

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperitekniikan koulutusohjelma
Arto Mauno

Opinnäytetyö

Uusiomassan valmistuksen ja massan laadun optimoinnin työkalujen kehitys

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Tampere 4/2010

DI Arto Nikkilä
Georgia Pacific Nordic Oy

Tekijä	Arto Mauno
Työn nimi	Uusiomassan valmistuksen ja massan laadun optimoinnin työkalujen kehitys
Sivumäärä	79 sivua + 17 liitesivua
Valmistumisaika	Toukokuu 2010
Työn ohjaaja	Arto Nikkilä
Työn tilaaja	Georgia-Pacific Nordic, valvojana Jenni Vainio

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä kehitettiin Georgia-Pacific Nordic Oy:n Nokian tehtaan siistauslaitoksen laboriomittausten analysointityökaluja. Työssä luotiin tehtaalla yleisesti käytössä olevaan Metso Automationin DNALab-ohjelmaan laboriomittausten syöttönäyttö, johon siistaamossa toimiva vuorolaboratorio jatkossa syöttää mittaustuloksensa. Lisäksi työn tavoitteena oli luoda mittaustulosten lukemista helpottava raportti Microsoft Excelillä, joka ottaisi mittaustiedot suoraan DNALabista ja päivittäisi tehdyn raporttipohjan automaattisesti. Aikaisemmin mittaukset kirjattiin paperille, josta tulosten analysointi oli vaikeaa.

Työssä päästiin tavoitteeseen eli siistaamon laboratorioon asennettiin tietokone, johon laboriomittaukset syötetään. Myös tehtaan sisäiseen verkkoon saatiin talletettua Excelillä luotu raportti, jota kuka tahansa tehtaan työntekijöistä pääsee lukemaan. Excelillä luodussa raporttipohjassa on kuitenkin jonkin verran ongelmia, jotka voi tarvita hieman korjausta tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön ajalta ei saatu kirjattua tietokoneelle riittävästi mittaustuloksia, jotta luotettavia ja otannaltaan riittäviä johtopäätöksiä pystyttäisiin tekemään. Huomionarvoisia asioita ovat kuitenkin laboriomittauksille määritetyt ala- ja ylärajat, jotka eivät kaikilta osin ole enää ajan tasalla. Esimerkiksi kotikeräyspaperi on nykyään huomattavasti parempaa vaaleudeltaan, kuin se on ollut rajojen määrittämishetkellä vuonna 2001. Tämä johtuu osittain ainakin siitä, että kotona tulostaminen on lisääntynyt paljon 2000-luvulla, jolloin myös kopiopaperin määrä keräyspaperin seassa on lisääntynyt.

Työ sisältää luottamuksellisen osuuden. Luottamuksellinen osa sisältää DNALabiin luotujen syöttönäyttöjen luomisen vaiheet, Excel-raporttien luomisen vaiheet, työn tulokset ja johtopäätökset.

Writer	Arto Mauno
Thesis	Development of deinked pulp manufacturing and pulp quality optimization tools
Pages	79 pages + 17 appendice
Graduation time	May 2010
Thesis supervisor	MSc Arto Nikkilä
Co-operating company	Georgia-Pacific Nordic

ABSTRACT

In thesis data analysis the tools for laboratory measurements in the Georgia-Pacific Nordic Inc. Nokia deinking plant were developed. The input screen was created in Metso Automation's DNALab program, which is commonly used in the paper mill. Input screen is used to input laboratory measurement results. In addition, a report was created with Microsoft Excel, which would take the measurement data directly from DNALab and refresh the report automatically. Previously measurements were written directly on paper.

In the thesis the target was achieved. A computer was installed in the deinking plant, where laboratory measurements were input. Created report was stored in the mill's internal network and thus the report is readable anywhere in the mill. However, the created report has problems that need improving in the future.

Sufficient measurement data were not recorded during thesis to make reliable conclusions. Notable, however, was setting lower and upper limits to the laboratory measurements, which are no longer fully up to date. For example, domestic waste paper has much better brightness nowadays than it had in 2001, when limits were set last time.

The thesis contains confidential part. The confidential part contains creating of input screens, creating of reports, results of the work and conclusions.

Keywords

siistaus, massanvalmistus, Excel

Esipuhe

Haluaisin kiittää Georgia-Pacific Nordic Oy:n Nokian tehtasta siitä, että sain tässä vaikeassa taloustilanteessa ja varsinkin paperiteollisuudelle vaikeana aikana suorittaa opinnäytetyön tehtaallanne. Työ osoittautui mielenkiintoiseksi ja haastavaksi. Kaiken lisäksi työympäristö oli minulle aivan uudenlainen kokemus, koska siistaamosta minulla ei aikaisemmin ollut kokemusta, kuten ei myöskään pehmopaperin valmistuksesta.

Haluan kiittää Jenni Vainiota työn ohjaamisesta ja auttamisesta työn kaikissa vaiheissa. Kiitän myös Petri Huikoa, Jouko Pajusta ja Aki Haaramoa neuvoista ja vinkeistä, joita työn aikana tarvitsin. Lisäksi haluaisin kiittää myös Tuula Viitasta, jolta sain neuvoa DNAlabin ja Aspen Process Data Add-Inin käytössä. Haluan myös kiittää kaikkia muita, jotka työn aikana neuvoivat ja auttoivat opinnäytetyön valmistumisessa.

Lisäksi haluan kiittää erityisesti vielä siistaamon työntekijöitä, jotka ottivat uuden järjestelmän hyvin vastaan sekä neuvoivat ja antoivat rakentavaa palautetta käyttöön otetusta järjestelmästä.

Kiitän myös Arto Nikkilää työn ohjaamisesta. Haluan kiittää myös Pekka Kaatialaa, jonka oppien avulla tämän työn Excelillä luodut raportit aika pitkälle valmistuivat.

Tampereella huhtikuussa 2010

Arto Mauno

Sisällysluettelo

1 Johdanto	6
2 Georgia-Pacific Nordic Nokia	6
3 Siistausprosessi	7
3.1 Keräyspaperin varastointi.....	8
3.2 Keräyspaperin pulperointi.....	9
3.2.1 Matalasakeuspulppi.....	9
3.2.2 Keskisakeus- ja korkeasakeuspulppi.....	10
3.2.3 Rumpupulppi.....	11
3.3 Kuitukimppujen hajotus	11
3.4 Esilajittelu	12
3.4.1 Painesihdit	12
3.4.2 Pyörrepuhdistimet	14
3.5 Painoväriinpoisto.....	16
3.6 Jälkilajittelu.....	19
3.7 Pesu	19
3.8 Sakeutus	21
3.8.1 Rumpusuodin	21
3.8.2 Kiekkosuodin	22
3.8.3 Nauhasuotimet	22
3.8.4 Ruuvipuristin.....	23
3.9 Dispergointi.....	23
3.10 Valkaisu	25
3.11 Jauhatus	26
4 Siistauksen laboratoriomittaukset	27
4.1 Sakeus	27
4.2 pH.....	28
4.3 Vaaleus.....	29
4.4 Tuhka	29
Lähteet.....	31

1 Johdanto

Tämän työn tavoitteena oli luoda tietokoneella MetsoAutomationin DNAlabiin työkokonaisuus, johon siistamon laboratorion tekemät mittaukset syötetään. Tavoitteena oli myös luoda Microsoft Excelillä raporttipohja, johon DNAlabiin syötetyt mittaustulokset päivittyvät automaattisesti. Exceliin luotua raporttia voitaisiin käyttää siten prosessin tilan seuraamisessa. Työhön kuului myös kouluttaa siistaamon henkilökunta DNAlabin ja Excelillä luodun raporttipohjan käytössä. Työssä käsitellään myös siistausta yleisesti, siistauslaboratorion suorittamia mittauksia ja hieman Georgia-Pacific Nordic Oy:n Nokian tehdasta.

Siistaus on nykyaikaisen pehmopaperia tuottavan tehtaan yksi tärkeimmistä prosesseista. Siistausprosessilla on todella suuri vaikutus lopputuotteen laatuun, etenkin paperin vaaleuteen ja pehmopapereille tärkeään paperin pehmeeyteen.

2 Georgia-Pacific Nordic Nokia

Georgia-Pacific Nordicin Nokian tehtaan vuotuinen kapasiteetti on noin 75 000 tonnia pehmopaperia. Tehdas työllistää tällä hetkellä noin 330 henkilöä. Tehtaalla on neljä paperikonetta: PK-7, PK-8 ja PK-9 sekä museokone PK-5. Ainoastaan PK-7 ja PK-9 ovat näistä käytössä. Tehtaaseen kuuluu myös siistauslaitos, joka tuottaa uusiomassaa noin 40 000 tonnia vuodessa riippuen paperitehtaan tarpeista. (Paper machines 08, 2008.)

PK-7 käynnistettiin vuonna 1965, jonka jälkeen sitä on uusittu kahdesti. Sen maksiminopeus on 1400 m/min ja paperiradan leveys on 3300 mm. PK-7:n kapasiteetti on 25 000 tonnia paperia vuodessa. (Paper machines 08, 2008.)

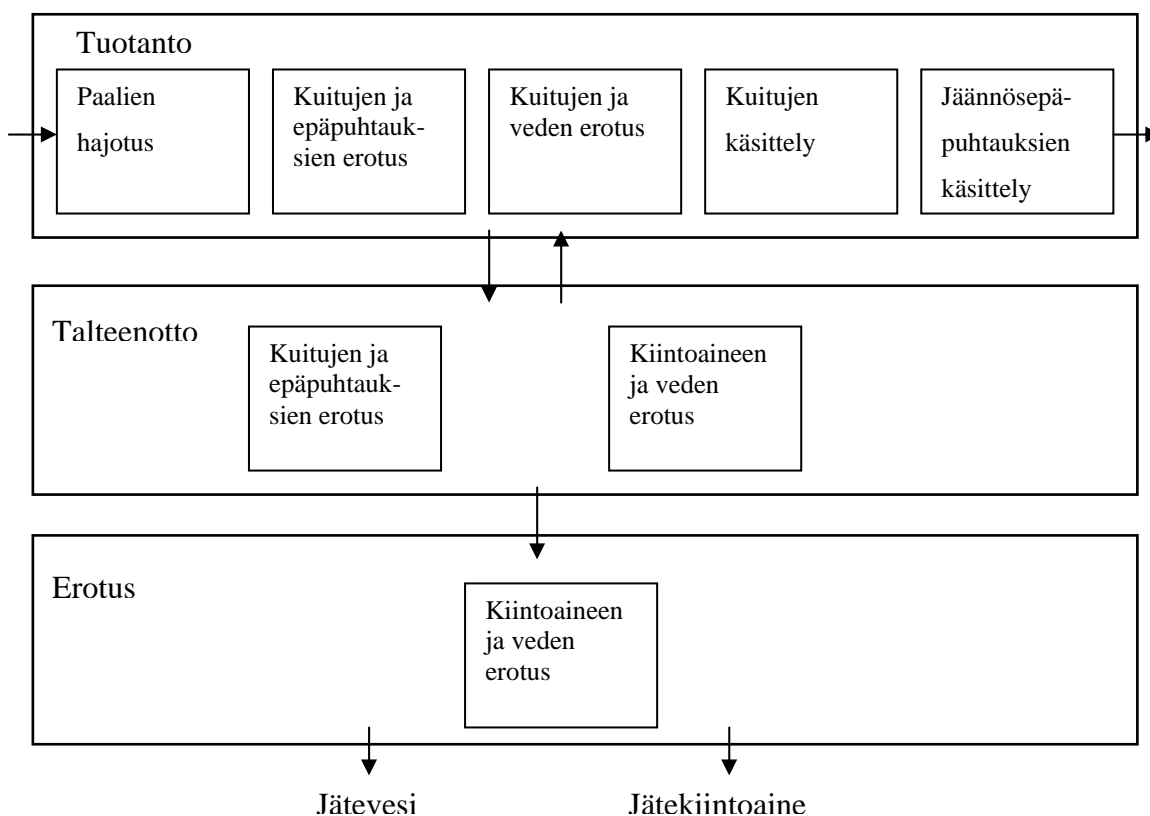
PK-9 käynnistyi vuonna 1970. PK-9:ää on myös PK-7:n tavoin uusittu kahdesti. PK-9:n radan leveys on 5300 mm ja maksiminopeus on 1560 m/min. Sen kapasiteetti on 50 000 tonnia paperia vuodessa. (Paper machines 08, 2008.)

Tehtaalla toimii myös jalostusyksikkö, jossa paperikoneella valmistetusta paperista jalostetaan wc- ja talouspaperia sekä käsi- ja teollisuuspyyhkeitä. (Yritysesittely 10, 2010)

3 Siistausprosessi

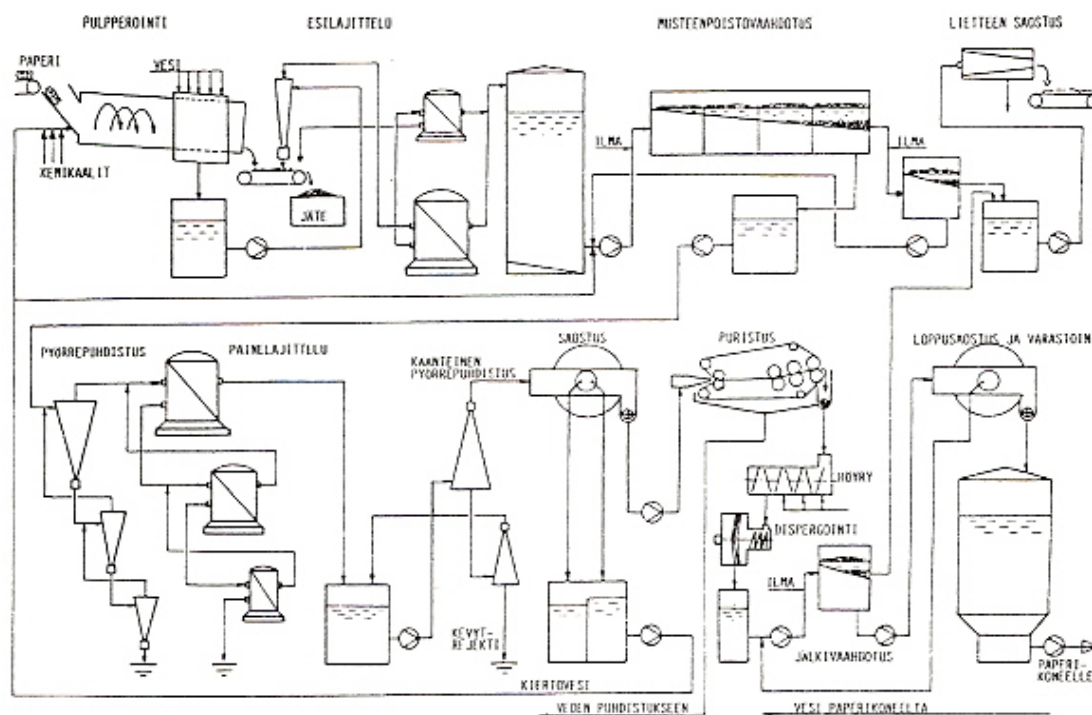
Siistausprosessissa hajotetusta ja lajitellusta keräyspaperista poistetaan painovärit, täyteaineet ja muut paperin valmistuksessa käytetyt lisäaineet. Kotikeräyspaperista joudutaan poistamaan myös kaikki muu ylimääräinen materiaali, joka paperin mukana tulee. Tällaisia ovat mm metalli, hiekka, muovit ja kaikki muu ylimääräinen, mitä ihmiset kotikeräyspaperiastiaan laittavat. Siistattu paperimassa yleensä myös valkaistaan. (Määttä 2008, 9.)

Siistausprosessi on esitettyä yksinkertaistettuna kuviossa 1. Kuviossa on jaoteltu siistaus kolmeen eri tasoon: tuotanto, talteenotto ja erotus.



Kuvio 1 Siistausprosessi lohkokaaviona

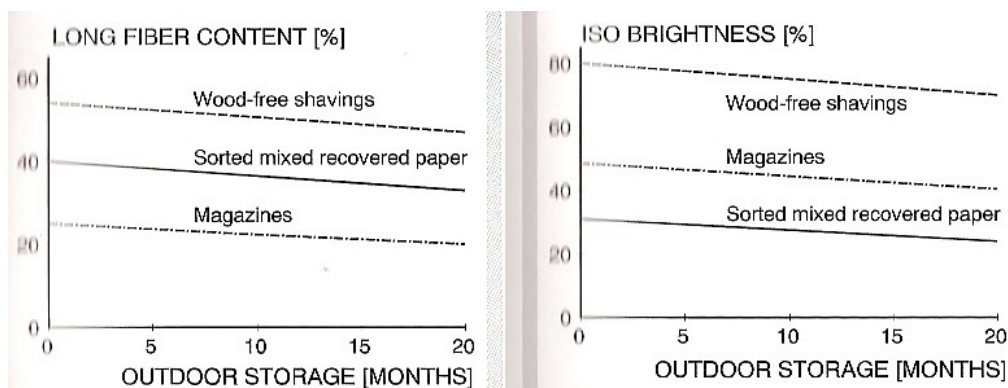
Siistausprosessit ovat aina hieman yksilöllisiä prosesseja. Joissain siistausprosesseissa esimerkiksi pesuvaihe voi olla aikaisemmin kuin toisissa. Tässä luvussa kerrotaan kuitenkin yksi näistä mahdollisista systeemeistä ja mikä tärkeintä, kerrotaan mitä eri siistausprosessin vaiheissa tapahtuu, miksi näin tehdään ja miten tehdään. Yksi mahdollisista siistausprosesseista on kuvattuna kuviossa 2.



Kuvio 2 Siistausprosessi (Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Seppälä, Siitonen & Sironen 2002, 70)

3.1 Keräyspaperin varastointi

Keräyspaperi varastoidaan yleensä paaleissa, ja niitä voidaan varastoida sisä- ja ulkotiloissa. Ulkotiloissa varastoitu keräyspaperi altistuu sateelle, lumisateelle ja auringonpaisteelle. Tällöin varastointiajan pidentyessä valmiin paperin lujuus laskee, koska pitkäkuitupitoisuus paperimassassa laskee. Ulkona varastoidun keräyspaperin vaaleus myös laskee, koska offset-painomenetelmällä painetuilla papereilla painovärin irtoaminen vaikeutuu. Muutokset eivät ole kuitenkaan kovin radikaaleja (kuvio 3). Sisätiloissa varastoidulla paperilla ei ole havaittu samanlaisia muutoksia kuin ulkona varastoidulla paperilla. (Göttsching & Pakarinen 2000, 57–58.)



Kuvio 3 Pitkäkuituosuuden ja vaaleuden muutos ajan funktiona (Göttsching & Pakarinen 2000, 57)

3.2 Keräyspaperin pulperointi

Varastoinnista keräyspaperi viedään pulperoitavaksi. Pulperissa keräyspaperi hajotetaan veden ja kemikaalien avulla yksittäisiksi kuiduiksi, jolloin vedestä, kemikaaleista ja kuiduista tulee helposti pumppautuva massa. Keräyspaperin hajottamiseen käytetään matalasakeus-, keskisakeus-, korkeasakeus- ja rumpupulppereita. Pulperin tehtäviin kuuluu

- syöttää pulperiin keräyspaperia, vettä ja kemikaaleja ennalta määrätty määrä
- hajottaa keräyspaperi
- poistaa ei-haluttua kiintoainetta prosessin aikaisessa vaiheessa (kuten tahmoja ja painoväriä), jotka voivat muuten hajota pienemmiksi partikkeleiksi
- sekoittaa prosessikemikaaleja. (Göttsching & Pakarinen 2000, 95–96.)

3.2.1 Matalasakeuspulperi

Matalasakeuspulperit (LC-pulperit) toimivat alle 6 %:n sakeudessa. Ne sopivat hyvin aaltopahville ja korkean märkälujuuden omaaville papereille. Matalasakeuspulperille keräyspaperi voidaan syöttää irtonaisena tai avattuina paaleina (paalilankoja ei tarvitse välttämättä poistaa). Matalasakeuspulperit ovat usein jatkuvatoimisia ja niiden kuidutusaika on 5–40 minuuttia. (Göttsching & Pakarinen 2000, 98.)

LC-pulpperissa massaa hajottava terä voi sijaita pulpperin pohjassa tai kyljessä. Massan lajittelijana toimii pulpperin rei'itetty pohjalevy tai kuiduttava sihti, joiden läpi massa ohjataan tyhjennyspumpun kautta varastosäiliöön. Pienillä pohjalevyn reikien läpimitoilla pulpperointiaika on pidempi kuin suurilla rei'illä, mutta suurilla rei'illä massaan jää enemmän kuitukimppuja. (Göttsching & Pakarinen 2000, 103; VTT Tuotteet ja tuotanto 2010.)

Matalasakeuspulpperin yhteydessä käytetään yleensä myös raggeria, joka poistaa pulpperista isoja ja pitkiä komponentteja, kuten paalilankoja ja muovivahteja. Raggeri toimii siten, että sen kautta kulkeva köysi ohjataan jatkuvalla liikkeellä pulpperiin, johon isot partikkelit tarrautuu. Köysi ohjataan pulpperista pois, joka sitten huuhdellaan pulpperin sakeudensäätövedellä kuituhäviön minimoimiseksi. Tämän jälkeen köysi ohjataan katkaisulaitteeseen ja palaset kuljetetaan jätelavoille. Köyden nopeus on 0–100 m/h, joka vaihtelee keräyspaperin ei-toivottujen komponenttien määrän mukaan. Jos nopeus on liian suuri, köysi saattaa murtua. Jos nopeus on taas liian pieni, köysi voi kasvaa liian suureksi ja osua pulpperin terään. Raggeri toimii parhaiten, kun pulpperointisakeus on 3,5–5,5 %. (Andritz Oy 2010; Göttsching & Pakarinen 2000, 104; Määttä 2008, 7.)

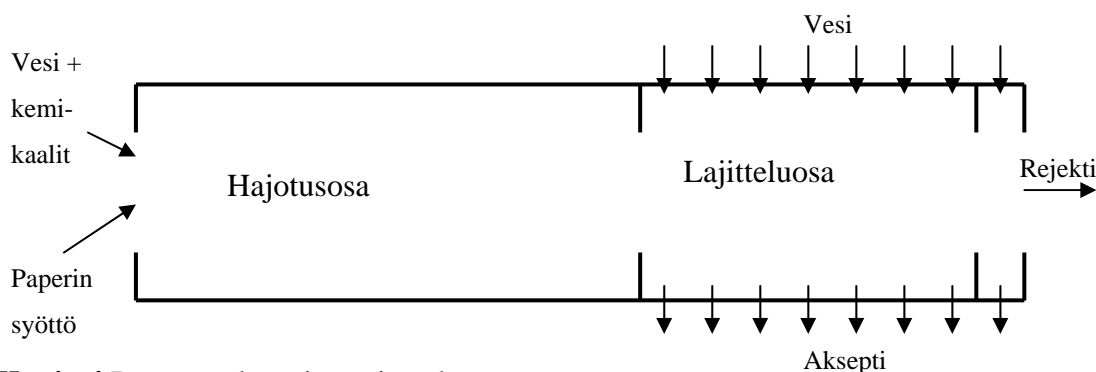
3.2.2 Keskisakeus- ja korkeasakeuspulpperi

Keskisakeuspulpperit (MC-pulpperit) toimivat alle 12 %:n sakeudessa, ja niitä käytetään erityisesti kotikeräyspapereille. Keräyspaperi syötetään MC-pulpperiin irtonaisena tai paaleina, joista on paalilangat poistettu. MC-pulpperit ovat yleensä panostoimisia ja niiden kuidutusaika on 20–30 minuuttia. Korkeasakeuspulpperit (HC-pulpperit) eroavat MC-pulppereista käytetyn sakeuden osalta (alle 19 %) ja pulpperointiajan osalta (15–25 minuuttia). (Göttsching & Pakarinen 2000, 98.)

Koska MC- ja HC-pulpperit ovat panostoimisia, voidaan niiden toiminta jakaa eri toimintavaiheisiin: keräyspaperin ja veden syöttö, massan hajotus, laimennus ja massan poisto pulpperista. Tämän vuoksi vain kaksi kolmasosaa pulpperin toiminta-ajasta on varsinaista pulpperointia. Pulpperin syöttö ja tyhjennys optimoidaankin kokonaistoiminta-ajan lyhentämiseksi. (Göttsching & Pakarinen 2000, 100.)

3.2.3 Rumpupulpperi

Keräyspaperin hajotus voidaan suorittaa myös rumpupulpperissa. Rumpupulpperi on noin 30 metriä pitkä rumpu, jonka halkaisija on 2,5–4,0 metriä. Rummun kehänopeus on 100–120 m/min. Rumpupulpperiin voidaan syöttää keräyspaperi vain irtonaisena ja se soveltuu sanomalehdille, aikakauslehdille, flutingille ja lainerille. Rumpu on jatkuvatoiminen. Rumpupulpperin periaatekuva on esitettyä kuviossa 4. (Göttsching & Pakarinen 2000, 104–105.)



Kuvio 4 Rumpupulperin periaatekuva

Rumpupulpperi voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa keräyspaperi hajotetaan ja toisessa lajitellaan hajotettu massa. Keräyspaperi syötetään rumpuun rummun päästä. Sakeus rummun hajotusosassa on 14–20 % ja lajitteluosassa 3–5 %. Rummun lajitteluosassa rummussa on pieniä reikiä, joista hyväksytyt jae menee läpi. Kiintoaine, joka ei mene akseptina rummun rei'istä, menee rummun päästä. (Göttsching & Pakarinen 2000, 105.)

3.3 Kuitukimppujen hajotus

Pulperista massaan jäävien kuitukimppujen hajotus tapahtuu hieman levyjauhimen näköisessä hajottimessa (engl. deflaker), joka sijaitsee pulperin hylkysysteemissä. Siinä hiutaleet saatetaan pulperin tuottamaan mekaanista rasitusta kovempaan rasitukseen, jolloin hiutaleet hajoavat yksittäisiksi kuiduiksi. Hiutaleiden hajottua massa pumpataan takaisin putkeen, jossa pulperoitu massa virtaa. (Göttsching & Pakarinen 2000, 106.)

3.4 Esilajittelu

Lajittelun ja puhdistuksen tarkoituksena on erotella keräyspaperista pulpperoidusta massasta roskia, jonka jälkeen nämä poistetaan prosessista. Tämä on vaikeaa, koska massassa on paljon erilaisia epäpuhtauksia. Tämän takia lajittelu- ja puhdistusmenetelmiä on monia. Looginen järjestys puhdistamisessa on poistaa ensin suuret partikkelit ja vasta sen jälkeen poistaa pienet ja vaikeammin puhdistettavat epäpuhtaudet (VTT Tuotteet ja tuotanto 2010).

Pulpperista massa johdetaan massakyyppiin, joka toimii välivarastona. Välivaraston jälkeen massa lajitellaan ja puhdistetaan. Esilajittelu tapahtuu painelajitteluna ja pyörrepuhdistuksena. Ensimmäisenä massa johdetaan sakeamassapyörrepuhdistimiin, joissa pulpperin rei'istä läpi päässeet raskaat jakeet, kuten karkea sora, niitit ja rautalangan pätkät, poistetaan. (Klemetti ym. 2002, 69.)

Massaa voidaan lajitella partikkelin koon, muodon ja painon mukaan. Joskus halutaan myös erotella eripituiset kuidut omiksi massoikseen. Lajittelussa kuituhäviöitä on mahdotonta välttää. Kuituhäviöiden minimoimiseksi lajittelu tapahtuu monissa eri vaiheissa.

3.4.1 Painesihdit

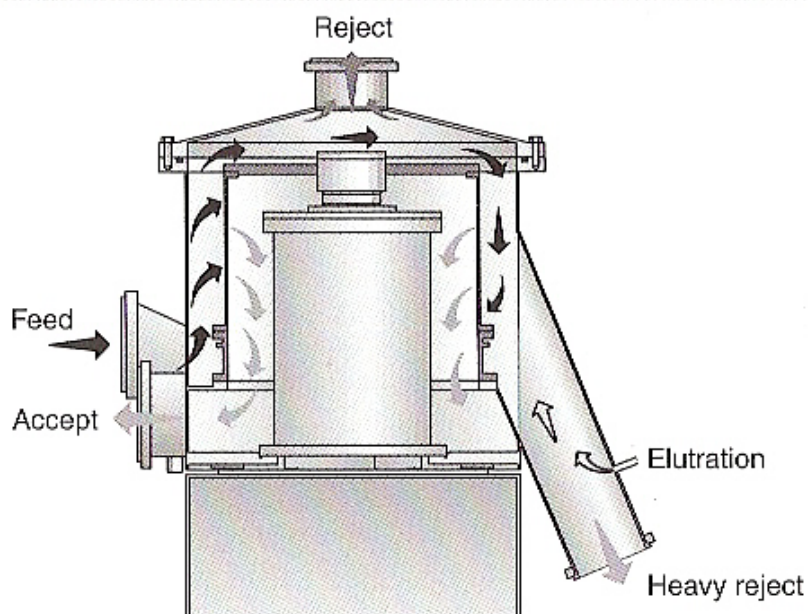
Painesihdeissä massaa lajitellaan siten, että massa yritetään johtaa sihdissä olevien pienten reikien tai rakojen lävitse. Tällöin kiintoaine, joka on pienempi kuin reiät tai raot, kulkee sihtipinnan lävitse ja suurempi aine jää toiselle puolelle. Suuri kiintoaine, joka ei mene sihtipinnan läpi, jatkaa rejektinä ulos sihdistä ja sihtipinnan lävitse mennyt kiintoaine menee akseptina seuraavaan vaiheeseen. (Göttsching & Pakarinen 2000, 109; VTT Tuotteet ja tuotanto 2010.)

Sihdit sopivat hyvin karkealajitteluun ja jälkilajitteluun. Sihtipinta voi olla levymäinen tai lieriömäinen riippuen sihdistä. Painesihdit eroavat siistauksen eri vaiheissa toisistaan paljon käytetyn raaka-aineen, massan roskapitoisuuden, kuituuntumattomien kuitukimppujen määrän ja massan sakeuden mukaan. Lieriömäisessä painesihdissä reikien koko on yleensä 2,0–3,0 mm ja levymäisessä 0,8–1,5 mm. Rakoja käytetään

yleensä vain lieriömäisessä painesihdissä, ja niiden leveys on yleensä 0,1–0,4 mm. (Göttsching & Pakarinen 2000, 119)

Levymäiset painesihdit ovat yleisiä karkealajittelussa, koska näillä saadaan myös hajotettua massassa olevia hiutaleita, jolloin saadaan minimoitua kuituhäviötä. Levymäisissä painesihdeissä on 2–4 mm sihtipinnasta asennettuna terä, joka pyöriessään hajottaa hiutaleita. Terä pyörii 20–30 m/s. Levymäiset painesihdit ovat yleisiä karkealajittelun toisessa vaiheessa. (Göttsching & Pakarinen 2000, 120.)

Sylinterimäiset painesihdit sopivat massoille, joiden kuitukimppupitoisuus on alle 5 %–yksikköä ja sakeus on alle 4,5 %. Sylinterimäiset painesihdit voivat olla keskipakoisia (sentrifugaalisia) tai keskihakuisia (sentripetaalisia). Sentrifugaalisissa sihdeissä massa syötetään sylinterin keskelle, jolloin aksepti menee sihtipinnan läpi sylinterin ulkopuolelle. Sentripetaalisissa aksepti syötetään sylinterin ulkopuolelle ja aksepti menee sylinterimäisen sihtipinnan läpi sylinterin keskelle. Karkealajittelussa käytetyt painelajittimet ovat yleensä sentripetaalisia. Sylinterimäisissä painesihdeissä rumpu pyörii 10–30 m/s. Sylinterimäisen painesihdin toimintaperiaate on esitettyä kuviossa 5 (sentripetaalinen). (Göttsching & Pakarinen 2000, 121.)

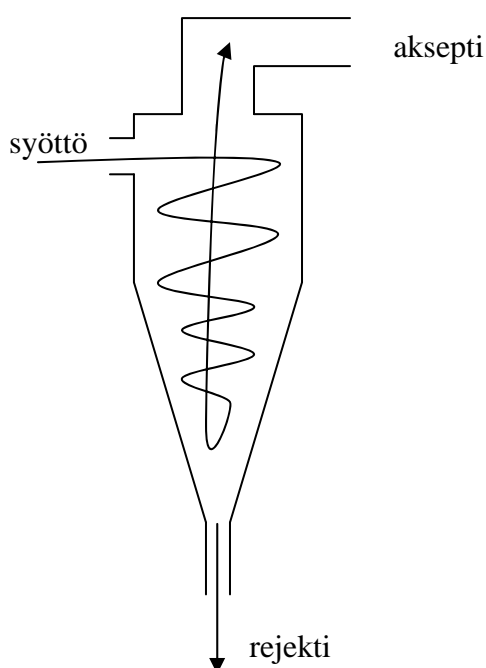


Kuvio 5 Sentripetaalisen painesihdin toimintaperiaate (Göttsching & Pakarinen 2000, 121)

3.4.2 Pyörrepuhdistimet

Pyörrepuhdistimet poistavat massasta kevyitä ja painavia partikkeleita, jotka huonontavat paperin laatua ja saattavat aiheuttaa kulumista muissa prosessilaitteissa. Poistettavia painavia partikkeleita ovat hiekka, niitit ja muut metalliset kappaleet. Kevyistä partikkeleista yleisimpiä ovat muovit. Kovalle partikkeleille arkoja laitteita ovat mm. jauhimet, painesihdit ja pumput. Jotta nämä partikkelit saataisiin poistettua mahdollisimman tehokkaasti pyörrepuhdistuksessa, olisi hyvä, että niiden tiheys eroaisi veden tiheydestä mahdollisimman paljon ja että koko ja muoto eroaisivat muista massakomponenteista. (Göttsching & Pakarinen 2000, 134–143.)

Pyörrepuhdistimen toimintaperiaate on esitettyä kuviossa 6. Massa syötetään pyörrepuhdistimeen puhdistimen sivusta (kuvassa vasemmalla). Massa syötetään puhdistimeen siten, että nopealla virtausnopeudella puhdistimen sisään syntyy hydro sykloni ja keskipakovoimaa. Tällöin kuitua tiheydeltään suuremmat partikkelit joutuvat syklonin ulkokehälle ja poistuvat puhdistimen alaosassa sijaitsevasta rejektiaukosta. Hydro syklonin keskelle muodostunut virta ylös nostaa kevyemmän massan kohti akseptiaukkoa. Kuituja kevyempien partikkeli erottamiseen massasta käytetään käännteistä pyörrepuhdistusta, jossa kuidut menevät painavampana jakeena puhdistimen pohjasta (aksepti) ja kevyemmät partikkelit puhdistimen yläosasta (rejekti).

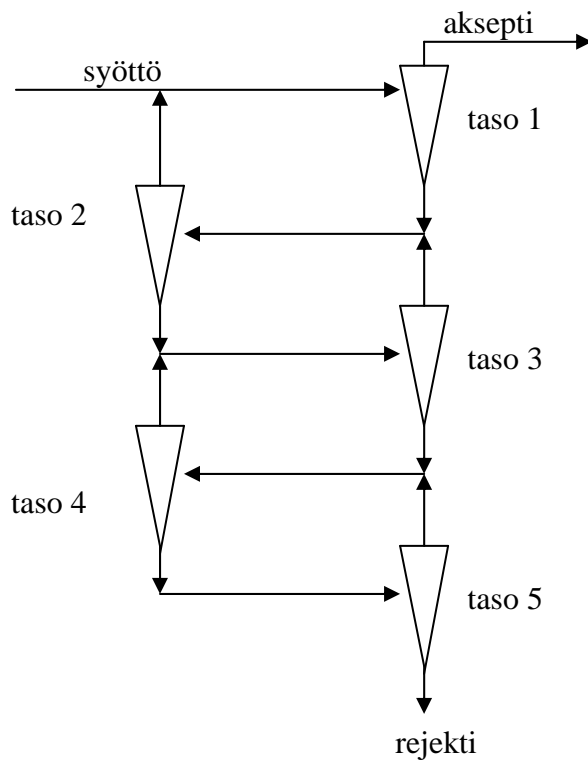


Kuvio 6 Pyörrepuhdistimen toimintaperiaate

Pyörrepuhdistimet toimivat suursakeus-, keskisakeus- tai matalasakeusalueella. Pulpperoitu siistausmassa puhdistetaan yleensä suursakeuspyörrepuhdistimilla. Jotta epäpuhtaudet erottuisivat massasta esilajittelussa, on niiden oltava pidempiä kuin 1 mm ja tiheyden merkittävästi yli 1 g/cm^3 . Suursakeuspyörrepuhdistimet toimivat 2–6 %:n sakeudessa. Massan puhdistustehokkuus laskee kuitenkin silloin, kun sen sakeus kasvaa, jolloin massan viskositeetti kasvaa. Suursakeuspyörrepuhdistimien rejektimäärä on 0,1–1,0 % puhdistimeen syötetyn massan määrästä. Rejektisuhde on sama myös keskisakeuspyörrepuhdistimissa. Keskisakeusalueella toimivat pyörrepuhdistimet toimivat alle 1,5–2,0 %:n sakeudessa. (Göttsching & Pakarinen 2000, 143–145.)

Matalasakeuspyörrepuhdistimilla massan sakeus on 0,5–1,5 %. Ne ovat yleensä pienempiä kuin keski- ja suursakeuspyörrepuhdistimet, jolloin puhdistimen keskipakovoima saadaan suuremmaksi. Matalasakeuspyörrepuhdistimilla saadaankin 1000 g:n painovoima, jolloin niiden erotustehokkuus on parempi kuin suursakeus- ja keskisakeuspyörrepuhdistimilla. Matalasakeuspyörrepuhdistimilla saadaankin poistettua massasta erittäin pienet, painavat partikkelit ja pienet kevyet partikkelit. Niiden energiatehokkuus on kuitenkin huonompi, koska ne toimivat matalammassa sakeudessa. Matalasakeuspyörrepuhdistimet ovat siitä erikoisia, että niillä voidaan samassa puhdistimessa poistaa liian raskaat ja liian kevyet jakeet. Tällöin puhdistimen yläosassa on putket akseptille ja kevyelle jakeelle sekä alaosassa raskaalle jakeelle. (Göttsching & Pakarinen 2000, 145–146.)

Yleisin kytkentäjärjestelmä pyörrepuhdistimille on kaskadijärjestelmä, jossa on 5 eri tasoa. Kaskadijärjestelmässä ensimmäisen tason puhdistimen rejektimassa menee syöttömassaksi toisen tason puhdistimelle ja aksepti jatkaa seuraaviin prosesseihin. Toisen tason puhdistimen rejekti ohjataan kolmannen tason puhdistimelle syöttömassaksi ja aksepti syötetään takaisin ensimmäisen tason puhdistimen syöttömassaan. Tällä periaatteella edetään aina viidenteen tasoon, jonka rejekti ohjataan ulos prosessista. Kytkentäjärjestelmä on esitetty kuviossa 7. Jokaisen tason syöttöön voidaan lisäksi ohjata laimennusvettä, jotta jokaisen tason pyörrepuhdistin saadaan toimimaan halutulla sakeusalueella. Kaskadijärjestelmää käytetään yleensä jälkilajittelussa.

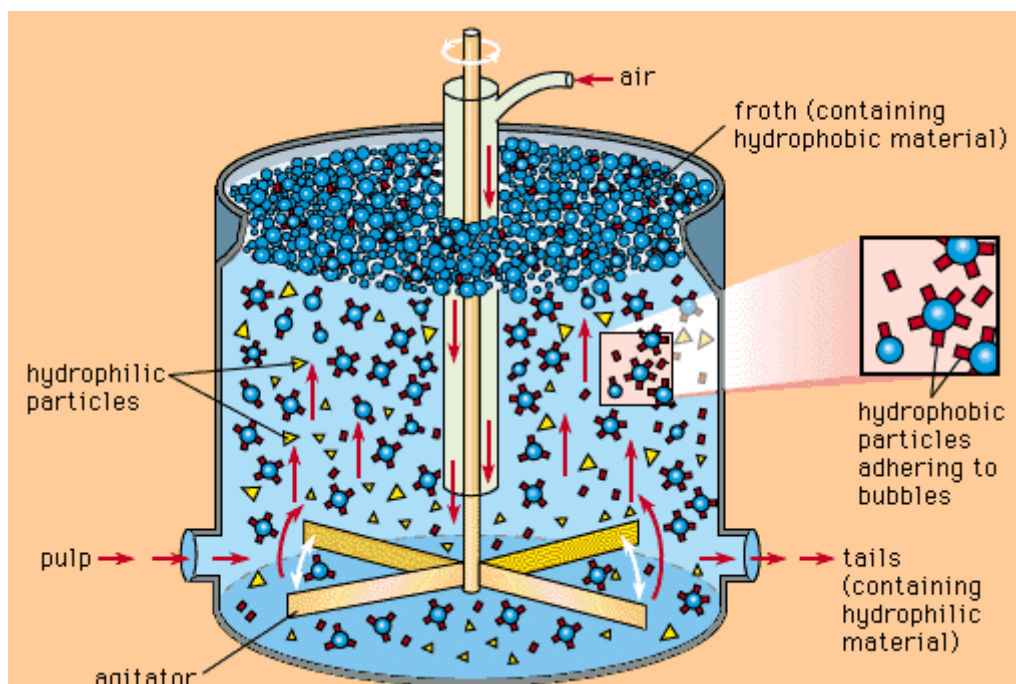


Kuvio 7 Pyörrepuhdistimien kaskadijärjestelmä

3.5 Painoväriinpoisto

Painoväriinpoisto voidaan suorittaa myös pesulla tai flotaatiolla. Flotaatio on nykyään kuitenkin yleisempi painoväriinpoistomenetelmä. Pesua käytetään flotaatiomenetelmässä kuitenkin pienten partikkelien poistoon. Pesusta on kerrottuna enemmän luvussa 3.7.

Pyörrepuhdistuksen ja painelajittelun jälkeen massa syötetään yleensä puskurina toimivaan välisäiliöön, josta massa syötetään flotaatiokennoille. Vaahdotuksessa massaan syötetään ilmaa. Massaan syntyy tällöin kuplia, joihin hydrofobiset painovärihiukkaset tarttuvat. Hydrofiiliset kuidut jäävät massaan. Kuplat nousevat pintaan painovärihiukkasten kanssa ja muodostaa pinnalle paksun vaahdon. Massan pinnalta vaahto otetaan pois. Flotaation periaate on esitettyinä kuviossa 8.



Kuvio 8 Flotaation periaate (Encyclopedia Britannica, 2010)

Flotaatiomenetelmä poistaa tehokkaasti painoväripartikkelit, joiden koko on 10–250 μm . Offset-painatuksella painettu keräyspaperi on ihanteellista siistauksen kannalta, koska offset-painovärien partikkeliagglomeraatiot (partikkelikasaumat) ovat läpimitaltaan noin 100 μm . Tosin hapettuneet painoväripartikkelit kiinnittyvät kuituihin vahvasti, jolloin partikkelikoko nousee helposti yli 500 μm :n. Ongelmia aiheuttavat myös fleksopainatuksen painovärit, koska näillä agglomeraatiot ovat liian pieniä flotaatiomenetelmään. Esimerkiksi vesipohjaisilla fleksoväreillä agglomeraatiot ovat kooltaan 1–5 μm . (Göttsching & Pakarinen 2000, 153.)

Flotaatiomenetelmä poistaa vain osan massan sisältämistä epäpuhtauksista, ja menetelmä noudattaakin todennäköisyyssääntöjä. Ensimmäkin mustepartikkelin täytyy osua ilmakuplaan, että se voi kiinnittyä ilmakuplaan (osumistodennäköisyys). Toiseksi osuessaan ilmakuplaan täytyy mustepartikkelin myös kiinnittyä siihen (kiinnittymistodennäköisyys). Mustepartikkelin kiinnittymisen jälkeen täytyy partikkelin myös pysyä kiinni ilmakuplassa ilmakuplan noustessa pintaan (kiinnipysymistodennäköisyys). Pinnassa ollessaan partikkelin täytyy vielä poistua prosessista vaahdon mukana. (Göttsching & Pakarinen 2000, 153–155, VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Flotaatiokennoja asennetaan yleensä monia peräkkäin, jotta massasta saataisiin riittävän hyvin poistettua painovärit. Lisäksi jos vaahto poistetaan kennosta ylijooksuna, tarvitaan rejektille vielä erikseen lyhyempi vaahdotusvaihe kuituhukan vähentämiseksi, jonka aksepti johdetaan takaisin ensimmäisen tason flotaatiokennoon. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Vaahdotuksessa massa tarvitsee tietyt kemialliset olosuhteet, jotta vaahdotus toimisi toivotulla tavalla. Oikeat kemialliset olosuhteet luodaan erilaisten flotaatiokemikaalien avulla. Tärkeimmät vaahdotuskemikaalit ja syyt niiden käyttöön on taulukoituna taulukossa 1. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Taulukko 1 Tärkeimmät vaahdotuskemikaalit (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009)

Kemikaali	Käytön syy
Natriumhydroksidi	Luo saippuaiset olosuhteet ja hajottaa painomusteen sideaineita.
Natriumsilikaatti	Estää vapautuneen musteen flokkautumisen uudelleen ja tasaa emäksisyyden.
Vetyperoksidi	Toimii valkaisuaineen stabilisaattorina.
Saippua	Valkaisuaine, joka estää mekaanisen massan kellertymisen.
Kalsiumsuola	Vaahdotuksen kokoojakemikaali yhdessä kalsiumin kanssa.
Pinta-aktiiviset aineet	Reagoi saippuan kanssa muodostaen tahmeita hiukkasia. Näillä veteen liukenemattomilla hiukkasilla on voimakas kyky tarttua ilmakupliin ja mustepartikkeleihin.
	Edistää kuitujen kastumista ja sopivan vaahdon muodostumista

Flotaatiokennossa sakeus on 0,8–1,5 % ja lämpötila 40–70 °C. Lisäksi jos pinta-aktiivisena aineena käytetään rasvahappoa tulisi pH:n olla 7–9 ja veden kovuuden 5–30 °dH. (Göttsching & Pakarinen 2000, 157.)

Laiteratkaisuiltaan flotaatiokennot eroavat toisistaan paljon. Eroavaisuuksia ovat muun muassa:

- ilmastusjärjestelmä
- kennojen määrä sarjassa (vaiheiden määrä)
- ilmansyöttö kennoon (painesäiliöstä vai suoraan pumpulta)
- vaahdonpoisto kennosta
- rejektin käsittely
- avoin vai suljettu kenno
- kennojen muoto (Göttsching & Pakarinen 2000, 158.).

3.6 Jälkilajittelu

Painoväriin poiston jälkeen massa viedään jälkilajitteluun. Kuten esilajittelussa, myös jälkilajittelussa massaa puhdistetaan pyörrepuhdistimilla, painesihdeillä ja käänteisillä pyörrepuhdistimilla. Pyörrepuhdistimista on kerrottu tarkemmin luvussa 3.4.2 ja painesihdeistä luvussa 3.4.1. (Klemetti ym. 2002, 69.)

Jälkilajittelussa massan puhdistus aloitetaan yleensä normaalilla pyörrepuhdistuksella, jossa poistetaan niittejä ja hiekkaa. Jälkilajittelussakin pyörrepuhdistus on yleensä järjestetty kaskadi-periaatteen mukaisesti. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Normaalin pyörrepuhdistuksen jälkeen massa johdetaan painesihdeille, joilla poistetaan pieniä epäpuhtauksia, kuten pieniä epäpuhtauksia, tahmoja ja kuitukimppuja. Jälkilajittelun sihdit toimivat kaskadikytkennällä tai toisen vaiheen aksepti eteenpäin ajettuna. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Painesihtien jälkeen massa johdetaan vielä käänteiseen pyörrepuhdistukseen, joka poistaa massasta lateksia, liimaa, kumia, muovia ja elektrofotografialla (lasertulostus) painetun paperin mustetta. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

3.7 Pesu

Pesun avulla saadaan massasta puhdistettua pienimmät, alle 30 μm :n kokoiset partikkelit. Jos partikkelin koko on yli 30 μm , sen poistaminen pesurissa on jo vaikeampaa, koska tällöin suotimen pinnalle jäänyt massakakku estää niiden pääsyn suodatinpinnan läpi. Pesu voidaan suorittaa yhdessä tai useammassa vaiheessa. Pesu voidaan suorittaa myös osana saostusta. Pesun tavoitteena on poistaa massasta paperinvalmistusprosessia haittaavat ja lopputuotteen laatua huonontavat aineet. Pesussa massasta poistuu täyteainetta, päällystyspigmentejä, hienoainetta, tahmoja ja painoväripartikkeleita kuin myös liuenneita ja kolloidisia aineita. (Göttsching & Pakarinen 2000, 176.)

Massan käyttökohteesta riippuu, mitä massasta halutaan pesulla puhdistaa. Esimerkiksi pehmopaperin valmistuksessa ei haluta, että uusiomassa sisältää täyteaineita, koska pehmopaperin pitää olla pehmeää. Taulukossa 2 on listattuna aineet, jotka pesurilla halutaan poistaa eri lopputuotteilla. Kuituhäviötä ei pesussa haluta kuitenkaan missään tapauksessa tapahtuvan. (Göttsching & Pakarinen 2000, 177.)

Taulukko 2 Poistettavat aineet loppukäytön mukaan

Lopputuote	Täyteaineet	Hienoaine	Painovärit
News	ei poisteta	ei poisteta	poistetaan
SC	poistetaan osittain	poistetaan osittain	poistetaan
LWC	poistetaan	poistetaan osittain	poistetaan
Tissue	poistetaan	poistetaan osittain	poistetaan

Pesurit voidaan lajitella neljään eri periaatteella toimiviin laiteratkaisuihin: suotonauhatyyppiset, kiekkosuodintyyppiset, spray-tyyppiset ja painelajitintyyppiset (Göttsching & Pakarinen 2000, 181–185).

Suotonauhatyyppisiä pesureita on monenlaisia. Yksi näistä on paperikoneen viiraosaa muistuttava pesuri (toiminta selitetty tarkemmin luvussa 3.8.3). Nykyisin suotonauhatyyppisissä pesureissa massaa pestään keskipakovoiman avulla. Massa syötetään suodatinkankaan ja telan muodostamaan “kitaan”. Laitteen nopeus on 350–1000 m/min. Tällöin syntyneen keskipakovoiman ansiosta massasta poistuu suodatinkankaan läpi pientä kiintoainetta. Suotautumaton kiintoaine kaavitaan pois telan pinnalta ja otetaan talteen. Tällaiset keskipakovoiman avulla massaa pesevät laitteet ovat hyviä poistamaan massasta täyteainetta (tuhkaa). Tätä toimintaperiaatetta käyttävät mm. Voithin VarioSplit ja Double Nip Thickener (DNT-pesuri). (Göttsching & Pakarinen 2000, 181–184.)

Kiekkosuodintyyppiset pesurit toimivat samalla periaatteella kuin kiekkosuodin. Kiekkosuotimen toimintaperiaate on kerrottu tarkemmin luvussa 3.8.2. Kiekkosuotimia käytetään pesuun vain silloin, kun halutaan massalle lievää pesua ja täyteaineenpoistoa. (Göttsching & Pakarinen 2000, 184.)

Spray-tyyppisissä pesureissa massaa suihkutetaan suuttimista pienireikäistä sylinterinmuotoista sihtipintaa kohti kovalla vauhdilla, jolloin massan pienimmät jakeet menee sihtipinnan läpi. (Göttsching & Pakarinen 2000, 184–185)

Painesihtityyppisissä pesureissa massan pesu tapahtuu normaalin sylinterimäisen painesihdin tavoin. Pesurina toimiva painesihti eroaa lajitteluvaiheen painesihdeistä sihtipinnan reikien tai rakojen koossa, jotka pesurissa on noin 0,2 mm. Sihdillä massasta poistuu tuhkaa, hienoainesta ja pieni osa lyhyistä kuiduista. (Göttsching & Pakarinen 2000, 185.)

3.8 Sakeutus

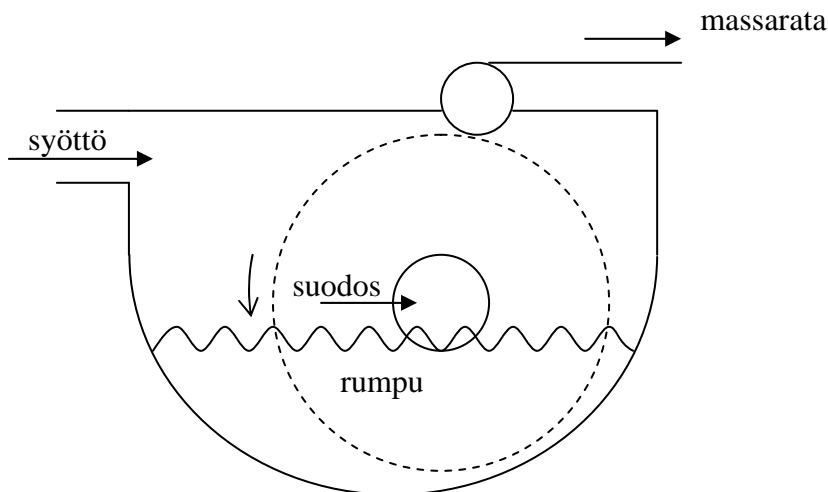
Massaa sakeutetaan seuraavista syistä:

- Dispergoinnissa massan sakeus pitää olla 22–35 %.
- Taloudellisuus paranee myöhemmissä prosessin vaiheissa (esim. valkaisuissa).
- Massan kuljetus on taloudellisempaa ja sen varastointi vie vähemmän tilaa .
- Suodosvettä voidaan käyttää siistausprosessin aikaisemmissa vaiheissa (esim. pulpperissa). (Göttsching & Pakarinen 2000, 168–169.)

Yleisimmät sakeutukseen käytetyt laitteita ovat rumpusuodin, kiekkosuodin, nauhasuodatin, suotonauhapuristin ja ruuvipuristin.

3.8.1 Rumpusuodin

Rumpusuotimessa massa syötetään sammioon, jossa on suodatinkankaalla peitetty rumpu. Vesi läpäisee suodattimen jolloin kiintoaine jää suodattimelle. Rummun pyöriessä syntynyt massarata (sakeutunut massa) otetaan rummulta kaavinlevyllä tai telalla. Suodatinkankaan läpi mennyt vesi ohjataan pois rummun keskeltä. Rummun toimintaperiaate on esitettynä kuviossa 9. (Göttsching & Pakarinen 2000, 173.)



Kuvio 9 Rumpusuotimen toimintaperiaate

3.8.2 Kiekkosuodin

Kiekkosuodatin on leikkauskuvaltaan hieman rumpusuotimen näköinen laite. Kiekkosuotimessa rummun tilalla on kuitenkin kiekkoja, jotka pyörivät. Massa syötetään sammioon rumpupesurin tavoin. Massasulppu menee kiekossa olevalle suodattimella, jolloin kiintoaine jää suodattimen pinnalle ja suodos menee kiekkojen keskellä menevään putkeen. Kiintoaine otetaan talteen kiekolta. Kiekkosuodatin sisältää jopa 34 kiekkoa, joiden halkaisija on 3,0–5,5 m. Kiekot pyörivät 0,5–2,0 rpm. Kiekkosuotimella päästään 10–12 % sakeuteen. Kiekkosuodin on yleinen laite saostuksessa, koska se on halvin laite poistettavaan vesimäärään nähden. (Göttsching & Pakarinen 2000, 173–174; VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

3.8.3 Nauhasuotimet

Nauhasuodatin toimii samalla tavalla kuin paperikoneen viiraosa. Massa syötetään liikkuvalla suodatinkankaalle, jonka läpi suodos menee painovoima ja tarvittaessa imun avulla. Massakakku jää nauhan päälle, ja se otetaan nauhalta pois yhtenäisenä ”mattona”. Nauhasuodattimella päästään 5 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jos imua ei käytetä. Imun avulla päästään 10 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Göttsching & Pakarinen 2000, 172.)

Suotonauhapuristimen alkuosassa poistetaan vettä samalla tavalla kuin nauhasuodattimessa. Ilman imua tapahtuvassa alkuosassa kiintoaineesta valmistetaan rata, joka johdetaan tämän jälkeen kahden huovan välissä muutaman telan ympäri, jolloin suotonauhat tuottavat painetta niiden välissä kulkevaan massaan. Tämän jälkeen massarata otetaan talteen. Suotonauhapuristimilla päästään 10 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Göttsching & Pakarinen 2000, 172–173.)

Kaksoisviirapuristimessa vedenpoisto tapahtuu alussa suotautumalla kahden viiran välissä. Tämän jälkeen massarata ohjataan viirojen välissä puristinnipeille. Nipissä tai nipeissä radasta poistetaan vettä puristamalla, jonka jälkeen rata otetaan talteen. Tällaisissa järjestelmissä päästään 25–50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Göttsching & Pakarinen 2000, 172–173.)

3.8.4 RuuVIPuristin

RuuVIPuristimessa massaa puristetaan sylinterimäisessä putkessa pyörivän ruuvin avulla. Vesi poistuu painovoiman ja sylinterin tuottaman puristuksen avulla. Sylinterissä on pieniä reikiä, joista vesi poistuu. Kiintoaine jää sylinterin ja ruuvin väliin ja menee ruuvin liikkeen ansiosta sylinterin päästä ulos. RuuVIPuristimilla päästään korkeisiin kiintoainepitoisuuksiin. RuuVIPuristimia voidaan käyttää myös pesuun ja tuhkapitoisuuden säätöön sekä kuitujen muokkaamiseen. (Göttsching & Pakarinen 2000, 175; VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

3.9 Dispergointi

Dispergoinnin (myös nimityksiä hajotus tai muokkaus voidaan käyttää) pääasiallisina tehtävinä on

- hajottaa painovärit, tahmoaineet ja roskat paljaalle silmälle näkymättömiksi partikkeleiksi tai tehdä näistä jälkiflotaatiossa helposti poistuvia partikkeleita
- hajottaa vaha-, päällystyspasta- ja pintaliimauspartikkelit
- sekoittaa massaan valkaisuaineita
- muokata mekaanisesti massaa parempien lujuusominaisuuksien tavoittamiseksi

- käsitellä kuituja lämmön avulla paremman bulkin tavoittamiseksi
- varmistaa massan puhdistuminen mikro-organismeistä. (Göttsching & Pakarinen 2000, 185; Määttä 2008, 14–15; VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Dispergoinnissa syntyy suuria leikkausvoimia, joiden avulla roskapartikkelit irtoavat kuiduista. Jotta leikkausvoimia syntyisi tarpeeksi, tulee massan oltava sakeudeltaan 22–35 %. Dispergointiprosessin sijoittamisella sakeutuksen ja valkaisu väliin saavutetaan taloudellista ja teknistä etua, koska valkaisu kemikaalit tulee syöttää korkeaan sakeuteen, varsinkin kun valkaisu kemikaalina käytetään hapettavia valkaisuaineita (esim. vetyperoksidi). Jos siistausmassasta halutaan korkealaatuista, voidaan siistausprosessiin laittaa kaksi dispergointiprosessia. (Göttsching & Pakarinen 2000, 186.)

Valkaisemattomilla siistausmassoilla dispergointiprosessi voidaan korvata painesihdillä, jonka rakoväli on 0,15–0,25 mm. Tällä menettelyllä säästetään energiaa ja lämmityshöyryä. (Göttsching & Pakarinen 2000, 186.)

Dispergointi tapahtuu levymäisessä hajottimessa tai kneader-tyyppisessä hajottimessa. Levymäinen dispergaattori muistuttaa rakenteeltaan levyjauhinta. Siinä massa syötetään staattorin keskeltä kohti kahta levyä, joihin on asennettuna teriä. Massa kulkeutuu terien välissä roottorin nopean pyörimisen tuottaman keskipakovoiman avulla. Roottori kehänopeus on yleensä 50–100 m/s. Terien tuottaman leikkausvoimien avulla massa muokkautuu. Levyjen kehältä massa otetaan talteen. Levydispergaattoreissa teräväli on suurempi kuin varsinaisissa jauhimissa, koska massan ei haluta jauhautuvan. Myös levyjen terät ovat erilaiset kuin jauhimissa. Dispergointiin käytetyn energian määrää säädellään massan sakeudella ja terävälillä. (Göttsching & Pakarinen 2000, 187–190; VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Kneading-tyyppisessä muokkaimessa dispergointi tapahtuu vaakatasoisessa putkessa, jonka toisessa päässä on syöttöaukko ja toisessa päässä poistoaukko. Putken sisällä on yksi tai kaksi muokkainta, jotka pyörivät. Massa liikkuu putkessa hitaasti syöttöaukosta poistoaukkoa kohti pyörivän liikkeen avulla ja dispergoituu samalla. Putken sisäreunoissa olevat vastuselementit auttavat leikkausvoimien syntymistä. Muokkaimen/muokkaimien kehänopeus hajottimessa on 5–15 m/s. Kneading-tyyppisissä on terävälikin suurempi kuin levydispergaattorissa. Ei tiedetä tarkkaan, miten kneading-tyyppisessä muokkaimessa syntyy yhtä paljon leikkausvoimia kuin

levymuokkaimissa. Riittävä pyörimisvastus ja massan vapaa liikkuminen staattorin staattorin läheisyydessä vaikuttavat kuitenkin tärkeältä tekijältä leikkausvoimien synnyssä. (Göttsching & Pakarinen 2000, 188–190.)

3.10 Valkaisu

Kotikeräyspaperin vaaleus pulperoinnin jälkeen on 40–45 % (ISO). Siistauksen jälkeen massan vaaleus on noin 60 % (ISO). Valkaisun avulla massan vaaleutta saadaan vielä nostettua. Siistattua massaa ei aina kuitenkaan valkaista. Esimerkiksi pakkauskartongin keskikerros on sellainen käyttökohde valkaisemattomalle siistausmassalle (DIP-massa), että sen vaaleudella ei juurikaan ole väliä. (VTT Tuotteet ja tuotanto 2009.)

Valkaisukemikaalit voidaan jakaa kahteen ryhmään: pelkistäviin ja hapettaviin. DIP-massaan käytetyin hapettava valkaisukemikaali on vetyperoksidi. DIP-massaan käytetyimmät pelkistävät valkaisukemikaalit ovat natriumditioniitti ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) ja FAS (formamidine sulfinic acid). Klooripitoisia valkaisukemikaaleja käytetään myös valkaisussa, mutta yleensä vain puuvapaiden DIP-massojen valkaisuun, koska klooripitoiset kemikaalit hajottavat ligniiniä. Myös otsonia voidaan käyttää, mutta sen käyttö nykypäivänä on vähentynyt selvästi. (Göttsching & Pakarinen 2000, 307; Määttä 2008, 15; Natriumditioniitin käyttöturvallisuustiedote 1995.)

Puupitoisilla DIP-massoilla valkaisuun pääasiallinen tehtävä on estää massan kellertyminen. Massan kellertymiseen vaikuttavat erityisesti valo, lämpö ja alkaliset olosuhteet (esim. pulperissa). Puupitoisen massan valkaisussa on tärkeää myös poistaa värjättyjen paperien väriaineet pelkistävillä valkaisuaineilla. Puupitoisille massoille käytetään hyvin useasti myös vetyperoksidia (peroksidi). Hygieniapapereiden valkaisussa käytetään usein vain pelkistävää valkaisua. (Göttsching & Pakarinen 2000, 308.)

Puuvapailta DIP-massoilla voidaan käyttää klooripitoisia valkaisukemikaaleja, kuten klooridioksidia (ClO_2) tai natriumhypokloriittia (NaOCl). Näitä ollaan kuitenkin korvaamassa sellun valkaisussa käytetyillä valkaisukemikaaleilla, kuten peroksidilla ja

hapella. Myös otsonia käytetään. Puuvapaa keräyspaperi on erityisen hyvää pehmopaperin raaka-ainetta. Ongelmana tässä on se, että Euroopassa puuvapaan keräyspaperin saatavuus on huono. Pohjois-Amerikassa saatavuus sen sijaan on parempi. (Göttsching & Pakarinen 2000, 308–309; Klemetti ym. 2002, 122.)

Valkaisu tapahtuu yleensä valkaisuurnissa. Valkaisukemikaalit sekoitetaan massan sekaan hieman ennen tornia tai dispergaattorissa. Jos massa syötetään dispergoinnin jälkeen, johdetaan massa erillisen mikserin kautta valkaisuurniin tasaisen valkaisuprosessin takaamiseksi. Jos valkaisukemikaalit syötetään dispergaattoriin, erillistä sekoitinta ei tarvita. Tällöin valkaisureaktio voi tapahtua joko dispergaattorissa tai sen jälkeisessä valkaisuurnissa. Peroksidia voidaan lisätä myös pulperointivaiheessa, mutta tällöin kemikaalin pääasiallinen tehtävä on estää mekaanisen massan kellastuminen. Peroksidin lisääminen pulperiin huonontaa kuitenkin varsinaisen valkaisuprosessin tuottamaa vaaleuden lisäystä. (Göttsching & Pakarinen 2000, 322–337.)

Yleinen menetelmä on myös valkaista keräyspaperista valmistettu massa kahdessa vaiheessa, joista toinen vaihe on pelkistävä ja toinen hapettava. Erityisesti SC- ja LWC-papereissa käytetty DIP-massa valkaistaan kahdessa vaiheessa pelkistävällä ja hapettavalla menetelmällä riittävän vaaleuden saamiseksi. Joissakin tuotantolaitoksissa käytetään myös kolmevaiheista valkaisua puupitoiselle keräyspaperille. Yleisimmät kaksivaiheiset yhdistelmät ovat:

- peroksidi-peroksidi
- peroksidi-ditioniitti
- peroksidi-FAS
- FAS-peroksidi. (Göttsching & Pakarinen 2000, 335–339.)

3.11 Jauhatus

Jauhatuksen tehtävänä on parantaa DIP-massan ominaisuuksia, lähinnä lujuusominaisuuksia. Lopputuotteesta riippuen jauhatuksella on myös muita tehtäviä. Esimerkiksi parannettua sanomalehtipaperia, SC-paperia tai LWC-paperia varten valmistettu DIP-massa jauhetaan lujuusominaisuuksien parantamisen lisäksi myös

karheuden alentamiseksi. Pehmopaperiin käytettävää DIP-massaa ei yleensä jauheta. Jauhatus suoritetaan aina siistauksen lopussa, koska jos jauhatus suoritettaisiin esimerkiksi ennen hienolajittelua, hajoaisi kaikki roskapartikkelit niin pieniksi partikkeleiksi, että niitä olisi lähes mahdoton erottaa massasta sen jälkeen. (Göttsching & Pakarinen 2000, 193–194.)

Jauhatus tapahtuu matalasakeus- tai korkeasakeusjauhimesta. Matalasakeusjauhimien toimintasakeus on noin 4 % ja korkeasakeusjauhimien yli 30 %. Matalasakeus- ja korkeasakeusjauhimilla päästään erilaisiin massan ominaisuuksiin. Esimerkiksi freeness-arvo ei laske korkeasakeusjauhinta käytettäessä yhtä paljon kuin matalasakeusjauhimella. DIP-massaa ei voida jauhaa yhtä voimakkaasti kuin esimerkiksi pitkäkuituista sellua, koska siistattu massa ei ole yhtä vahvaa kuin neitsytkuidusta valmistettu massa. Jos uusiomassaa jauhettaisiin yhtä paljon kuin pitkäkuituista sellua, suuri määrä kuituja katkeilisi pieniksi partikkeleiksi. (Göttsching & Pakarinen 2000, 195–199.)

4 Siistauksen laboratoriomittaukset

Siistausprosessin massasta joudutaan tekemään laboratoriossa erilaisia mittauksia. Yleisiä mittauksia ovat massan sakeus, pH, vaaleus ja tuhka. Yleensä näytteitä otetaan prosessin eri vaiheista eli samaa suuretta mitataan useammasta näytteestä kerralla.

4.1 Sakeus

Massan sakeus kuvaa massasulpun kuiva-aineen määrää. Sakeus kertoo suodattamalla massanäytteestä erotetun ja kuivatetun materiaalin painon suhteen suodattamattoman näytteen painoon. Tulos ilmoitetaan prosentteina. (Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002.)

Sakeuden laboratoriomittaus tapahtuu siten, että näytettä otetaan 250 g tai alle, riippuen suurpiirteisestä sakeudesta, minimissään kuitenkin 50 g. Ennen massan ottamista pitää varmistaa, että näyte on hyvin sekoittunut, koska huonosti sekoitettu näyte voi antaa virheellisen tuloksen. Otettu näyte punnitaan. Tämän jälkeen massa suodatetaan Büchner-suppilossa, johon on asetettuna kolminkertainen suodatinkangas, jonka tiheys on 100 mesh. Mesh-luku kertoo, kuinka monta lankaa suodattimessa on yhden tuuman matkalla. Lopuksi näyteastia huuhdotaan ja myös huuhtovesi suodatetaan. Tällä pyritään minimoimaan kiintoainehäviö. Tämän jälkeen massa otetaan suppilosta ja siitä irroitetaan suodatinkangas. Sitten massakakku kuivataan pikakuivaimessa niin kauan, että se on kuivanut vakiopainoiseksi. Sen paino ei siis muutu, vaikka sitä kuivattaisiin uudelleen. Lopuksi kuivanut massakakku punnitaan. Sakeus saadaan laskukaavasta

$$sakeus(\%) = \frac{100 \cdot B}{A} \quad (1)$$

jossa A on massanäytteenpaino grammoina ja B on kuivatun massan paino grammoina. (EDU 2010; Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002.)

Siistausprosessissa sakeutta mitataan yleensä näytteistä, jotka on otettu ennen prosesseja, joissa sakeudella on suuri vaikutus prosessin toimivuuteen, kuten esimerkiksi ennen valkaisua. Sakeutta mitataan myös online-mittarilla.

4.2 pH

pH on massasulpun vetyionikonsentraation mitta. Laboratoriossa mittaus suoritetaan yleensä pH-mittarilla. pH-mittari mittaa näytteen pH:n jännite-eron avulla, joka syntyy mittarin elektrodin sisällä olevan nesteen ja mitattavan liuoksen välille. Mittari muuttaa jännite-eron ja näyttää tuloksen näytöllä pH-lukuna.

pH-arvoa määritettäessä pyritään siihen, että mittaus tapahtuu lämpötilassa 25 °C (± 5 °C). Ennen mittausta tarkistetaan puskuriliuoksella, että mittari on kalibroitu oikein. Puskuriliuoksen pH on 7. Tarkastuksen jälkeen elektrodit huuhdellaan tarkasti tislattulla vedellä. Tämän jälkeen mittarin elektrodit upotetaan näytteeseen, jonka jälkeen sen annetaan stabiloitua noin minuutin ajan, ja pH-lukema voidaan sitten lukea mittarista. Lopuksi elektrodit poistetaan näytteestä, ne huuhdellaan tislattulla vedellä ja asetetaan

tislattuun veteen. pH-lukema ilmoitetaan yhdellä desimaalilla. (Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002)

4.3 Vaaleus

Siistamon massan vaaleutta pystytään mittaamaan samanlaisella spektrofotometrillä, jolla mitataan myös valmiiden paperiarkkien vaaleutta. Massasta joudutaan valmistamaan kuivia arkkeja ennen vaaleuden mittaamista. Massasta ei pystytä myöskään online-mittarilla mittaamaan vaaleutta ilman kalliita laitteita. Tämän takia siistaamon laboratoriossa suoritettavat vaaleusmittaukset ovat siistattavalle massalle suoritettavista laboratoriomittauksista tärkeimpiä.

Massasta tehdään arkkeja siten, että ensin näytemassan sakeus laimennetaan 1 %:n sakeuteen ja mitataan näytettä siten, että massassa on kuiva-ainetta suurin piirtein gramma. Mitattu massamäärä suotautetaan kuten sakeuden määrittäessä. Tämän jälkeen massakakku kuivataan alipaineuivaimessa imukartonkien välissä. Kuivaimessa massakakku kuivataan alipaineessa, 96 °C lämpötilassa 4-5 minuuttia. Tämän jälkeen kuivaimen paine palautetaan normaaliksi ja massakakku (arkit) ja imukartongit otetaan pois kuivaimesta. Arkkeja tehdään yleensä useampia kerrallaan. (Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002.)

Arkien teon jälkeen aloitetaan varsinainen vaaleuden määrittäminen. Se tapahtuu siten, että mitataan spektrofotometrillä muutamasta arkista (molemmilla puolilla) vaaleus. Näistä mittauksista lasketaan keskiarvo. Määritetty vaaleusarvo on sitä tarkempi, mitä useamman mittauksen suorittaa. (Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002.)

4.4 Tuhka

Tuhka on näytteestä happivirrassa tapahtuneessa nopeassa ja täydellisessä poltossa muodostuneen tuhkan massa ilmaistuna prosentteina ilmakehän näytteen massasta. Tuhkapitoisuuden avulla saadaan tietoa näytteen sisältämien kivennäisainekomponenttien, täyteaineiden ja muiden epäorgaanisten aineiden määrästä. Tuhkapitoisuus voidaan

määrittää paperista, massasulpusta, suodosvedestä tai kiintojätteestä. Määrityksestä voidaan käyttää myös nimitystä pikatuhka. (Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002.)

Tuhkapitoisuus määritetään siten, että näytekappaleet (arkit liuskoina, massakakku palasina) asetetaan taarattuun polttokoriin, jonka jälkeen punnitaan näyte. Polttokori massakappaleineen laitetaan lasiseen polttokammioon korin avoin pää kammion takaseinää kohti. Tämän jälkeen säädetään hapen virtaukseksi polttokammioon noin 5 l/min. Sitten näyte sytytetään korin avonaisesta päästä polttokammion takaseinässä olevan aukon kautta. Kun näyte on palanut loppuun ja lopettanut hehkumisen, lopetetaan hapen syöttö kammioon. Tämän jälkeen kori punnitaan sisältöineen. Lopullinen tuhkapitoisuus lasketaan kaavalla

$$Tuhka(\%) = \frac{100 \cdot B}{A} \quad (2)$$

jossa A on näytteen paino ja B on tuhkan paino. (Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002.)

Lähteet

Paper machines 08 2008. [Georgia-Pacific intranet] [ppt-tiedosto] [viitattu 4.2.2010]

Yritysesittely 10 2010. [Georgia-Pacific intranet] [ppt-tiedosto] [viitattu 4.2.2010]

Määttä, Heli 2008. Uusiomassa ja sen käyttö paperinvalmistuksessa. Kandidaatintyö.
[pdf]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

VTT Tuotteet ja tuotanto 2009. KnowPap Versio 11.0. VTT tuotteet ja

tuotanto.[online][viitattu 8.2.2010]. Saatavissa:

file:///book/knowpap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/tuotantopr
osessit/papvalm.htm.

Göttsching, Lothar & Pakarinen, Heikki (toim.) 2000. Recycled fiber and deinking.

Papermaking Science and Technology. Jyväskylä: Fapet.

Andritz Oy. [www-sivu]. [viitattu 9.2.2010] Saatavissa:

<http://www.andritz.com/ANONID58AE9A0D769AB31F/ppp/ppp-processes/ppp-processes-rcf-start/ppp-processes-rcf-pulping-start/ppp-recycledfiber-ragger.htm>

Klemetti, Ursula, Kortelainen, Veli-Antti, Lyytikäinen, Jorma, Seppälä, Markku (toim.),

Siitonen, Heikki, Sironen, Raimo 2002. Paperimassan valmistus.

Kemiallinen metsäteollisuus 1. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Encyclopedia Britannica. [www-sivu]. [viitattu 16.2.2010] Saatavissa:

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic-art/383742/1524/Schematic-diagram-of-a-flotation-separation-cell>

Natriumditioniitin käyttöturvallisuustiedote 1995. [online] [viitattu 19.2.2010]. Saatavissa:

<http://www.uiah.fi/mto/kemikaalit/aineet/natrditi/natrditi.htm>

Metso Oy. [www-sivu]. [viitattu 22.2.2010] Saatavissa:

http://www.metso.com/automation/ep_prod.nsf/WebWID/WTB-041028-2256F-2CCD8

iaMenu-ohje. [Georgia-Pacific intranet] [viitattu 22.2.2010]

DNALabConf-ohje. [Georgia-Pacific intranet] [viitattu 23.2.2010]

Aspen Process Data -ohje. [Georgia-Pacific intranet] [viitattu 1.3.2010]

Prosessilaboratorion toimintaohjeet 2002. ISO 9001. [viitattu 11.3.2010]

EDU 2010. [www-sivu]. [viitattu 11.3.2010] Saatavissa:

<http://www.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/lm2.html>