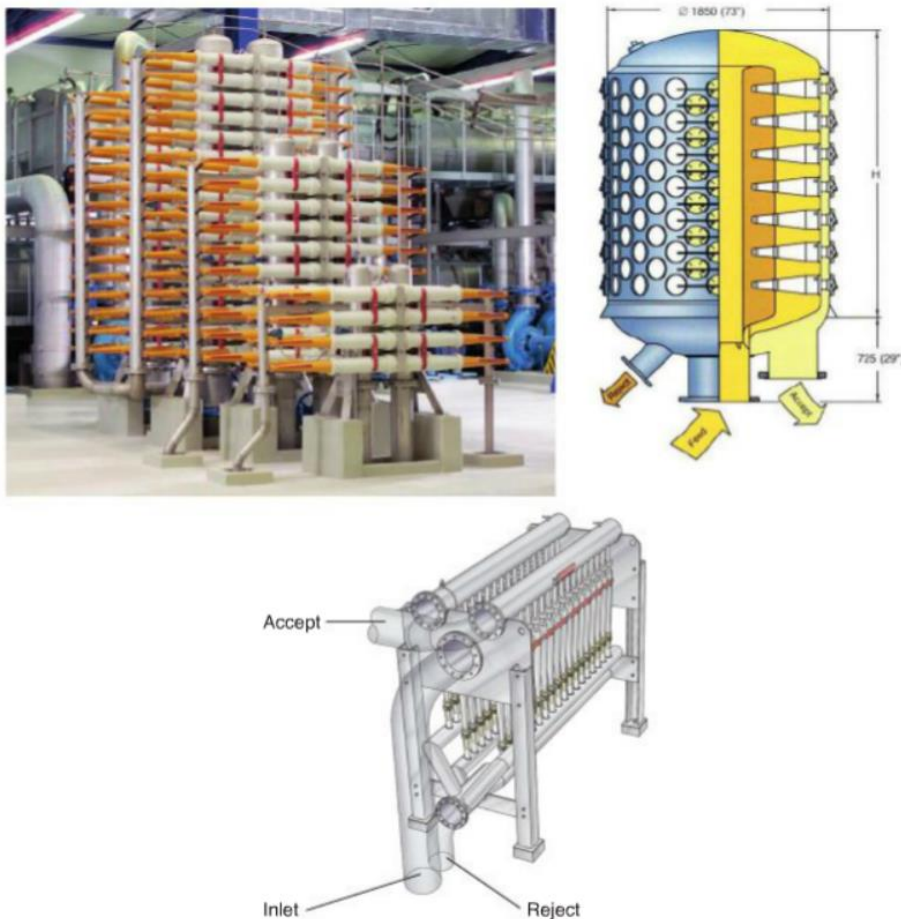
4.3.3 LC-pyörrepuhdistus

LC-pyörrepuhdistimet ovat pienikokoisempia kuin HC- ja MC-pyörrepuhdistimet, eikä niissä ole roottoria. Ne erottelevat raskaita (HW) ja kevyitä (LW) epäpuhtauksia massan joukosta sakeusalueella 0,5 – 1,5 %. LC-pyörrepuhdistimet voidaan jaotella raskaiden partikkeleiden erottajiin ja kevyempien partikkeleiden erottajiin. (Höke & Schabel 2010, 200 – 201).

Pienempien ja raskaampien partikkeleiden, kuten hiekan, erottelu on tärkeää, sillä nykyään karkealajittelussa voidaan käyttää todella kapearakoisia rumpusihtejä, joiden rakokoko on vain 0,08 – 0,15 mm. Massan puhdistus hiekasta estää rumpusihtien vahingoittumisen seuraavassa prosessissa. Suurin osa raskaiden partikkeleiden LC-pyörrepuhdistimista toimivat vastavirtausperiaatteella. Kevyempien partikkeleiden erottelussa LC-pyörrepuhdistuksella on nykyään pienempi rooli, sihtikorien pienempien rakokokojen

myötä. LC-pyörrepuhdistuksella on kuitenkin tehtävänsä poistaa liimoja, täyteaineita, muovia ja vaahtoa. Akseptin ja rejektin virtaus tapahtuu samaan suuntaan, eli virtaus on yksisuuntainen. Rejektin virtaus voi olla jopa 30 %, mikä on paljon suurempi kuin HC- ja MC-pyörrepuhdistimilla. (Höke & Schabel 2010, 201 – 202, 197).

LC-pyörrepuhdistimen pienen koon vuoksi sen tuotantokapasiteetti on pieni, vain joitakin satoja litroja minuutissa. Tämän takia LC-pyörrepuhdistimia tarvitaan useita. Puhdistimet voidaan asettaa erilaisiin järjestelmiin. Useimmiten yksittäiset puhdistimet on yhdistetty yhteiseen syöttöön ja rejekti- ja akseptiputkiin tai -kammioihin. Pyörrepuhdistimet voivat olla pysty- tai vaakasuorassa, sillä puhdistimen sisällä olevat voimat ovat paljon suuremmat kuin painovoiman aiheuttama voima. (Höke & Schabel 2010, 202 – 203).



KUVIO 21. LC-puhdistimia asennettuna eri järjestelmiin (Höke & Schabel 2010, 203)

LC-pyörrepuhdistimien puhdistusjärjestelmä asennetaan yleisimmin kaskadikytkentään (Höke & Schabel 2010, 203). Kaskadikytkentä on selitetty kappaleessa 4.2.4.

4.4 Vaahdotus eli flotaatio

Vaahdotusprosessissa eli flotaatiossa ilmaa lisätään vaahdotuskennon massaan, joka nousee kuplina kohti vaahdotuskennon pintaa keräten epäpuhtauksia mukaansa. Pinnalle muodostunut vaahdotus, eli rejekti poistetaan pinnasta ja jäljelle jää puhtaampaa akseptia. Tällä tavalla saadaan poistettua partikkeleita, joilla on sama tiheys kuin vedellä. Paperiteollisuudessa käytetään kahdentyyppistä vaahdotusta. Musteenpoistossa vaahdotus puhdistaa siistattavaa massaa ja mikroflotaatiossa (DAF = dissolved air flotation) prosessivesi puhdistetaan kiinteistä partikkeleista. Musteenpoistoon tarkoitettua vaahdotusta kutsutaan selektiiviseksi vaahdotukseksi ja mikroflotaatiota kokonaisvaahdotukseksi. (Höke & Schabel 2010, 210). Tässä työssä käydään läpi selektiivinen vaahdotus, eli musteenpoistoprosessi.

4.4.1 Selektiivinen vaahdotus

Selektiivistä vaahdotusta käytetään uusiomassan valmistuksessa poistamaan epäpuhtauksia massan joukosta. Se perustuu erotettavien partikkeleiden ja säästettävien kuitujen välisiin pintaenergioihin. Partikkelit, joiden pinta on hydrofobinen, voidaan poistaa tiettyyn kokoon asti. Tällaisia partikkeleita ovat painomuste, tahmot, täyteaineet, päällystepigmentit ja sideaineet. Vaahdotuksen tärkein tehtävä uusiomassan valmistuksessa on poistaa mustetta. Se parantaa massan vaaleutta poistamalla mustepartikkeleita ja likapilkkuja. Likapilkut ovat suuria partikkeleita, esimerkiksi kopiokoneissa käytettävän tonerin partikkelit. Nämä erottaa visuaalisesti massan joukosta. Pienin vaahdotuksessa poistettavan likapilkun koko on 50 µm. Vaahdotus poistaa myös osittain täyteaineita ja tuhkaa, joka on usein toivottua. Näiden lisäksi vaahdotuksessa poistuu tahmoja. Tahmojen hyvin erilaiset koostumukset, koko ja pinnan kemialliset ominaisuudet tekevät niistä vaikeita poistaa systemaattisesti. Vaahdotus poistaa tehokkaasti monen kokoisia partikkeleita kooltaan 10 – 250 µm. (Höke & Schabel 2010, 210 – 211).

Vaahdotus poistaa ainoastaan partikkeleita, jotka ovat irtonaisina massassa. Tehokkaan vaahdotuksen varmistamiseksi mustepartikkeleiden tulee olla erotettuina kuiduista, jotta partikkelit voivat kulkea vapaasti massassa. Niiden koon täytyy olla myös sopiva vaahdotukselle. Mekaaninen ja kemiallinen valmistelu onkin tärkeää vaahdotuksen tehokkuudelle. Musteenpoistossa käytettävät kemikaalit, kuten saippuat, pinta-aktiiviset aineet, ja

natriumhydroksidi, lisätään jo usein pulperointivaiheessa. Emäksiset olosuhteet edesauttavat mustepartikkeleiden irtoamista kuiduista pulperoinnissa. Kaikissa vaahdotusprosesseissa on tärkeää tuntea poistettavien partikkeleiden kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. (Höke & Schabel 2010, 211 – 212).

4.4.2 Perusedellytykset vaahdotukselle

Perusedellytys hyvälle musteenpoistolle on

- mustepartikkelin vapaa liikkuminen massassa
- mustepartikkelin oikea koko

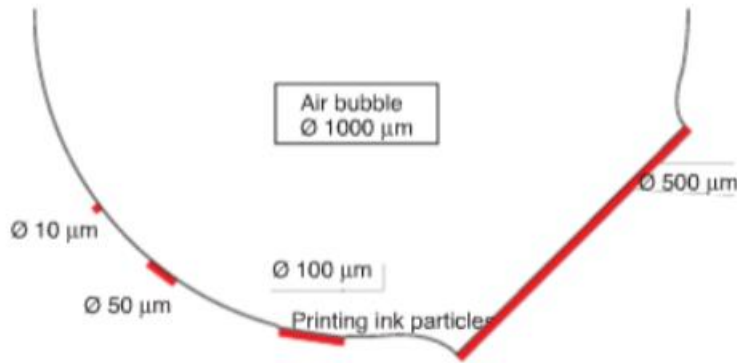
Mustepartikkelin irtoamismekanismeja kuiduista ei täysin tunneta mutta voidaan olettaa sen johtuvan kuidun turpoamisesta, mekaanisista voimista ja löystyvistä fysikaalisista ja kemiallisista sidoksista. Mustepartikkelin kokoluokka on hyvin suuri.

- fleksopainatuksen vesipohjaiset mustepartikkelikeräytymät ovat 1 – 5 µm.
- Offset painatuksen mustepartikkeli keräytymät ovat 100 µm luokkaa.
- Hapettuneiden mustepartikkeleiden keräytymät ovat noin 500 µm ja jopa enemmän.

Toimiakseen tehokkaasti musteenpoisto vaatii, että mustepartikkeleiden koon täytyy olla 10 – 250 µm. Tätä suuremmat partikkelit täytyy pilkkoa pienemmiksi ja pienemmät partikkelit täytyy keräytyä isommiksi partikkeleiksi. Myös partikkelien muodolla on väliä. Litteät partikkelit ovat vaikeampi poistaa, kuin saman tilavuiset kuutiomaiset partikkelit. Yleisimmin käytetyt painomusteet ovat hydrofobisia. Hydrofobisuutta voidaan tehosta lisäämällä vaahdotukseen tai jo pulperointiin erilaisia kemikaaleja. (Höke & Schabel 2010, 212 – 213).

4.4.3 Vaahdotusprosessi

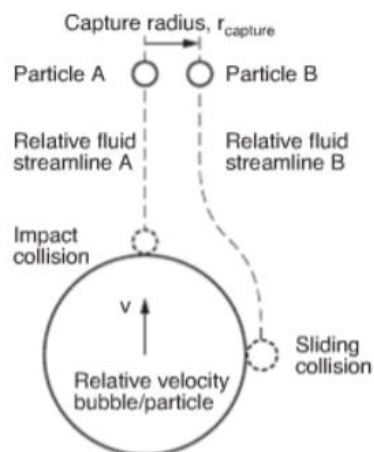
Vaahdotus on todennäköisyyksiin perustuva prosessi, joka koostuu neljästä osasta. Partikkelin pitää törmätä ilmakuplaan, partikkelin pitää kiinnittyä kuplaan, vakaan kuplan ja partikkelin yhdistelmän pitää nousta pintaan ja läpikäydä vaahdon poisto. Jokaisella tapahtumalla on oma todennäköisyytensä. Todennäköisyys, että kupla ja partikkeli törmäävät kasvaa kuplien määrän lisääntyessä. Pienet kuplat voivat tarttua ja kuljettaa pieniä partikkeleita, mutta suuret partikkelit tarvitsevat suurempia kuplia kuljetukseen. Monen kokoisten partikkeleiden poistoon tarvitaan siis monen kokoisia kuplia. (Höke & Schabel 2010, 213 – 214).



KUVIO 22. Halkaisijaltaan 1000 μm ilmakuplan koko suhteessa eri partikkeleiden koon.

Partikkelin ja kuplan törmäys

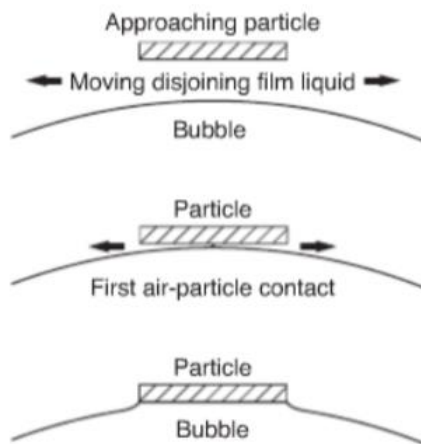
Kuplan ja partikkelin törmäyksen todennäköisyyteen vaikuttaa partikkelin ja kuplan suhteellinen liikehdintä. Vaahdotuslaitteiston turbulenssi vaikuttaa tähän liikehdintään. Levymalliset partikkelit kiinnittyvät todennäköisemmin kuplaan, kuin pallonmuotoiset saman massaiset ja aineiset partikkelit. Levyn pinta-ala on paljon suurempi, joka kasvattaa todennäköisyyttä. Suurempi massaiset ja saman halkaisijan omaavat pallonmuotoiset partikkelit ovat kuitenkin todennäköisempiä törmäämään kuin levymalliset. Levymallisen partikkelin törmäämisen todennäköisyys riippuu tällöin enemmän törmäysasennosta. (Höke & Schabel 2010, 214)



KUVIO 23. Partikkelin törmääminen ilmakuplaan (Höke & Schabel 2010, 214)

Partikkelin kiinnittyminen kuplaan

Kuplan ja partikkelin tiiviiseen kiinnittymiseen vaaditaan rajapinnan energian vähentyminen. Törmäyksen jälkeen kuplan ja partikkelin välissä vaikuttavat van der Waals ja sähköstaattiset voimat. Ohut nestekerros partikkelin ja kuplan välissä täytyy korvata muodostamalla uusi tasapainotila partikkelin, kuplan ja nesteen välille. Tasapainotilanteessa partikkeli kiinnittyy kuplaan. Pallomuotoiset partikkelit kiinnittyvät helpommin kuplaan kuin levymalliset. Vaikka levymallisilla partikkeleilla on suurempi tarttumispinta-ala, täytyy ohuen nestekerroksen syrjäytyä muodostaakseen tarttumisen lyhyessä kontaktiajassa. Myös huonossa kulmassa törmäävä partikkeli ei muodosta tarpeeksi suurta tarttumista pysyäkseen kuplassa. Lyhyen törmäys- ja tarttumisajan aikana partikkeli ja kupla voivat vielä irrota toisistaan virtausvoimien johdosta. (Höke & Schabel 2010, 214 – 215).



KUVIO 24. Partikkelin kiinnittyminen ilmakuplaan (Höke & Schabel 2010, 214)

Partikkelin ja kuplan kulkeutuminen pinnalle

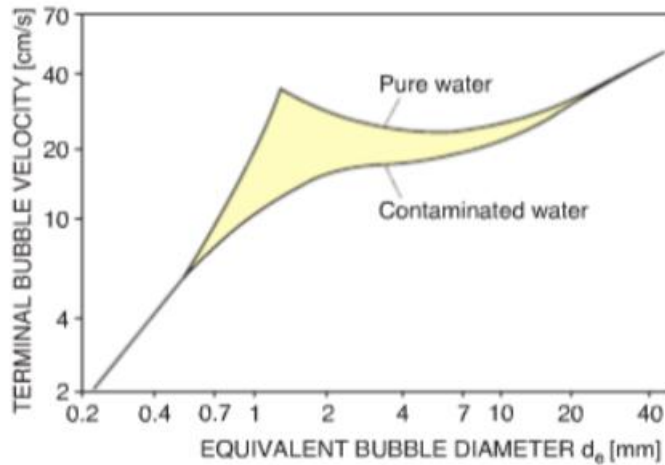
Kiinnittyminen on täydellistä kun partikkelin ja kuplan välinen tasapainotila, eli alin mahdollinen energiatila on saavutettu. Virtauksen aiheuttamat voimat aiheuttavat partikkelikupla yhdistelmään veto-, keskipako- ja leikkausvoimia, jotka voivat irrottaa partikkelit toisistaan. Virtaus aiheuttaa myös partikkelin kulkeutumisen kuplan mukana pintaan niin, että partikkeli on virtaussuunnan alapuolella. Pienimmät partikkelit kooltaan noin 10 μm eivät kiinnity kunnolla kupliin ja eivätkä poistu vaahdon mukana. (Höke & Schabel 2010, 215).

Kuplan muodostaminen

Yksinkertaisella menetelmällä ilmaa lisätään läpäisevän kappaleen, kuten rei'itetyn kalvon tai sintterin läpi. Kuplan kokoon tai kuplien sekoittumiseen massan joukkoon eivät vaikuta laitesovelluksen lisäenergia, kuten virtauksen energia. Kuplan kokoon vaikuttaa massan pintajännitys, ilmamäärä ja ilman syötön aukko. Kuplan tarkan koon määrittäminen tuotanto-olosuhteissa on vaikeaa. Kuplan koosta, muodosta ja käyttäytymisestä vedessä on tietoa, mutta massan kaltaisissa olosuhteissa tilanne on erilainen varsinkin jos massan sakeus on enemmän kuin 1 %. Tämän takia tietoa on vähän ja vedessä tehtyjen testien tulokset eivät ole vakuuttavia. Kuplan kokoskaalaan vaikuttavat sekoituselementti sekä massan ominaisuudet, kuten sakeus, laji ja pinta-aktiivien määrä. (Höke & Schabel 2010, 216).

Massan ja kuplan suhteellinen nopeus

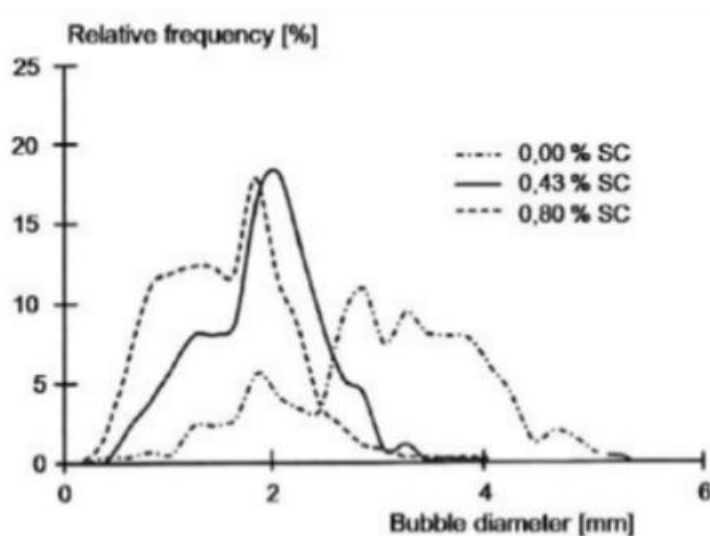
Ilmakuplat nousevat pintaan nosteen ja vastusvoimien myötä ja epäpuhtaudet kulkevat hydraulisten voimien, inertian sekä painovoiman aiheuttamien virtausjälkien perässä. Ilmakuplien ja massan suhteellinen nopeus vaikuttaa kuplan ja partikkelin törmäyksen todennäköisyyteen. Jos kuplan muodostuksessa ei tapahdu kuplien ja massan sekoittumista, niin törmäys tapahtuu kuplan nousuvaiheessa. Tällöin kuplan nousuajan pitäisi olla mahdollisimman pitkä, jotta törmäys partikkeliin varmasti tapahtuu. Halkaisijaltaan 1 mm kokoisen ilmakuplan nousunopeus on noin 0,2 m/s. Nopeus kasvaa halkaisijan kasvaessa kuvion 25 mukaisesti. Koska vaahdotuksen ilmastus on intensiivistä, muodostuu ilmastuksessa kuplarykelmiä. Nämä rykelmät vastustavat virtausta ja näin kuljettavat mukanaan paljon enemmän massaa kuin yksittäinen kupla. Tämä pumppaus-vaikutus aiheuttaa voimakkaan kierron, sillä ilmakuplien kanssa ylös kulkeutunut massa korvataan toisella alueella alaspäin kulkevalla virtauksella. Rykelmissä yksittäiset kuplat ovat kontaktissa toisiinsa ja muodostavat suurempia kuplia. Staattisten tai aktiivisten sekoittajien ilmastusenergia ja turbulenssi aiheuttavat suuren suhteellisen liikkeen kuplien ja partikkeleiden välille. Tämä varmistaa hyvän kontaktoitumisen. Tällaisella teknologialla varustettu ilmastus lyhentää kuplan matkaa pinnalle. (Höke & Schabel 2010, 216 – 217).



KUVIO 25. Kuplan nopeus suhteessa kuplan halkaisijan kokoon puhtaassa ja epäpuhtaassa vedessä (Höke & Schabel 2010, 216)

Vaahdotusolosuhteet

Vaahdotus tapahtuu yleensä 0,8 – 1,5 % sakeudessa, lämpötilassa 40 – 70 °C ja pH:n ollessa 7 – 9. Veden kovuuden tulisi olla 5 – 30 °dH, eli kohtalaisen suuri, jos käytetään rasvahappoja tuottamaan kalsiumsaippuaa. Muilla pinta-aktiivisilla aineilla veden kovuus ei ole niin merkittävä tekijä. Suhteellinen ilmamäärä on usein noin 300 % tai enemmän suhteessa kokonaismassan tilavuusvirtaukseen. Joidenkin vaahdotuslaitteistojen ilmamäärä voi olla jopa 1 000 %. Kuplien koko vaihtelee useista mikrometreistä millimetriin. (Höke & Schabel 2010, 217).



KUVIO 26. Kuplien halkaisijoita vaahdotuskennoissa (Höke & Schabel 2010, 217)

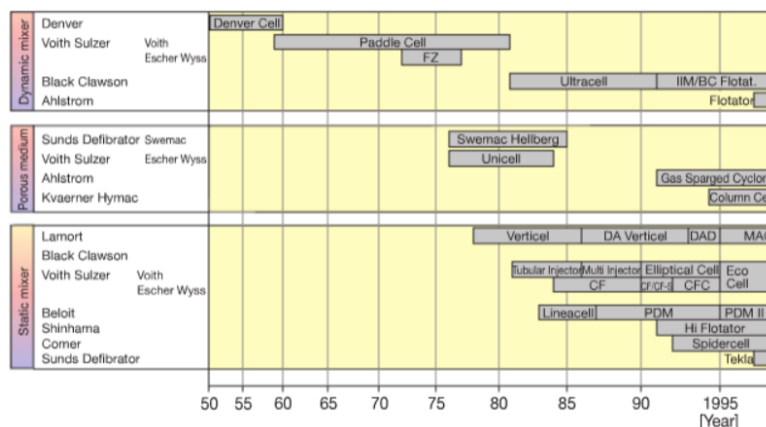
Mustepartikkeleiden lisäksi vaahto sisältää orgaanisia yhdisteitä, kuten kuituja ja hienoaineita ja epäorgaanisia aineita, kuten täyteaineita ja päällystepigmenttejä. Näiden partikkeleiden häviötä voidaan vähentää poistamalla vähemmän vaahtoa pinnalta, tai käyttämällä sekundääristä vaahdotusta. Tällöin vaahto, eli rejekti, vaahdotetaan uudestaan josta kerätään talteen kuidut, hienoaineet ja hieman tuhkaa. Sekundäärivaahdotuksen tarkoituksena on pienentää kuituhäviötä, kun taas primäärisen vaahdotuksen tarkoitus on parantaa massan laatua. (Höke & Schabel 2010, 217).

4.4.4 Vaahdotuslaitteistoja

Vaahdotuksessa käytetään hyvin monenlaisia vaahdotuskennoja. Ensisijainen ero kennojen välillä on ilmastuksessa. Ilmastusyksikkö voi olla injektori tai ilmaa hajottava roottorisysteemi. Muita eroja vaahdotuskennoissa ovat

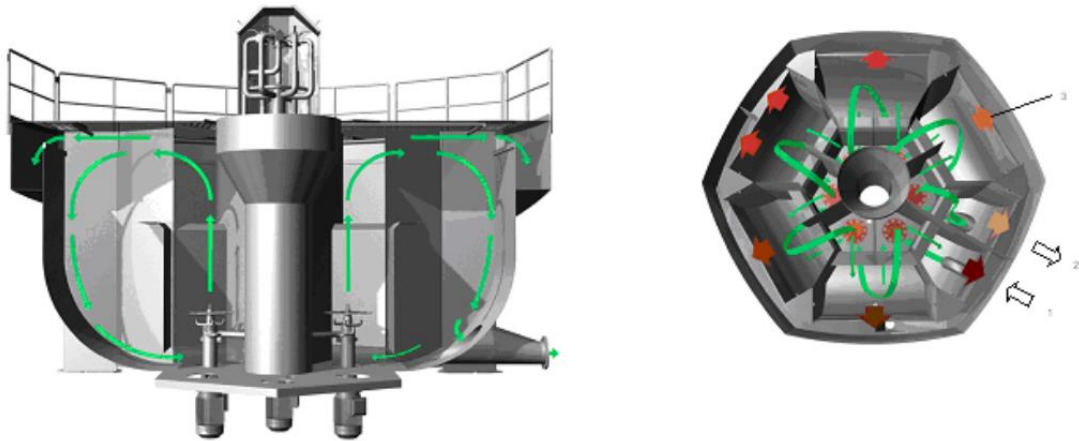
- ilmastusvaiheiden ja -yksiköiden määrä
- syötetyn ilman laatu: paineilmaa vai ilmaa luonnollisessa muodossa
- vaahdon poiston mekanismi
- suljettu tai avoin kenno
- kennojen rakenne ja useampien kennojen yhdistelmät.

Kuplien noustessa pintaan osa kuplista hajoaa ja muodostaa suurempia kuplia. Tätä kutsutaan yhdistymiseksi. Korkeampi massan sakeus ja pienempi hydrostaattinen paine edesauttaa yhdistymistä. Tämän ehkäisemiseksi ilmastusta muutetaan ylipaineistamalla suljetut vaahdotuskennot ja pienentämällä tilaa vaahdolle. Korkeampi turbulenssi myös parantaa kuplan ja partikkelin välistä kiinnittymistä. Vaahdotuskennojen ominaisuudet vaihtelevat paljon laitevalmistajien välillä. (Prowledge 2017, Höke & Schabel 2010, 218 – 219).



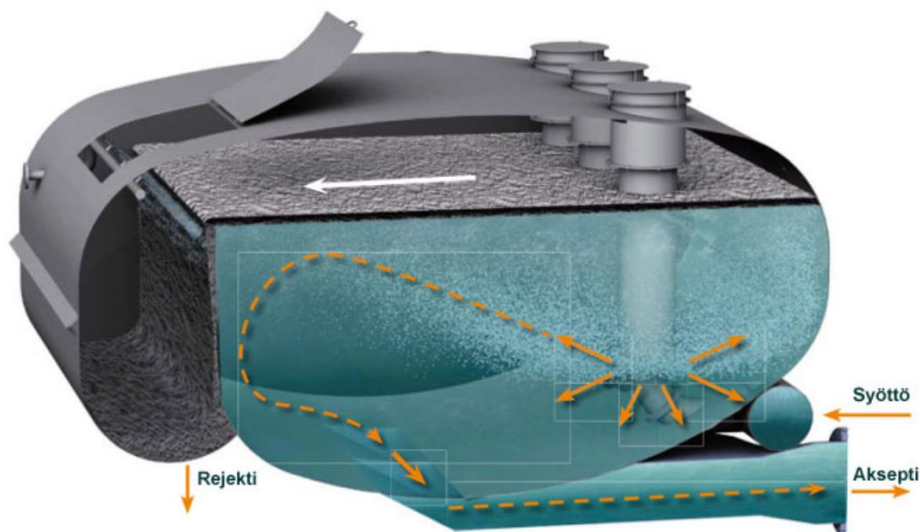
KUVIO 27. Vaahdotuskennojen kehitys (Höke & Schabel 2010, 218)

Roottorimenetelmässä kennossa massaan sekoitetaan alipaineista ($< 0,7$ bar) ilmaa. Ilma syötetään roottorin alle, joka muodostaa leikkausvoimia hajottamaan ja sekoittamaan ilmaa massan joukkoon. Massa kulkee kennojen välillä pumppaamalla, painovoimaisesti tai sisempien ilmastusektoreiden ja ulompien erotussektoreiden välisen paine-eron avulla. (Prowledge 2017). Kuviossa 28 on esitetty roottorimenetelmällä toimivan OptiBright kennon rakenne.



KUVIO 28. OptiBright kennon rakenne (Prowledge 2017)

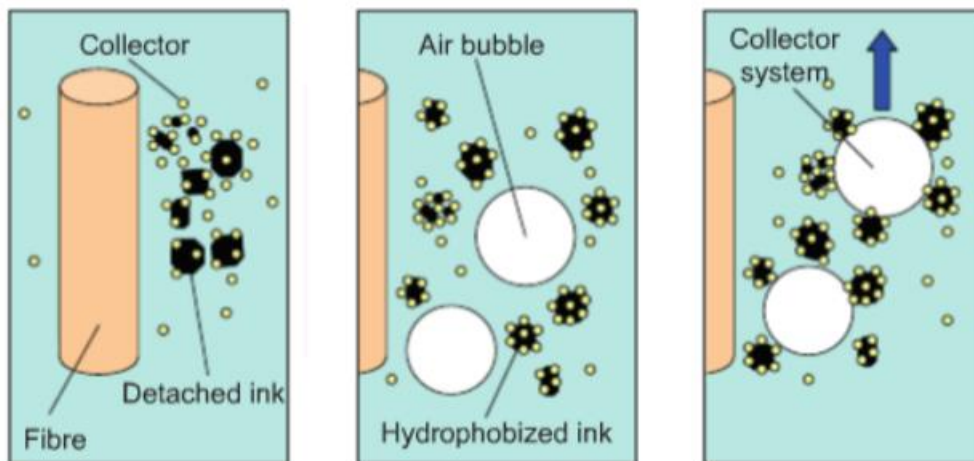
Injektorilla toimivassa vaahdotuskennossa massavirta imee ympäröivästä tilasta ilmaa sekoitettavaksi massan joukkoon. Ilma ja massa sekoittuvat injektorissa, injektorin suuren leikkausnopeuden turbulenssialueella. (Prowledge 2017). Kuviossa 29 on esitetty injektor-ilmastettu OptiCell kennon rakenne.



KUVIO 29. OptiCell kennon rakenne (Prowledge 2017)

4.4.5 Vaahdotuksen kemiaa

Vaahdotuksessa käytetään kemikaaleja, jotka toimivat mustepartikkeleiden kerääjinä. Nämä kerääjät ovat hyvin hydrofobisia. Ne asettuvat mustepartikkelin pinnalle tehden partikkelista entistä hydrofobisemman. Hydrofobisempi ominaisuus saa partikkelin kiinnittymään ilmakuplaan tiukemmin. Hyvän musteen poiston kannalta on oltava sopiva tasapaino tuotetun vaahdon määrän ja vaahdon koostumuksen välillä, sillä ilman määrällä ja vähittäisellä kiintoainehäviöllä on yläraja. Tämä täytyy ottaa huomioon valittaessa sopivaa kerääjää. Mustepartikkeleiden kerääjän valintaan vaikuttavat keräyspaperilajit, prosessin olosuhteet sekä laatuvaatimukset. Euroopassa rasvahappoja ja silikonijohdannaisia käytetään siistauslaitoksissa, joissa on suuret tuotantomäärät. (Höke & Schabel 2010, 328, 337).



KUVIO 30. Musteenpoisto kerääjäkemikaalilla (Höke & Schabel 2010, 328)

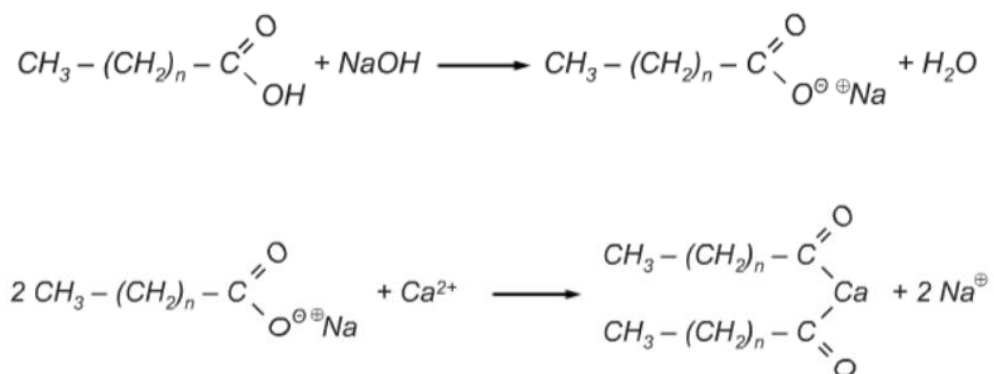
Rasvahapot

Rasvahapot ovat suurin kerääjäkemikaalin ryhmä niiden hyvän musteenpoistokyvyn ja pitkäaikaisten käyttökokemusten perusteella paperiteollisuudessa. Rasvahapot ovat orgaanisia karboksyylihappoja. Ne ovat erinomaisia riippuen hiiliketjun pituudesta. Rasvahappoa, jonka hiiliketjussa on yksi kaksoissidos, kutsutaan oleiinihapoksi. Rasva- ja oleiinihappoja löytyy eläin- ja kasvirasvoista. Vaahdotuksessa käytettävät rasvahapot ovat erilaisia rasvahapposekoituksia, jotka yleensä koostuvat kuvion 31 mukaisista komponenteista. (Höke & Schabel 2010, 328 – 330).

Lipid name	Common name	Chemical structure	Coverage interval
C 14:0	Myristic acid	$H_3C - (CH_2)_{12} - C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OH \end{matrix}$	< 5 %
C 16:0	Palmitic acid	$H_3C - (CH_2)_{12} - CH_2 - CH_2 - C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OH \end{matrix}$	40 – 60 %
C 18:0	Stearic acid	$H_3C - (CH_2)_{12} - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OH \end{matrix}$	10 – 30 %
C 18:1	Oleic acid	$H_3C - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 - C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OH \end{matrix}$	10 – 30 %

KUVIO 31. Vaahdotuksessa käytettävän rasvahappokerääjän sekoituksen koostumus (Höke & Schabel 2010, 330).

Rasvahappo ei toimi itsessään kerääjänä, vaan kerääjänä toimii rasvahapon kalsiumsuola eli niin kutsuttu kalsiumsaippua. Tämän takia rasvahappojen täytyy saippuoitua. Ensimmäisessä vaiheessa rasvahappo saippuoituu natriumhydroksidin kanssa natriumsaippuaksi. Toisessa vaiheessa, jos vesi on tarpeeksi kovaa, reagoi natriumsaippua veden kalsiumionien kanssa jolloin muodostuu kalsiumsaippuaa ja natriumia, joka toimii vaahdon muodostajana. Kalsiumsaippua ei liukene veteen, ei vaahtoa ja hajoaa hyvin vesifaasiin. (Höke & Schabel 2010, 212, 332).



KUVIO 32. Rasvahapon saippuoituminen (Höke & Schabel 2010, 332, muokattu)

Rasvahappoa täytyy varastoida ja annostella vähintään 40 °C lämpötilassa, mikä on rasvahapon hyytymislämpötila. Tämän vuoksi rasvahapon varastointi, saippuoituminen ja saippuan varastointi tulee olla eristetty ja lämmitetty. Tavoitelämpötila on vähintään 70 °C. Tämä koskee myös rasvahapon toimitusta tehtaalle. (Höke & Schabel 2010, 331).

Saippuaa voidaan annostella kolmessa eri vaiheessa: pulperoinnissa ja/tai flotaation syötössä. Optimaalinen annostelu riippuu laitteistosta. Sopivan annostelun lisäksi on tärkeää, että saippua pääsee reagoimaan prosessissa tarpeeksi pitkään. Usein annostelua käytetään pulperoinnissa sekä vaahdotuksessa. Veden kovuudella on suuri merkitys musteen poistossa. Liian pehmeä vesi ei muodosta natriumsaippuasta tarpeeksi kalsiumsaippuaa. Jos veden kovuus on alle suosituksen (10 – 30 °dH) täytyy sopiva veden kovuus varmistaa lisäämällä kalsiumkloridia prosessiin. (Höke & Schabel 333 – 334).

Rasvahappojen ja saippuoiden jäämät voivat muodostaa sakkautumia ja päätyä paperikoneelle, joten on tärkeää, että jäämät reagoivat loppuun asti prosessissa. Tutkimukset osoittavat, että 85 % käytetyistä rasvahapoista poistuu vaahdon mukana. Tämä kertoo, että rasvahappo on saippuoinut ja prosessin veden kovuus on riittävä. (Höke & Schabel 2010, 335 – 336).

Oleiinihapot

Musteenpoistossa oleiinihapon toimintaperiaate on sama kuin rasvahapoilla, mutta sitä voi käyttää paljon pienemmässä lämpötilassa, sillä oleiinihapon varastoinnille, saippuointimisella ja saippuan varastoinnille riittää huoneen lämpötila. Niiden käyttö on kuitenkin rajoitettua. Oleiinihapolla on huonompi hinta-tehosuhde kuin rasvahapolla, joten niitä ei käytetä yksistään vaan rasvahappo-oleiinihapposekoituksina. (Höke & Schabel 2010, 334).

Saippuapelletit

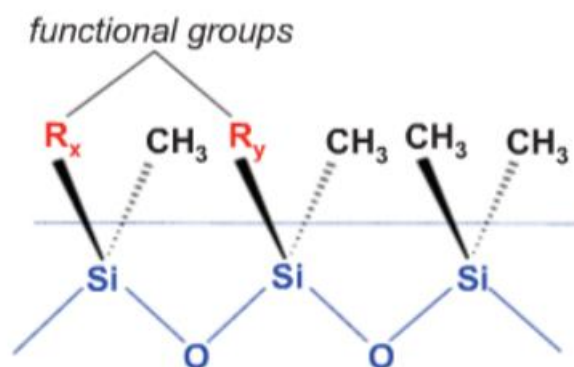
Saippuapelletin valmistuksessa käytetään yllä mainittuja rasvahappoja. Rasvahapot saippuoidaan natriumhydroksidilla tai natriumkarbonaatilla natriumsaippuaksi. Natriumsaippuasta muodostetaan pellettejä ekstruuderilla ja pelletit kuivataan. Yksi kilogramma saippuapellettejä sisältää 850 – 950 grammaa saippuaa, josta 790 – 880 grammaa on rasvahappoja, loput vettä. Pelletit liuotetaan 70 °C veteen noin 7 – 10 % liuokseksi. Liuotuksen jälkeen saippua pumpataan varastotankkiin, josta se annostellaan tarvittaviin kohteisiin. Saippua reagoi vaahdotuksessa kovan veden kalsiumionien kanssa ja toimii siten samalla periaatteella kuin rasva- ja oleiinihapot. (Höke & Schabel 2010, 334 – 335).

Rasvahapot ja kalsiumsaippuan emulsiot

Rasvahapon ja kalsiumsaippuan emulsiot sisältävät rasvahapon tai rasvahapon kalsiumsaippuaa, emulgointiainetta ja vettä. Näiden emulsioiden etuna on, että niitä ei tarvitse esikäsitellä, ne voidaan varastoida ja annostella huoneenlämpöisinä ja niitä voidaan käyttää pehmeässä vedessä. Huonona puolena on niiden huono hyötysuhde, joka on vain korkeintaan 50 % verrattuna samaan määrään rasvahappoja. Huonoissa olosuhteissa emulsiot voivat lisätä vaahdon määrää, joka lisää hienoainehäviöitä varsinkin päällystetyillä paperilajeilla. Emulsion syöttö tapahtuu pulpperoinnissa tai vaahdotuksessa. Emulsiota käytetään myös yhdessä rasvahappojen kanssa. Tarkoituksena on aktivoida rasvahappojen jäänteitä ja tehostaa toimintaa, kun veden kovuus on matalampi. Tällöin saadaan paremmin kontrolloitua vaahtoa, sekä saadaan parempi vaaleus, kuin pelkästään emulsiota käyttäen. (Höke & Schabel 2010, 335).

Silikonijohdannaiset

Silikonijohdannaiset ovat uusi ryhmä kerääjiä, joita käytetään rasvahappojen saippuan korvaajina. Niiden vaikutus musteen kerääjänä on yhdenmukainen saippuoiden kanssa. Silikonijohdannaisilla on hydrofobinen ja hydrofiilinen pää. Hydrofobiset päät kiinnittyvät mustepartikkeliin ja hydrofiiliset päät kiinnittyvät ilmakuplan nestepintaan varmistuen mustepartikkelin kulkeutumisen kuplan mukana pintaan. Kemiallisesti silikonijohdannaiset perustuvat polysiloksaaneihin. Funktionaalisten ryhmien muuttaminen varmistaa niiden soveltuvuuden musteenpoistoon. Silikonijohdannaisten etuna on niiden varastointi- ja annostelulämpötila johon riittää huonelämpötila. Ne eivät vaadi myöskään kovaa vettä tai muuta esikäsitelyä. Optimaalinen vaikutus vaahdotuksessa tapahtuu yli 40 °C lämpötilassa ja alle 1,5 % sakeudessa. Annostelu tapahtuu vaahdotuksen syötössä. Suurin hyöty verrattuna rasvahappoihin ja saippuaan on rejektin koostumuksessa. Silikonijohdannaiset rejektoivat enemmän tuhkaa verrattuna kokonaisrejektin määrään. Ne erottavat enemmän tuhkaa ja vähemmän kuituja, kuin käyttäessä rasvahappoja ja saippuaa. (Höke & Schabel 2010, 336).



KUVIO 33. Muunnellun polysiloksaanin rakenne (Höke & Schabel 2010, 336)

Synteettiset kerääjät ja pinta-aktiivit

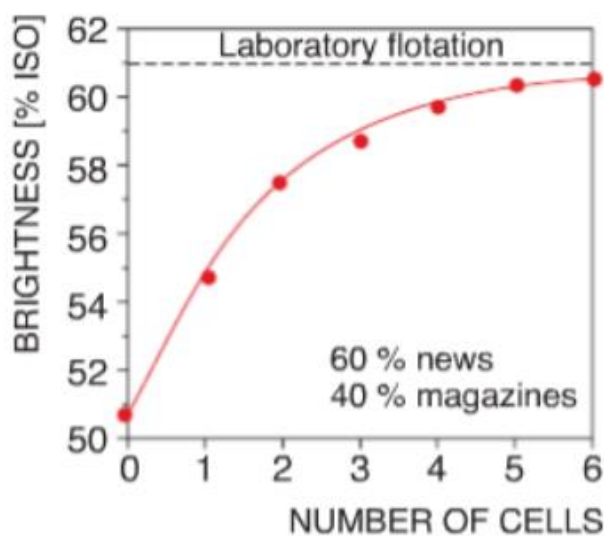
Synteettisiä kerääjiä ja pinta-aktiivisia aineita käytetään harvoin vaahdotuksessa. Synteettisten kerääjien etuina ovat, että ne voidaan varastoida ja annostella huoneen lämpötilassa, ne eivät vaadi esikäsitelyä eivätkä kovaa vettä. Ratkaiseva haitta on niiden huono tehokkuus verrattuna muihin kerääjiin. Synteettiset kerääjät pohjautuvat luonnollisiin rasvoihin tai öljyihin. Ne voivat olla anionisia, kationisia tai ionittomia. Käytännön sovelluksissa käytetään ionittomia pinta-aktiiveja. Ne ovat normaalisti eteenioksidin ja propeenioksidin yhteispolymeerejä, eetteröityjä rasva-alkoholeja ja eetteröityjä rasvahappoja. Anionisten pinta-aktiivien kerääjän kyky on heikko, sillä ne ovat veteen hyvin liukenevia, mikä aiheuttaa vaahtoamista ja huonoa kiinnittymiskykyä. Kationiset pinta-aktiivit kokoavat helposti kuituja yhteen, joka kasvattaa kuituhäviötä. Näiden vaikutus huonoina kerääjinä on ilmeinen. (Höke & Schabel 2010, 336 – 337).

4.4.6 Laatuksiteerit

Tärkein laatuksiteeri vaahdotukselle on vaaleus (engl. brightness), johon vaikuttavat alle 50 µm mustepartikkelit ja muut likapilkut (Höke & Schabel 2010, 223). Paperitekniikassa käytetään värin vaaleudelle käsitettä ISO-vaaleus. ISO-vaaleus, eli R₄₅₇, mitataan sinisellä valolla, jonka aallonpituuden maksimi on 457 nm kohdalla (ISO 2470-1:2016). Vaaleuden mittausta voidaan tehdä monenlaisissa olosuhteissa. D65 on valonlähde, joka vastaa päivänvaloa ja jonka vaaleuden mittausta tehdään 10 ° kulmassa (ISO-2470:2-2008). C valo on niin kutsuttu standardivalo joka vastaa päivänvaloa pohjoiselta taivaalta. Siinä on huomattavasti vähemmän ultraviolettisäteilyä, kuin D65 valossa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2003, 50, 101).

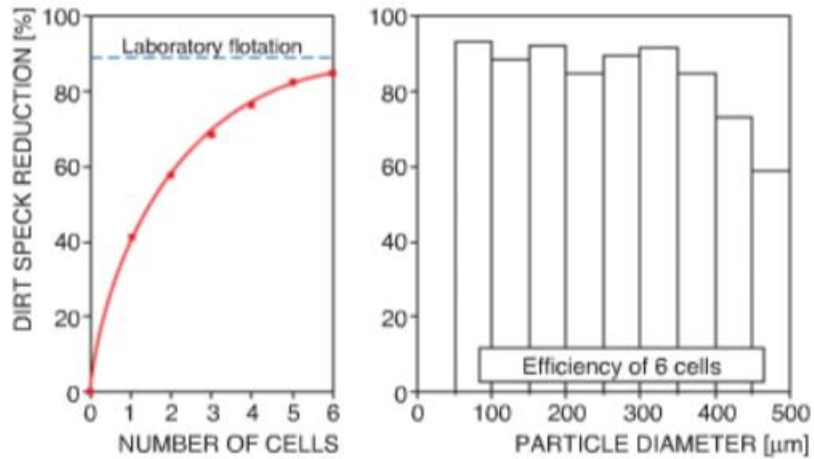
Massan vaaleus riippuu voimakkaasti vaahdotukseen syötetystä ilmamäärästä. (Nellesen, B, 2017). Tämä on syötetyn ilmamäärän suhde massan määrään. Vaahdotuskennossa, joka toimii vastavirtaperiaatteella ja jossa on vain yksi ulostulo, suhde tarkoittaa pohjalta syötetyn ilman suhdetta pinnalta poistetun massan määrään. Rinnakkain asetetuissa kennoissa jokaisen kennon ilman syöttö lasketaan yhteen ja verrataan kokonaismassan virtaukseen. (Höke & Schabel 2010, 223)

Koska optimaalinen tulos riippuu kuitujen ja hienoaineen häviöistä, on tämä erityisesti mielenkiintoinen lähtökohta vertailulle. Tämä mahdollistaa erittäin laajan vaahdotustulosten arvioimisen. Kuvio 34 esittää vaaleutta kennojen määrän mukaan. Käyrä tasoittuu kennojen lisääntyessä, sillä poistettavien partikkelien määrä laskee vastaavasti. Todennäköisyys partikkelien ja kuplien törmäämiselle ja kiinnittymiselle pienenee partikkeleiden pienemmän määrän takia suhteessa massan määrään. (Höke & Schabel 2010, 223)



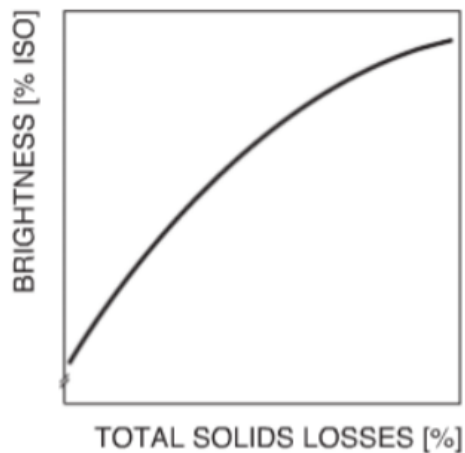
KUVIO 34. Vaaleus vaahdotuskennojen määrän funktiona (Höke & Schabel 2010, 223)

Sama tulos toistuu myös likapartikkelien poistossa kuviossa 35. Kuviossa näkyy myös, miten vaahdotustehokkuus pienenee suurempikokoisilla partikkeleilla.

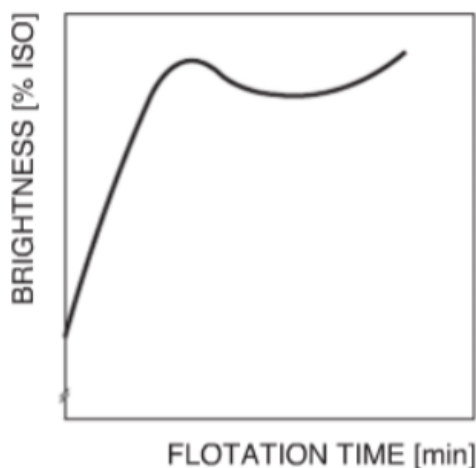


KUVIO 35. Likapartikkelien vähentyminen vaahdotuskennojen määrän funktiona (Höke & Schabel 2010, 223)

Kuvio 36. osoittaa miten vaahdon poisto tai kiintoaineiden häviö vaikuttaa vaaleuteen. Vaaleus voi myös laskea uudestaan, kuten kuviossa 37. osoitetaan. Kun määritetään rejektinvirtausta, on tärkeää ymmärtää, että mustepartikkelit yksinään ovat melko suuri osa uusiomassan määrästä. Sanomalehtipaperissa musteen osuus on 1,5 % koko paperin massasta, aikakauslehdillä 5 % ja kopioidulla paperilla jopa 6 %. (Höke & Schabel 2010, 223 – 224).



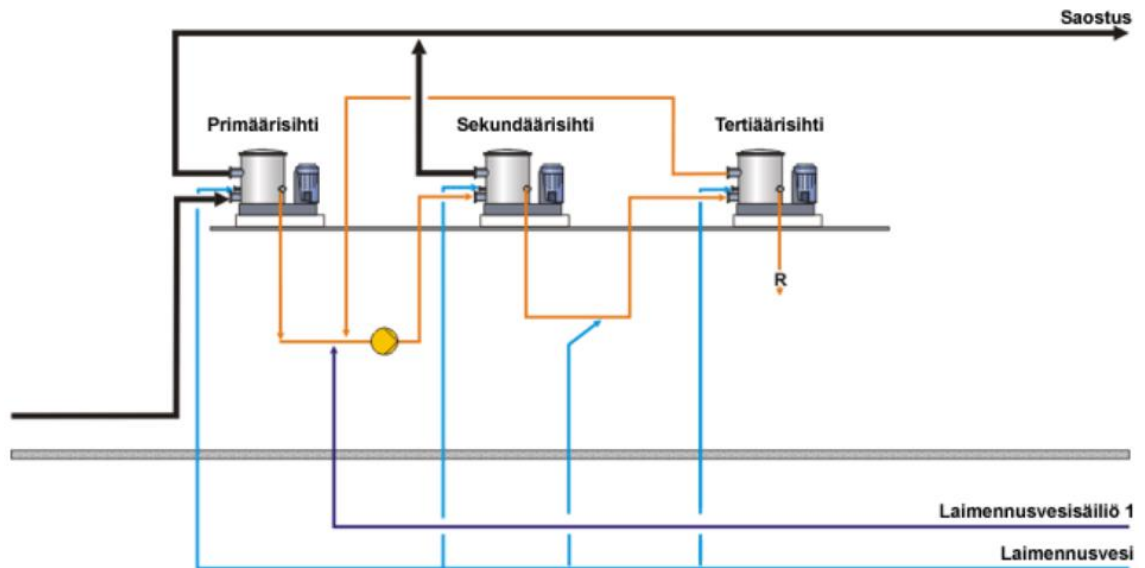
KUVIO 36. Vaaleus kiintoaineiden häviön funktiona (Höke & Schabel 2010, 224)



KUVIO 37. Vaaleuden muutos vaahdotusajan funktiona (Höke & Schabel 2010, 224)

4.5 Hienolajittelu

Hienolajittelu on aina karkealajittelun jälkeen tapahtuvaa massan ja epäpuhtauksien erottelua. Tärkein tehtävä hienolajittelulla on poistaa tahmoja. Verrattuna karkealajitteluun, hienolajittelun massan sakeus on matalampi. Hienolajittelun painesihtien aukot ovat pienemmät erottelukyvyn takia, joten sakeudenkin pitää olla pienempi. Hienolajittelussa käytetään samanlaisia sylinterimallisia painesihtejä, kuin karkealajittelussa. Merkittävin ero lajitteluissa on roottorien rakenne. Karkealajittelun roottorien pitää varmistaa suurempien epäpuhtauksien erottelu, sekä kuitukimppujen hajottaminen. Hienolajittelussa näitä tehtäviä ei enää ole, joten roottorien ei tarvitse olla yhtä jäykkiä ja kestäviä. Koska hienolajittelussa massassa on todennäköisesti enää pieniä ja kevyempiä epäpuhtauksia, painesihdin ei tarvitse myöskään olla yhtä kestävä. Hienolajittelua tapahtuu useammin todennäköisyysmenetelmän mukaisesti. (Prowledge 2017; Höke & Schabel 2010, 176 – 179).

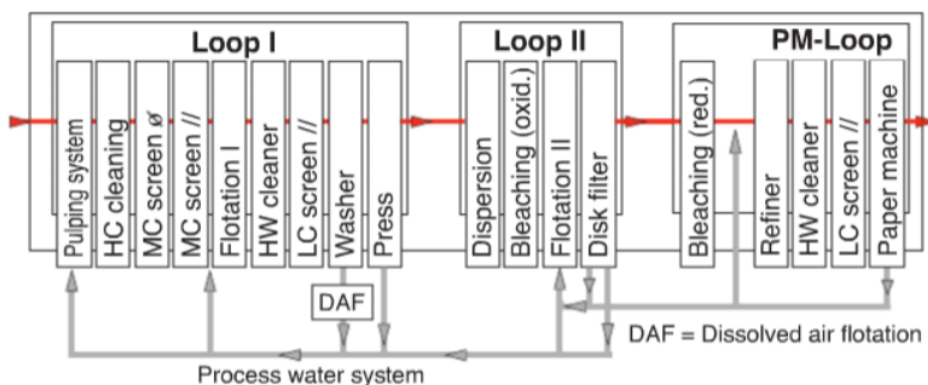


KUVIO 38. Hienolajittelun linja (Prowledge 2017)

Hienolajittelussa käytettävät sylinterimalliset painesihdit ja menetelmät on selitetty kapaleessa 4.2.

4.6 Saostus

Saostuksen tehtävänä on poistaa massasta prosessivettä ja näin nostaa massan sakeutta. Prosessiveden mukana poistuu liuennetta epäpuhtauksia sekä siistauskemikaaleja, jotka jäädessään massan joukkoon kulkeutuisivat paperitehtaalte. Erottaessa vesi ja sen mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet ja kemikaalit, pystytään prosessivettä puhdistamaan ja käyttämään muissa osaprosesseissa. Massan sakeus vaikuttaa myös siistauksen seuraaviin prosesseihin. Dispergointi, valkaisu ja massan varastointi vaativat korkeampaa massan sakeutta kuin aiemmat prosessivaiheet. (Höke & Schabel 2010, 230 – 231).



KUVIO 39. Prosessivesikierto aikakauslehtipaperitehtaan uusiomassan valmistuksessa (Höke & Schabel 2010)

Saostus on suodatusprosessi. Suodatuksessa suodattimen reiät ovat suurempia kuin useimmat massan sisältämät partikkelit. Osa näistä partikkeleista läpäisee suodattimen ja osa jää suodattimeen kiinni. Suodattimeen kiinni jäänyt saostuma kasvaa ja siitä muodostuva kuitumatto toimii itsessään suodattimena ja näin ottaa talteen enemmän kiintoaineita. Kuitumaton kasvaessa sen kyky läpäistä vettä pienenee. Saostuksessa käytettäviä voimia ovat: painovoima, keskipakovoima, sekä paine-ero kuten imu ja mekaaninen puristus. Alhaalle on taulukoitu erityyppisiä laitteita saostamiseen. (Höke & Schabel 2010, 231 – 233).

TAULUKKO 5. Erityyppisten saostuslaitteiden ominaisuudet (Höke & Schabel 2010, 233, muokattu)

laite	erotus		sakeus [%]				erotustehokkuus kiinteä/neste	menetelmä			
	kiinteä/neste	kiinteä/kiinteä	syöttö		ulostulo			painovoima	imu	viira paine	puristus
			< 2,0	> 3,5	5 – 10	10 – 20					
rumpusaostin	■		■		■	■	→	■			
kiekkosaostin	■					■	→		■		
viirasaostin	■						→				
viirasaostin (paine)	■						→			■	
kaksoisviirapuristin	■						→				■
ruuvisaostin	■						↘				■
hihnapuristin		■	■		■		↘		■	■	■

yleinen olosuhde



erikoisolosuhte

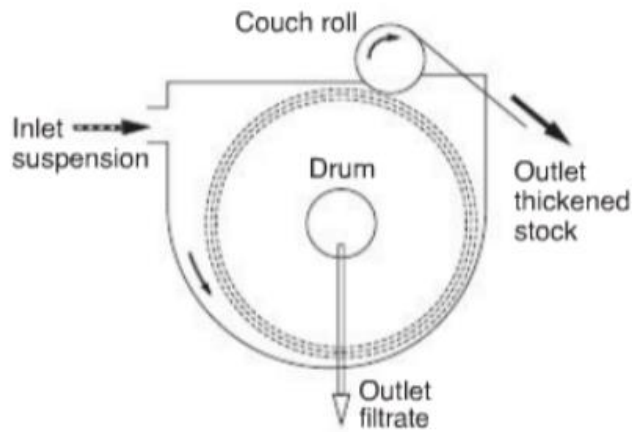
hyvä ↑

kohtalainen →

huono ↓

4.6.1 Rumpusaostin

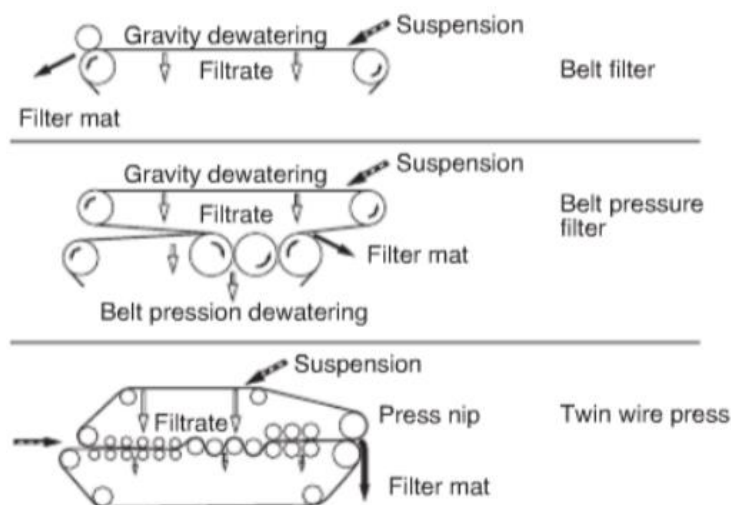
Rumpusaostimessa massa syötetään rumpusuotimen altaaseen, jossa pyörii rumpu joka on päällystetty viiralla. Vesi virtaa rummun sisään viirakankaan läpi, kun taas massa jää rummun pintaa ja kulkeutuu eteenpäin. Massa poistetaan viiralta veden, kaavinlevyn tai puristinhuovan avulla. Puristinhuopa voi toimia myös puristustelana, joka myös nostaa saoksen kuiva-ainepitoisuutta. Kuiva-ainepitoisuus rumpusaostimen jälkeen on 5 – 10 %. (Höke & Schabel 2010, 234 – 235; Prowledge 2017).



KUVIO 40. Rumpusaostimen toiminta ja rakenne (Höke & Schabel 2010, 235)

4.6.2 Viirasaostin

Yksinkertaisin viirasaostin koostuu viirasta, jonka läpi vesi suodattuu pois joko painovoiman avulla, tai avustettuna alapuolelta tulevalla imulla. Pelkällä painovoimalla voidaan saavuttaa 5 % kuiva-ainepitoisuus, kun taas imulla noin 10 %. Viirasaostimet, joissa käytetään painetta lisävoimana painovoiman lisäksi, ovat myös yhdenlaisia viirasaostimia. Viira kulkee kahden hihnan välissä yhden tai useamman telan läpi. Tämä saa aikaan suuremman vedenpoiston ja saavutettu kuiva-ainepitoisuus on noin 10 %. Kaksoisviirasaostimella hihnojen kulkeutumisen telojen kautta lisäksi on kahdesta telasta muodostuva nippi, joita voi olla yksi tai useampi. Nippi aiheuttaa puristuksen, joka poistaa vettä tehokkaasti. Kuiva-ainepitoisuus kaksoisviirasaostimen jälkeen voi olla 25 – 50 %. (Höke & Schabel 2010, 234 – 235).

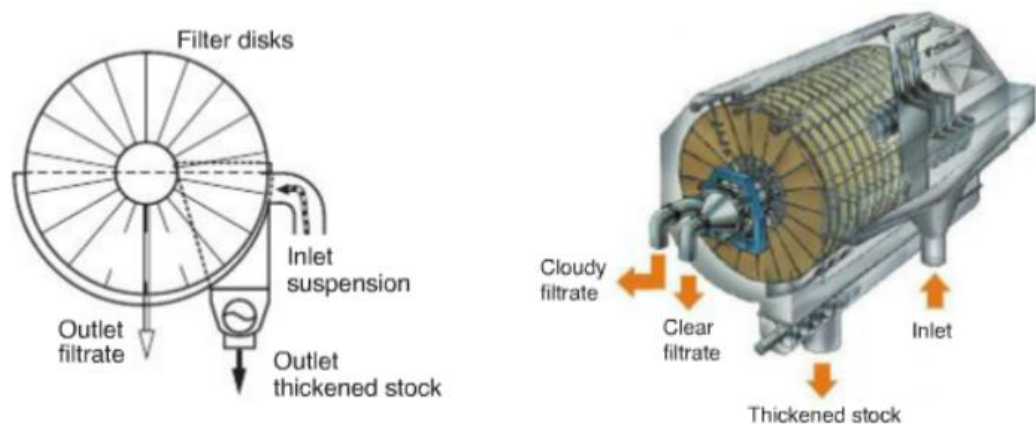


KUVIO 41. Viirasaostimia (Höke & Schabel 2010, 234)

4.6.3 Kiekkosaostin

Kiekkosaostimet ovat yleisimpiä saostimia, sillä ne ovat halvimpia laitteita poistettavaan vesimäärään suhteutettuna. Niillä pystytään myös käsittelemään korkean sakeuden ja freneksen massoja sekä suuria virtauksia. Kiekkosaostimen etu rumpusaostimeen nähden on sen suurempi suodatuspinta-ala. Halkaisijaltaan 3,0 – 3,5 metriä olevia kiekkoja voi olla kymmeniä saostusaltaassa. Kiekot pyörivät kehänopeudella 5 – 20 m/min. Tämän pyörimisen johdosta suodatusalue puhdistuu koko ajan. Saostusaltaassa pyörivät kiekot keräävät suodosta pinnalleen ja pyöriessään ylöspäin massasta jää suodatuskankaalle suoduskakku. Suoduskakku poistetaan ylhäällä pudottamalla kakku kiekon keskellä olevaan onttoon akseliin ja siitä jatko-prosessiin. (Höke & Schabel 2010, 235 – 236; Prowledge 2017).

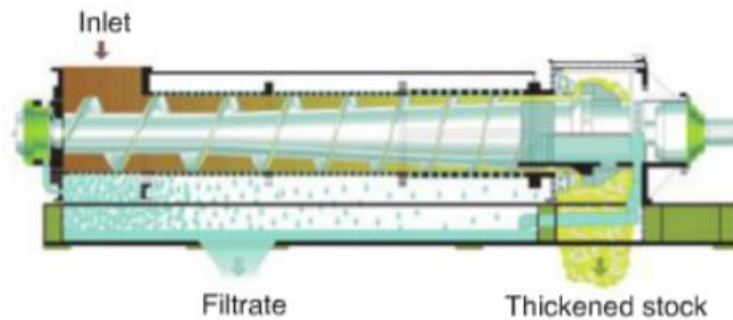
Jos saostimessa ei käytetä ylimääräistä imua, suodatuspaine riippuu täysin hydrostaattisesta paine-erosta. Paine-ero on tällöin pieni, joten suoduskakku irtoaa suodattimen pinnasta virtauksen ja gravitaatiovoimien myötä. Vedenpoistoa voidaan tehostaa lisäämällä imua akselin ja suodoskanavien kautta. Tällöin suoduskakku irtoaa kiekosta suihkujen avulla. Kiekkosuotimilla saavutetaan 5 – 10 % kuiva-ainepitoisuus. (Höke & Schabel 2010, 235 – 236; Prowledge 2017).



KUVIO 42. Kiekkosuotimen toiminta ja rakenne (Höke & Schabel 2010, 235)

4.6.4 Ruuvisaostin

Ruuvisaostin koostuu metallisesta sylinteristä, joka on varustettu rei'illä tai raoilla, sekä ruuvista sylinterin sisällä. Ruuvin pyöriessä sylinterin päästä sisään syötetty massa kulkeutuu sylinterin toiseen päähän. Samalla se puhdistaa sylinterin pintaa ja muokkaa massaa. Ruuvin kierteen kulma on suurempi syötön puolella kuin ulostulopuolella ja ruuvin halkaisija myös kasvaa ulostulosuuntaan päin. Tämä saa massan pakkautumaan pienempään tilaan ja pakottamaan veden poistumaan sylinterin aukoista. Jäljelle jää massaa jonka kuiva-ainepitoisuus on 20 – 30 %. (Höke & Schabel 2010, 236 – 237).



KUVIO 43. Ruuvisaostimen toiminta ja rakenne (Höke & Schabel 2010)

4.7 Massan pesu

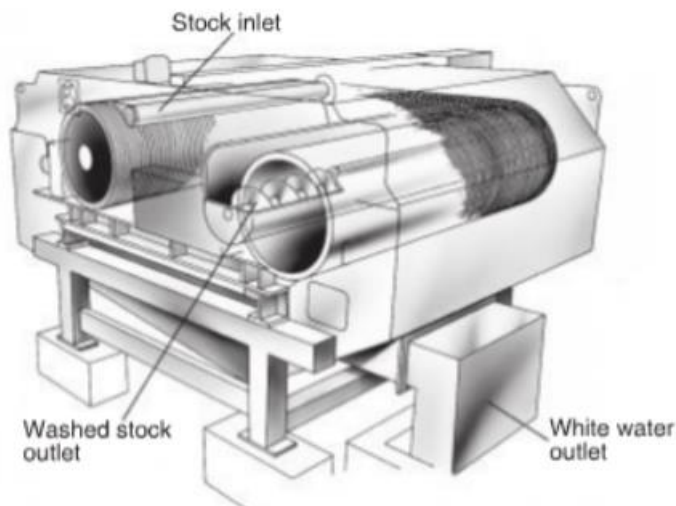
Massan pesu on myös eräänlainen suodatusprosessi. Sen tarkoituksena on poistaa alle 30 µm kokoiset epäpuhtaudet massan joukosta. Epäpuhtaudet voivat olla hieno- ja täyteaineita, mikrotahmoja ja mustepartikkeleita. Samalla suodoksen mukana poistuu liuenneita ja kolloidisia partikkeleita. Poistettavien epäpuhtauksien tarve riippuu raaka-aineesta, prosessista sekä lopputuotteen vaatimuksista. On tärkeää, että massaa pestessä ei poisteta paperivalmistukselle tärkeitä partikkeleita, kuten kuituja ja muita aineita. Massan pesussa käytettyjä laitteistoja ovat erilaiset viirasuotimet, kiekkosuotimet, painelajittimet sekä suihkupesurit (Höke & Schabel 2010, 238 – 239, 244).

TAULUKKO 6. Poistettavat partikkelit loppukäyttökohteen mukaan (Höke & Schabel, 2010, 239, muokattu)

lopputuote	poistettava partikkeli		
	tuhka	kuidut	painomuste
sanomalehti	ei	ei	kyllä
aikakausilehti	osittain	osittain	kyllä
LWC	kyllä	osittain	kyllä
pehmopaperi	kyllä	osittain	kyllä

4.7.1 Viirapesuri

Viirapesuri on paperikoneen tasoviiraa muistuttava pesuri, jossa partikkelit suotautuvat veden mukana massasta paino- ja keskipakovoiman avulla. Pesuefekti riippuu retentoitumattomien partikkeleiden määrästä. Viiran kireys muodostaa puristuspaineen, jolloin epäpuhtaudet suotautuvat viiran läpi massasta pois. Massan pesu tapahtuu yleensä formerityyppisillä pesulaitteilla. The VarioSplit mallissa massan sakeus on 0,7 – 1,5 %, viiran reikäkoot 36 – 60 μm ja viiran toiminta-alueen koko 1 \times 2,5 – 2 \times 4,5 metriä. Viiran nopeus voi olla 1 000 m/min, joka mahdollistaa jopa 500 tonnin vuorokausituotannon. Yleisimpiä viirapesureita ovat Double Nip Thickener, eli DNT-pesuri, joka poistaa hyvin tuhkaa. Niiden vuorokausituotantomäärä voi olla 300 tonnia, 800 m/min nopeudella. DNT:n leveys on korkeintaan 2 metriä. Kuiva-ainepitoisuus nousee noin 5 – 10 % lähtökuiva-ainepitoisuudesta. (Höke & Schabel 2010, 244 – 246).



KUVIO 44. DNT-pesurin rakenne ja toiminta (Höke & Schabel 2010, 246)

4.7.2 Kiekkosaostin

Kiekkosaostimia voidaan käyttää myös massan pesussa. Niitä käytetään kun tarvitaan vähäistä pesua ja tuhkanpoistoa. (Höke & Schabel 2010, 246). Kappaleessa 4.6.3. on selostettu kiekkosaostimien toiminta tarkemmin.

4.7.3 Painelajitin

Massan pesussa painelajitin eroaa hieman perinteisestä painelajittimesta. Sihtikorin reiät ovat hyvin pieniä, 150 – 400 µm kokoisia. Kuidut retentoituvat lajittelusihdin pintaan. Ainoastaan tuhka, hienoaine ja pieni määrä lyhyitä kuituja läpäisevät sihtikorin. Painelajittimia käytetään orgaanisen saannon nostamisessa ja energian kulutuksen vähentämisessä. (Höke & Schabel 2010, 247). Painelajittelusta on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.2.2.

4.7.4 Suihkupesuri

Suihkupesurissa massa suihkutetaan suurella nopeudella vaakatasoisesta suuttimesta pysyvuunnaisesti pyörivän sihtikorin pintaan. Tästä sihtipinnasta pienet jakeet kulkeutuvat läpi. Korkean dynaamisen paineen myötä massa pakotetaan sihdin läpi. Pesun tulokseen vaikuttaa sihdin sekä suihkun ominaisuudet. (Höke & Schabel 2010, 247).

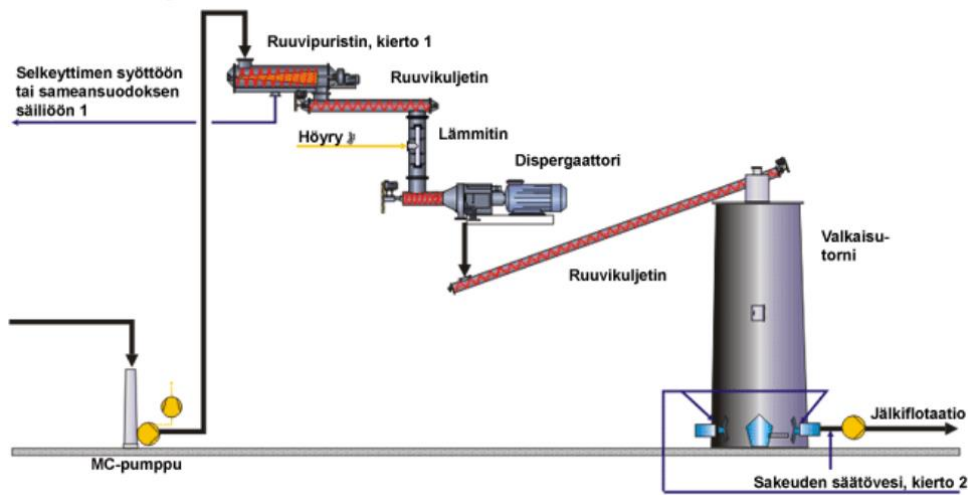
4.8 Dispergointi

Dispergoinnista puhuttaessa käytetään myös nimityksiä muokkaus ja hajotus. Dispergoinnin tehtävä on pilkkoa massassa näkyvät likapartikkelit silmällä havaitsemattomaan kokoon, sekä irrottaa kuiduissa kiinni olevaa painomustetta. Likapartikkelit joita dispergointi hajottaa ovat vaha-, päällyste- ja pintaliimapartikkeleita. Dispergointi myös pilkkaa tahmopartikkeleita pienemmäksi, jotka pienempinä eivät vaikuta paperikoneella ajettavuuteen. Puhtaamman massan lisäksi dispergointi parantaa lopputuotteen lujuutta dispergaattoreiden jauhatusominaisuuden avulla ja tuo paperiin visuaalista tasalaatuisuutta. Tämä näkyy myös paperikoneella parempana ajettavuutena. Taulukkoon 7 on taulukoitu uusiomassan dispergoimisen vaatimuksia eri lopputuotteille. (Höke & Schabel 2010, 248; Prowledge 2017).

TAULUKKO 7. Dispergoinnin vaatimuksia eri lopputuotteille (Höke & Schabel 2010, 248, muokattu)

lopputuote							
dispergoinnin tarkoitus	sanomalehti	aikakauslehti	LWC	pehmopaperi	testlaineri	kartonki (keskikerros)	kartonki (pintakerros)
musteen irrottaminen							
likapartikkeleiden hienontaminen							
tahmojen pienentäminen							
vahan dispergointi							
päällysteen ja pintaliiman hienontaminen							
valkaisukemikaalien sekoittaminen							
lujuuden parantaminen							
bulkin parantaminen							
puhdistaa mikro-organismeista							

Dispergointi tehdään sakeudessa 20 – 30 % optimaalisen tuloksen saamiseksi, tai jopa korkeammassakin sakeudessa (35 – 40 %). Dispergointi sijoitetaan yleensä saostus- ja valkaisu prosessien väliin. Saostuksen jälkeen sakeus on korkea ja valkaisuun tarvitaan myös korkea sakeutta tehokkuuden kannalta. Dispergointi on paljon energiaa kuluttava prosessi, joten sitä voidaan osittain korvata hienolajittimilla, joiden aukkojen koko on 0,15 – 0,25 mm. Korkean puhtauden massoissa dispergointi-prosesseja voi olla jopa kahdessa kohtaa uusiomassan valmistusta. Ennen dispergointia massaa esilämmitetään 85 – 90 °C höyryn avulla. (Höke & Schabel 2010, 248 – 250; Prowledge 2017).

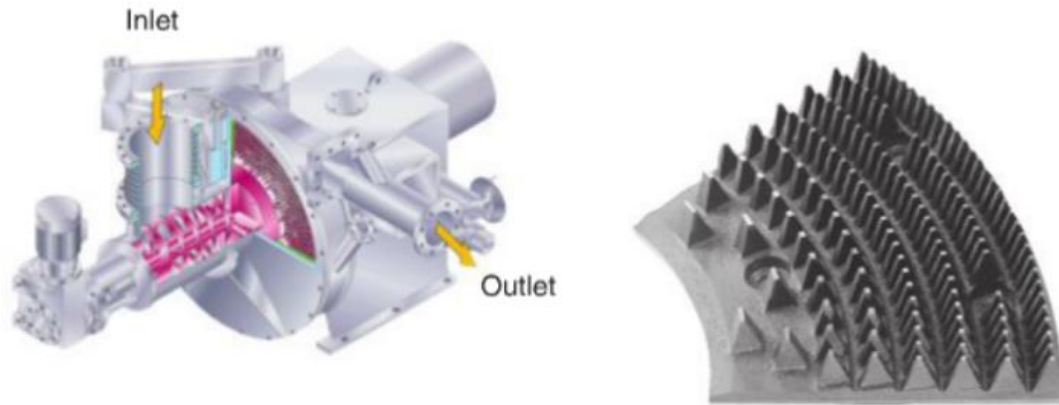


KUVIO 45. Dispergaattorin sijainti siistauslinjassa (Prowledge 2017)

Dispergointi perustuu roottori-staattoriperiaatteeseen, jossa massa syötetään pyörivän ja kiinteän terälevyn väliin. Massan nopeuden muutokset synnyttävät massassa sisäisiä leikkausvoimia. Dispergoinnissa käytetään korkeanopeuksista dispergaattoria tai pienempi-nopeuksista kneader-tyyppistä dispergaattoria. Näiden erona on sisäinen rakenne ja toimintanopeus. (Höke & Schabel 2010, 249).

4.8.1 Levydispergaattori

Levydispergaattorissa on kapea rako pyörivän roottorin ja kiinteän staattorin välissä. Roottorin pyörimisnopeus voi olla jopa 3 000 rpm, mutta yleisimmin nopeus on 1 200 – 1 800 rpm. Roottorin ja staattorin pinnassa on usein pyramidin mallisia hammastuksia tai jauhimen terän tapaisia terässegmenttejä. Dispergaattorin kuormitusta muutetaan terävääliä säätämällä. Massa syötetään dispergaattorin keskeltä, ja lähtee kulkeutumaan reunoille keskipakovoiman takia. Koska nopeudet ovat suuret, on massan viipymäaika dispergaattorissa hyvin pieni, vain sekunnin luokkaa. Massan kuidut poistuvat, mutta epäpuhtauspartikkelit törmäävät roottorin ja staattorin seinämiin ja hammastuksiin. (Höke & Schabel 2010, 249 – 252; Prowledge 2017).



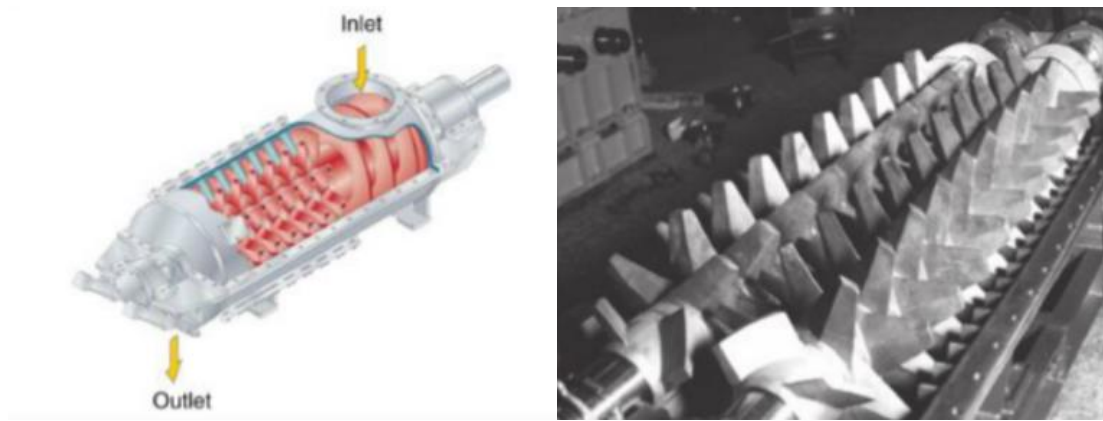
KUVIO 46. Levydispergaattorin toiminta ja rakenne (Höke & Schabel 2017, 251, muokattu)

4.8.2 Kartiodispergaattori

Kartiodispergaattorissa on kartion mallinen dispergointi-alue. Tämän vuoksi toiminta-ala on paljon suurempi kuin levydispergaattorissa. Suuremmalla alalla tapahtuu enemmän dispergoitumista, joten toiminta on tehokkaampaa. Kartiodispergaattorit toimivat muuten samalla periaatteella kuin levydispergaattorit. (Höke & Schabel 2010, 252).

4.8.3 Kneading-dispergaattori

Kneading-dispergaattorissa on hiertävä muokkain vaakatasossa olevassa putkessa, jonka toisesta päästä massa syötetään sisään ja toisesta päässä on poistoaukko. Putken sisällä on yksi tai kaksi muokkainta jotka pyörivät. Kahden muokkaimen dispergaattorissa muokkaimet pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Muokkainten pyörimisnopeus on 100 – 200 rpm, jolloin massan viipymä voi olla muutamia minuutteja. Massa kulkeutuu muokkainten pyörivän liikkeen avulla ja samalla dispergoituu. Dispergoituminen tapahtuu pääasiassa kuitujen ja epäpuhtauksien välisistä hankauksista. Putken sisäpinnalla olevat kiinteät laipat vastustavat massan liikettä ja voimistavat dispergoitumista. (Höke & Schabel 2010, 250, 253).



KUVIO 47. Kneading-dispergaattorin toiminta ja rakenne (Höke & Schabel 2017, 253, muokattu)

4.9 Valkaisu

Valkaisu on tärkeä osa uusiomassan valmistusta. Valkaisu parantaa optisia ominaisuuksia, kuten vaaleutta ja pinnan kirkkautta. Joten sitä käytetäänkin lopputuotteiden kuten toimistopaperin, superkalanteroidun paperin ja hygieniapapereiden uusiomassan valmistuksessa. Siistausprosessi nostaa kotikeräyspaperin ISO-vaaleutta korkeintaan 10 – 20 yksikköä. Pulperoinnin jälkeen vaaleus on 40 – 45, kun taas siistauksen jälkeen se on noin 60. Tätä saadaan vielä nostettua valkaisulla. (Höke & Schabel 2010, 339 – 340; Prowledge 2017).

Valkaisumenetelmiä on lukuisia. Suomessa valkaisussa käytetään pääasiassa hapettavaa vetyperoksidia (H_2O_2). Toinen vaihtoehto on pelkistävä natriumditioniittivalkeaisu ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$). Molempien etuna on se, että molemmat soveltuvat sekä mekaanisten että kemiallisten massojen valkaisuun. Tavoiteltaessa huippuvaaleuksia, voidaan yhdistää molemmat valkaisut, jolloin voidaan saavuttaa jopa yli 20 ISO vaaleusyksikön vaaleuden nousu alhaisilla lähtövaaleuksilla. (Prowledge 2017).

4.9.1 Vetyperoksidivalkeaisu

Peroksidivalkeaisu suoritetaan tyypillisesti tornissa, korkeassa sakeudessa 20 – 35 %. Vaikka peroksidivalkeaisua voidaan tehdä laajalla sakeusalueella (12 – 35 %), on korkean sakeuden käyttö välttämätöntä, kun vaatimuksena on korkea lopputuotevaaleus. Haittana korkeassa sakeudessa on lisääntynyt sekoitustehon tarve. Valkaisu viive tornissa on 1 – 2 tuntia ja lämpötila on 40 – 60 °C. (Prowledge 2017).

4.9.2 Natriumditioniittivalkaisu

Ditioniittivalkaisun käyttöä rajoittaa sen rajallinen vaaleuden nostokyky ja massan taipumus jälkikellertymiseen valkaisun jälkeen. Hyvissä olosuhteissa tornivalkaisussa saavutetaan 10 – 12 ISO vaaleusyksikön nousu. Sitä käytetäänkin matalavaaleuksisten lopputuotteiden valkaisussa, kuten sanomalehtipapereissa. (Prowledge 2017).

Ditioniittivalkaisu suoritetaan tyypillisimmin tornivalkaisuna. Perinteisesti tornivalkaisu tehdään 3 – 5 % sakeudessa. Valkaisua tehdään myös keskisakeusalueella (8 – 12 %). Sakeuteen vaikuttaa ilman määrä massan joukossa, joka huonontaa valkaisu tulosta. Valkaisuaika tornissa on matalassa sakeudessa 40 – 60 min, mutta keskisakeudessa viive voi olla lyhyempi, sillä ditioniitti reagoi tehokkaammin kuitujen kanssa. Yleinen sääntö on, että korkeammalla lämpötilalla saavutetaan suurempi loppuvaaleus. Lämpötila vaihtelee välillä 30 – 80 °C. (Prowledge 2017).

4.10 Uusiomassan varastointi

Siistattu uusiomassa varastoidaan varastotorniin. Varastotornissa sakeus on 10 – 15 %. Varastotornista massaa pumpataan paperikoneen massojen annosteluun jota ohjataan paperikoneelta. Massa laimennetaan paperikoneelta tulevalle mekaanisesti puhdistetulle vedelle kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa massa laimennetaan korkeasakeus-tornin alaosassa noin 4 % sakeuteen. Toisessa vaiheessa laimennus tehdään annostelun syöttöpumpun imupuolelle 3,5 % sakeuteen. Sakeussäädin ohjaa laimennusveden virtaus-säätimiä. (Prowledge 2017).

4.11 Rejektin käsittely

Rejekti käsittää niin suuret partikkelit, kuten metallin, kivet ja hiekan, kuin pienempikoisten epäpuhtauksien muodostaman lietteen. Rejektin käsittelyn tavoitteena on tuottaa korkeasakeuksista rejektiä, jonka hävityskustannus on mahdollisimman pieni ja energia-arvo mahdollisimman suuri. Rejektin käsittely suunnitellaan rejektin laadun ja ympäristövaatimusten mukaan. (Prowledge 2017).

4.11.1 Karkearejekt

Suurta ja karkeaa rejektia voidaan käsitellä kahdella tavalla: hiekanerottimella ja puristimella. Hiekanerotin poistaa vettä rejektin joukosta, jonka jälkeen rejektin kuljetetaan jäteveden laivalle. Hiekanerotuksessa tullut vesisuodos vietään jätevesisäiliöön. (Prowledge 2017).

Puristimella pyritään pakkaamaan rejektin mahdollisimman pieneen kokoon kuljetusta varten. Puristin poistaa samalla rejektin joukosta vettä. Eteen- ja taaksepäin ajettavassa rejektikuljettimessa on metallinilmaisin, joka havaitessaan metallia kuljettaa rejektin laariin. Kun ilmaisin ei havaitse metallia, rejektin syötetään taas puristimeen. (Prowledge 2017).

4.11.2 Lietteen käsittely

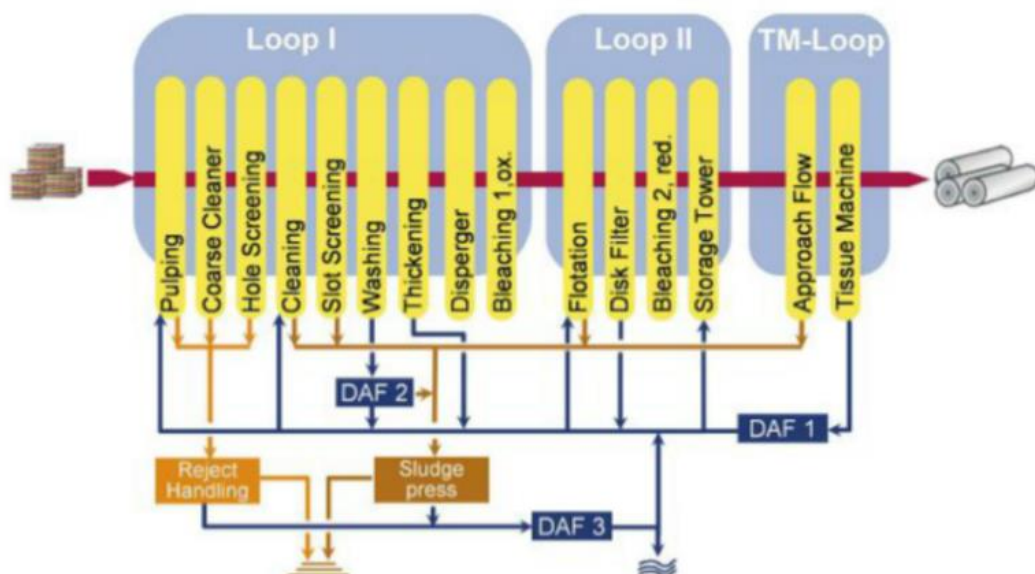
Lietettä muodostuu siistausprosessin monessa vaiheessa: flotaatiossa, pyörrepuhdistuksessa ja hienolajittelussa. Liette kerätään näistä prosesseista lietesäiliöön. Liette pumpataan 2,6 % sakeudessa lietteen esisaostimelle, jossa liete sakeutuu 10 – 15 % sakeuteen. Esisaostimelta liete kulkeutuu puristimelle, joka puristaa lietteen yli 50 % sakeuteen. Tämän jälkeen liete kuljetetaan jätelavoille tai voimalaitokselle. Lietteen suodosvesi johdetaan jätevesisäiliöön ja vedenpuhdistukseen. (Prowledge 2017).

5 UUSIOMASSAPROSESSI PEHMOPAPERIN TUOTANNOSSA

Uusiomassan siistauksessa pehmopaperin valmistukseen on tärkeää saada poistettua keräyspaperista täyteaineet. Täyteaineita poistettaessa ei voida välttyä hienoaineiden poistamiselta. Korkean tuhkanpoiston järjestelmissä tuhkanpoisto on vähemmän valikoivaa, jolloin epäorgaanisten aineiden osuus voi olla jopa alle 50 %. Tällöin kokonaissaanto voi tippua 60 % tai alemmaksi. (Höke & Schabel 2010, 295).

Siistatun uusiomassan tuhkapitoisuus on 1 – 1,5 %. Tämä ei vaikuta pehmopaperin valmistusprosessiin eikä lopputuotteen laatuun. Taloudellisesti onkin järkevää alentaa uusiomassan tuhkapitoisuutta vain sen verran kuin on tarpeellista. (Höke & Schabel 2010, 295).

Kuviossa 48 on esitetty uusiomassaprosessi pehmopaperin tuotantoon. Pulperoinnin jälkeen karkealajittelu tapahtuu pyörrepuhdistimilla ja reikälajittimilla. Karkealajittelun jälkeen on hienolajittelu, joka tapahtuu pyörrepuhdistuslaitoksella ja rakolajittimilla. Tämän jälkeen massa pestään, saostetaan, dispergoidaan ja valkaistaan hapettavalla menetelmällä. Valkaisun jälkeen massa kulkeutuu jälkiflotaatioon, jonka jälkeen massa uudestaan saostetaan ja valkaistaan. Uusiomassa on valmis varastoimiseen. (Höke & Schabel 2010, 296).



KUVIO 48. Uusiomassaprosessi pehmopaperin tuotantoon (Höke & Schabel 2010, 296).

SCA Nokian tehtaan siivouslinja koostuu karkealajittelu- ja hienolajittelulinjoista.

Karkealajittelulinja koostuu:

- korkeasakeuspulpperointi
- 1 primäärilajitin, jonka rejektit käsitellään yhdellä pyörrepuhdistimella sekä painelajittimella

Hienolajittelulinja koostuu:

- 2 DNT-pesuria
- ruuvisaostus, hydraulipuristin sekä 2 muokkainta rinnan
- vetyperoksidivalkaisu valkaisutornissa
- vaahdotus
- hienolajittelun 3 painelajitinta kaskadikytkettynä
- 2 rumpupesuria
- ruuvisaostus
- massan varastointi

6 TYÖN TAVOITTEET

Työn tavoitteena oli siistauslaitoksen vaahdotuksen vaaleuden parantaminen. Vaahdotuskennoja tutkittiin perehtymällä kennojen ominaisuuksiin ja niiden säätöihin. Säätöjä muuttamalla ja optimoimalla pyrittiin vaahdotusprosessi saamaan toimimaan mahdollisimman tehokkaasti ja tuottamaan vaaleampaa massaa.

Työssä tutkittiin myös vaahdotukseen lisättävän uuden koeajossa olevan kemikaalin vaikutusta massan vaaleuteen.

7 TYÖN TOTEUTUS

7.1 Näytteiden ottaminen ja vaaleuden määrittäminen

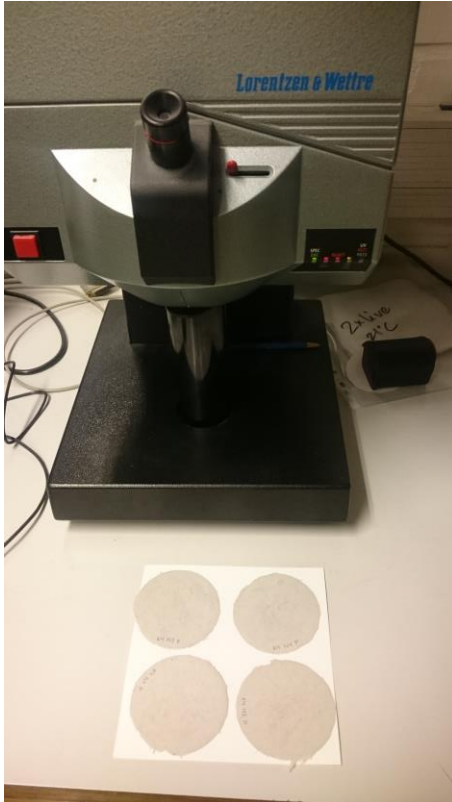
Massan vaaleuden muutoksen tutkimiseen tarvittiin massanäytteitä useasta näytepisteestä. Työssä tutkittiin ainoastaan akseptia, ei rejektiiä. Työn näytepisteet olivat:

- vaahdotuksen syöttö
- kenno 1 jälkeen
- kenno 2 jälkeen
- kenno 3 jälkeen
- kenno 4 jälkeen.

Vaaleuden määrittämiseen tarvittiin massanäytteistä tehdyt massakakut, jotka valmistettiin suodattamalla Büchner-supillon ja imupullon avulla. Suodattamiseen käytettiin kolminkertaista 100 meshin suodatinkangasta. (SCA 2013c). Massakakut kuivattiin alipainelämpökuivaimella ja näytteet merkittiin. Vaaleusmittarilla tutkittiin näytteistä vaaleutta D65- ja C2-valoilla.



KUVA 1. Büchner-suppilo ja imupullo sekä alipainelämpökuivain (Kuvat: Laura Warjus 2017)



KUVA 2. Lorentzen & Wettre vaaleusmittari ja massanäytteitä (Kuva: Laura Warjus 2017)

Työssä tutkittiin massojen vaaleutta, mutta myös vaaleuden muutosta näytepisteiden välillä. Vaaleuksia myös verrattiin aikaisempiin operaattoreiden tekemiin näytekierrosten tuloksiin vuodelta 2016.

7.2 Vaahdotuksen tutkiminen

Vaahdotuskennojen säädöt olivat ennen työn aloitusta hyvin erilaiset kennojen välillä. Työssä keskityttiin tutkimaan vaaleuden muutosta lajilla U1, sillä U1 lajia ajetaan enemmän kuin lajia U3. Kokeita suoritettiin kuitenkin myös lajilla U3. Työssä perehdyttiin tutkimaan ilmastusta ja massan takaisin kierrätystä vaahdotuskennoissa. Nämä pyrittiin optimoimaan tuottamaan parempaa vaaleutta ja toimimaan samalla tavalla kaikissa kennoissa. Työssä tutkittiin myös sakeuden muutoksen sekä Nopcoflot EGA 340 silikonijohdannaisen vaikutusta vaaleuteen. Työssä ei tutkittu muita vaahdotukseen vaikuttavia tekijöitä, kuten prosessin pH:ta ja lämpötilaa.



KUVA 3. SCA Nokian siistauslaitoksen vaahdotuskennot 1 – 4 (Kuva: Laura Warjus 2017)

7.3 Vaahdotuskennon ilmamäärän tutkimus vaahdotuskennossa

Vaahdotuskentöjen ilmamäärää tutkittiin muuttamalla yksittäisen kentöjen ilmamääriä. Ilmamäärää muutettiin silmämääräisesti arvioimalla syntyvän vaahdon tummuutta, kokoa, määrää ja kykyä irrottaa partikkeleita massasta. Ilmamäärää muutettiin myös laite-toimittajan Sunds värinpoistokentö -ohjekirjan (liite 1) ohjeistuksen mukaisesti.

Kentöissa 1 ja 3 on perälaatikon tapainen massan syöttö kentöon. Perälaatikkoon tuleva ilma on paineilmaa, jota säädellään paineilmaventtiileillä. Ensimmäinen venttiili on pääventtiili jonka jälkeen ilmanlisäysletku jakaantuu kahdeksi. Molemmissa haarautuvissa letkuissa on erilliset venttiilit tarkempaa säätöä varten. Näiden venttiilien läpi kulkeva ilma mitataan rotametreissä. Ilmaa syötetään sekoituskammioon ilmanlisäysputkien kautta ylä- ja alapuolelta massan sekaan. Rotametrien mahdollisen mittauskyvyn puutteen takia osa mittauksista suoritettiin laskemalla käsiventtiilien asentojen kulmia. Kulman mittaukset suoritettiin kuvan 6 osoittamalla tavalla. Ilman syötön tutkimukset tehtiin kentöossa 1. Tulosten perusteella kentöon 3 tehtiin samanlaiset muutokset, olettaen että kentö 3 toimii samalla tavalla kuin kentö 1.



KUVA 4. Kennojen 1 ja 3 massan syöttö ja ilmastus. (Kuva: Laura Warjus 2017)



KUVA 5. Kennojen 1 ja 3 ilmastuksen säätö käsiventtiileillä ja mittaus rotametreillä (Kuva: Laura Warjus 2017)



KUVA 6. Käsiventtiilien kulmien mittaus (Kuva: Laura Warjus 2017)

Kennojen 2 ja 4 ilmastukset on uudistettu 90-luvulla 1 ja 3 kennojen tyylisestä ilmastuksesta. Kennoissa 2 ja 4 on pillistö-tyylinen massan syöttö. Kahden peräkkäisen pillistön väliin kulkeutuu ilmaa venturi-ilmiön avulla. Ilma tulee konesalista ja sen määrää säädelään DNA-näytöltä. Ilman syötön tutkimukset tehtiin kennossa 4. Tulosten perusteella kennoon 2 tehtiin samanlaiset muutokset, olettaen että kenno 2 toimii samalla tavalla kuin kenno 4.



KUVA 7. Pillistö-tyylinen massansyöttö kennoissa 2 ja 4. (Vasen kuva: Laura Warjus 2017, Oikea kuva: Jari Juvonen 2017)

7.4 Massan takaisinkierrätyksen tutkimus vaahdotuskennossa

Koeajossa tutkittiin massan takaisinkierrätyksen vaikutusta vaahdotuksen vaaleuteen. Kennossa olevan massan ja syötöstä tulevan uuden massan suhdetta voidaan muuttaa säätämällä ns. takaisinkierrätyksen venttiiliä (iv). Tämä venttiili sijaitsee kennon pumpun imupuolella, jolla saadaan muutettua jo kennossa olevan massan määrää uudelleen syöttöön. Teoriassa, mitä enemmän massa kiertää takaisinkierrätyksen kautta, sitä enemmän massa puhdistuu epäpuhtauksista. Takaisinkierrätyksessä sijaitsee myös toinen venttiili pumpun syötön puolella (sv). Tällä venttiilillä säädellään massavirran kokonaismäärää. Syötön puolen venttiilien säätöjä ei tutkittu tässä työssä.

Sunds värinpoisto -ohjekirjan (liite 1) mukaan takaisinkierrätyksen järjestelmän tarkoitus on lisätä virtausmäärää kennoissa, joiden kapasiteetti on 4 000 – 6 000 l/min. Virtausmäärän lisäämiseksi tietty määrä massaa kierrätetään kennosta sekoituskammioon, minkä ansiosta vain osa massasta jatkaa matkaa kennosta pois. Tämä yksinkertaistaa massavirran muutosten valvomista, koska virtaavan massan kokonaismäärä ei riipu sisään tulevasta massamäärästä, jonka muutoksia pintamittaus säätää.

Massan kierron tutkimukset tehtiin kennossa 1. Kennon 1 kierrätyksen venttiili on merkitty V1204. Venttiilin säätöä mitattiin kuvan 8 mukaisesti. Mitä suurempi on lukema (mm), sitä enemmän venttiili on auki. Tulosten perusteella muihin kennoihin tehtiin samanlaiset muutokset, olettaen että kaikki kennot toimivat samalla tavalla.



KUVA 8. Venttiilin säädön mittaaminen. (Kuva: Laura Warjus 2017)

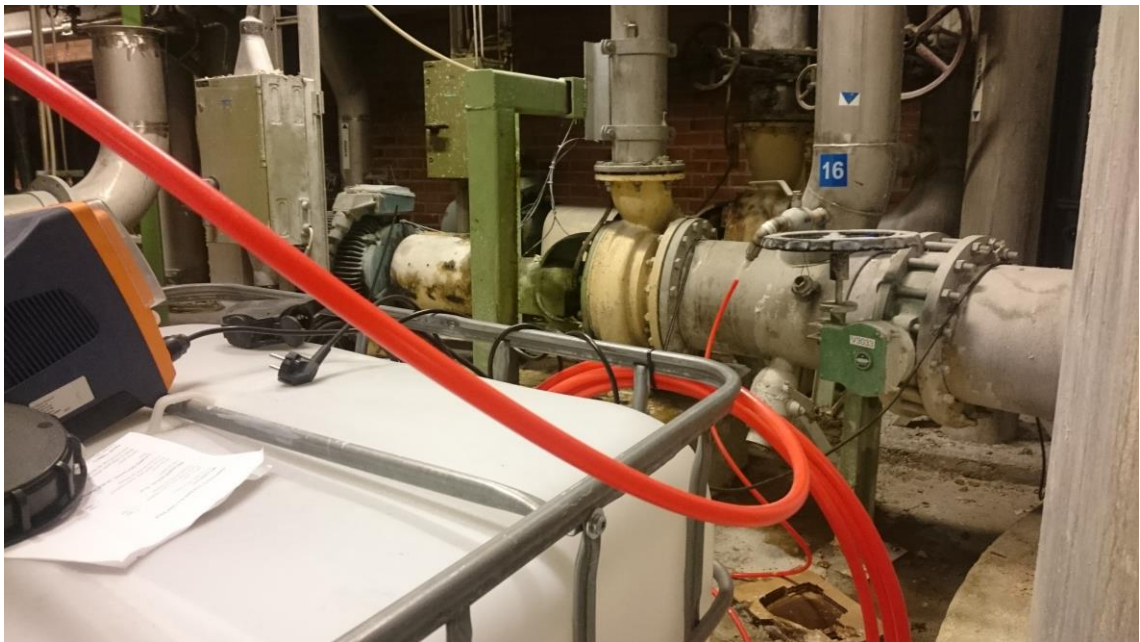
7.5 Kemikaalin koeajot

Kemikaalin koeajot suoritettiin kolmessa osassa tutkimalla kuinka uusi silikonijohdannainen Nopcoflot EGA 3040 vaikuttaa lajin U1 vaaleuteen. Kemikaalien koeajojen aikana prosessi pyrittiin pitämään vakiona, tekemättä muutoksia vaahdotukseen tai resepteihin.

Ensimmäinen tutkimus suoritettiin askelvastekokeena. Kemikaalia syötettiin annostelupumpulla ennen vaahdotuksen syöttöä. Annostelut toteutettiin lisäämällä 0g, 150g, 300g, 450g ja 0g tuotetta yhtä siistaustonnin kohti. Tästä saatiin annostelupumpun syöttämän kemikaalin virtausnopeudeksi 0 l/h, 0,75 l/h, 1,5 l/h, 2,5 l/h. Massanäytteet otettiin vaahdotuksen syötöstä, kennon 1 jälkeen ja kennon 4 jälkeen.

Ensimmäinen koeajo suoritettiin askelvastekokeen tulosten pohjalta. Koeajo suoritettiin pidempiaikaisella annostuksella 300 g/siistaustonni. Massanäytteet otettiin vaahdotuksen syötöstä, kennon 1 jälkeen ja kennon 4 jälkeen.

Toinen koeajo suoritettiin kennojen optimoinnin jälkeen 200 g/t annostuksella. Koeajossa tutkittiin vaikuttaako kennojen optimointi kemikaalin toimintaan, kemikaalin annostelun ollessa päällä pidemmän aikaa. Koeajoon sisältyi pidempi vertailujakso ilman kemikaalia. Massanäytteet otettiin vaahdotuksen syötöstä ja kennon 4 jälkeen.



KUVA 9. Kemikaalin annostelu ennen vaahdotuksen syöttöä (Kuva: Laura Warjus, 2017)

7.6 Kennojen optimointi

Kennojen optimoinnin tarkoituksena oli yrittää asettaa vaahdotuksen kennot tuottamaan vaaleampaa massaa, kuin ennen optimointia. Tämän lisäksi pyrittiin saamaan kennoihin yhteneväiset asetukset. Tätä tutkittiin vertailemalla yksittäisten kennojen vaaleuden muutosta. Optimointi tehtiin säätelämällä kierrätystä ja ilmamäärää kennoissa.

7.7 Massan sakeuden tutkimus vaahdotuskennoissa

Massan sakeuden vaikutusta vaahdotukseen tutkittiin kennojen optimoinnin jälkeen. Massan sakeutta muutettiin laitetoimittajan Sunds värinpoistokennot -ohjekirjan sekä teorian lähteiden mukaisesti. Normaalituotannossa vaahdotukseen tulevan massan sakeus on noin 1,0 %.

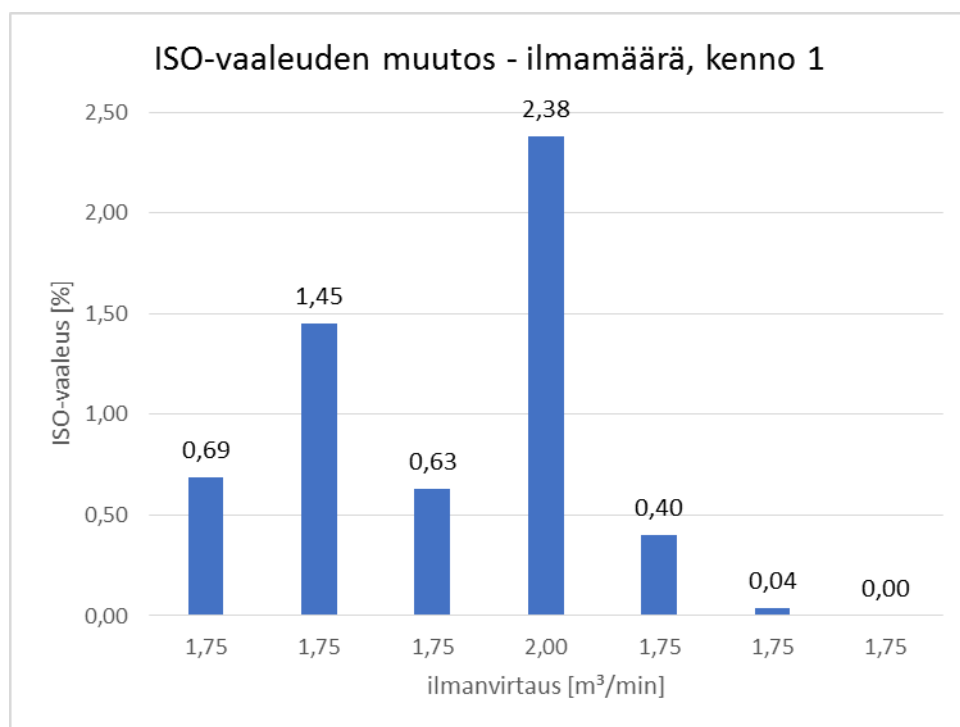
8 TULOKSET JA ANALYSOINTI

8.1 Ilmamäärän tutkimus vaahdotuskennossa

Kennossa 1 tehtiin ilmamäärän muutoksia liitteiden 2 – 5 mukaisesti. Tulosten yhteenvetona saatiin taulukon 8 mukaiset ISO-vaaleudet. Vaaleuden muutokset on esitetty kuviossa 49.

TAULUKKO 8. ISO-vaaleus kennon 1 ilmamäärän muutoksilla

venttiilien kulmat [°]		ilmamäärä [m ³ /min]	syöttö vaahdotukseen	kenno 1 jälkeen	vaaleuden muutos [%]
pääventtiili	pienet venttiilit				
70	75	1,75	73,41	74,10	0,69
70	65	1,75	72,77	74,22	1,45
70	45	1,75	73,35	73,98	0,63
50	45	2,00	72,83	75,21	2,38
70	30	1,75	73,31	73,71	0,40
70	50	1,75	73,20	73,24	0,04
70	60	1,75	72,62	72,62	0,00

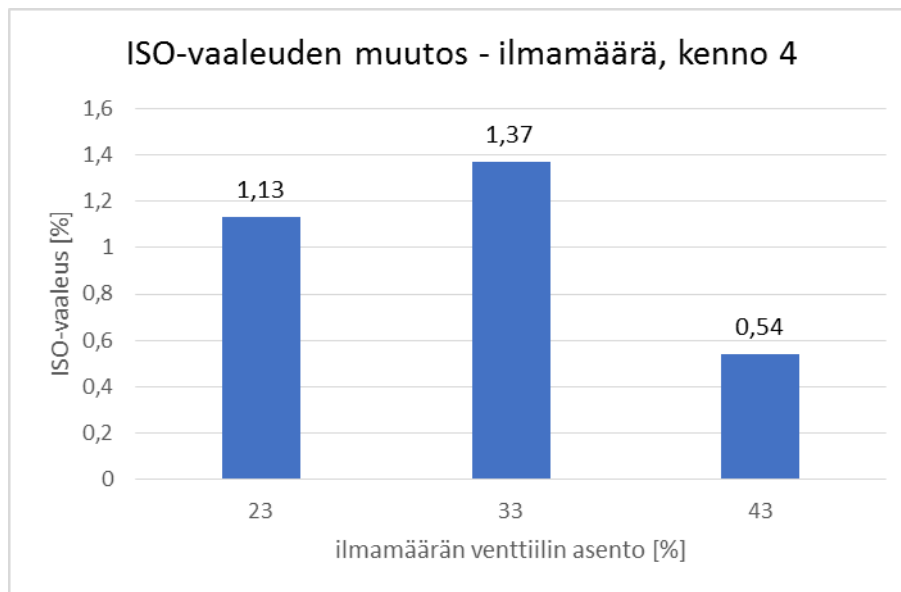


KUVIO 49. ISO-vaaleuden muutos – ilmamäärä, kenno 1

Kennossa 4 ilmamäärän muutoksia tehtiin liitteiden 6 ja 7 mukaisesti. Tulosten yhteen-
vetona saatiin taulukon 9 mukaiset ISO-vaaleudet. Kuviossa 50 on esitetty vaaleuden
muutokset.

TAULUKKO 9. ISO-vaaleus kennon 4 ilmamäärän muutoksilla

venttiili [%]	syöttö kennoon 4	kennon 4 jälkeen	vaaleuden muutos [%]
23	73,52	74,64	1,13
33	73,83	75,2	1,37
43	74,49	75,03	0,54



KUVIO 50. ISO-vaaleuden muutos – ilmamäärä, kenno 4

Ilmamäärän muutoksissa havaittiin, että ilmalla on suuri vaikutus vaaleuteen. Kennossa 1, jossa on eniten epäpuhtauksia, tapahtuu enemmän vaaleuden nousua kuin myöhem-
mässä vaiheessa olevassa kennossa 4, jossa on teoriassa vähemmän epäpuhtauksia. Liian
suuri ilmamäärä voi tuoda lisävaaleutta, mutta tällöin visuaalisesti tutkittuna tapahtuu
kennoissa massapinnan aaltoilua, mikä lisää kuituhäviötä. Tämän vuoksi parhaaksi ilma-
määrän tulokseksi on arvioitu kennossa 1 (ja 3) noin 2,0 m³/min ja kennossa 4 (ja 2) noin
33 % (venttiilin asento).



KUVA 10. Kennossa 4 27.10.2017 kokeessa 1, ilmamäärä 23 % (Kuva: Laura Warjus 2017)



KUVA 11. Kennossa 4 27.10.2017 kokeessa 2, ilmamäärä 33 % (Kuva: Laura Warjus 2017)



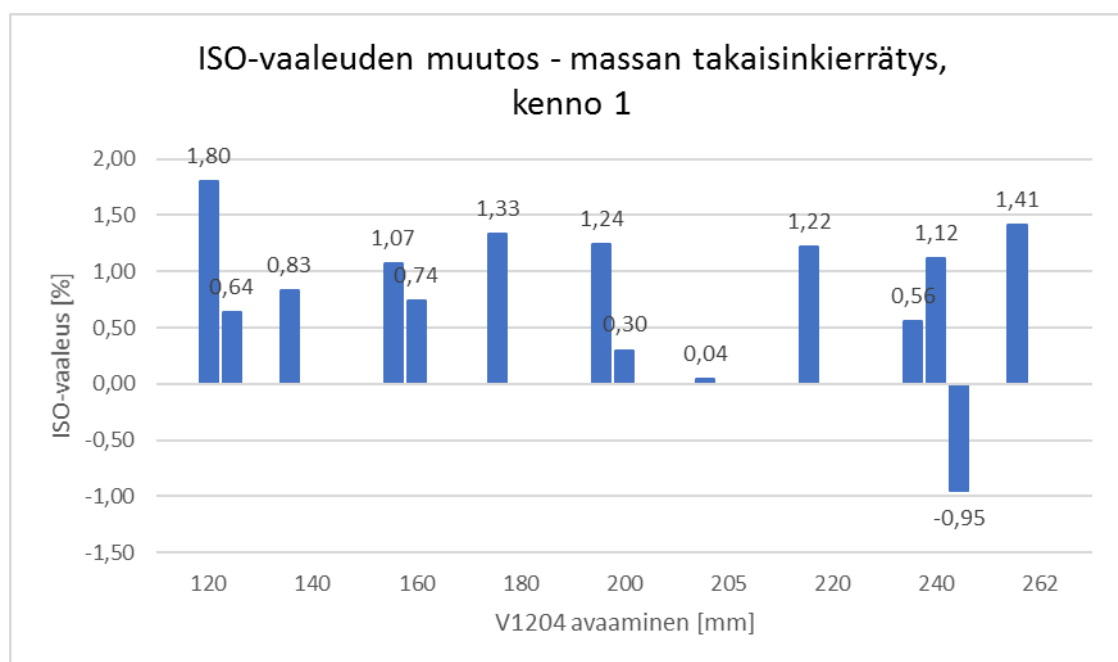
KUVA 12. Kennossa 4 27.10.2017 kokeessa 3, ilmamäärä 43 % (Kuva: Laura Warjus 2017)

8.2 Massan takaisinkierätyksen tutkimus vaahdotuskennossa

Kennossa 1 tehtiin massan takaisinkierätyksen muutoksia liitteiden 8 – 13 mukaisesti. Tulosten yhteenvetona saatiin taulukon 10 mukaiset ISO-vaaleuden muutokset. Kuviossa 51 on esitetty vaaleuden muutokset.

TAULUKKO 10. ISO-vaaleuden muutos kierrätyksen venttiiliä avaamalla

V1204 [mm]	vaaleuden muutos [%]		
120		1,80	0,64
140	0,83		
160	1,07	0,74	
180	1,33		
200	1,24	0,30	
205	0,04		
220	1,22		
240	0,56	1,12	-0,95
262	1,41		



KUVIO 51. ISO-vaaleuden muutos – massan takaisinkierätys, kenno 1

Kierätyksen muutoksissa havaittiin, että vaaleuden muutos vaihtelee paljon mittauksia toistettaessa. On vaikea määrittellä kennoihin sopiva asetus, joka parantaisi vaaleutta, sillä erot asetusten välillä on pieniä.

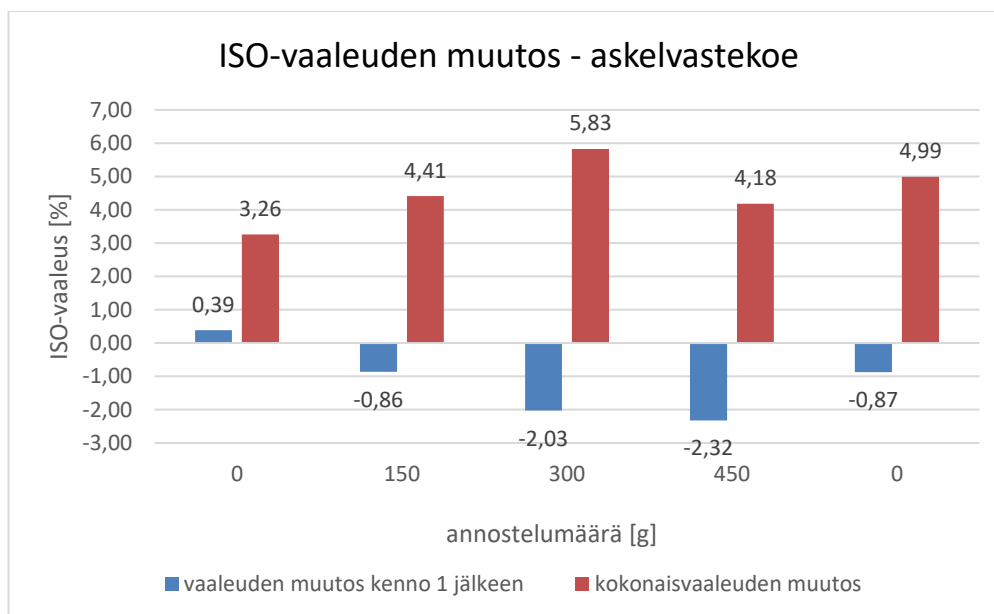
8.3 Kemikaalin koeajot

8.3.1 Askelvastekoe

Nopcoflot EGA 3040 askelvastekoe tehtiin liitteiden 14 ja 15 mukaisesti. Askelvastekoesta saatiin taulukon 11 mukaiset tulokset ISO-vaaleudelle. Vaaleuden muutokset on esitetty kuviossa 52.

TAULUKKO 11. ISO-vaaleus askelvastekokeessa

annos [g/t]	syöttö vaahdotukseen	kenno 1 jälkeen	kenno 4 jälkeen	vaaleuden muutos kenno 1 jälkeen	kokonaisvaaleuden muutos [%]
0	73,07	73,45	76,33	0,39	3,26
150	71,95	71,08	76,36	-0,86	4,41
300	70,53	68,50	76,36	-2,03	5,83
450	72,43	70,11	76,61	-2,32	4,18
0	69,47	68,60	74,46	-0,87	4,99



KUVIO 52. ISO-vaaleuden muutos – askelvastekoe

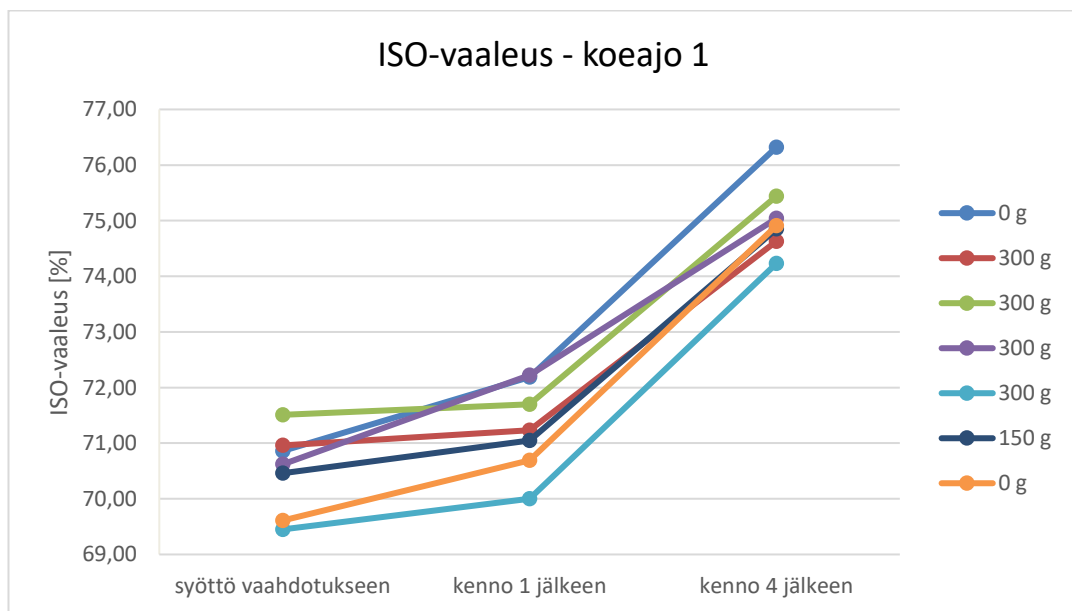
Askelvastekokeesta pääteltiin, että 300 g/t annostelumäärä tuo parhaimman vaaleuden muutoksen vaahdotuksessa. Kokeessa nähtiin myös, että kemikaali tummentaa massaa kennossa 1. Tätä perusteltiin kemikaalin pesuominaisuudella. Kemikaali puhdistaa kennoa irrottamalla likaa kennon seinämistä joka kulkeutuu massan mukaan. Tämä saa aikaan vaaleuden alenemisen. Aikaa myöden kennon puhdistumisen jälkeen kennon vaaleuden ei pitäisi enää laskea.

8.3.2 Koeajo 1

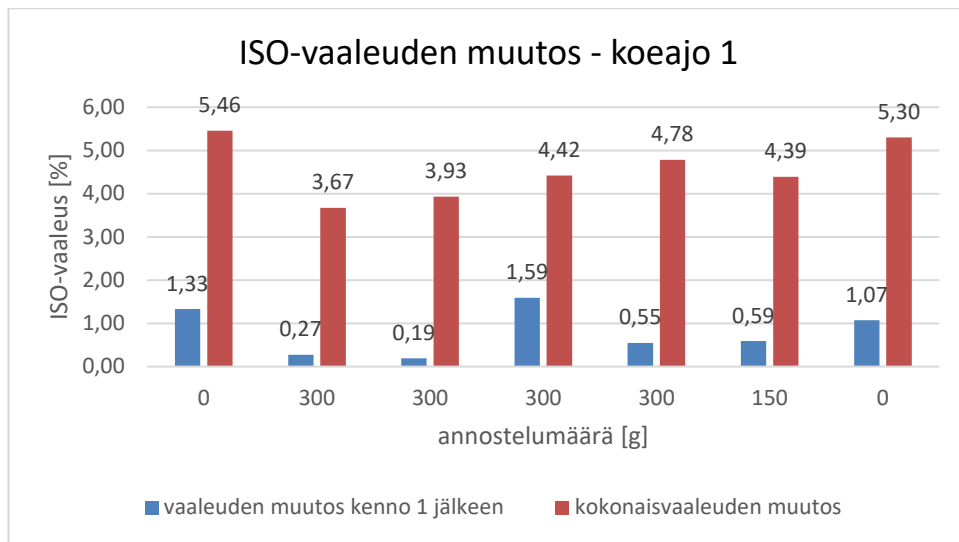
Askelvastekokeen tulosten pohjalta tehtiin koeajo 1 Nopcoflot EGA 3040 kemikaalilla. Koeajo 1 suoritettiin liitteiden 16 ja 17 mukaisesti. Koeajosta saatiin taulukon 12 mukaiset tulokset vaaleudelle. Kuviossa 53 on esitetty vaaleudet vaahdotuksen eri vaiheissa ja kuviossa 54 vaaleuden muutokset.

TAULUKKO 12. ISO-vaaleus koeajossa 1

annos [g/t]	syöttö vaahdotukseen	kenno 1 jälkeen	kenno 4 jälkeen	vaaleuden muutos kenno 1 jälkeen	kokonaisvaaleuden muutos [%]
0	70,86	72,19	76,32	1,33	5,46
300	70,96	71,23	74,63	0,27	3,67
300	71,51	71,70	75,44	0,19	3,93
300	70,62	72,22	75,04	1,59	4,42
300	69,45	70,00	74,23	0,55	4,78
150	70,46	71,05	74,85	0,59	4,39
0	69,61	70,69	74,91	1,07	5,30



KUVIO 53. ISO-vaaleus – koeajo 1



KUVIO 54. ISO-vaaleuden muutos – koeajo 1

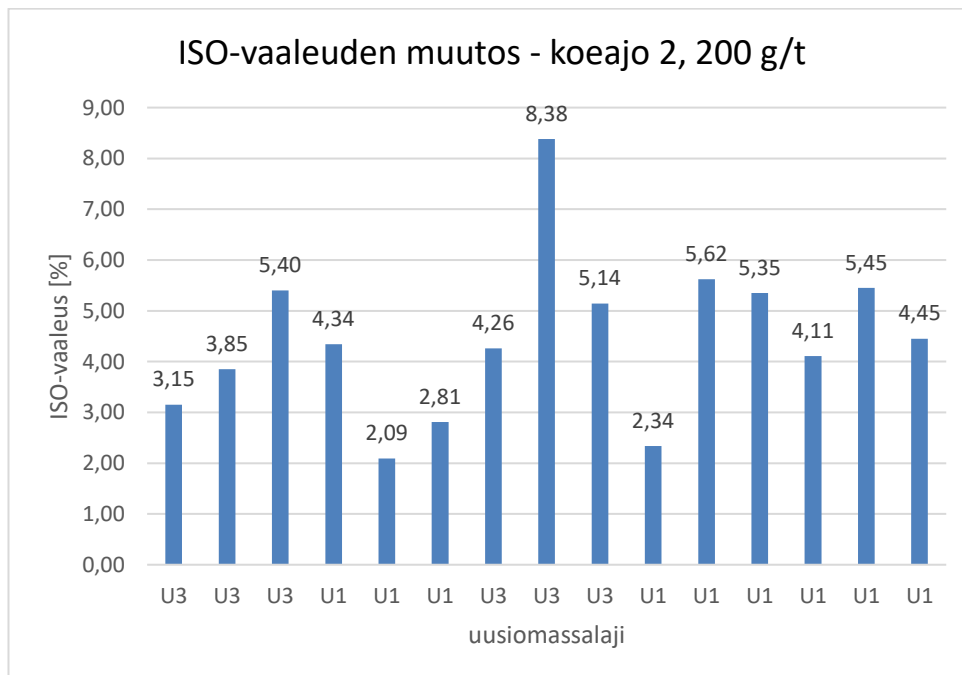
Koeajosta 1 voitiin päätellä, että kemikaali ei nosta kokonaisvaaleutta verrattuna vaahdotusta ilman kemikaalia. Tuloksista nähtiin myös se, että kemikaali ei enää vaikuta tummentavasti kennossa 1. Tämä tukee ajatusta, että kemikaali on puhdistanut kennon seinämiä, eikä epäpuhtauksia enää kulkeudu mukana.

8.3.3 Koeajo 2

Koeajon 1 tulosten pohjalta tehtiin pidempi koeajo 2, joka suoritettiin vaahdotuskennojen optimoinnin jälkeen. Kemikaalin annostelumääräksi asetettiin 200 g/t. Koeajo 2 suoritettiin liitteiden 18 – 21 mukaisesti. Kemikaalin annostelun ollessa päällä, saatiin taulukon 13 mukaiset tulokset. Kuviossa 55 on esitetty vaaleuden muutokset.

TAULUKKO 13. ISO-vaaleuden muutos kemikaalin ollessa päällä

uusiomassalaji	kokonaisvaaleuden muutos [%]
U3	2,53
U3	2,83
U3	4,00
U1	3,15
U1	3,85
U1	5,40
U3	4,34
U3	2,09
U3	2,81
U1	4,26
U1	8,38
U1	5,14
U1	2,34
U1	5,62
U1	5,35
U1	4,11
U1	5,45
U1	4,45

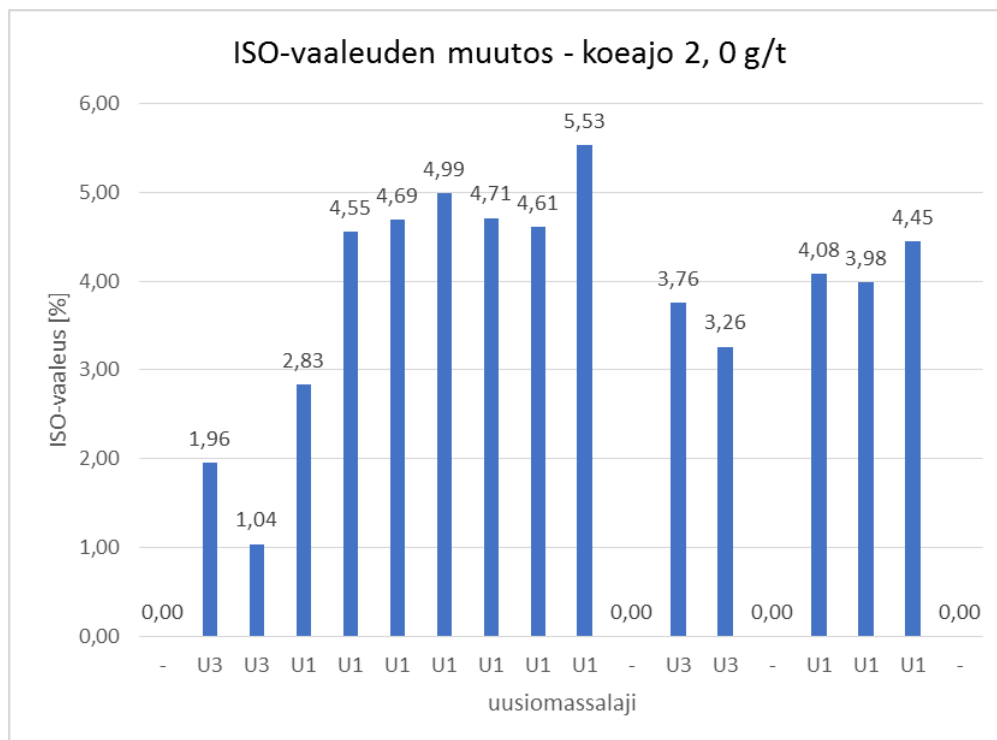


KUVIO 55. ISO-vaaleuden muutos – koeajo 2, 200 g/t

Taulukossa 14 on esitetty tulokset kemikaalin annostelun ollessa pois päältä. Kuviossa 56 on esitetty näiden tulokset pylväsdiagrammina.

TAULUKKO 14. ISO-vaaleuden muutos ilman kemikaalia

uusiomassa- laji	kokonaisvaaleuden muutos [%]
-	-
U3	1,96
U3	1,04
U1	2,83
U1	4,55
U1	4,69
U1	4,99
U1	4,71
U1	4,61
U1	5,53
-	-
U3	3,76
U3	3,26
-	-
U1	4,08
U1	3,98
U1	4,45
-	-



KUVIO 56. ISO-vaaleuden muutos – koeajo 2, 0 g/t

Taulukossa 15 on esitetty koeajon 2 tuloksista keskiarvot ja keskihajonnat lajille U1.

TAULUKKO 15. Koeajon 2 tulokset

U1	200 g/t	0 g/t	erotus
keskiarvo	4,79	4,44	0,35
keskihajonta	1,45	0,68	0,77

Tuloksista voidaan havaita, että kemikaalin ollessa päällä vaaleuden muutoksessa on hie-
man eroa. Kemikaalin annostelu paransi tulosta 0,35 prosenttiyksikköä. Jos tuloksista jä-
tetään huomioimatta alle 3,0 prosenttiyksikön ja suuremmat kuin 6,0 prosenttiyksikön
tulokset saadaan taulukon 16 mukaiset tulokset. Kemikaalin annostelun vaikutuksen tulos
laski 0,06 prosenttiyksikköön.

TAULUKKO 16. Koeajon 2 tulokset < 3,0 % ja > 6,0 % tuloksilla

U1	200 g/t	0 g/t	erotus
keskiarvo < 3,0 % tuloksilla ja > 6,0 %	4,68	4,62	0,06
keskihajonta < 3,0 % tuloksilla ja > 6,0 %	0,79	0,44	0,35

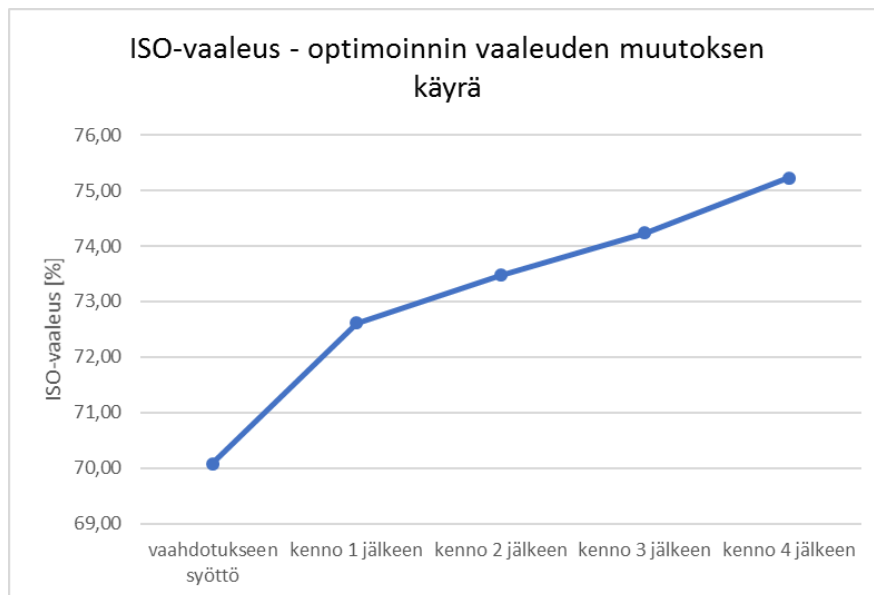
8.4 Kennojen optimointi

Kennojen optimoinnit tehtiin liitteiden 22 – 29 mukaisesti. Kennojen optimoinnin tulok-
sista saatiin parhaimmaksi tulokseksi taulukon 17 mukaiset asetukset.

TAULUKKO 17. Vaahdotuksen optimaalisin asetus

	ilmamäärä	massan takaisin kierrätys	
		imupuolen venttiili	syötön puolen venttiili
kenno 1	2 m ³ /min	120 mm	110 mm
kenno 2	33 %	120 mm	250 mm
kenno 3	2 m ³ /min	120 mm	250 mm
kenno 4	33 %	120 mm	190 mm

Optimoinnilla kennojen vaaleuden muutos tapahtuu kuvion 57 mukaisesti.

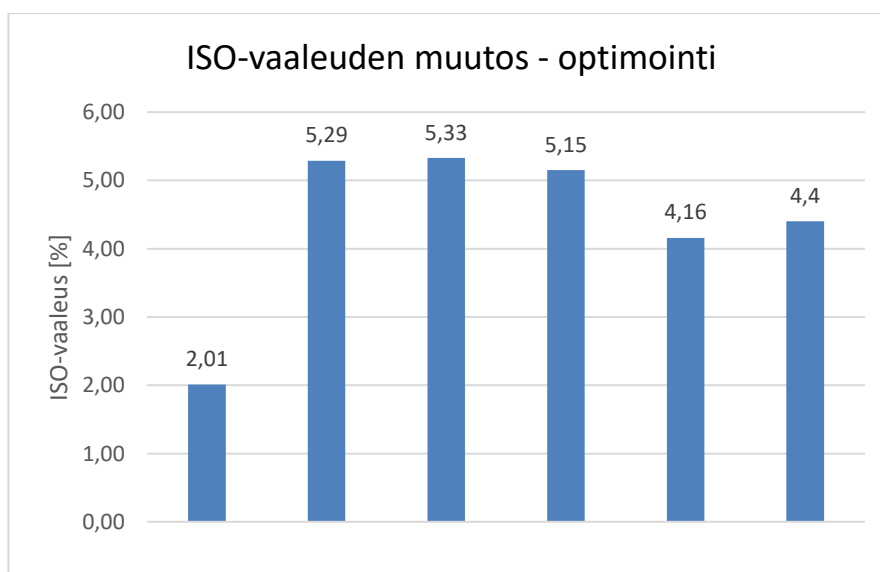


KUVIO 57. ISO-vaaleus – optimoinnin vaaleuden muutoksen käyrä

Taulukossa 18 on esitetty optimoinnin tutkimisen aikana saadut parhaan asetuksen tulokset. Kuviossa 58 on esitetty optimoinnin jälkeisiä vaaleuden muutoksia.

TAULUKKO 18. Optimoinnin ISO-vaaleus

syöttö vaahdotukseen	kenno 4 jälkeen	kokonaisvaaleuden muutos [%]
74,73	76,74	2,01
67,97	73,26	5,29
70,49	75,82	5,33
70,08	75,23	5,15
70,91	75,07	4,16
68,06	72,46	4,4



KUVIO 58. ISO-vaaleuden muutos – optimointi

Taulukossa 19 on esitetty optimoinnin parhaiden tulosten keskiarvot ja keskihajonnat.

TAULUKKO 19. Optimoinnin tulokset

	kokonaisvaaleuden muutos [%]
keskiarvo	4,87
keskihajonta	0,49

Kaikki vaahdotuksen tutkimuksen aikana tehdyt optimoinnin tulokset on esitetty taulukossa 20. Näiden tulosten keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 21. Näitä arvoja verrattiin vuoden 2016 vaahdotuksen tilastoihin (liite 36).

TAULUKKO 20. ISO-vaaleus - kaikki optimointitulokset

kokonaisvaaleuden muutos [%]
2,01
5,29
5,33
5,15
4,16
4,40
2,83
4,55
4,69
4,99
4,71
4,61
5,53
4,08
3,98
4,45

TAULUKKO 21. Kaikkien optimointitulosten vertailu vuoden 2016 tuloksiin

	kokonaisvaaleuden muutos [%]		
	optimointi	2016	erotus
keskiarvo	4,42	4,1	0,32
keskihajonta	0,62	-	-

Vaahdotuksen optimointi nosti vaaleutta 0,32 prosenttiyksikköä verrattuna vuoden 2016 tilastoihin. Optimointitulosten hajonta on melko suurta 0,62, mikä vaikuttaa tuloksiin paljon. < 3,0 % tulosten huomiotta jättämisen jälkeen vaaleuden muutos on taulukon 22 mukainen.

TAULUKKO 22. < 3,0 % tulosten huomiotta jättäminen optimointituloksista

	kokonaisvaaleuden muutos [%]		
	optimointi	2016	erotus
keskiarvo	4,71	4,1	0,61
keskihajonta	0,47	-	-

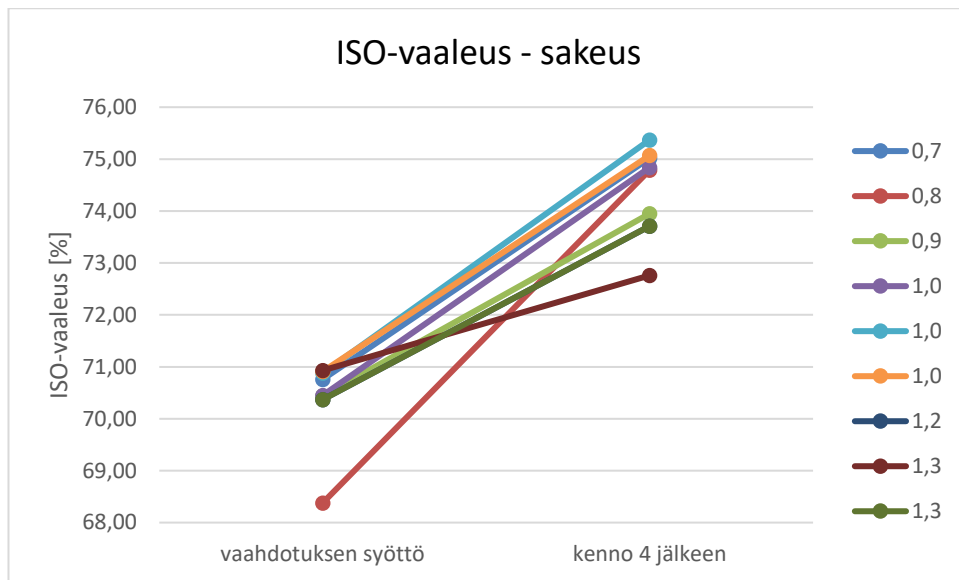
Taulukon 22 mukaan optimointi nosti vaaleutta 0,61 prosenttiyksikköä keskihajonnan ollessa vain 0,47.

8.5 Massan sakeuden tutkimus vaahdotuskennossa

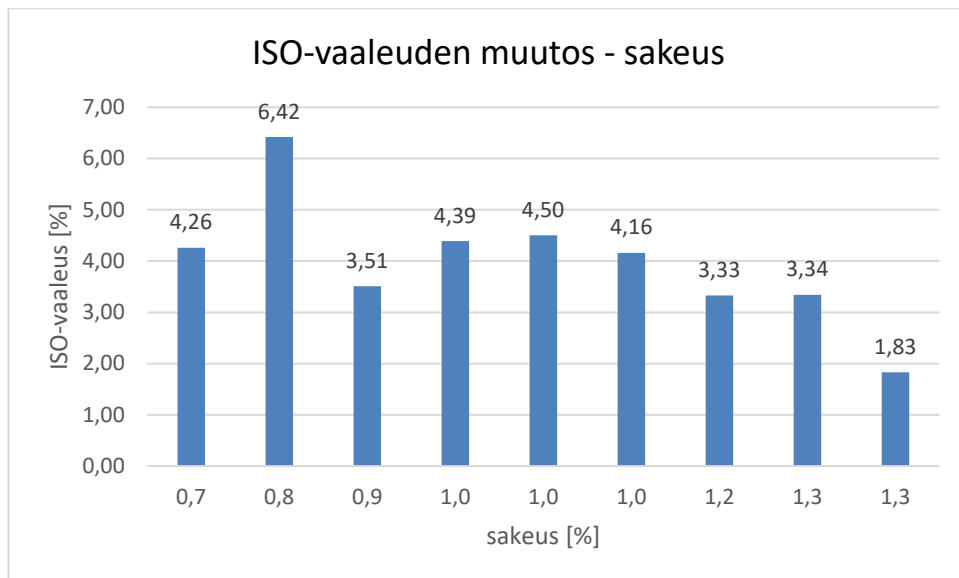
Massan sakeuden vaikutusta vaahdotukseen tutkittiin liitteiden 30 – 35 mukaisesti. Sakeuden muutoksista saatiin taulukon 23 mukaiset tulokset. Vaaleus muuttuu vaahdotuksessa kuvioiden 59 ja 60 mukaisesti.

TAULUKKO 23. ISO-vaaleus sakeuden muutoksessa

sakeus [%]	vaahdotuksen syöttö	kenno 4 jälkeen	kokonaisvaaleuden muutos [%]
0,7	70,76	75,02	4,26
0,8	68,38	74,79	6,42
0,9	70,44	73,95	3,51
1,0	70,45	74,84	4,39
1,0	70,88	75,37	4,50
1,0	70,91	75,07	4,16
1,2	70,71	74,05	3,33
1,3	70,37	73,71	3,34
1,3	70,93	72,76	1,83



KUVIO 59. ISO-vaaleus – sakeus



KUVIO 60. ISO-vaaleuden muutos – sakeus

Kuvioista 59 ja 60 voitiin päätellä, että 0,8 % sakeuden suuri vaaleuden muutos tapahtui vaahdotuksen syötön alhaisen vaaleuden takia. Muut mittaukset olivat maltillisempia. Sakeuden ollessa > 1,0 % vaaleuden muutos pienenee. Normaalin tuotannon ajon sakeudella, noin 1,0 %, saatiin parhaimpia tuloksia.

9 POHDINTA

9.1 Ilmamäärän tulokset

Ilmamäärän vaikutusta tutkiessa vaahdotukseen huomattiin, että ilmamäärällä on tärkeä vaikutus vaahdotukseen. Periaatteessa mitä suurempi ilmamäärä, sitä parempi vaaleus. Ilmaa ei voi lisätä rajattomasti sillä kennojen massanpinta aaltoilee voimakkaammin ilmamäärää lisätessä.

Sunds ohjekirjan mukaan riittävä ilmamäärä on 15 % massan määrästä. 1 ja 3 kennoihin optimoitu ilmamäärä 2,0 m³/min on 8 300 l/min tuotantomäärästä noin 25 %. Noin 15 % ilmamäärällä saatiin vaaleuden muutoksista noin puolet pienempiä, kuin 25 % ilmamäärällä, mikä kertoo ohjekirjan kertoman ilmamäärän riittämättömyyden.

9.2 Massan takaisinkierätyksen tulokset

Massan takaisinkierätyksen tuloksissa huomattiin, että venttiilin avaamisella ei ollut merkittävää vaikutusta massan vaaleuteen. Tutkimuksissa syötön alhainen vaaleus hieinan vääristää vaaleuden muutosta, sillä massassa on epäpuhtauksia enemmän kuin korkeamman vaaleuden massassa. Esimerkiksi V1204 venttiilin ollessa 120 mm tulokseksi saatiin 1,80 prosenttiyksikön vaaleuden muutos. Kyseiseen korkeaan tulokseen vaikutti alhainen syötön vaaleus mikä oli vain 66,75 ISO. Korkein syötön vaaleus oli 74,43 prosenttiyksikköä takaisinkierätyksen tutkimuksissa. Tämän tulokseksi saatiin vain 0,04 prosenttiyksikön vaaleuden parannus, V1204 ollessa auki 205 mm. Tutkimus 240 mm:llä toi hyvin ristiriitaisia tuloksia. Tällä asetuksella mittaukset toistettiin kolme kertaa. Vaaleudet muuttuivat 1,12; 0,56; -0,95 prosenttiyksikköä. 1,12 ja -0,95 tulosten syötetyn massan vaaleudet olivat molemmissa melkein samat: 73,38 ja 73,23. Tutkimuksessa ei tarkasteltu kierätyksessä olevaa toista, syötön puolella olevaa venttiiliä.

9.3 Kennojen optimoinnin tulokset

Optimaalisen vaahdotuksen tulokseen päädyttiin aikaisempien tutkimusten pohjalta. Suurilta osin optimaaliseen toimintaan päädyttiin visuaalisella arvioinnilla. Tämän jälkeen tehtiin pieniä muutoksia, joita tutkittiin massan vaaleuden mittauksilla. Optimoinnissa

pääosassa olivat ilmamäärät, mitä teoriakin tukee. Ilmamäärä on tärkein ominaisuus vaahdotuksessa. Kaikkien optimoinnin jälkeisten vaaleuden muutosten keskiarvo on 4,42. Tuloksessa on suuri hajonta 0,62, sillä tuloksissa on muutama alle 3,0 prosenttiyksikön vaaleuden muutos. Esimerkiksi tulokseksi 2,01 saadun vaahdotuksen syötön vaaleus on 74,73 mikä on korkea syötölle. Verrattaessa vuoden 2016 tuloksiin optimointi paransi vaaleutta 0,32 prosenttiyksikköä. Jättämällä keskiarvosta ja keskihajonnasta pois alle 3,0 tulokset, vaaleuden muutokseksi saadaan 4,71 hajonnalla 0,47. Tätä verrattaessa vuoden 2016 tuloksiin saatiin optimoinnilla parannettua vaaleutta 0,61 prosenttiyksikköä.

9.4 Kemikaalin koeajojen tulokset

Nopcoflot EGA 3040 -kemikaalin vaikutusta vaaleuteen pidettiin vähäisenä, suhteessa kemikaalin käytön hintaan. Kemikaalin annostelu koeajossa 2 paransi vaaleutta 0,06 prosenttiyksikköä verrattuna tuloksiin ilman kemikaalia. Kemikaalin annostelun vaaleuksissa hajonta oli melko suurta 0,79, mikä kertoo jälleen vaihtelevasta syötön vaaleudesta. Kemikaalin käyttö on lisäkustannus vaahdotuksessa. Kemikaalin aiheuttaman vaaleuden muutoksen taloudellinen hyöty pitää olla suurempi kuin kemikaalin käyttöönotto, että kemikaalia olisi taloudellista käyttää.

9.5 Massan sakeuden tutkimuksen tulokset

Sakeuden muutoksen kokeissa havaittiin, että sakeuden nostaminen nykyisestä noin 1,0 % ei ole kannattavaa vaaleuden kannalta. Myöskään sakeuden laskeminen ei ole kannattavaa, sillä vaaleus ei näytä paranevan laskun myötä. Alemmassa sakeudessa kulutetaan enemmän energiaa, jolloin vaaleuden noususta koituva taloudellinen hyöty pitäisi olla suurempi kuin lisäenergiaan käytetty rahallinen panos. Kokeissa esiintyvä 6,42 prosenttiyksikön nousu selittyy alhaisesta syötön vaaleudesta.

Sunds ohjekirjan ilmoittama asetus sakeudelle on 1,7 – 1,8 %. Näin korkeisiin sakeuksiin ei päästy kokeissa. Jo 1,3 % sakeudessa vaaleuden muutos tippui sen verran, että sakeutta ei enää päätetty nostaa.

9.6 Muita havaintoja

Vaahdotuksen tutkimuksessa huomattiin melko pian, että vaahdotuskennot eivät rakenteeltaan ole samanlaisia kuin teorioissa kuvailut kennot. Tehtaan vaahdotuskennot eroavat rakenteeltaan ilmansyötön, massan takaisinkierätyksen sekä rejektin poiston osalta. Kennoja voidaankin kuvailla dynaamisiksi muihin malleihin verrattuna. Ilmansyöttö tapahtuu samalla kohdalla massan syötön kanssa. Massan takaisinkierätys tuo kennoihin pyörivän liikkeen ja rejektin poisto tapahtuu vain yhden aukon kautta.

Sunds värinpoistokennot -ohjekirjan ohjeistus eroaa teoriasta paljon esimerkiksi sakeuden ja ilmamäärän osalta, mikä kertoo kennojen uniikeista piirteistä. Ohjekirjan ohjeistus eroaa myös saaduista optimoinnin tuloksista.

Ilmamäärän tutkimuksissa ja optimoinnissa työn tarkkuutta ja mittauspöytäkirjan pitoa haittasi ilmastuksien epäkunnossa olevat virtausmittarit. Kennoissa 1 ja 3 rotametrit eivät todennäköisesti toimineet täysin oikealla tavalla. Paineilman määrä siistaukseen oli 6 m³/min ja rotametrien näyttämien virtausten yhteismäärä oli tätä pienempi. Kennoissa 2 ja 4 olevat virtausmittarit olivat myös epäkunnossa. DNA näytöltä ilman venttiilien avausten ollessa sama, virtausmäärät olivat eri.

Vaahdotuksen tutkimuksissa olisi voitu tutkia muitakin ominaisuuksia kuten massan pH:ta, prosessin lämpötilaa, pinnankorkeuksia kennoissa sekä kaavarien asentoja. Kennoissa vaahdon rejektoinnin kannalta on tärkeää että pinnankorkeus sekä vaahtoa keräävän kaavarin asetukset on asetettu oikein. Liian korkealla oleva pinta, tai liian syvälle massaan asennettu kaavari rejektoi massaa jolloin tapahtuu kuituhäviötä. Liian alhaalla oleva pinta, tai liian korkealle asennettu kaavari ei rejektoi ollenkaan vaahtoa massan päältä, jolloin massa ei puhdistu epäpuhtauksista. Kennoja tutkiessa silmämääräisesti pinnankorkeuksiin ja kaavarien asentoihin tehtiin säätöjä pintojen vaihdella räikeästi.

Vaahdotuksen syöttöön tulleen massan vaaleuden vaihtelu toi vaaleuden muutoksen tutkimuksiin haasteita. Syötössä välillä näkyneet tummemmat ja vaaleammat piikit johtuivat todennäköisesti operaattorien arvioimasta reseptin mukaisesta keräyspaperin annostelusta pulpperiin sekä keräyspaperin hetkellisestä paremmasta tai huonommasta laadusta. Tutkimuksissa tehtiin mittauksia uusiomassalajeille U1 ja U3, mutta tutkimuksissa keskityttiin lajiin U1. Tutkimusten jälkeen havaittiin, että kemikaalin koeajossa 2 kemikaali vaikutti U3 lajiin paremmin kuin lajiin U1. Kemikaaliannostelulla 200 g/t nosti vaaleutta noin 1,86 prosenttiyksikköä, alle 6 prosenttiyksikön tuloksilla laskettuna.

Optimoinnin tuloksia verrattiin vuoden 2016 tilastoihin. Vertailu edellisen vuoden tuloksiin oli suuntaa antava, tutkimuksen pienen näyteenottomäärään takia. Vuoden 2016 tilaston vaaleudet on mahdollisesti mitattu eri tavalla, kuin työssä tehdyt mittaukset. Työn vaaleuden mittauksissa keskityttiin tutkimaan näytekekun pintapuolta, kun taas tilaston näytteet on voitu mitata pintapuolen lisäksi myös viirapuolelta. Mittaustuloksiin vaikuttaa myös massakakkujen tekotapa.

Optimoinnissa tutkittiin kaikkien kennojen vaaleuden muutosta. Optimoiduissa asetuksissa kennojen vaaleuden muutoksen käyrä on kasvava. Tästä voidaan päätellä, että vaahdotuksella olisi kapasiteettia vaalentaa massaa vieläkin enemmän.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEIDEN EHDOTUKSET

Vaahdotuskennojen tutkimusten jälkeen voitiin todeta, että kennot eivät ole toimineet optimaalisesti ennen tutkimuksia. Kennojen optimointi lisäsi vaaleutta vaahdotusprosessissa noin 0,61 prosenttiyksikköä uusiomassalajilla U1. Lisätutkimukset vaahdotuksen sakeudelle, pH:lle, prosessin lämpötilalle sekä pinnankorkeuksien ja kaavareiden asentoihin voivat tuoda uutta tietoa vaahdotuksesta ja sen vaikutuksesta vaaleuteen.

Nopcoflot EGA 3040 silikonijohdannaisen käyttämistä U1 lajin vaaleuden parantamisen kannalta ei voida suositella käytettäväksi nykyisillä kennojen asetuksilla, sillä sen vaikutus vaaleuden muutokseen oli vain 0,06 prosenttiyksikköä. Kemikaalin vaikutus lajilla U3 vaatisi lisätutkimuksia, työssä olevan pienen otannan takia.

Vaahdotuksen kennoihin saataisiin yhtenäisempää tietoa tutkimalla ilmanvirtausmittareiden korjaustarpeita. Suosituksena olisi, että kennojen virtausmittarit saataisiin näyttämään keskenään samoja tuloksia mikä helpottaisi kennojen operointia. Samanlaisen yhtenäisen asetuksen voisi myös sovittaa pinnankorkeuden säädöille että kaavareille.

Kennojen 1 ja 3 ilmastus paineilmalla eroaa kennojen 2 ja 4 ilmastuksesta. 1 ja 3 kennojen muuttaminen toimimaan venturi-ilmiöllä kennojen 2 ja 4 tapaan voisi tuoda säästöjä paineilman käytön lopettamisella pidemällä aikavälillä.

LÄHTEET

- Diesen, M. 2007. Papermaking science and technology: Book 1, Economics of the pulp and paper industry. 2. ed., totally updated version. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association: Paperi ja puu.
- Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003. Kemiallinen metsäteollisuus: 2, Paperin ja kartongin valmistus. 3. tark. p. - 5.p. 2006. Helsinki: Opetushallitus.
- Höke, U. & Schabel, S. 2010. Papermaking science and technology: Book 7, Recycled fibre and deinking. 2nd ed., totally updated version. Helsinki: Paper Engineers' Association: Paperi ja puu.
- ISO 2470-1:2016 Paper, board and pulps -- Measurement of diffuse blue reflectance factor -- Part 1: Indoor daylight conditions (ISO brightness). Luettu 1.12.2017. Vaatii lisenssin.
<https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/2/427777.html.stx>
- ISO 3470-2:2008 Paper, board and pulps -- Measurement of diffuse blue reflectance factor -- Part 2: Outdoor daylight conditions (D65 brightness) Luettu 1.12.2017. Vaatii lisenssin.
<https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/2/108876.html.stx>
- McKinney, R.W.J. 1995. Technology of Paper Recycling. 1. painos. Surrey.
- Metsäteollisuus ry. 2017. Metsäteollisuus tilastot. Luettu 6.11.2017.
<https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/massa-ja-paperiteollisuus/>
- Nellessen B. Platform Launch Manager Recycling EMEA. 2017. Haastattelu 18.10.2017. Haastattelija Warjus, L. Nokia.
- Pentti, S. Tuotantopäällikkö. 2017. Sähköpostiviesti. sakari.pentti@essity.com. Luettu 8.12.2017.
- Prowledge Oy. 2017. KnowPap versio 18.0 - Paperitekniiikan ja tehtaan automaation optimisjärjestelmä. VTT Industrial Systems. Luettu 25.9.2017 Vaatii lisenssin.
<http://www.knowpap.com/suomi/>
- Seppälä, M. J. & Klemetti, U. 2001. Kemiallinen metsäteollisuus: 1, Paperimassan valmistus. 2. tark. p. Helsinki: Opetushallitus.
- SFS EN 643:2014 Paper and board. European list of standard grades of paper and board for recycling. Luettu 28.10.2017. Vaatii lisenssin.
<https://online.sfs.fi.elib.tamk.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/6/244770.html.stx>
- SCA 2017a. 2017. Nokian tehdas. Luettu 4.12.2017. SCA Intranet.
- SCA 2016b. 2016. Yritysesittelyt. Luettu 4.12.2017. SCA Intranet.
- SCA 2013c. Toimintaohje: Massan sakeus. Luettu 4.12.2017. SCA Nokia

Tork. 2017. 14.6.2017 Lehdistöiedote. Luettu 4.12.2017.

<http://www.tork.fi/tietoa/lehdistotiedotteet/news-detail?id=38535>

LIITTEET

Liite 1. Sunds värinpoistokennot -ohjekirja

Written by:A.N	Date	Checked	Approved
	85 04 18	<i>fy</i>	
4-351 9001-08			
SUNDS VÄRINPOISTOKENNOT MALLI 20000 DR2 OHJEKIRJA			
Replaces	Replaced by	Revision	

Reference

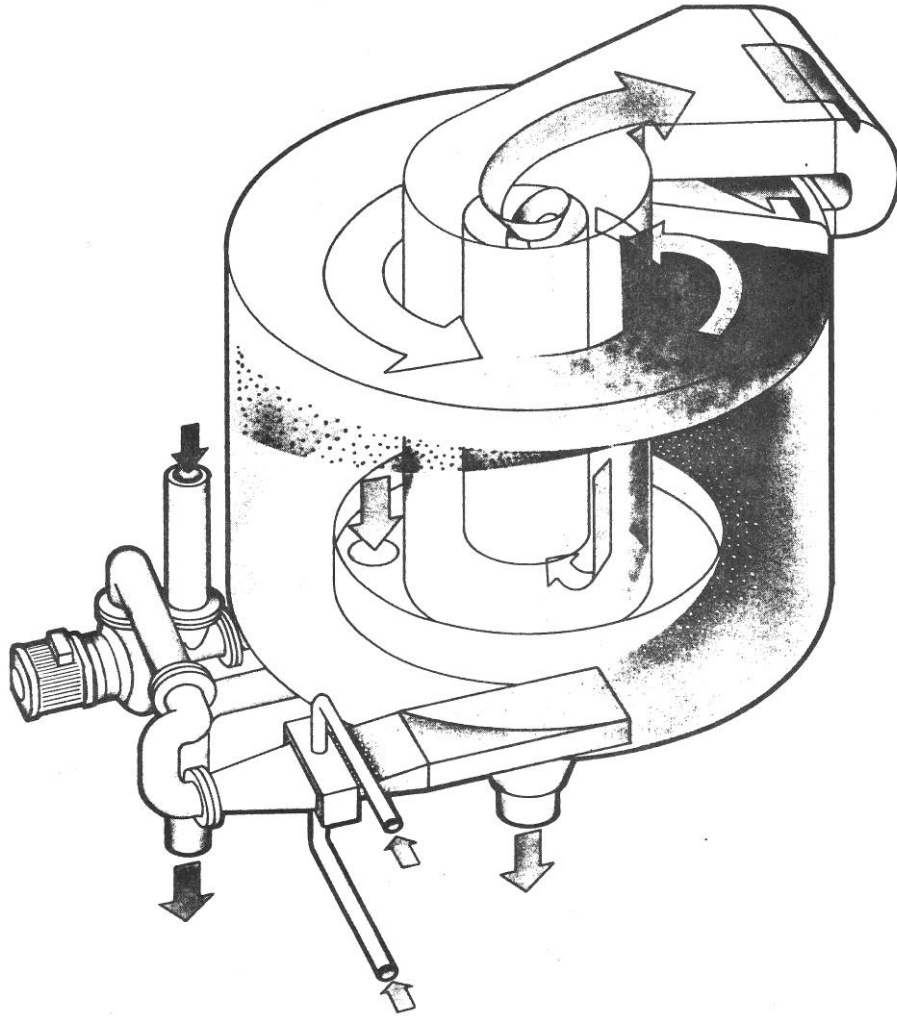
SUNDS DEFIBRATOR
P.O. Box, S-851 94 Sundsvall, Sweden
Tel. (060)567200. Telex 71053 Sunds s

JOHDANTO	1
YLEISTÄ	2
Värinpoistokenno Sekoituskammio Laitteisto	
KÄYTTÖOHJEET	5
Laitteiston tarkastaminen ennen käyttöö- ottoa Laitteiston käyttöönotto Laitteiston seisokit Säädöt ja ohjaukset käytön aikana Laitteiston puhdistus Lukitus- ja varojärjestelmä	
HUOLTO	12
Tarkastukset ennen käynnistystä Käytön aikana suoritettava huoltotarkastus Huoltotoimenpiteet käyttöseisokin aikana	

JOHDANTO

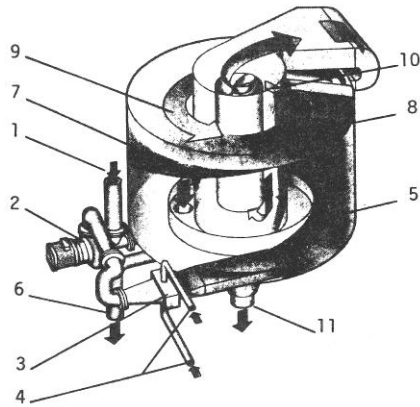
Tämä ohjekirja koskee SUNDS DEFIBRATORin standardinmukaista värinpoistokennoa, mallia 20000 DR2.

Mikäli havaitsette ohjeessa puutteita ja tarvitsette täydentäviä tietoja, ottakaa yhteys SUNDS DEFIBRATORiin.



YLEISTÄ

Värinpoistokenno



- 1 Sisääntuloaukko
- 2 Uudelleenkierätyspumppu
- 3 Sekoituskammio
- 4 Ilmanlisäysputki
- 5 Massasekoitus
- 6 Hyväksytty massa
- 7 Ilmakuplia
- 8 Vahtokerros
- 9 Ilmavirta
- 10 Kaavari
- 11 Rejektii

Neljä päällekkäin sijoitettua pyöreätä kennoa muodostavat kaksi yksikköä. Jokaiseen yksikköön kuuluu rejektisäiliö ja vaahdonerotuspuhallin molempia yksiköitä varten.

Massakypistä C403 pumpattava massa johdetaan laitoksen ensimmäisen uudelleenkierätyspumppun imupuolelle.

Massa pumpataan kennoon käsiventtiilin kautta ja edelleen sieltä sekoituskammion läpi, jossa siihen sekoitetaan ilmaa.

Massa kiertää keskusputken kautta, jolloin rejekti erotetaan, ja poistuu edelleen massaputken aukon kautta.

Massan kiertäessä kennossa ilmakuplat ja niihin takertuneet mustehiukkaset ja/tai muut ainekset nousevat pintaan, johon muodostuu vahtokerros.

Vahto kulkeutuu osaksi massakierron mukana ja osaksi ilman mukana, jonka kennon yläosaan asennettu puhallin suuntaa aivan pinnan yläpuolelle.

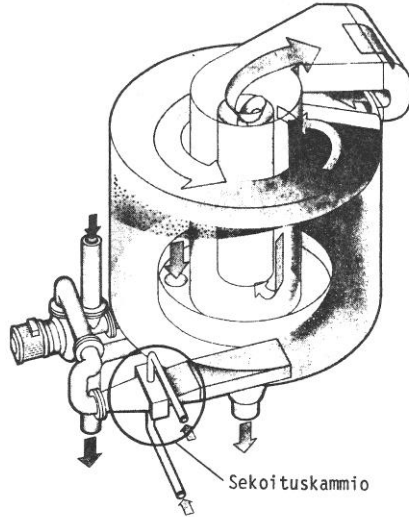
Vahto poistuu säädettävän kaavarin avulla keskusputken kautta.

Vahto valuu molemmista kennoista syklonimaisen keskusputken kautta ja ilma nousee kapeaa putkea pitkin takaisin puhaltimeen, josta se puhalletaan takaisin kennoon.

Kennoista valuva vahto kerätään rejektisäiliöön, josta se täysin suljetun järjestelmän kautta poistuu prosessista.

Ensimmäisestä kennosta tuleva massa jatkaa kennoon n:o 2 ja kulkee kaikkien neljän kennon läpi. Kaikki laitoksen kennot toimivat yllä kuvatulla tavalla.

Sekoituskammio



Järjestelmän keskuksessa, sekoituskammiossa, sekoittuvat ilma ja massa tehokkaasti 2,5 %:n sakeuteen. Sekoituskammiossa voidaan myös säätää valikoivan vaahdotuksen edellyttämä ilmakuplien koko. Itse musteenpoisto kuiduista tapahtuu myös sekoituskammiossa. Sekoituskamion toimintaperiaatteena on antaa ohuen massasuihkun virrata läpi osaston, jossa massaan puhalletaan vaihteleva määrä ilmaa. Ilmakuplien koko riippuu massan ja/tai ilman virtausnopeudesta. Ilman puhallusnopeutta muutetaan vaihtelemalla sekoituskamion ilmakojojen kokoa ja/tai muuttamalla virtaavan ilman määrää.

Paras mahdollinen ilman ja massan sekoitus kutakin laitosta varten määrätään kokeilemalla. Tavallisesti riittävä ilmamäärä on noin 15 % massan määrästä.

Laitteisto

Varsinaista siistauslaitteistoa edeltävässä massakypissä olevan massan (normaalisakeus 1,7-2,5 %) on oltava täysin puhdasta. Minkäänlaisia epäpuhtauksia, kuten hakasia, naruja, muovivia tms ei saa esiintyä.

Säiliön jälkeen asennettu syöttöpumppu pumpkaa massan laitteiston ensimmäisen kennon uudelleenkierätyspumppun imupuolelle. Tähän putkeen on normaalisti asennettu virtauksenosoitin massavirran rekisteröimistä varten.

Syöttöpumpusta tuleva massa sekoitetaan kennosta tulevaan uudelleenkierätettyyn massaan, joka poistuu kennon seinämän kautta.

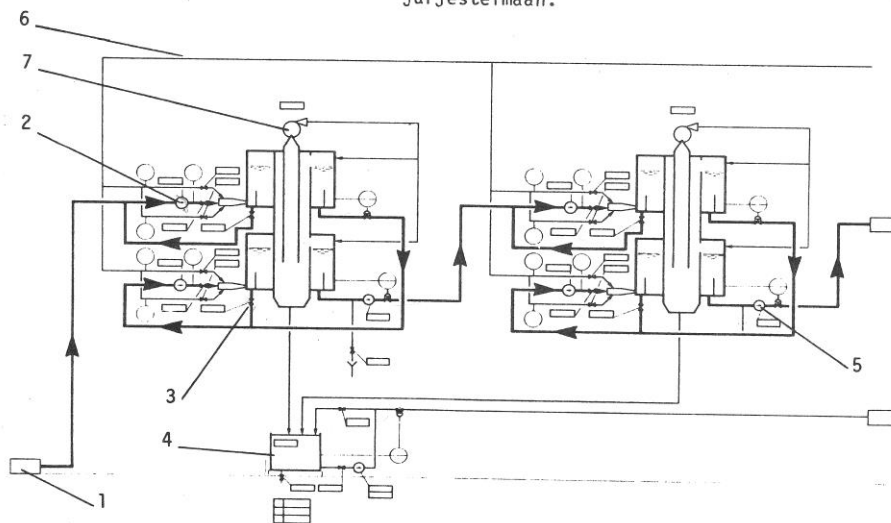
On erityisen tärkeää, että syöttöpumpun paine uudelleenkierätysputken haaran kohdalla on korkeampi kuin kennossa olevan massapinnan (1,0 m) paine. Näin varmistetaan, että kiertopumppu ensisijaisesti valitsee sisääntulevan massan.

Uudelleenkierätetyn massan kokonaismäärää säädetään vastaavan käsiventtiin avulla.

Kaikki kennoon tuleva massa poistuu massaputken kautta, jota pinnanvartija säätelee (ei koske rejektiiä).

Rejektii poistuu neljästä kennosta rejektisäiliöön, mistä se pumpataan edelleen rejektinkäsittelyjärjestelmään.

- 1 Massasäiliö
- 2 Uudelleenkierätyspumppu
- 3 Uudelleenkierätyksen käsiventtiili
- 4 Rejektisäiliö
- 5 Massapumppu
- 6 Paineilma
- 7 Puhallin



KÄYTTÖOHJEET

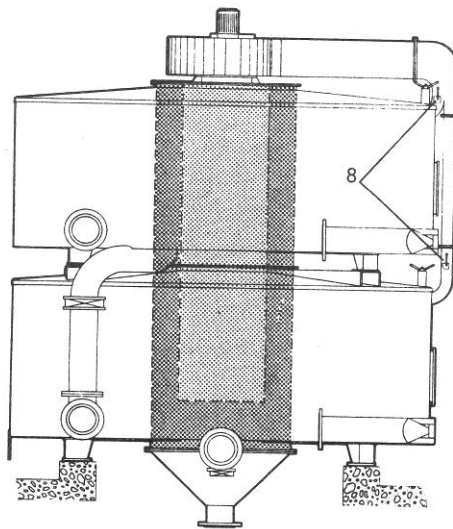
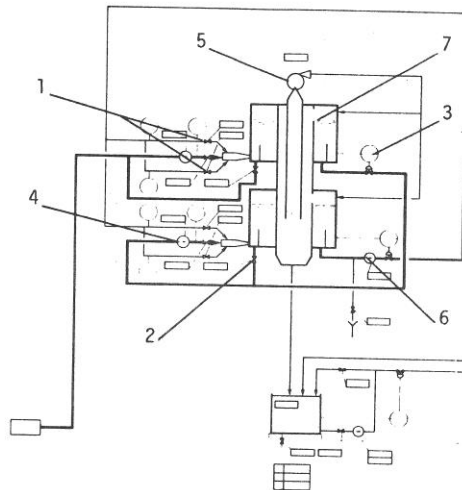
Laitteiston
tarkastaminen
ennen käyttöönottoa

- Tarkista, että kaikkien kennojen sisäpinnat on puhdistettu ja että poistoaukot, miesluukut ja muut luukut on suljettu.
- Tarkista, että jokaisen kennon puhdistamiseen on käsillä vettä.
- Tarkista, että massakypissä on tarpeeksi massaa.
- Tarkista, että jokainen sekoituskammio saa ilmaa (avaa ja sulje ilmastusventtiili ja tarkista, että virtausmittarit toimivat).
- Tarkista, että säätöinstrumentit ovat käyttövalmiit.

6

Laitteiston käynnistäminen

Ensikäynnistys ja käynnistys pitkän seisokin jälkeen



- Avaa venttiilit, joiden kautta sekoituskammioihin virtaa ilmaa.
- Säädä pinnankorkeusvartijoiden pitoarvot noin 8 cm normaalitason alapuolelle (vaahтокааварин alapuolella)
- Avaa uudelleenkierrätyksen venttiili (Venttiileitä ei tarvitse sulkea seisokin ajaksi.)
- Täytä kaikki kennot nolllavedellä, kunnes pinnanvartijoiden osoittimet heilahtavat.
- Käynnistä massapumppu (viimeisen kennon jälkeen). Koska taso on alhainen, säätöventtiili sulkeutuu.
- Käynnistä uudelleenkierrätyspumppu. Mikäli samassa tornissa on kaksi tai useampia kennoja, käynnistetään myös muut uudelleenkierrätyspumput.
- Käynnistä puhallin.
- Mikäli laitteistoon kuuluu useampia peräkkäisiä torneja, käynnistetään ensin tornien välissä oleva muuntajapumppu ja sen jälkeen muut uudelleenkierrätyspumput.
- Käynnistä massan syöttöpumppu.
- Nosta kennojen pinnan taso normaali käyttökorkeuteen.
- Säädä kiertoon palautetun massan määrää kuristamalla venttiileitä. Säätöventtiilien avauskulma osoittaa sopivan palautettavan massan määrän.
- Säädä kaavaria niin, että se on pinnasuuntainen.
- Säädä sekoituskammioihin virtaavan ilman määrä.
- Käynnistä rejektipumppu, mikäli se ei vielä ole käynnissä.
- Sulje puhaltimen venttiileitä mahdollisimman paljon varoen kuitenkin sulkemasta niitä niin paljon, että vaahdon kuljetus heikkenee. (Huom! Jos venttiiliä avataan liikaa, pyrkii vahto kulkeutumaan kiertoilman mukana puhaltimeen.)
- Laitteisto on nyt käynnistetty ja massaa voidaan pumpata täydellä voimalla kennoihin (pinnanvartijoiden valvomana).

Käynnistys lyhyen
seisokin jälkeen

Pysäytettäessä laitteisto lyhyeksi aikaa (< 72 h) ei kennoja pidä tyhjentää massasta, vaan massapinnan tasoa lasketaan vain hiukan.

Pinnanvartijaventtiilit huolehtivat tästä automaattisesti. Nämä venttiilit ovat täysin tiiviitä suljettuina ollessaan.

Kun laitteisto pysäytetään massan jäädessä kennoihin on sekoituskammioiden keskeytymättä johdettava ilmaa, jotta ilmaraot eivät tukkeudu.

Lyhyen seisokin jälkeen käynnistetään laitteisto samalla tavalla kuin pitkän seisokin jälkeen, sillä erotuksella, että instrumentit tarvitsee vain palauttaa normaaliasentoihinsa.

Pumput on aina käynnistettävä päinvastaisessa järjestyksessä, kun kennoissa on massaa.

Laitteiston seisokit

Harkittu seisokki

Normaalin muutamasta tunnista kokonaiseen työvuoroon kestävä ja sekä 2-3 päivää kestävä seisokin ajaksi ei kennoja tarvitse tyhjentää massasta.

Pitempien seisokkien sattuessa on kennot tyhjentävä massasta ja puhdistettava huolella.

Seuraavat ohjeet koskevat normaalia, harkittua seisokkia:

- Keskeytä massan syöttö.
Huom! Jos seisokki on suunniteltu kestävä tuntiä lyhyemmän ajan, ei muita toimenpiteitä tarvita. Laitteistoa ei ole pysäytetty seisokin ajaksi ja kun massanajo aloitetaan taas, tarvitsee ainoastaan massansyöttöventtiiliä avata.
- Säädä kennoissa oleva massan pinta 5 cm normaalitasoa alhaisemmaksi.
- Pysäytä pumppu, joka syöttää massaa kennoon n:o 1.
- Pysäytä kennojen uudelleenkierrätyspumput numerorajestyksessä.
- Pysäytä rejektipumppu.
- Pysäytä vaahdonerotuksen puhaltimet.

Äkillinen seisokki

Äkillisen seisokin sattuessa menetellään kohdan 3.1 mukaisella tavalla, jos vain mahdollista.

Jos seisokki johtuu esim. sähkökatkoksesta, toimenpiteet ovat periaatteessa samat. Tällöin on välttämätöntä palauttaa laitteisto normaalioloihin seisokin vielä jatkuessa.

Säädöt ja ohjaukset
käytön aikana

SUNDS DEFIBRATORin siistauslaitos on hienostunut järjestelmä, joka oikein säädettynä ja valvottuna antaa tulokseksi puhdasta vaaleaa massaa.

Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että laitteistoa olisi säädettävä tai tarkennettava erityisen usein. Kun tietyn tuotannon ja tietyn keräyspaperilaadun optimiarvot on kokeilemalla saatu esiin, voidaan tämä säätö säilyttää, kunnes jotakin näistä edellytyksistä muutetaan.

Tämä oikea ja paras mahdollinen säätö on kuitenkin laitoskohtainen ja on siksi määrättävä kullekin laitokselle erikseen.

Optimiarvoihin vaikuttavia tekijöitä ovat mm:

- Massan lämpötila 40-45°C
- Massan pH pH 9-10
- Väripoistokemikaalit -
- Keräyspaperilaatu -
- Massan sakeus 1,7-1,8
- Siistattavan massan määrä

Massan lämpötila

Massan lämpötilan on oltava 40-45°C.

Massan pH

pH:n optimiarvo riippuu käytetyistä kemikaaleista, mutta vaahdotettaessa pH on tavallisesti 9-10 ja pesusiistausta käytettäessä 9,5-10,5.

Väripoistokemikaalit

Keräyspaperin väripoistoon voidaan käyttää useita eri kemikaaleja, minkä vuoksi mitään yleisohjetta ei voida antaa.

Keräyspaperilaatu

Tavallisimmin käytetään päivä- ja aikakauslehtiä tai kummankin sekoitusta. Aivan yleisesti voidaan sanoa, että aikakauslehtiä käytettäessä vahtoa muodostuu enemmän kuin päivälehtiä käytettäessä.

Massan sakeus

Massan sakeuden pitää tavallisesti olla 1,7-1,8 %.

Kennojen kapasiteetti

Siistattavan massan määrä

Jokaisella kennotyypillä on tietty kapasiteetti, joka riippuu sekoituskammion läpi virtaavasta massamäärästä sekä kennon koosta.

FC 10-kennojen kapasiteetti on 4000-6000 l/min. Tämän virtausmäärän lisäämiseksi ja kennojen lukumäärän rajoittamiseksi tietty määrä massaa palautetaan kennosta sekoituskammioon, minkä ansiosta





vainosa massan kokonaismäärästä jatkaa suoraan kennon läpi ja pois kennosta.

Tämä järjestelmä yksinkertaistaa massavirran muutosten valvomista, koska virtaavan massan kokonaismäärä ei riipu sisääntulevasta massamäärästä, jonka muutoksia pinnanvartija säätelee. Tämä tarkoittaa, että pienintä kennoon tulevaa massamäärää ei ole määrätty. Ensimmäiseen kennoon tulevan massan määrä riippuu valmistetun massan määrästä, sakeudesta, kiertoön palautetun massan määrästä sekä rejektin määrästä.

Sekoituskammion läpi virtaava massa on sekoitus sisäänvirtaavaa ja kiertoön palautettua massaa. Sisäänvirtaavan siistattavan massan määrä riippuu massan sakeudesta, kun taas kiertoön palautetun massan määrä on riippuvainen virtausnopeudesta, joka kennoon halutaan.

Massavirran kokonaismäärää säädellään sekoituskammion edeltävällä käsiventtiilillä.

On suositeltavaa pitää sekoituskammion läpi virtaava massamäärä mahdollisimman suurena, koska kiertoön palautetun massan määrä tällöin kasvaa, mikä puolestaan parantaa värinpoistotulosta.

Tiettyjä rajoituksia asettaa kuitenkin se tosiseikka, että virtausnopeutta ja kennon kapasiteettia ei saa ylittää.

Pinnankorkeuden säätö ja vaahdonerotus

Kaavarin ja kennossa olevan massakorkeuden säätö on rejektimäärän kannalta erittäin tärkeä. Kaavarin on aina oltava mahdollisimman yhdensuuntainen massan pinnan kanssa.

Pinnankorkeuden säätimen avulla rejektin poistoa voidaan tarvittaessa lisätä tai vähentää.

Puhaltimen säätö vaahdon erottamiseksi

Laitteiston pitkäaikaisen moitteettoman toiminnan takaamiseksi on erittäin tärkeää, että jokaisen kennon puhaltimen venttiiliä on kuristettu mahdollisimman paljon. Sitä avataan vain sen verran, että vaahto seuraa imun mukana keskusputkeen. Jos venttiiliä avataan liikaa, pyrkii vaahto nousemaan ilman mukana puhaltimeen, mikä aiheuttaa puhaltimen likaantumisen.

Laitteiston puhdistaminen

Puhdistaminen käytön aikana

Laitteisto on suunniteltu niin, että se mahdollisimman pitkälle puhdistuu itsestään. Tietty puhdistaminen on kuitenkin tarpeen parhaan mahdollisen käyttövarmuuden vuoksi.

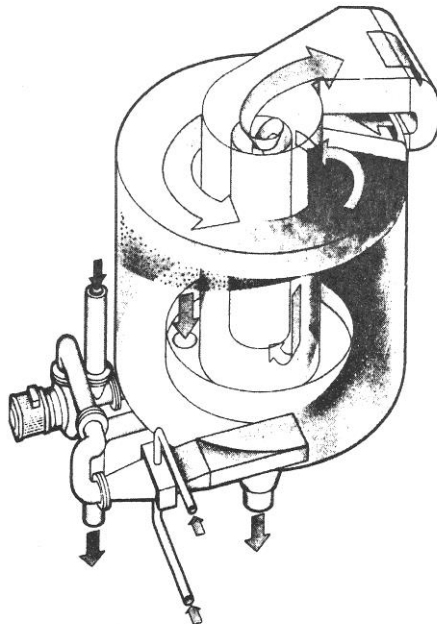
- Kenno
Ainoa puhdistusta vaativa kennon osa on rejektiosa. Seinämiin ja kaavariin tarttuneet mustekerrostumat on huuhdeltava pois kerran jokaisen työvuoron aikana.
- Sekoituskammio
Sekoituskammiota ei tavallisesti tarvitse puhdistaa käytön aikana.
- Rejektijärjestelmä
Rejektisäiliö huuhdotaan vedellä kerran jokaisen työvuoron aikana

Puhdistaminen seisokin aikana

Jokaisen seisokin aikana on laitteisto huuhdottava vedellä ylläkuvatulla tavalla.

Lukitus- ja varo- järjestelmä

Jotta kenno ei vuoda yli rejektin poistoaukkoon on pumppuihin liitettävä lukitusjärjestelmä, joka pysäyttää pumpun tai estää sen käynnistämisen, jos sitä seuraava pumppu on pysähtynyt tai ei käynnisty. Tämä lukitusjärjestelmä on kytkettävä pois, kun laitteistoa käynnistetään tyhjänä.



HUOLTO-OHJEET

SUNDS DEFIBRATORin siistauslaitteistoon kuuluu hyvin vähän liikkuvia osia. Näiden vaatimat huoltotoimenpiteet ovat erittäin vähäisiä.

Järjestelmään kuuluu kuitenkin instrumentteja, pumppuja ja rejektinkäsittelylaitteita, joita on huollettava. Kaikilla näillä järjestelmän osilla on kuitenkin omat erityiset huolto-ohjeensa. Tässä yhteydessä käsitellään ainoastaan varsinaista värinpoistokennoa.

Tarkastukset
ennen käynnistystä

Kenno

- Tarkista, että jokainen kenno on puhdas ja vesitiivis sekä että kaavari on säädetty oikein.

Sekoituskammio

- Tarkista, että ilma virtaa ilmarakojen kautta.
- Tarkista, että liitossaumat ovat tiiviit.

Ilmanpuhallin

- Tarkista, että puhallin pyörii oikeaan suuntaan.
- Tarkista, että puhaltimen venttiili toimii oikein.

Järjestelmä

- Tarkista instrumentit ohjeiden mukaisesti.
- Tarkista pumput ohjeiden mukaisesti (tarkista erityisesti, että pyörimissuunta on oikea).
- Tarkista venttiilit.
- Tarkista rejektijärjestelmä.
- Tarkista kompressori-ilma.
- Suorita laitteiston vesiajo ja tee lopullinen tarkastus ja huuhtelu.

Käytön aikana
suoritettava huolto

Moottorien, instrumenttien ja pumppujen käytön aikana tehtävää huoltotarkastuksen tulee kuulua osana tehtaan huolto-ohjelmaan.

Käyttöseisokin
aikana suoritettava
huolto

Lyhyt seisokki
yhdessä työvuoron
aikana

Yhtä työvuoroa
pitempi seisokki

Yhtä työvuoroa lyhyempi seisokki ei normaalisti vaadi erityistä huoltotarkastusta, mikäli tehtaan oma huolto-ohjelma ei niin vaadi.

Yhtä työvuoroa pidemmän seisokin sattuessa on jokainen laitetyyppi, kuten moottorit, pumput ja instrumentit yms, huollettava tehtaan huolto-ohjelman mukaisesti.

Kennot tarvitsee vain puhdistaa. Sekoituskammiot on irrotettava ja tarkastettava vähintään kerran vuodessa.

Liite 2. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden muutos	silvämääräinen tarkastelu
			kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2				
U1	6.10.2017 12:25	verrokki 1	73,20	73,66	73,60	73,76	72,69	72,75	73,55	74,04	73,41	0,45	0,69	vaahtoa hyvän, ei roisku
	12:40	koe 1	74,16	74,16	74,35	74,67	73,50	73,52	74,08	74,36	74,10	0,38		
	13:05	verrokki 2	73,08	73,53	73,50	73,47	72,46	72,24	71,99	71,89	72,77	0,66	1,45	ei eroa edelliseen
	13:20	koe 2	74,59	74,57	73,94	74,21	74,04	74,12	74,20	74,11	74,22	0,21		
	13:45	verrokki 3	73,45	73,51	73,20	73,50	73,63	73,51	72,99	73,01	73,35	0,23	0,63	ei eroa edelliseen
	14:00	koe 3	74,14	74,32	74,14	73,96	73,85	73,95	73,68	73,81	73,98	0,18		
	15:00	verrokki 4	71,96	72,07	72,70	72,74	73,48	73,48	73,22	72,99	72,83	0,55	2,38	pinta alhtolee voimakkaasti, vaahdon määrä pienentynyt
	15:15	koe 4	75,20	75,72	75,39	75,14	75,33	75,08	74,97	74,87	75,21	0,24		
	15:45	verrokki 5	73,76	73,80	73,81	73,75	72,02	72,52	73,52	73,27	73,31	0,63	0,40	pinta tasaantunut, vaahtoa vähemmän kuin kokeissa 1 - 3
	16:00	koe 5	74,22	74,09	73,04	72,96	73,24	73,14	74,43	74,56	73,71	0,60		
	16:15	verrokki 6	73,71	73,79	73,40	73,25	71,88	72,60	73,67	73,26	73,20	0,61	0,04	tasainen pinta, vaihto lisääntynyt
	16:30	koe 6	72,85	72,82	73,63	73,43	73,84	73,29	73,33	72,70	73,24	0,36		
	17:00	verrokki 7	72,18	71,93	73,05	72,78	72,90	72,98	72,59	72,58	72,62	0,37	0,00	tasainen pinta, hyvä vaahto
	17:15	koe 7	72,36	72,17	73,12	72,77	73,22	72,94	72,28	72,10	72,62	0,39		

Liite 3. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden muutos	silvämääräinen tarkastelu
			pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2				
U1	6.10.2017 12:25	verrokki 1	77,16	77,80	77,82	78,02	76,84	76,90	77,82	78,35	77,59	0,52	0,78	vaahtoa hyvän, ei roisku
	12:40	koe 1	78,34	78,35	78,64	78,99	77,72	77,78	78,39	78,70	78,36	0,41		
	13:05	verrokki 2	77,15	77,69	77,76	77,68	76,65	76,42	76,12	75,96	76,93	0,69	1,66	ei eroa edelliseen
	13:20	koe 2	78,94	78,91	78,35	78,57	78,43	78,51	78,53	78,48	78,59	0,20		
	13:45	verrokki 3	77,57	77,64	77,41	77,76	77,94	77,93	77,36	77,30	77,61	0,23	0,75	ei eroa edelliseen
	14:00	koe 3	78,44	78,70	78,64	78,41	78,19	78,34	78,03	78,14	78,36	0,22		
	15:00	verrokki 4	75,89	76,09	76,99	77,06	77,77	77,78	77,51	77,19	77,04	0,67	2,65	pinta aaltoilee voimakkaasti, vaahdon määrä pienentynyt
	15:15	koe 4	79,68	80,30	79,90	79,58	79,86	79,50	79,41	79,28	79,69	0,30		
	15:45	verrokki 5	78,05	78,04	78,26	78,18	76,19	76,82	77,88	77,63	77,63	0,69	0,23	pinta tasaantunut, vaahtoa vähemmän kuin kokeissa 1 - 3
	16:00	koe 5	78,38	78,25	77,11	77,01	77,36	77,19	78,76	78,84	77,86	0,72		
	16:15	verrokki 6	78,28	78,28	77,98	77,71	76,20	76,96	78,22	77,66	77,66	0,69	-0,37	tasainen pinta, vaahto lisääntynyt
	16:30	koe 6	76,74	76,71	77,72	77,54	78,00	77,38	77,47	76,74	77,29	0,47		
	17:00	verrokki 7	76,55	76,32	77,62	77,27	77,46	77,49	77,14	77,12	77,12	0,43	-0,59	tasainen pinta, hyvä vaahto
	17:15	koe 7	76,15	75,91	77,04	76,76	77,25	76,95	76,20	76,01	76,53	0,49		

Liite 4. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U3, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	näyteottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden muutos	silinämääräinen tarkastelu
			pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2				
U3	10.10.2017 13:15	verrokki 1	52,54	53,14	52,94	53,06	51,37	51,49	51,28	51,65	52,18	0,76	0,67	hyvä reilu vahto. Pinta pysyy hyvin tasaisena, ei aaltoille
	13:30	koee 1	52,91	52,71	52,74	52,98	53,26	52,79	52,68	52,76	52,85	0,18		

Liite 5. Ilmamäärän tutkimus kennossa 1, lajilla U3, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden muutos	silimämääräinen tarkastelu
			pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2				
U3	10.10.2017 13:15	verrokki 1	53,66	54,29	54,12	54,26	52,48	52,64	52,39	52,77	53,33	0,78	0,74	hyvä reilu vaahto. Pinta pysyy hyvin tasaisena, ei aaltoile
	13:30	koe 1	54,10	53,90	53,95	54,20	54,47	54,00	53,90	54,00	54,07	0,18		

Liite 6. Ilmamäärän tutkimus kennossa 4, lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa-laji	näytteenottoaika	asetukset		näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskarvo	hajonta	vaaleuden muutos	visuaalinen arviointi
		verrokki 1	verrokki 2	syöttö kennoon 4	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1				
U1	27.10.2017 8:00	verrokki 1	verrokki 2	syöttö kennoon 4	73,86	74,01	73,33	72,97	73,14	73,35	73,73	73,75	73,52	0,35	todella pieni vaahto
	8:15	koe 1	koe 2	23 %	74,41	74,38	74,81	74,51	74,69	74,82	74,69	74,84	74,64	0,17	
	9:00	verrokki 2	verrokki 3	syöttö kennoon 4	74,08	74,34	73,96	73,97	73,69	73,61	73,51	73,47	73,83	0,29	tasainen vaahto, suurempi kuin edellisessä
	9:15	koe 2	koe 3	33 %	75,19	75,31	75,35	75,36	75,41	75,28	74,81	74,91	75,20	0,21	
	10:00	verrokki 3	verrokki 4	syöttö kennoon 4	74,96	75,05	74,35	74,44	74,50	74,50	74,03	74,09	74,49	0,34	todella voimakas kupliminen, pinta aaltoilee voimakkaasti
	10:15	koe 3	koe 4	43 %	74,96	75,13	75,03	75,07	74,75	74,93	75,09	75,26	75,03	0,14	

Liite 7. Ilmamäärän tutkimus kennossa 4, lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa-laji	näytteenottoaika	asetukset		näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden muutos	visuaalinen arviointi	
		verrokki 1	verrokki 2	verrokki 3	verrokki 4	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					kohta 1
U1	27.10.2017 8:00	verrokki 1	syöttö kennoon 4	kohta 1	79,07	kohta 1	78,55	kohta 1	78,24	kohta 1	78,97	78,71	0,38	1,21	todella pieni vaahto	
		koe 1	23 %	kohta 2	79,64	kohta 2	80,05	kohta 2	79,96	kohta 2	80,02	79,92	0,20			
		9:00	verrokki 2	syöttö kennoon 4	kohta 1	79,30	kohta 1	79,25	kohta 1	78,96	kohta 1	78,74	79,09	0,32	1,62	tasainen vaahto, suurempi kuin edellisessä
		9:15	koe 2	33 %	kohta 2	80,61	kohta 2	80,91	kohta 2	80,92	kohta 2	80,33	80,71	0,21		
		10:00	verrokki 3	syöttö kennoon 4	kohta 1	80,39	kohta 1	79,85	kohta 1	80,04	kohta 1	79,48	79,98	0,35	0,13	todella voimakas kupliminen, pinta aaltoilee voimakkaasti
		10:15	koe 3	43 %	kohta 2	80,06	kohta 2	80,09	kohta 2	79,84	kohta 2	80,21	80,11	0,14		

Liite 8. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U3, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	näytteenottoaika	asetukset		näyte 1				näyte 2				näyte 3				näyte 4				kestiaarvo		hajonta		vaaleuden nousu			
		verrokki 1	verrokki 2	alkuperäinen: V1204 91mm	alkuperäinen: V1205 108mm	syöttö kennoon 1	syöttö kennoon 2	syöttö kennoon 3	syöttö kennoon 4	syöttö kennoon 5	syöttö kennoon 6	syöttö kennoon 7	syöttö kennoon 8	syöttö kennoon 9	syöttö kennoon 10	syöttö kennoon 11	syöttö kennoon 12	syöttö kennoon 13	syöttö kennoon 14	syöttö kennoon 15	syöttö kennoon 16	syöttö kennoon 17	syöttö kennoon 18	syöttö kennoon 19	syöttö kennoon 20	syöttö kennoon 21	syöttö kennoon 22
U3	27.9.2017 14:00	48,77	48,71	49,82	49,95	48,56	48,57	50,23	50,22	49,35	49,38	49,38	50,50	50,33	49,19	49,72	50,30	50,02	49,03	50,17	49,03	49,03	50,17	0,41	0,21	-0,13	-0,04
	14:15	48,91	48,51	50,18	49,89	48,57	48,66	50,13	50,07	49,06	48,89	50,21	50,17	49,31	49,34	50,13	50,27	48,91	50,13	48,91	50,13	48,91	50,13	0,30	0,11		
	16:00	40,93	41,17	42,39	43,25	40,71	41,29	42,86	43,07	43,24	44,12	44,47	44,55	41,74	42,70	44,08	44,17	41,99	43,61	43,61	41,99	43,61	1,15	0,76			
	16:15	47,19	46,89	49,08	48,96	47,59	48,07	48,86	48,86	44,39	44,54	43,89	48,89	47,56	46,50	48,91	48,79	46,59	48,91	48,91	46,59	48,91	48,91	1,31	0,08		5,30
17:15	47,10	47,37	48,60	48,56	47,63	47,58	48,27	48,34	47,87	47,83	48,56	48,62	46,98	47,28	48,46	48,54	47,41	48,49	48,49	47,41	48,49	48,49	0,27	0,12			
17:30	48,72	48,71	49,46	49,58	46,67	46,94	49,36	49,41	47,52	47,68	49,14	49,26	46,81	47,13	49,24	49,17	47,52	49,33	49,33	47,52	49,33	49,33	0,76	0,14		0,83	

Liite 10. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa-laji	näytteenottoaika	asetukset		näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu
				pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2			
U1	28.9.2017 17:15	verrokki 1	syöttö kennoon 1	65,39	65,54	67,03	67,08	66,90	67,13	67,36	67,58	66,75	0,77	1,79
	17:30	koe 1	V1204 120mm V1205 108mm	68,39	68,18	68,94	68,69	68,53	68,61	68,57	68,46	68,55	0,21	
	18:00	verrokki 2	syöttö kennoon 1	68,59	68,69	68,93	68,70	68,82	68,80	68,31	68,59	68,68	0,18	0,83
	18:15	koe 2	V1204 140 mm V1205 108 mm	69,69	69,69	69,22	69,34	69,84	70,02	69,06	69,19	69,51	0,33	
	18:45	verrokki 3	syöttö kennoon 1	68,38	68,71	68,46	68,43	68,56	68,57	69,33	69,26	68,71	0,35	1,06
	19:00	koe 3	V1204 160 mm V1205 108 mm	69,87	69,83	70,36	69,94	69,34	69,35	69,74	69,78	69,78	0,31	
	19:45	verrokki 4	syöttö kennoon 1	69,41	69,64	69,34	69,35	70,13	70,01	69,44	69,29	69,58	0,30	1,17
	20:00	koe 4	V1204 180 mm V1205 108 mm	69,71	69,61	71,35	70,97	70,89	71,51	70,59	71,32	70,74	0,68	
	20:30	verrokki 5	syöttö kennoon 1	70,28	70,49	68,97	68,77	70,75	70,08	70,02	70,31	69,96	0,67	1,24
	20:45	koe 5	V1204 200 mm V1205 108 mm	71,31	71,02	71,01	71,09	71,55	71,53	71,04	71,03	71,20	0,22	
	21:15	verrokki 6	syöttö kennoon 1	71,31	71,05	70,67	70,94	70,74	70,60	70,78	71,09	70,90	0,23	1,23
	21:30	koe 6	V1204 220 mm V1205 108 mm	72,19	72,27	72,20	71,80	71,97	71,84	72,39	72,33	72,12	0,21	
	22:00	verrokki 7	syöttö kennoon 1	70,56	70,67	70,61	71,30	71,50	71,81	70,48	70,74	70,96	0,47	0,56
	22:15	koe 7	V1204 240 mm V1205 108 mm	71,74	71,16	70,92	71,36	71,45	71,88	71,89	71,75	71,52	0,33	

Liite 11. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa-laji	näytteenottoaika	asetukset		näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu
				pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli				
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2			
U1	28.9.2017 17:15	verrokki 1	syöttö kennoon 1	68,48	68,63	70,36	70,42	70,13	70,42	70,74	71,01	70,02	0,88	2,07
	17:30	koe 1	V1204 120mm V1205 108mm	71,88	71,66	72,54	72,27	72,05	72,15	72,17	72,02	72,09	0,25	
	18:00	verrokki 2	syöttö kennoon 1	72,32	72,42	72,75	72,54	72,60	72,57	72,05	72,36	72,45	0,20	0,88
	18:15	koe 2	V1204 140 mm V1205 108 mm	73,47	73,50	73,02	73,18	73,74	73,90	72,86	72,97	73,33	0,36	
	18:45	verrokki 3	syöttö kennoon 1	72,22	72,58	72,32	72,29	72,46	72,45	73,33	73,23	72,61	0,40	0,85
	19:00	koe 3	V1204 160 mm V1205 108 mm	73,53	73,47	74,15	73,71	72,92	72,94	73,46	73,50	73,46	0,37	
	19:45	verrokki 4	syöttö kennoon 1	73,29	73,58	73,37	73,33	74,16	73,97	73,44	73,25	73,55	0,32	1,05
	20:00	koe 4	V1204 180 mm V1205 108 mm	73,38	73,32	75,31	74,85	74,73	75,46	74,44	75,32	74,60	0,79	
	20:30	verrokki 5	syöttö kennoon 1	74,18	74,44	72,87	72,59	74,70	73,93	73,96	74,23	73,86	0,70	1,29
	20:45	koe 5	V1204 200 mm V1205 108 mm	75,28	74,96	74,96	75,06	75,48	75,49	75,04	74,99	75,16	0,21	
	21:15	verrokki 6	syöttö kennoon 1	75,13	74,86	74,46	74,74	74,44	74,26	74,55	74,90	74,67	0,27	1,26
	21:30	koe 6	V1204 220 mm V1205 108 mm	75,97	76,10	76,05	75,60	75,71	75,56	76,24	76,18	75,93	0,25	
	22:00	verrokki 7	syöttö kennoon 1	74,30	74,46	74,42	75,23	75,40	75,76	74,24	74,53	74,79	0,54	0,26
	22:15	koe 7	V1204 240 mm V1205 108 mm	75,22	74,58	74,43	74,92	74,98	75,40	75,52	75,33	75,05	0,37	

Liite 12. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu
			pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli				
			kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2			
U1	3.10.2017 11:40	verrokki 1	74,66	74,80	74,10	74,23	74,51	74,67	74,23	74,27	74,43	0,24	0,04
	11:55	koe 1	74,73	74,72	74,59	74,58	73,91	74,17	74,39	74,72	74,48	0,28	
	13:00	verrokki 2	72,84	72,97	73,23	73,31	73,52	73,46	73,20	73,27	73,23	0,21	-0,95
	13:15	koe 2	72,06	72,16	72,61	72,36	72,18	72,58	72,00	72,23	72,27	0,21	
	13:45	verrokki 3	73,36	73,21	71,81	72,05	73,56	73,74	73,15	73,27	73,02	0,66	1,41
	14:00	koe 3	74,18	74,34	74,37	74,54	74,46	74,33	74,51	74,69	74,43	0,15	
	14:30	verrokki 4	73,51	73,50	73,15	73,05	73,20	73,24	73,78	73,58	73,38	0,24	1,12
	14:45	koe 4	74,60	74,67	74,48	74,48	74,37	74,39	74,48	74,57	74,50	0,10	
	15:15	verrokki 5	73,56	73,37	73,50	73,32	73,30	73,22	73,41	73,51	73,40	0,11	0,30
	15:30	koe 5	73,16	73,23	73,99	74,10	73,86	73,65	73,56	74,05	73,70	0,34	
	16:00	verrokki 6	72,56	72,31	73,65	73,35	72,87	72,73	72,47	72,57	72,81	0,43	0,74
	16:15	koe 6	72,41	72,82	73,63	73,66	73,84	73,82	73,98	74,28	73,56	0,58	
	16:45	verrokki 7	72,07	71,85	72,56	72,51	72,17	72,48	71,69	72,39	72,22	0,30	0,64
	17:00	koe 7	72,81	72,69	72,35	72,83	73,10	73,12	72,99	72,94	72,85	0,23	

Liite 13. Massan takaisinkierätyksen tutkimus kennossa 1, lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu		
			pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli						
			kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					
U1	3.10.2017 11:40	verrokki 1	syöttö kennoon 1	78,09	78,29	77,64	77,77	77,97	78,18	77,79	77,84	77,95	0,21	0,15	
	11:55	koe 1	V1204 205mm V1205 108mm	78,39	78,36	78,20	78,19	77,42	77,74	78,03	78,47	78,10	0,34		
	13:00	verrokki 2	syöttö kennoon 1	75,82	76,04	76,45	76,50	76,73	76,71	76,50	76,58	76,42	0,30	-0,62	
	13:15	koe 2	V1204 240 mm V1205 108mm	75,53	75,66	76,16	75,90	75,67	76,09	75,56	75,79	75,80	0,22		
	13:45	verrokki 3	syöttö kennoon 1	77,09	76,90	75,41	75,65	77,36	77,50	76,87	76,95	76,72	0,72	1,35	
	14:00	koe 3	V1204 262 mm, kaikki auki V1205 108mm	77,79	78,00	78,02	78,23	78,17	78,05	78,20	78,40	78,07	0,14		
	14:30	verrokki 4	syöttö kennoon 1	77,04	77,07	76,71	76,65	76,81	76,81	76,81	77,44	77,21	76,97	0,25	1,00
	14:45	koe 4	V1204 240 mm V1205 108mm	78,03	78,08	78,00	77,97	77,87	77,86	77,94	77,98	77,96	0,07		
	15:15	verrokki 5	syöttö kennoon 1	77,06	76,84	77,09	76,96	76,81	76,67	76,67	76,97	77,08	76,94	0,14	-0,02
	15:30	koe 5	V1204 200 mm V1205 108mm	76,34	76,38	77,27	77,34	77,11	76,87	76,73	77,30	76,92	0,38		
	16:00	verrokki 6	syöttö kennoon 1	75,81	75,54	77,10	76,77	76,27	76,10	76,10	75,77	75,89	76,16	0,50	0,60
	16:15	koe 6	V1204 160 mm V1205 108mm	75,50	75,87	76,92	76,88	77,08	77,05	77,21	77,55	76,76	0,66		
	16:45	verrokki 7	syöttö kennoon 1	74,94	74,68	75,57	75,47	75,23	75,58	74,62	75,42	75,19	0,37	0,60	
	17:00	koe 7	V1204 120 mm V1205 108mm	75,70	75,56	75,26	75,80	76,06	76,08	75,93	75,91	75,79	0,26		

Liite 14. Askelvastekoe Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa-laji	sakeus	kemikaalin annostelu	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	kokonaisvaaleuden nousu			
					pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli								
					kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2							
U1	1,0 %	0 g	13.10.2017 9:50	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	72,73	72,84	73,36	73,47	73,48	73,73	72,36	72,57	73,07	0,47				
				koe 1	kenno 1 jälkeä	73,63	73,66	73,29	73,15	73,51	73,46	73,50	73,43	73,45	0,16	0,39			3,26
					kenno 4 jälkeä	76,37	76,38	76,22	76,29	76,15	76,32	76,39	76,53	76,33	0,11	2,88			
		150 g	10:45	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	71,83	71,57	71,62	71,46	71,77	71,52	71,52	72,60	73,19	71,95	0,58			
				koe 2	kenno 1 jälkeä	70,48	71,03	70,16	70,30	71,56	71,92	71,64	71,64	71,57	71,08	0,64	-0,86		4,41
					kenno 4 jälkeä	76,29	76,46	76,46	76,48	76,29	76,39	76,12	76,35	76,36	0,11	5,27			
		300 g	11:35	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	69,72	70,10	70,51	70,67	70,13	70,07	70,07	71,87	71,19	70,53	0,66			
				koe 3	kenno 1 jälkeä	68,42	68,74	68,62	68,67	69,56	69,57	67,02	67,39	68,50	0,85	-2,03			5,83
					kenno 4 jälkeä	75,70	76,11	78,85	75,93	75,60	75,90	76,48	76,32	76,36	0,98	7,86			
		450 g	12:25	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	72,26	72,62	71,56	72,07	72,54	72,70	72,70	73,03	72,65	72,43	0,42			
				koe 4	kenno 1 jälkeä	69,27	69,60	69,83	69,84	70,29	70,43	70,58	71,05	70,11	0,54	-2,32			4,18
					kenno 4 jälkeä	76,84	76,85	76,49	76,43	76,46	76,65	76,53	76,62	76,61	0,15	6,50			
		0 g	13:15	verrokki 5	syöttö vaahdotukseen	68,99	69,07	71,10	69,56	68,31	68,94	69,48	70,31	69,47	0,82				
				koe 5	kenno 1 jälkeä	67,55	68,15	64,98	65,62	69,81	70,45	71,09	71,12	68,60	2,26	-0,87			4,99
					kenno 4 jälkeä	73,63	74,17	75,07	75,28	74,26	74,82	74,30	74,11	74,46	0,52	5,86			

Liite 16. Koeajo 1 Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa-laji	sakeus	kemikaalin ammostelu	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	kokoaisvaaleuden nousu					
					pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli		pintapuoli										
					kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2									
U1	1,0 %	0 g/t	18.10.2017 8:30	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	70,55	71,20	71,07	71,39	70,28	70,28	71,06	71,08	70,86	0,40	5,46					
				koe 1	kenno 1 jälkeä	72,12	71,97	72,40	72,16	72,15	72,10	72,44	72,21	72,19	72,19			0,15	1,33		
					kenno 4 jälkeä	76,06	76,09	76,01	76,05	78,87	75,88	75,72	75,87	76,32	76,32			0,97	4,13		
				verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	63,54	65,05	70,81	71,07	71,48	71,16	71,16	70,74	70,50	70,50			69,29	2,92	5,34	
				koe 2	kenno 1 jälkeä	71,46	71,46	71,46	71,47	71,78	72,29	72,29	70,69	71,48	71,44			71,51	1,04		1,93
					kenno 4 jälkeä	73,82	73,91	74,86	75,12	74,74	74,94	74,63	75,04	74,63	74,63			74,63	0,47		3,41
					verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	70,67	70,22	73,21	73,12	73,12	73,12	71,25	70,69	71,48			71,44	71,51	1,04	3,93
koe 3	kenno 1 jälkeä	72,04	71,81	71,77	71,77	71,40	71,70	71,40	71,70	71,38	71,65	71,70	0,21	0,19							
	kenno 4 jälkeä	75,65	75,71	75,43	75,38	75,63	75,66	75,66	75,66	75,23	74,82	75,44	0,28	3,74							
	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	71,07	71,40	71,16	70,78	71,38	71,38	71,35	71,35	68,94	68,88	70,62	1,01	4,42						
koe 4	kenno 1 jälkeä	71,71	71,49	72,16	72,15	72,77	72,90	72,77	72,90	72,27	72,27	72,22	0,44	1,59							
	kenno 4 jälkeä	74,97	75,00	74,82	74,83	74,80	74,87	74,87	74,87	75,53	75,49	75,04	0,28	2,82							
	verrokki 5	syöttö vaahdotukseen	68,87	68,81	69,60	70,00	69,85	70,20	69,14	69,14	69,14	69,45	69,45	0,50	4,78						
koe 5	kenno 1 jälkeä	69,12	69,53	69,63	69,74	70,72	70,69	70,69	70,30	70,23	70,00	70,00	0,54	0,55							
	kenno 4 jälkeä	73,82	73,87	74,20	74,25	74,14	74,32	74,54	74,67	74,23	74,23	74,23	0,27	4,23							
	verrokki 6	syöttö vaahdotukseen	70,44	69,68	70,43	70,60	69,80	69,86	69,86	71,43	71,41	70,46	70,46	0,64	4,39						
koe 6	kenno 1 jälkeä	71,42	71,40	70,47	70,51	71,27	71,30	71,00	71,00	71,00	71,05	71,05	0,35	0,59							
	kenno 4 jälkeä	74,59	74,98	74,65	74,61	75,19	75,20	74,81	74,73	74,85	74,85	74,85	0,23	3,80							
	verrokki 7	syöttö vaahdotukseen	69,83	69,85	69,28	69,27	69,60	69,96	69,96	70,02	69,09	69,61	69,61	0,33	5,30						
koe 7	kenno 1 jälkeä	70,50	70,54	71,04	70,75	71,37	71,37	71,37	71,37	69,74	70,17	70,69	0,53	1,07							
	kenno 4 jälkeä	74,92	74,87	74,76	74,90	75,08	75,08	75,08	75,08	74,79	74,88	74,91	0,11	4,22							

Liite 17. Koeajo 1 Nopcoflot EGA 3040 lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa-laji	sakeus	kemikaalin annostelu	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskianvo	hajonta	vaaleuden nousu	kokoisvaaleuden nousu			
					pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2							
U1	1,0 %	0 g/t	18.10.2017 8:30	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	75,13	75,89	75,67	76,10	74,80	74,78	75,73	75,76	75,48	0,47	5,55	0,97		
				koe 1	kenno 1 jälkeen	76,36	76,19	76,69	76,42	76,38	76,33	76,79	76,49	76,46	76,46			0,18	
		300 g/t	11:30	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	81,16	81,08	81,15	81,20	80,95	80,92	80,81	80,95	80,95	81,03	0,13	6,05	4,57	
				koe 2	kenno 1 jälkeen	66,61	68,40	74,97	75,30	75,76	75,42	74,92	74,67	73,26	73,26	3,37			
		300 g/t	13:45	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	75,87	75,90	75,93	75,97	76,27	76,89	74,07	74,18	75,64	75,64	0,93	4,44	2,38	
				koe 3	kenno 1 jälkeen	78,22	78,45	79,54	79,74	79,42	79,66	79,67	79,78	79,31	79,31	0,58			
		300 g/t	15:45	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	75,16	74,62	77,99	77,82	75,77	75,11	76,10	76,08	76,08	76,08	1,16	4,96	2,06	
				koe 4	kenno 1 jälkeen	76,56	76,29	76,28	76,24	75,87	76,19	76,28	76,09	76,23	76,23	0,18			
		300 g/t	19.10.2017 8:15	verrokki 5	syöttö vaahdotukseen	80,70	80,83	80,54	80,52	80,74	80,78	80,23	79,81	80,23	79,81	80,52	0,32	5,27	0,64
				koe 5	kenno 1 jälkeen	75,56	75,91	75,67	75,23	75,97	75,92	73,16	73,10	75,07	75,07	1,14			
		150 g/t	9:45	verrokki 6	syöttö vaahdotukseen	76,38	76,20	77,10	77,11	77,75	77,96	77,12	77,35	77,12	77,35	0,56	4,78	4,17	
				koe 6	kenno 1 jälkeen	79,89	79,91	79,73	79,75	79,75	79,81	80,68	80,69	80,03	80,03	0,39			
		0 g/t	11:45	verrokki 7	syöttö vaahdotukseen	72,53	72,49	73,40	73,84	73,60	73,99	72,86	72,89	72,89	73,20	0,55	5,96	1,24	
				koe 7	kenno 1 jälkeen	73,18	73,22	73,35	73,50	74,65	74,59	74,15	74,07	73,84	73,84	0,56			
0 g/t	11:45	verrokki 8	syöttö vaahdotukseen	77,92	78,00	78,46	78,48	78,45	78,61	78,85	78,85	79,00	78,47	0,35	4,72	0,62			
		koe 8	kenno 1 jälkeen	74,36	73,57	74,42	74,68	73,80	73,87	75,66	75,60	74,50	74,50	0,74					
0 g/t	11:45	verrokki 9	syöttö vaahdotukseen	75,40	75,43	74,50	74,55	75,38	75,37	75,14	75,14	75,14	75,11	0,36	4,78	0,62			
		koe 9	kenno 1 jälkeen	78,97	78,99	79,09	79,07	79,73	79,77	79,34	79,27	79,28	79,28	0,30					
0 g/t	11:45	verrokki 10	syöttö vaahdotukseen	73,60	73,71	73,18	73,09	73,53	73,93	73,98	72,97	73,50	73,50	0,36	5,96	1,24			
		koe 10	kenno 1 jälkeen	74,48	74,50	75,12	74,79	75,52	75,55	73,75	74,22	74,74	74,74	0,59					
0 g/t	11:45	verrokki 11	syöttö vaahdotukseen	79,36	79,33	79,30	79,47	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,45	0,14	4,72	0,14			
		koe 11	kenno 1 jälkeen	79,36	79,33	79,30	79,47	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,45			0,14		

Liite 18. Koeajo 2 Nopcoflot EGA 3040, 200 g/t, ISO-vaaleus

uusi- massalaji	sikeus	kemikaalina mnoistelu	päivytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	
					pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2				
U3	1,0 %	200 g/t	13.11.2017 A	koe 1	syöttö vaahdotukseen	44,30	44,80	45,60	45,60	45,40	45,60	45,80	45,34	0,48	2,53	
					kenno 4 jälle	47,70	48,00	47,90	47,60	47,80	48,00	48,10	47,86	0,16		
				koe 2	syöttö vaahdotukseen	45,10	45,20	45,00	45,00	45,00	45,80	46,00	45,26	0,38	2,83	
					kenno 4 jälle	47,80	47,90	48,30	48,30	47,90	48,20	48,30	48,09	0,20		
				koe 3	syöttö vaahdotukseen	47,40	47,50	47,30	47,40	48,30	38,40	48,10	48,20	46,58	3,11	4,00
					kenno 4 jälle	50,10	50,30	50,60	50,80	50,50	50,60	50,70	51,00	50,58	0,26	
koe 4	syöttö vaahdotukseen	69,80	69,90	69,70	70,10	69,90	70,40	70,00	70,20	70,00	0,21	3,15				
	kenno 4 jälle	72,80	73,00	73,10	73,20	73,10	73,10	73,40	73,50	73,15	0,21					
U1	1,0 %	200 g/t	14.11.2017 A	koe 5	syöttö vaahdotukseen	69,70	69,60	69,60	70,40	70,40	69,70	69,70	69,85	0,32	3,85	
					kenno 4 jälle	73,30	73,30	73,60	73,70	73,70	74,20	74,20	73,70	0,32		
				koe 6	syöttö vaahdotukseen	66,80	67,30	67,20	67,80	67,20	69,20	67,50	68,10	67,64	0,70	5,40
					kenno 4 jälle	73,10	73,30	73,00	73,20	73,10	73,40	72,60	72,60	73,04	0,28	
				koe 7	syöttö vaahdotukseen	68,80	68,90	68,20	68,50	69,00	69,20	69,00	69,10	68,84	0,31	4,26
					kenno 4 jälle	73,10	73,20	73,90	73,00	72,90	73,10	73,20	73,10	73,10	0,16	
koe 8	syöttö vaahdotukseen	43,40	48,60	48,10	48,20	48,40	48,70	48,60	48,60	47,83	1,68	4,34				
	kenno 4 jälle	51,20	51,30	52,40	52,60	52,40	52,60	52,40	52,40	52,16	0,53					
U3	1,0 %	200 g/t	15.11.2017 A	koe 9	syöttö vaahdotukseen	47,60	47,70	47,40	47,50	47,40	47,50	47,70	47,80	47,58	0,14	2,09
					kenno 4 jälle	48,80	48,90	49,80	50,00	49,70	49,80	50,10	50,20	49,66	0,49	
				koe 10	syöttö vaahdotukseen	47,90	47,90	47,90	47,30	47,20	48,40	47,80	47,90	47,79	0,36	2,81
					kenno 4 jälle	49,90	50,30	50,50	50,60	50,90	50,90	50,80	50,90	50,60	0,34	
				koe 11	syöttö vaahdotukseen	60,20	60,30	61,20	61,20	61,50	61,60	61,20	62,00	61,15	0,58	8,38
					kenno 4 jälle	68,80	69,00	69,80	69,80	69,70	69,80	69,60	69,70	69,53	0,37	
koe 12	syöttö vaahdotukseen	70,60	70,60	70,30	70,40	70,40	70,50	70,50	70,50	70,48	0,10	5,14				
	kenno 4 jälle	75,40	75,50	75,70	75,80	75,60	75,60	75,60	75,70	75,61	0,12					
koe 13	syöttö vaahdotukseen	72,20	72,30	72,50	72,70	72,50	72,60	73,10	73,30	72,65	0,35	2,34				
	kenno 4 jälle	74,20	74,30	75,10	75,20	75,20	75,20	75,30	75,40	74,99	0,43					
U1	1,0 %	200 g/t	17.11.2017 A	koe 14	syöttö vaahdotukseen	66,00	66,60	68,20	69,40	68,10	68,80	68,50	69,00	68,08	1,11	5,62
					kenno 4 jälle	73,10	73,30	73,80	73,80	73,90	74,00	73,80	73,90	73,70	0,30	
				koe 15	syöttö vaahdotukseen	68,20	68,40	67,90	68,10	68,20	68,30	68,70	68,80	68,33	0,28	5,35
					kenno 4 jälle	73,30	73,40	73,40	73,60	73,80	73,90	74,00	74,00	73,68	0,27	
				koe 16	syöttö vaahdotukseen	74,55	74,62	73,59	73,07	72,67	72,90	74,72	74,84	73,75	0,95	4,11
					kenno 4 jälle	77,77	77,82	77,80	77,90	78,20	78,27	77,43	77,68	77,86	0,25	
koe 17	syöttö vaahdotukseen	69,10	69,10	70,80	71,10	70,70	70,80	70,50	70,90	70,38	0,75	5,45				
	kenno 4 jälle	75,50	75,60	75,90	76,20	76,00	76,20	75,60	75,60	75,83	0,27					
koe 18	syöttö vaahdotukseen	71,10	71,20	70,80	71,40	72,30	72,90	71,70	72,40	71,73	0,69	4,45				
	kenno 4 jälle	75,80	75,90	76,10	76,20	76,20	76,20	76,40	76,60	76,18	0,24					

Liite 19. Koeajo 2 Nopcoflot EGA 3040, 200 g/t, D65-vaaleus

uusi- massalaji	sakeus	kemikaalima- nnoostelu	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu
					pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2			
U3	1,0 %	200 g/t	13.11.2017 A	koe 1 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	45,00	45,50	46,40	46,10	46,10	46,30	46,30	46,50	46,03	0,48	2,65
					48,50	48,80	48,60	48,70	48,40	48,60	48,90	48,68	0,17		
					45,80	45,80	45,70	45,80	45,60	45,70	46,50	45,96	0,41		
U1	1,0 %	200 g/t	14.11.2017 A	koe 2 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	48,60	48,70	49,20	48,80	48,80	49,10	48,94	49,10	48,94	0,22	2,98
					48,10	48,30	48,10	48,20	49,10	49,20	49,00	48,64	0,47		
					51,10	51,20	51,60	51,70	51,40	51,50	51,70	52,00	51,53	0,27	
U3	1,0 %	200 g/t	15.11.2017 A	koe 3 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	74,00	74,00	73,70	74,30	74,10	74,60	74,20	74,50	74,18	0,27	3,36
					77,10	77,30	77,60	77,60	77,40	77,50	77,90	77,54	0,26		
					72,70	72,80	72,80	72,80	73,60	73,60	72,80	72,99	0,36		
U1	1,0 %	200 g/t	16.11.2017 A	koe 4 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	76,60	76,60	77,00	77,20	77,20	77,20	77,70	77,70	77,13	0,40	4,14
					69,80	70,20	70,20	70,90	70,20	72,50	70,60	71,20	70,70	0,80	
					76,50	76,80	76,50	76,70	76,60	76,90	76,10	76,90	76,63	0,25	
U3	1,0 %	200 g/t	17.11.2017 A	koe 5 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	72,40	72,50	71,90	72,20	72,70	72,90	72,70	72,80	72,51	0,31	4,81
					77,30	77,40	77,10	77,20	77,00	77,30	77,60	77,70	77,33	0,22	
					49,40	49,70	49,10	49,20	49,50	49,80	49,70	49,70	43,92	14,72	
U1	1,0 %	200 g/t	18.11.2017 A	koe 6 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	52,40	52,50	53,70	53,80	53,70	53,90	53,70	53,70	53,43	0,57	9,50
					48,40	48,40	48,20	48,30	48,20	48,30	48,50	48,36	0,13		
					49,60	49,60	50,70	50,90	50,60	50,70	51,00	50,54	0,57		
U3	1,0 %	200 g/t	19.11.2017 A	koe 7 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	48,70	48,90	48,20	48,20	48,10	49,30	48,70	48,80	48,61	0,39	2,89
					50,80	51,30	51,50	51,60	51,20	51,90	51,80	51,90	51,50	0,36	
					62,50	62,60	63,40	63,40	63,80	64,00	63,60	64,40	63,46	0,61	
U1	1,0 %	200 g/t	20.11.2017 A	koe 8 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	72,50	72,80	73,70	73,70	73,60	73,70	73,60	73,60	73,40	0,44	9,94
					73,80	73,80	73,50	73,60	73,70	73,70	73,80	73,71	0,11		
					79,30	79,30	79,50	79,60	79,50	79,60	79,50	79,48	0,11		
U3	1,0 %	200 g/t	21.11.2017 A	koe 9 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	76,70	76,70	77,00	77,30	77,10	77,20	77,70	77,90	77,20	0,40	2,14
					78,40	78,50	79,40	79,60	79,60	79,60	79,80	79,34	0,53		
					69,20	69,80	71,70	73,10	71,60	72,30	72,10	72,60	71,55	1,27	
U1	1,0 %	200 g/t	22.11.2017 A	koe 10 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	77,10	77,40	77,90	77,90	78,20	78,20	78,10	78,10	77,86	0,38	6,31
					71,90	72,40	71,60	71,80	72,00	72,20	71,90	72,10	71,99	0,23	
					77,90	77,90	77,80	77,80	77,90	78,10	78,10	78,20	77,98	0,13	
U3	1,0 %	200 g/t	23.11.2017 A	koe 11 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	79,42	79,50	77,17	77,72	77,25	77,55	79,63	79,73	78,50	1,09	4,64
					83,06	83,12	83,06	83,14	83,53	83,58	82,67	82,96	83,14	0,28	
					72,70	72,80	74,70	75,00	74,50	74,60	74,40	74,80	74,19	0,85	
U1	1,0 %	200 g/t	24.11.2017 A	koe 12 syöttö vaihdotukseen kenno 4 jällehen	79,90	79,90	80,30	80,60	80,50	80,70	80,10	80,20	80,28	0,29	6,09
					74,60	74,80	74,50	75,10	76,10	76,70	75,50	76,20	75,44	0,77	
					80,00	80,00	80,30	80,50	80,50	80,50	80,70	80,90	80,43	0,29	

Liite 23. Optimointi lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	kemikaalin annostelu	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		näyte 3		näyte 4		keskiarvo	hajonta	kokonaisvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi		
					pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2						
U1	0 g/t		27.10.2017 15:15 15:30	verrokki 1 koe 1	syöttö vaahdotukseen KENNO1&3: ilma 2m3, iv. 120mm&120mm, sv. 110mm&250mm KENNO2&4: ilma 33%, iv. 120mm&120mm, sv. 250mm&190mm	80,85	80,53	80,36	80,32	79,60	79,64	80,54	80,74	80,32	0,44	2,41	Kaikki vaihtoa hyvin, ja mukava kierrosnopeus kennossa sama	
						83,51	83,41	82,72	82,78	81,79	81,40	83,12	83,14	82,73	0,71			
	300 g/t		30.10.2017 9:05 9:20	verrokki 2 koe 2	syöttö vaahdotukseen KENNO1&3: ilma 2m3, iv. 120mm&120mm, sv. 110mm&250mm KENNO2&4: ilma 33%, iv. 120mm&120mm, sv. 250mm&190mm	80,70	76,37	76,44	76,14	81,79	81,87	81,79	82,08	81,58	0,47	5,30	sama	
						71,66	71,79	71,32	70,81	71,11	71,58	70,05	70,78	71,14	0,54			
	0 g/t		31.10.2017 9:30 9:45	verrokki 3 koe 3	syöttö vaahdotukseen KENNO1&3: ilma 2m3, iv. 120mm&120mm, sv. 110mm&250mm KENNO2&4: ilma 33%, iv. 120mm&120mm, sv. 250mm&190mm	76,51	76,49	77,15	77,10	77,02	76,99	77,17	77,42	76,98	0,30	5,84	sama	
						74,36	74,01	74,19	74,28	74,32	74,13	74,45	74,09	74,23	0,14			
	0 g/t			13:45 14:00	verrokki 4 koe 4	syöttö vaahdotukseen KENNO1&3: ilma 2m3, iv. 120mm&120mm, sv. 110mm&250mm KENNO2&4: ilma 33%, iv. 120mm&120mm, sv. 250mm&190mm	79,55	79,69	80,67	80,39	80,52	80,68	80,60	80,97	80,38	0,47	6,16	sama
							74,36	74,01	74,19	74,28	74,32	74,13	74,45	74,09	74,23	0,14		

Liite 24. Optimointi lajilla U3, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	kokonaisvaaleuden nousu		
				pintapuoli		pintapuoli							
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2						
U3	1,0 %	2.11.2017 10:00	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	52,42	52,32	52,53	52,69	52,49	0,14			
				KENNO 1 ilma 2m ³ /min, iv. 105mm, sv. 110mm	52,12	52,73	52,30	52,60	52,44	0,24	-0,05		
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	54,04	53,49	54,18	53,65	53,84	0,28	1,40	2,66	
				KENNO 3 ilma 2m ³ /min, iv. 105mm, sv. 250mm	53,84	54,16	53,65	54,15	53,95	0,22	0,11		
		KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	54,98	55,39	54,97	55,26	55,15	0,18	1,20				
		12:30	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	49,30	49,20	49,74	49,55	49,45	0,21			
		12:45	koe 2	KENNO 1 ilma 1,5m ³ /min, iv. 105, sv. 110	49,06	48,96	49,13	48,99	49,04	0,07	-0,41		3,01
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	49,30	49,19	49,24	49,47	49,30	0,11	0,26		
				KENNO 3 ilma 1,5m ³ /min, iv. 105mm, sv. 250mm	50,74	50,31	50,73	50,42	50,55	0,19	1,25		
				KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	52,47	52,58	52,49	52,3	52,46	0,10	1,91		
		14:30	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	48,42	48,25	48,56	48,30	48,38	0,12			
		14:45	koe 3	KENNO 1 ilma 1,5m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	48,64	48,01	48,40	48,76	48,45	0,29	0,07		2,85
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	48,70	49,00	48,82	49,30	48,96	0,23	0,50		
				KENNO 3 ilma 1,5m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	49,56	50,63	49,76	50,15	50,03	0,41	1,07		
				KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	51,16	51,18	51,22	51,36	51,23	0,08	1,21		
		16:15	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	48,23	47,25	47,78	48,19	47,86	0,40			
16:30	koe 4	KENNO 1 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	47,19	47,18	47,07	47,12	47,14	0,05	-0,72		1,73		
		KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	47,83	48,25	47,92	48,09	48,02	0,16	0,88				
		KENNO 3 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	48,27	48,30	49,15	48,37	48,52	0,36	0,50				
		KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	49,55	49,79	49,53	49,48	49,59	0,12	1,07				

Liite 25. Optimointi lajilla U3, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	kokonaisvaaleuden nousu	
				pintapuoli		pintapuoli						
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					
U3	1,0 %	2.11.2017 10:00	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	53,62	53,54	53,82	53,95	53,73	0,16		
					53,35	53,98	53,55	53,83	53,68	0,24	-0,06	
		10:15	koe 1	KENNO 1 ilma 2m ³ /min, iv. 105mm, sv. 110mm	55,39	54,81	55,51	55,00	55,18	0,28	1,50	2,86
					55,19	55,53	55,01	55,53	55,32	0,22	0,14	
					56,43	56,85	56,39	56,68	56,59	0,19	1,27	
					50,23	50,13	50,74	50,56	50,42	0,25		
		12:30	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	50,02	49,95	50,11	50,00	50,02	0,06	-0,39	3,20
					50,29	50,13	50,23	50,48	50,28	0,13	0,26	
		12:45	koe 2	KENNO 1 ilma 1,5m ³ /min, iv. 105, sv. 110	51,82	51,37	51,79	51,50	51,62	0,19	1,34	
					53,63	53,74	53,63	53,47	53,62	0,10	2,00	
		14:30	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	49,28	49,11	49,43	49,16	49,25	0,12		
					49,50	48,86	49,25	49,61	49,31	0,29	0,06	
		14:45	koe 3	KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	49,60	49,93	49,73	50,22	49,87	0,23	0,56	2,99
					50,50	51,62	50,71	51,11	50,99	0,43	1,12	
					52,15	52,18	52,23	52,36	52,23	0,08	1,25	
					49,06	48,05	48,63	49,03	48,69	0,41		
16:15	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	48,14	48,12	48,00	48,06	48,08	0,05	-0,61	1,98		
			48,89	49,31	48,95	49,17	49,08	0,17	1,00			
16:30	koe 4	KENNO 3 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	49,29	49,33	50,12	49,38	49,53	0,34	0,45			
			50,64	50,89	50,62	50,55	50,68	0,13	1,15			

Liite 27. Optimointi lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	kokonaisvaaleuden nousu	
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					
U1	1,0 %	3.11.2017 10:30	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	76,31	76,43	77,11	76,30	76,54	0,33		
					76,87	76,88	76,95	77,10	76,95	0,09	0,41	
		10:45	koe 1	KENNO 1 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	77,80	77,81	77,92	78,47	78,00	0,28	2,53	
					78,03	78,16	77,95	78,18	78,08	0,09	0,08	
					79,05	79,02	79,12	79,06	79,06	0,04	0,98	
					76,19	76,39	76,28	76,25	76,28	0,07		
		12:50	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	76,87	76,97	76,83	76,76	76,86	0,08	0,58	
					78,19	78,26	78,32	78,21	78,25	0,05	1,39	
		13:05	koe 2	KENNO 1 ilma 1,5m ³ /min, iv. 105mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 1,5m ³ /min, iv. 105mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	78,23	78,31	78,16	78,51	78,30	0,13	0,06	
					79,60	79,98	79,57	79,77	79,73	0,16	1,43	
		15:10	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	75,19	75,16	75,09	75,26	75,18	0,06		
					76,98	77,07	76,84	76,86	76,94	0,09	1,76	
		15:25	koe 3	KENNO 1 ilma MAX 2,5m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma MAX 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	78,19	77,75	77,83	77,84	77,90	0,17	0,97	
					77,51	77,46	77,39	77,53	77,47	0,05	-0,43	
					79,01	79,38	78,93	79,26	79,15	0,18	1,67	
					73,70	73,69	73,76	73,11	73,57	0,26		
16:45	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	76,76	76,69	76,65	76,75	76,71	0,04	3,15			
			77,88	77,61	77,65	77,99	77,78	0,16	1,07			
17:00	koe 4	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma MAX 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	78,52	78,33	78,49	78,56	78,48	0,09	0,69			
			79,62	79,70	79,84	79,59	79,69	0,10	1,21			

Liite 28. Optimointi lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskianvo	hajonta	kolonaisuusvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi		
				pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2						
U1	1,0 %	9.11.2017 10:00	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	67,18	67,41	67,66	67,67	67,48	0,20	kaikki kennot näytävät vaahtoavan hyvin		
		10:15	koe 1	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 190mm	70,87	71,00	71,28	71,22	71,09	0,17		3,61	
		10:50	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	67,70	67,27	67,44	67,01	67,36	0,25			
		11:05	koe 2	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 34%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 34%, iv. 120mm, sv. 190mm	70,65	70,77	70,81	70,81	70,76	0,07		3,41	
		11:40	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	67,44	67,66	67,43	67,39	67,48	0,11			2: aaltoilee, 4: pulputtaa
		11:55	koe 3	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 38%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 38%, iv. 120mm, sv. 190mm	72,27	72,05	72,28	72,27	72,22	0,10		4,74	
		12:35	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	68,39	68,24	67,66	66,71	67,75	0,66			2: ok vaahto, 4: iso vaahto, hitaampi virtaus kuin 2
		12:50	koe 4	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 32%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 32%, iv. 120mm, sv. 190mm	72,45	71,94	72,43	71,95	72,19	0,25		4,44	
		13:25	verrokki 5	syöttö vaahdotukseen	68,07	67,86	68,08	68,23	68,06	0,13			2: hyvä vaahto, hieman aaltoilee 4: isompi vaahto, tasaisempi virtaus
		13:40	koe 5	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	72,81	72,99	71,99	72,06	72,46	0,44		4,40	

Liite 29. Optimointi lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näyteottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	vaaleuden nousu	visuaalinen arviointi		
				pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2						
U1	1,0 %	9.11.2017 10:00	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	70,34	70,59	70,89	70,85	70,67	0,22	kaikki kennot näyttävät vaahtoavan hyvin		
		10:15	koe 1	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 190mm	74,31	74,49	74,92	74,82	74,64	0,25		3,97	
		10:50	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	70,98	70,56	70,71	70,28	70,63	0,25			
		11:05	koe 2	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 34%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 34%, iv. 120mm, sv. 190mm	74,05	74,17	74,36	74,31	74,22	0,12		3,59	
		11:40	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	70,57	70,88	70,66	70,59	70,68	0,12			2: aaltoilee, 4: pulputtaa
		11:55	koe 3	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 38%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 38%, iv. 120mm, sv. 190mm	76,21	75,97	76,24	76,22	76,16	0,11		5,49	
		12:35	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	71,76	71,63	71,03	69,94	71,09	0,72			2: ok vaahto, 4: iso vaahto, hitaampi virtaus kuin 2
		12:50	koe 4	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 32%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 32%, iv. 120mm, sv. 190mm	76,20	75,57	76,23	75,71	75,93	0,29		4,84	
		13:25	verrokki 5	syöttö vaahdotukseen	71,50	71,23	71,58	71,87	71,55	0,23			2: hyvä vaahto, hieman aaltoilee 4: isompi vaahto, tasaisempi virtaus
		13:40	koe 5	KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	76,69	76,98	75,82	75,92	76,35	0,49		4,81	

Liite 30. Sakeuden tutkimus lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	kokonaisvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi	
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					
1,01 %		7.11.2017 13:45	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	70,89	70,81	70,64	71,28	70,91	0,23	4,16	
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm								
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	74,87	75,16	74,99	75,24	75,07	0,14		
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm								
1,17 %		14:00	koe 1	KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm								
				syöttö vaahdotukseen	70,71	70,84	70,51	70,79	70,71	0,13		
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm								
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	73,93	74,38	73,71	74,17	74,05	0,25		
1,28 %		16:00	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	70,74	70,63	69,91	70,19	70,37	0,33	3,34	
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm								
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	73,77	73,34	73,77	73,94	73,71	0,22		
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm								
1,31 %		17:00	verrokki 4	KENNO 4 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 190mm	70,51	70,99	70,95	71,25	70,93	0,27	1,83	kova pulputus kaikissa kennoissa, roiskii massaa seinille
				syöttö vaahdotukseen								
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm								
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	71,91	72,46	73,09	73,58	72,76	0,63		

Liite 31. Sakeuden tutkimus lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa- laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	kokonaisvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi
				pintapuoli		pintapuoli					
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2				
1,01 %	verrokki 1	7.11.2017 13:45	syöttö vaahdotukseen	74,32	74,22	74,07	74,79	74,35	0,27	4,78	
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	78,91	79,25	79,04	79,33			
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm							
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm							
1,17 %	verrokki 2	14:50	syöttö vaahdotukseen	74,29	74,48	74,18	74,53	74,37	0,14	3,90	
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	78,08	78,59	77,94	78,46			
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm							
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm							
1,28 %	verrokki 3	16:00	syöttö vaahdotukseen	74,51	74,37	73,67	73,99	74,14	0,33	3,77	
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	77,88	77,47	78,07	78,18			
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm							
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm							
1,31 %	verrokki 4	17:00	syöttö vaahdotukseen	74,12	74,72	74,69	74,97	74,63	0,31	2,11	kova pulputus kaikissa kennoissa, roiskii massaa seinille
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	75,79	76,34	77,13	77,68			
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm							
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm							
U1	verrokki 4	17:00	syöttö vaahdotukseen	74,12	74,72	74,69	74,97	74,63	0,31	2,11	kova pulputus kaikissa kennoissa, roiskii massaa seinille
				KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm	75,79	76,34	77,13	77,68			
				KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm							
				KENNO 3 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm							

Liite 32. Sakeuden tutkimus lajilla U1, ISO-vaaleus

uusiomassa-laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	kokonaisvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi	
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					
U1	1,35 %	8.11.2017 17:25	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	70,47	69,89	70,09	70,07	70,06	0,10	kokeillaan ohjeen mukaan: sakeus 1,4 - 1,7 %, limanmäärä 15 % --> 2 kennon pintaa jouduttiin nostaa ja kaavaria säätämään	
				KENNO 1 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm								
				KENNO 2 ilma 20%, iv. 120mm, sv. 250mm								
				KENNO 3 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	70,23	70,70	70,08	70,69	70,43	0,28		
		17:25	koe 1	KENNO 4 ilma 20%, iv. 120mm, sv. 190mm								0,37
		18:20		verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	71,60	71,66	71,86	71,29	71,60	0,20	
					KENNO 1 ilma 1,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm							
					KENNO 2 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 250mm	72,83	72,95	75,00	74,65	73,86	0,98	
			KENNO 3 ilma 1,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm									
		18:20	koe 2	KENNO 4 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 190mm								2,26
		19:15		verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	70,91	71,26	71,80	71,83	71,45	0,39	
					KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm							
					KENNO 2 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 250mm	74,44	74,38	75,68	75,51	75,00	0,60	
			KENNO 3 ilma MAX 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm									
		19:15	koe 3	KENNO 4 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 190mm								3,55
		20:15		verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	71,49	71,56	71,10	70,51	71,17	0,42	
	KENNO 1 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm											
	KENNO 2 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 250mm	74,50			74,60	74,02	74,43	74,39	0,22			
	KENNO 3 ilma MAX 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm											
20:15	koe 4	KENNO 4 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 190mm								3,22		

Liite 33. Sakeuden tutkimus lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassalaji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	kokonaisvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi	
				kohta 1	kohta 2	kohta 1	kohta 2					
U1	1,35 %	8.11.2017 17:25	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	73,10	72,77	73,07	73,01	72,99	0,13	kokeillaan ohjeen mukaan: sakeus 1,4 - 1,7 %, ilmanmäärä 15 % --> 2 kennon pintaa jouduttiin nostaa ja kaavaria säätämään	
				KENNO 1 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm								
				KENNO 2 ilma 20%, iv. 120mm, sv. 250mm								
				KENNO 3 ilma 1,2m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	73,25	73,77	73,12	73,81	73,49	0,31		
		KENNO 4 ilma 20%, iv. 120mm, sv. 190mm										
		18:20	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	75,00	75,08	75,36	74,70	75,04	0,24		
		KENNO 1 ilma 1,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm										
		KENNO 2 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 250mm										
		KENNO 3 ilma 1,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	76,33	76,53	78,77	78,46	77,52	1,10				
		KENNO 4 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 190mm										
		19:15	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	74,36	74,78	75,34	75,41	74,97	0,43		
		KENNO 1 ilma 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm										
		KENNO 2 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 250mm										
		KENNO 3 ilma MAX 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	78,39	78,29	79,81	79,55	79,01	0,68				
		KENNO 4 ilma 25%, iv. 120mm, sv. 190mm										
		20:15	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	75,05	75,17	74,65	73,99	74,72	0,46		
KENNO 1 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 110mm												
KENNO 2 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 250mm												
KENNO 3 ilma MAX 2,0m ³ /min, iv. 120mm, sv. 250mm	78,46	78,61	77,95	78,42	78,36	0,25						
KENNO 4 ilma 30%, iv. 120mm, sv. 190mm												
		20:15	koe 4							3,65	2&4 kennojen pintaa ja kaavareita jouduttu säätää	

Liite 35. Sakeuden tutkimus lajilla U1, D65-vaaleus

uusiomassa-laji	sakeus	näytteenottoaika	asetukset	näyte 1		näyte 2		keskiarvo	hajonta	kokonaisvaaleuden nousu	visuaalinen arviointi / muuta	
				pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2	pintapuoli kohta 1	pintapuoli kohta 2					
U1	0,8 %	9.11.2017 15:50	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	72,34	72,68	71,97	72,66	72,41	0,29	7,38	kaikki kennot näyttävät vaartoavan hyvin / lajinvaihdossa tehtiin sakeuden muutos
				KENNO 1 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 110mm								
		KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	79,82	79,62	79,81	79,91	79,79	0,11				
		KENNO 3 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 250mm										
	1,0 %	24.11.2017 8:15	verrokki 1	syöttö vaahdotukseen	73,61	74,90	74,53	74,07	74,28	0,48	4,69	/ sakeuden muutos tehtiin ajossa
				KENNO 1 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 110mm								
		KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	78,87	78,97	78,72	79,32	78,97	0,22				
		KENNO 3 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 250mm										
	0,9 %	9:50	verrokki 2	syöttö vaahdotukseen	74,12	74,56	74,21	74,28	74,29	0,16	3,92	/ sakeuden muutos tehtiin ajossa
				KENNO 1 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 110mm								
		KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	77,88	78,01	78,47	78,50	78,22	0,27				
		KENNO 3 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 250mm										
	0,7 %	10:30	verrokki 3	syöttö vaahdotukseen	75,54	75,35	74,58	74,66	75,03	0,42	4,59	/ sakeuden muutos tehtiin ajossa
				KENNO 1 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 110mm								
		KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	79,74	79,74	79,55	79,47	79,63	0,12				
		KENNO 3 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 250mm										
1,0 %	11:15	verrokki 4	syöttö vaahdotukseen	74,94	74,84	75,10	75,45	75,08	0,23	5,01	/ sakeuden muutos tehtiin ajossa	
			KENNO 1 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 110mm									
	KENNO 2 ilma 33%, iv. 120mm, sv. 250mm	80,01	80,10	80,10	80,15	80,09	0,05					
	KENNO 3 ilma 2,0m³/min, iv. 120mm, sv. 250mm											

Liite 36. Vaahdotuksen vaaleudet 2016

ISO-vaaleus	U1 keskiarvo	U3 keskiarvo
syöttö vaahdotukseen	71,2	49,8
kenno 4 jälkeen	75,3	52,5
vaaleuden muutos	4,1	2,7