

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Prosessitekniikka

Mirella Varis

Hylynkäsittelyjärjestelmän optimointi

Opinnäytetyö 2015

Tiivistelmä

Mirella Varis

Hylynkäsittelyjärjestelmän optimointi, 46 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Prosessitekniikka

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: Yliopettaja, TKT Pasi Rajala, Saimaan AMK, käyttöpäällikkö Tero Karvinen, Stora Enso Oy

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enso Oyj Imatran tehtaille. Sen tarkoituksena oli optimoida Tainionkosken tehtaalla kartonkikone 5:n hylynkäsittelyjärjestelmän loppuosa niin, että järjestelmästä poistuu kuiva-ainetta haluttu määrä.

Teoriaosassa tutustuttiin aluksi lyhyesti Stora Enson Imatran tehtaisiin ja Tainionkosken tehdasyksikköön sekä kartonkiin ja kartonkikoneeseen kokonaiskuuvan saamiseksi työympäristöstä. Pääosa teoriaosuudesta käsitteli hylkyä ja hylynkäsittelyn tavoitteita, toimintoa ja laitteita.

Kokeellisessa osassa otettiin hylynkäsittelyjärjestelmän loppuosan jokaisesta vaiheesta näytteet, joista määritettiin sakeus, hienousaste ja tikkupitoisuus. Sakeusarvojen ja tunnettujen hyllyn virtausarvojen avulla määritettiin, paljonko hylynkäsittelyjärjestelmästä poistui kuiva-ainetta. Kuiva-aineen määrän haluttiin laskevan 500 kg päivässä. Näytteiden tulosten perusteella hylynkäsittelyjärjestelmälle laskettiin uudet aksepti-rejektisuhteet ja laimennussuhteet, jotta asetettu tavoite saavutettaisiin. Prosessiin ajettiin määritetyt muutokset ja niiden vaikutuksista otettiin näytteet samoista paikoista kuin ensimmäisellä näytteidenotokerralla. Näytteistä määritettiin jälleen sakeus, hienousaste sekä tikkupitoisuus ja laskettiin poistuvan kuiva-aineen määrä.

Poistuvan kuiva-aineen määrä onnistuttiin laskemaan noin 500 kg päivässä. Ensimmäisen ja toisen näytteidenoton hienousaste- sekä tikkupitoisuusarvoja verrattiin toisiinsa, mutta niille ei Stora Enson osalta ollut annettu tavoitearvoja. Hienousaste oli matalampi ja tikkupitoisuus suurempi toisen kuin ensimmäisen näytteidenoton aikana.

Epätarkkuutta työhön toi se, että ensimmäisen ja toisen näytteidenoton aikana oli käytössä eri kuiduttimet. Kuiduttimet olivat erilaiset, mikä teki hienousasteen ja tikkupitoisuuden vertailusta lähes mahdotonta. Eri kuiduttimien käyttö todennäköisesti vaikutti myös kuiva-aineen kulkuun.

Asiasanat: Hylky, hylynkäsittely, hylynkäsittelyjärjestelmä

Abstract

Mirella Varis

The Optimisation of Bulk Handling System, 46 Pages, 4 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Process Engineering

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Dr Pasi Rajala, Principle Lecturer, Saimaa UAS, Operations Manager Tero Karvinen, Stora Enso Oy

The thesis was made for Stora Enso Oyj Imatra Mills. The objective of the research was to optimise the end part of the bulk handling system of board machine 5 at Tainionkoski mill so that the desired amount of dry content would leave the system.

The beginning of the theory part shortly introduces the Stora Enso Imatra Mills and Tainionkoski unit and tells briefly about board and the board machine to give an overall look of the work environment. The main part of the theory covers bulk, bulk handling and what it consists of.

In the research part samples were taken from every phase of the end part of the bulk handling system and density, fineness and stick contents were analyzed. The amount of dry content leaving the system was calculated using analyzed density and known bulk flows. The goal was to lower the amount of dry content to 500 kg per day. To reach the target new accept-reject proportions and dilution proportions were calculated according to the results of the samples. The new proportion changes were made to the process and samples were taken from the same spots as on the first time when samples were taken to determine their effect. Density, fineness and stick content were once again analyzed and the amount of dry content was calculated.

The amount of dry content was successfully lowered to about 500 kg per day. The first and second fineness and stick content results were compared but they were not given any desired values by Stora Enso. During the collection of second samples fineness was lower and stick content higher than during the first sample collection.

Inaccuracy in the research was caused by the use of different defibrators during the first and second collection of the samples. The defibrators were different which made the comparing of fineness and stick content nearly impossible. The use of different defibrators most likely also affected the flow of dry content.

Keywords: Broke, broke handling, broke handling system

Sisällys

Tunnukset	6
Yksiköt	7
1 Johdanto	8
2 Stora Enso Oyj Imatran tehtaat	9
3 Kartongin valmistus	9
3.1 Rainanmuodostus	9
3.2 Puristinososa ja kuivatusosa	10
3.3 Pintaliimaus	10
3.4 Päällystys	11
3.5 Rullaus	12
3.6 Pituusleikkaus	13
4 Hylynkäsittely	13
4.1 Hylynkäsittelyn vaatimukset	14
4.2 Hylyn kuljetus	16
4.3 Pulpperointi	17
4.3.1 Pulpperin rakenne	18
4.3.2 Sekoitin	18
4.3.3 Vaakapulperi ja pystypulperi	19
4.3.4 Jatkuvatoiminen pulperi ja panospulperi	21
4.3.5 Pulpperoinnin edistäminen	22
4.4 Sakeutus	22
4.4.1 Kiekkosuodatin	23
4.4.2 Painovoimasaostin	24
4.5 Kuidutus	25
4.6 Lajittelu	27
4.6.1 Kokoon perustuva lajittelu	27
4.6.2 Tiheyteen perustuva lajittelu	30
4.7 Hylyn annostelu	31
4.8 Päällystetyn hyllyn käsittely	31
5 Kokeellinen osa	32
5.1 Tarkasteltava alue	32
5.2 Käytettävät sovellukset	33
5.3 Ensimmäinen näytteidenottokierros	34
5.3.1 Valmistelu	34
5.3.2 Näytteiden otto, analysointi ja tulokset	34
5.4 Järjestelmän optimointi	35
5.4.1 Lähtötilanteen määrittäminen	35
5.4.2 Optimointi	36
5.5 Koeajo	39
5.5.1 Muutosten ajo prosessiin	39
5.5.2 Näytteiden otto, analysointi ja tulokset	40
5.6 Tulosten tulkinta	40
5.6.1 Kuitumäärä	40
5.6.2 Hienousaste	42
5.6.3 Tikkupitoisuus	43
6 Yhteenveto	44
Kuvat	45
Kuviot	45

Taulukot.....	45
Lähteet.....	46

Liitteet

- Liite 1 Näytteidenottosuunnitelma
- Liite 2 Koeajosuunnitelma
- Liite 3 Virtauskaaviot 1. näytteidenoton aikana
- Liite 4 Virtauskaaviot 2. näytteidenoton aikana

Tunnukset

Q	virtaama
C	sakeus
t	aika
m	massa

Yksiköt

kuiva-ainepitoisuus %

sakeus %

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kartonkikoneen hylynkäsittelyä. Opinnäytetyö on tehty Stora Enson Imatran tehtaille ja sen tavoitteena on optimoida kartonkikone 5:n hylynkäsittelyjärjestelmä.

Kirjallisuusosassa tutustutaan lyhyesti Stora Enson Imatran tehtaisiin ja Tainionkosken tehdasyksikköön sekä kartonkiin ja kartonkikoneeseen kokonaisuksena saamiseksi työympäristöstä. Loppuosa teoriasta koostuu hylystä, hylynkäsittelystä, hylynkäsittelyjärjestelmästä, sen tarkoituksesta, toiminnasta ja laitteista.

Tutkimusosassa esitellään ensin hylynkäsittelyjärjestelmän tutkittava alue ja määritetään järjestelmän sen hetkinen tilanne analysoimalla järjestelmästä otettuja näytteitä. Näytteiden perusteella pyritään optimoimaan hylynkäsittelyjärjestelmä niin, että vuorokaudessa järjestelmästä poistuisi haluttu määrä kuivaainetta kanaaliin. Optimointi tapahtuu asettamalla järjestelmään sellaiset asetukset, että tavoite saavutetaan.

Asetuksiin tehtyjen muutosten jälkeen näytteet otetaan samoista paikoista kuin ensimmäisellä näytteenottokierroksella. Tulosten perusteella arvioidaan, kuinka hyvin tavoite on saatu täytettyä.

2 Stora Enso Oyj Imatran tehtaat

Imatran tehtaat muodostuvat Kaukopään ja Tainionkosken tehdasyksiköistä. Tehtailla tuotetaan paperia ja kartonkia. Imatran tehtaiden kapasiteetti on yhteensä yli miljoona tonnia vuodessa ja se on maailman suurin nestepakkauskartongin valmistaja. (Stora Enso 2015.)

Nestepakkauskartonkeja valmistetaan muun muassa maito- ja mehutölkkeihin. Elintarvikekartongista valmistetaan juomakuppeja ja erilaisia elintarvikepakkauksia, pakkauskartonkeja käytetään elintarvike-, makeis- sekä savukepakkauksiin ja graafisista kartongeista valmistetaan kansia, kortteja ja luksuspakkauksia. Tehtailla valmistetaan myös pakkauspapereita. (Stora Enso 2015.)

Imatran tehtaiden Tainionkosken tehdasyksikköön kuuluu kuorimo, sellutehdas, kartonkikone 5 sekä paperikone 7, joka kuitenkin on Opengate kapitan omistuksessa. KA5 on otettu käyttöön 30.3.1965 ja se valmistaa nestepakkauskartonkia. Koneen tuotanto on 260 000 t/v, joka kuitenkin kasvaa vuonna 2015 koneeseen tehtävien muutosten jälkeen. (Lindfors 2011, 6-7.)

3 Kartongin valmistus

Kartonki on paperilaji, jonka tunnusmerkkinä on suuri neliömassa ja usein kerroksellisuus. Joillakin papereilla voi kuitenkin olla suurempi neliömassa kuin ohuilla kartongeilla ja jotkut kartongit ovat yksikerroksisia. Tarkempi määrittely milloin puhutaan kartongista, perustuu lähinnä lopputuotteen käytön mukaan. Yleensä kartongin käyttötarkoitus vaatii kuitenkin juuri suurta neliömassaa ja monikerroksellisuutta. (Sepsilva Ltd Oy 1997, 42.)

Kartongin valmistus tapahtuu kartonkikoneella. Tässä luvussa tutustutaan lyhyesti kartonkikoneen tärkeimpiin osiin. Käsiteltyjen vaiheiden lisäksi kartonkikoneeseen voi kuulua myös muita prosessivaiheita.

3.1 Rainanmuodostus

Rainanmuodostuksessa määräytyvät monet tärkeät lopputuotteen rakenneominaisuudet. Rainanmuodostusosa koostuu perälaatikosta ja sen syöttöputkistos-

ta sekä viiraosasta. Monikerroskartongeilla jokaiselle kerrokselle on rainanmuodostusosa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 126.)

Perälaatikon ja sen syöttöputkiston tehtäviin kuuluu syöttövirtauksen painevaihteluiden ja mahdollisten poikkisuuntaisten virtaushäiriöiden tasaus, sopivan turbulenssin tuottaminen massalietteen kuituflokkien hajottamiseksi sekä tasaisen suihkun tuottaminen viiraosalle koko koneen leveydeltä. Viiraosalla poistetaan perälaatikon suihkuttamasta sulpusta vettä suotauttamalla se viirakudoksen läpi, aiheutetaan rainaan hydrodynaamisia voimia flokkien hajottamiseksi ja flokkien syntymisen estämiseksi, hallitaan vedenpoisto ja hydrodynaamiset voimat niin, että kuitu- ja täyteaineretentio ovat tasaiset ja halutun suuruiset sekä saatetaan raina riittävän suureen kuiva-ainepitoisuuteen, jotta rainan siirto viiralta puristimelle helpottuu ja puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 126.)

3.2 Puristinososa ja kuivatusosa

Viiraosalta paperiraina ohjataan puristinosalle 15-20 % kuiva-aineessa. Puristinosalla kuiva-ainepitoisuus nostetaan 40-55 %:iin. Märkäpuristuksessa paperiraina kulkee yhdessä yhden tai kahden huovan kanssa kahden toisiaan vasten puristetun telan välistä. Rainan kulkeutuessa telojen muodostaman nipin läpi vesi siirtyy paperista ensin huopaan ja siitä edelleen telalle. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 150.)

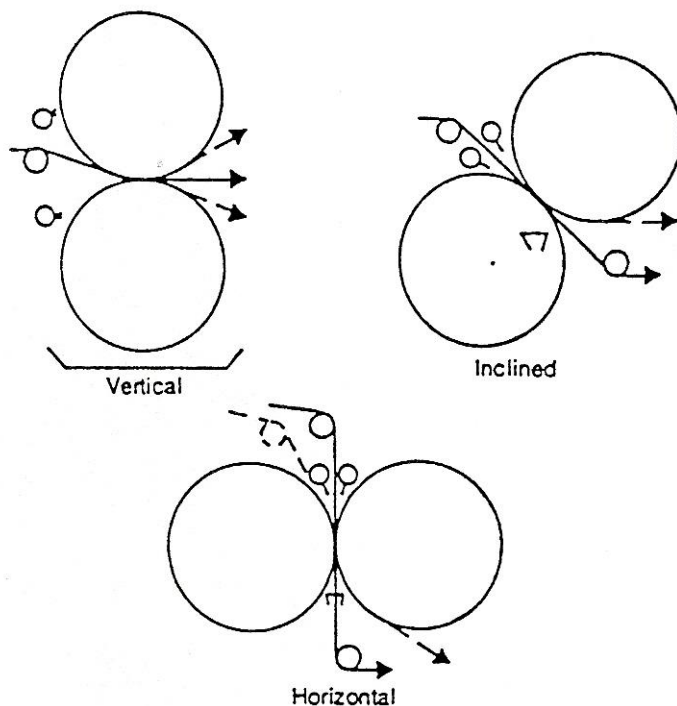
Kuivatusosalla rainasta poistetaan kosteutta höyryllä lämmitettyjen sylinterien avulla. Sylinterien lämpötila nousee radan edetessä. Kuivatussylinterin ja rainan joutuessa kosketuksiin keskenään rainan lämpötila nousee ja vettä haihtuu kuivatuskudokseen ja sen läpi. Suurin osa paperin kutistumisesta tapahtuu kuivatusosalla. Kutistuminen vaihtelee paperilajin, koneen nopeuden ja konekonseptin mukaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 157.)

3.3 Pintaliimaus

Pintaliimauksen tarkoituksena on sulkea kartongin pinta ennen päällystystä sekä lisätä kartongin lujuutta, jäykkyyttä, pölyämättömyyttä ja absorptioominaisuuksia. Lujuuden kasvua on myös samalla mahdollista ohjata haluttuun

suuntaan, joko lisätä pintalujuutta tai palstalujuutta ja jäykkyyttä. (Sepsilva Ltd Oy 1997, 136.)

Perinteisesti pintaliimaus on suoritettu kartonkikoneella liimapuristimessa, mutta myös joitakin pigmenttipäällystyksen suunniteltuja laitteita on käytetty pintaliimauksessa. Liimapuristinyksikkö koostuu yhdestä kovasta ja yhdestä pehmeästä telasta sekä liiman annosteluputkistosta. Teloille annostellaan pintaliimapigmenttiä ja kartonki johdetaan telojen muodostaman nipin kautta, jolloin pintaliima painautuu kartonkiin. Telat on voitu asettaa vertikaalisesti, horisontaalisesti tai kaltevasti vastakkain, jolloin myös pintaliiman annostelu telalle on erilainen (Kuva 1). (Sepsilva Ltd Oy 1997, 137.)



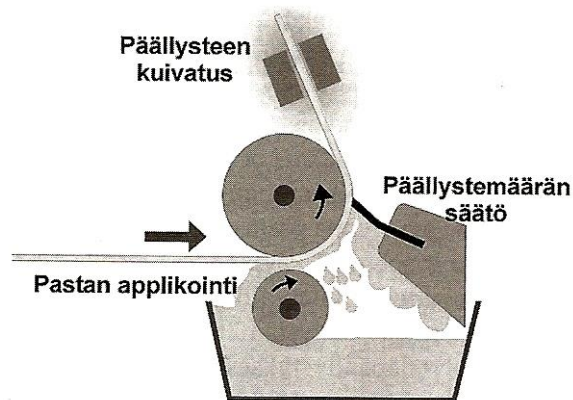
Kuva 1. Eri tavoin asetellut telat pintaliimauksessa (Sepsilva Ltd Oy 1997, 136)

3.4 Päällystys

Kartongin päällystämällä tarkoitetaan sen pinnoittamista erilaisilla aineilla. Näitä aineita ovat pigmentit, sideaineet, vahat ja muovit sekä näiden yhdistelmät. Päällystyksellä pyritään parantamaan kartongin pintaominaisuuksia, etenkin tuotteen ulkonäköä ja painettavuutta. Parannettavia ominaisuuksia on sileys, kiilto, absorptio-ominaisuudet, optiset ominaisuudet kuten vaaleus ja opasiteetti

sekä pintalujuus. Painettavuuden kannalta päällystys vähentää painoväri tarvetta sekä leviämistä ja lisää painojäljen terävyyttä sekä kiiltoa. Kartonki voidaan päällystää molemmilta tai vain toiselta puolelta joko identtisellä päällystyksellä tai vaihtelevalla. (Sepsilva Ltd Oy 1997, 144; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000, 179.)

Päällystysmenetelmiä on useita, kuten teräpäällystys, ilmaharjapäällystys, telapäällystys, sauvapäällystys ja filmipäällystys. Kaikissa menetelmissä on samat vaiheet: päällystypastan applikointi eli sively kartongin pinnalle, tasoitus ja kuivaus (Kuva 2). Päällystyslaitteet eroavatkin toisistaan useimmin siinä, miten pasta tuodaan rainan pinnalle ja miten se tunkeutuu kartonkiin. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000, 185.)



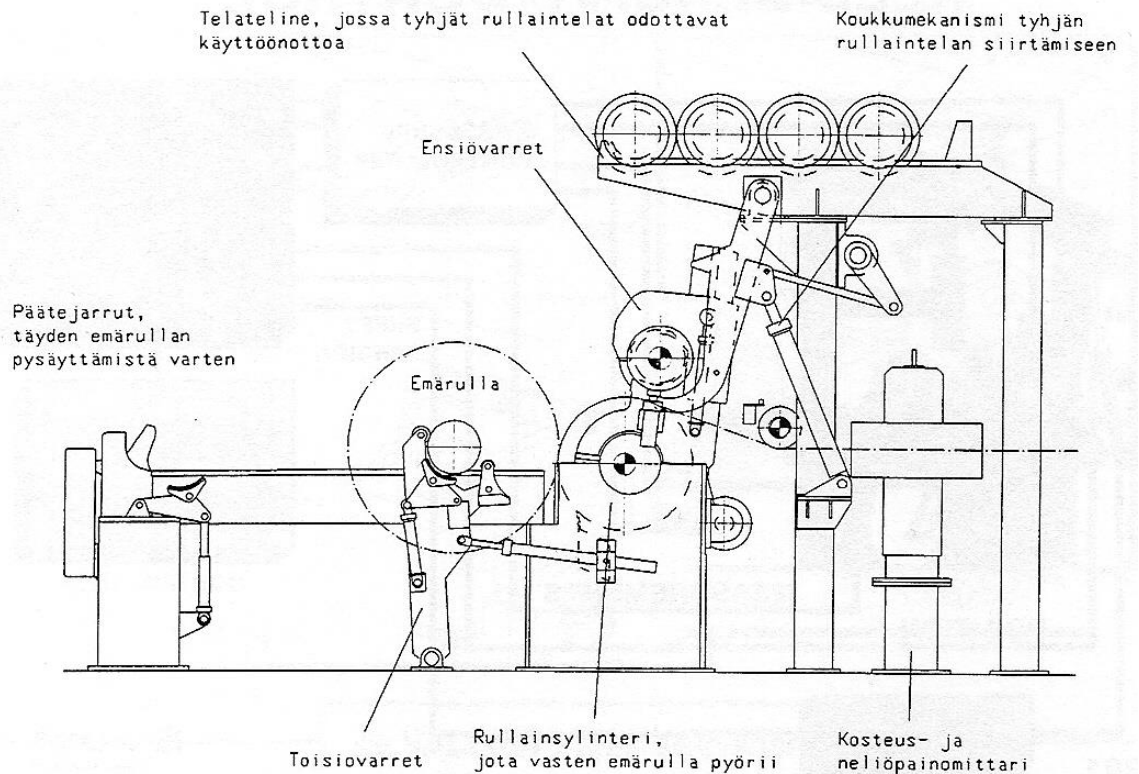
Kuva 2. Päällystyxen vaiheet (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000, 192)

3.5 Rullaus

Rullauksen tarkoituksena on muuntaa tasomainen paperi tai kartonki helpommin käsiteltävään muotoon eli rullaksi. Kiinnirullauksella katkaistaan kartonkikoneen jatkuva prosessi ja siirrytään jaksoittaisiin toimintoihin. Rullausprosessi koostuu rainan hallinnasta ennen rullausta, kiinnirullaustapahtumasta, vaihtopahtumasta sekä valmiin rullan käsittelystä aukirullauksineen. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000, 213.)

Kartongin rullaus suoritetaan pope-tyylisellä rullaimella. Pope-rullain on esitetty kuvassa 3. Siinä toisiovarsilla olevaa rullaustelaa kuormitetaan pyörivää rullaussyylinteriä vasten niin, että kitkan vaikutuksesta kartonki rullautuu tasaisesti rullaustelan ympärille. Vaihtoa varten rullaustela kiihdytetään ajonopeuteen rul-

lainsylinterin yläpuolella olevissa ensiövarsissa ja vaihdon jälkeen rullaustela lasketaan ensiövarsien avulla kiskoille, missä se otetaan toisiovarsien kuormitukseen. (Sepsilva Ltd Oy 1997, 133.)



Kuva 3. Pope-rullain (Sepsilva Ltd Oy 1997, 133)

3.6 Pituusleikkaus

Pituusleikkurilla raina leikataan asiakkaalle sopivan kokoisiksi paloiksi. Rainasta myös leikataan pois ohuet reunanauhat, sillä ne eivät täytä asiakasvaatimuksia. (KnowPap-demo 2013)

Rainaa leikataan kahdella pyörivällä terällä. Ala- ja yläterä muodostavat yhdessä teräparin, joista alaterä on varustettu käyttövaihteella ja se pyörittää myös käytöntöntä yläterää. (KnowPap-demo 2013)

4 Hyllynkäsittely

Hyllynkäsittelyn tarkoituksena on hajottaa paperi- tai kartonkikoneelta ja jälkikäsitteystä tuleva hylkypaperi ja kierrättää se takaisin prosessiin. Hylky on pape-

ria, joka poistuu missä tahansa paperin- tai kartonginvalmistusprosessin vaiheessa. Hylkyä muodostuu jatkuvasti viiraosalla reunanauhan pudotuksessa, päällystyskoneen ja pituusleikkurin reunanauhojen leikkauksessa, rullien pinta- ja pohjahylkynä sekä arkituksesta ja jalostuksesta. Aika-ajoin hylkyä muodostuu myös hylkyrullista sekä ratakatkojen takia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 111.)

Yleensä kaikki hylky pulperoidaan, puhdistetaan ja varastoidaan hyllynkäsittelyjärjestelmässä. Käsitelty hylky sitten sekoitetaan muiden komponenttien kanssa sekoitussäiliössä ja syötetään takaisin tuotantoprosessiin. Hyllyn syöttömäärä tuotantoprosessiin riippuu katkojen määrästä radalla ja hyllynkäsittelyjärjestelmän kapasiteetista. (Paulapuro 2008, 183.)

Hyllynkäsittely määritellään seuraavilla vaiheilla: hyllyn kuljetus, pulperointi, varastointi, puhdistus ja homogenisointi sekä annostelu. Hyllyn puhdistukseen ja homogenisoituun voi kuulua yksi tai useampi sakeutus-, lajittelu- ja kuidutusvaihe. Hyllynkäsittelyjärjestelmän kattavuus voi vaihdella yksinkertaisesta kierrosta, jossa hylky kulkee pulperilta suoraan sekoitussäiliöön ilman välivaiheita, moneen puhdistus- ja homogenisointivaiheen systeemiin. (Paulapuro 2008, 184, 187.)

Paperi- ja kartonkikoneen hyllynkäsittelyjärjestelmä toimii samalla periaatteella. Kun tässä luvussa puhutaan kartonkikoneesta, samat asiat pätevät myös paperikoneelle ellei toisin mainita.

4.1 Hyllynkäsittelyn vaatimukset

Tasa- ja hyvälaatuinen käsitelty hylky on päävaatimus hyvin toimivalle hyllynkäsittelyjärjestelmälle. Myös hyvä järjestelmän suunnittelu ja riittävä varastointikapasiteetti ovat oleellisia. Jos kartonkikoneen ratakatkoja pitkitetään tai niitä tapahtuu usein, hyllyn määrää varastossa on nostettava. Varaston kasvattamiseen johtaa myös se, jos hyllynkäsittelyjärjestelmän käyttöhäiriöt tai sen puutteellinen suunnittelu aiheuttaa entistä enemmän katkoja. (Paulapuro 2008, 184.)

Kartonkikoneella on varauduttava riittävän suureen hylkysäiliöön, sillä hylkyä syntyy jaksoittain ja sitä täytyy voida käyttää tasaisesti. Hyllyn varastointikapasi-

teetti vastaa yleensä 2-4 tunnin netto tuotantoa, riippuen paperilaadusta. Näin ollen jos koneen kapasiteetti on 40 t/h, tulee hylkysäiliön tilavuuden vastata 160 tonnia. Jos hyllyn sakeudeksi asetetaan 5 %, täytyy säiliön koko olla 3200 m³. Kuivalle hyllylle säiliö voi olla pienempi, sillä sitä voi varastoida rullina. Monimutkaisemmat koneet, joissa on päällystysasemia, vaativat suuremman varastointikapasiteetin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112; Paulapuro 2008, 184.)

Kaikkien hyllynkäsittelyn laitteiden on oltava riittäviä käsittelemään sitä tuotantomäärää, minkä kartonkikoneella voi maksimissaan saavuttaa. Toisaalta hyllynkäsittelyjärjestelmän on oltava toiminnassa myös silloin, kun hylkyä tulee minimi määrä. Kun kartonkikone on käynnissä pitkään ilman katkoja, hylkyä muodostuu vain viimeistelystä, ylijäämästä ja ajoittain hylkyrullista, jotka muodostavat vain muutaman prosentin maksimi kapasiteetista. Kierrättämällä hylkyä järjestelmän läpi hylkyvarastolta hyllyn annosteluun voidaan varmistaa, että sihdit ja kuiduttimet ovat jatkuvasti toiminnassa. (Paulapuro 2008, 184.)

Useaa lajia ajava kartonkikone, jonka lajit eivät ole yhteensopivia keskenään, asettaa hyllynkäsittelylle uusia haasteita. Lentävä lajinvaihto ei tällaisessa tapauksessa ole mahdollinen ja lajien vaihdon välissä hyllynkäsittelyjärjestelmä on aina puhdistettava. Siksi useaa lajia ajavalla kartonkikoneella ei olekaan kannattavaa käyttää yhtä suurta hyllyn varastosäiliötä, sillä lajinvaihdossa varastoitu hylky ei saatakaan sopia yhteen uuden lajin kanssa. Tällöin varastoitu hylky pitää heittää menemään. Varastoinnin sijaan märkä hylky käytetään heti. Kuvattua hylkyä voi kuitenkin pienemmillä kartonkikoneilla varastoida ja lisätä muiden raaka-aineiden sekaan massankäsittelyn alkuvaiheessa. (Paulapuro 2008, 184-185.)

Useampaa lajia ajavan kartonkikoneen joustavuus saavutetaan luopumalla prosessin stabiilisuudesta, etenkin ratakatkojen aikana. Ratakatkojen aikana kartonkikoneelle pumpattavan hyllyn määrä kasvaa mikä helposti aiheuttaa uusia katkoja. Tämä onkin yksi syy miksi useampaa lajia tuottava kartonkikonetta täytyy ajaa hitaammin kuin yhtä lajia tuottava. (Paulapuro 2008, 185.)

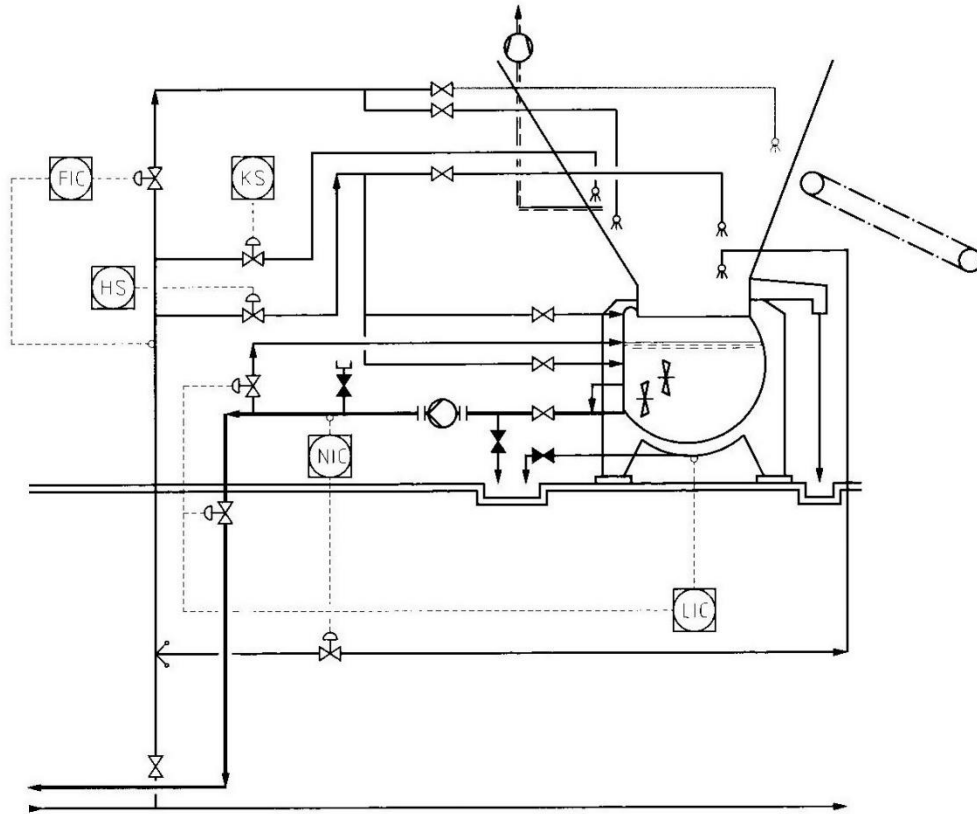
4.2 Hylyn kuljetus

Kun kartonkikoneella valitaan hylkyä pulpperoivien pulppereiden määrä ja sijainti, on tehtävä kompromisseja hylyn kuljetuksesta aiheutuvan vaivan ja asennus- sekä operointikustannusten välillä. Heti katkon jälkeen rata katkaistaan katkeamiskohdasta nähdessä seuraavan pulpperin kohdalta. Näin vältetään hylyn pakkautumista kuljettimille ja alimpaan kerrokseen. (Paulapuro 2008, 184.)

Kuivia hylkypalasia kuljetetaan pulpperiin kartonkikoneen kuivatusosan alapuolella olevalla koneen levyisellä liukuhihnalla. Vanhemmilla ja hitaammilla kartonkikoneilla kuiva hylky saatetaan myös kerätä ja syöttää pulpperiin manuaalisesti. Pituusleikkurin ylijäämä kuljetetaan usein ilmapuhalluksen avulla pitempiä matkoja kuivan hylyn pulpperiin tai erilliseen ylijäämäpulpperiin. Kuljettava ilma erotetaan ylijäämästä syklonierottimella, mikä voi olla integroituna ylijäämäpulpperin kanssa. Etenkin leveillä koneilla jatkuvasti toimivan ylijäämäpulpperin käyttö on usein käytännöllisempi kuin pelkästään koko koneen pulpperointitarpeen kattavan pulpperin käyttö. (Paulapuro 2008, 184.)

Hylyn kulkeutumista liukuhihnalta pulpperiin helpotetaan suihkujärjestelmällä. Suihkujärjestelmä käyttää pulpperin laimennusvettä ja suurin osa pulpperointiin tarvittavasta vesimäärästä tulee suihkuputkien kautta. Hylkypulppereissa on omat poistopuhaltimet, joilla myös varmistetaan hylyn syöttö pulpperiin ja vältetään kosteuden pääsyä konesaliin. (Arjas 1983, 416; Paulapuro 2008, 184.)

Kuvassa 4 näkyy liukuhihna oikealla ja sen alapuolella pulpperi. Pulpperin yläpuolella on suihkujärjestelmä, jossa käytetään nollavettä.



Kuva 4. Pulperi, liukuhihna ja suihkujärjestelmä (Paulapuro 2008, 163)

Hylkyrullat syötetään joko kartonkikoneen kuivan pään pulperiin, johonkin muuhun rullien käsittelytilan pulperiin tai erilliseen hylkyrullapulperiin. Hylkyrullat avataan giljotiinileikkurilla, joka voidaan varustaa kahdella liukuhihnalla, yksi leikkurin kummallekin puolelle. Isoja rullia liikutetaan edes takaisin terän ali ja leikataan pieniksi osiksi, joita pulperoidaan pikkuhiljaa suuren vaihtelun välttämiseksi hyllynkäsittelyjärjestelmässä. Toinen rullan leikkaus laite on rullan halkaisija, joka muuttaa rullan automaattisesti arkeiksi vaakasuorasti liikkuvalla terällä. (Paulapuro 2008, 184.)

4.3 Pulperointi

Pulperoinnin tarkoitus on hajottaa hylkyä ja sekoittaa se veden kanssa niin, että muodostuu pumpattava massaliete, jossa kuidut ovat irti toisistaan. Vesi ja hylky syötetään pulperointiastiaan, jossa pulperin sekoitin saattaa massalietteen voimakkaaseen virtaukseen ja pyörimisliikkeeseen. Virtauksen nopeuserot synnyttävät voimia, jotka pyrkivät hajottamaan kuitukimppuja. (Arjas 1983, 409; Paulapuro 2008, 78.)

Hylynkäsittelyssä massaliete pulpperoidaan 4,0-5,5 % sakeuteen, joka sitten pumpataan varastosäiliöön. Pumpattavuuden parantamisen lisäksi vedessä liottaminen auttaa myös kuitujen välisten sidosten purkamista. Märkä hylky on helpompi hajottaa kuin kuiva ja siksi hylkypulpperit sijoitetaan kartonkikoneen märkään päähän. (Arjas 1983, 417; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000, 112; Paulapuro 2008, 79.)

Vanhoilla ja hitailla kartonkikoneilla ei välttämättä ole ollenkaan omaa pulpperia hyllylle tai sitten kartonkikoneen vieressä on pulpperi. Uudenaikaisemmillä ja nopeilla paperikoneilla on ehdotta vähintään yksi hylkypulpperi, kartonkikoneilla on oltava useampia. Pulppereiden määrä riippuu tuotettavasta paperilaadusta ja prosessista. (Paulapuro 2008, 185.)

4.3.1 Pulpperin rakenne

Pulpperin pääosat ovat pulpperointiastia eli amme, sekoitin ja käyttölaiteisto. Amme on yleensä tehty haponkestävästä tai ruostumattomasta teräksestä. Seinämän vahvuus on 5-10 mm ja riittävän lujuuden saamiseksi sitä vahvistetaan ulkopuolelta teräsprofiileilla. Sekoittimen valmistusmateriaalin on kestävä hyvin mekaanista kulutusta, ja se valmistetaan yleensä valuterästä. Sekoittimen käyttö tapahtuu joko vaihteen tai kiilahihnan välityksellä. Hylkypulpperi mitoitetaan kartonkikoneen leveyden ja nopeuden mukaan. (Arjas 1983, 410, 412.)

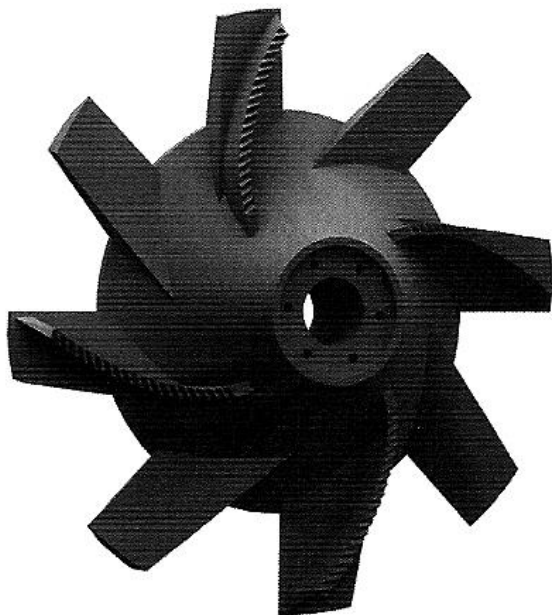
Lisäksi pulpperissa voi olla tyhjennysputken suulla sihtilevyt, jotka estävät liian suurten kuitukimppujen poistumisen pulpperista. Sihtilevyjen reikäkoolla voidaan vaikuttaa pulpperista tulevan massalietteen kuituuntumisasteeseen. (Arjas 1983, 412.)

4.3.2 Sekoitin

Kuituja irrottavat voimat synnytetään massalietteen voimakkaalla sekoituksella, joka saadaan aikaan pulpperin siipipyörällä. Sekoitin sinkoaa massan kehältä ulospäin ja aiheuttaa keskelle imun. Tämä saa massan kiertoliikkeeseen, jossa se aina uudestaan palaa pyöräjän imuun. (Arjas 1983, 410.)

Sekoitin hajottaa kuitukimppuja myös mekaanisesti, kun kuitukimput iskeytyvät sekoittimen siivekkeisiin. Mekaaniset hajotusvoimat ovat tärkeitä etenkin pulpperoinnin alussa. Hydraulinen kuidutus pääsee alkamaan nopeasti, kun alkuhajoitus tapahtuu sekoittimella mekaanisesti. Hajoaminen mekaanisten voimien vaikutuksesta kuitenkin vähenee sitä mukaan kun kuitukimppujen koko massalietteisessä pienenee. Joillain sekoittimilla korostuu hydraulisten voimien vaikutus kuituihin ja toisilla taas on pyritty saamaan aikaan mahdollisimman paljon myös mekaanista kuidutusta. (Arjas 1983, 410.)

Sekoittimen siipipyörän malli riippuu sakeustavoitteesta. Hylynkäsittelyssä pulpperit ovat matalan sakeuden pulppereita, eli sakeus on alle 6 %. Matalan sakeuden pulppereissa käytetään yleensä kuvan 5 mallista siipipyörää. Siipipyörän koko, pyörimisnopeus ja sen moottorin teho riippuu ammeen mitoista ja tilavuudesta, hyllyn ominaisuuksista sekä tavoitesakeudesta. Sekoittimen kehänopeus on tavallisesti 19-20 m/s. (Arjas 1983, 412; Paulapuro 2008, 82.)



Kuva 5. Pulperin siipipyörä (Paulapuro 2008, 82)

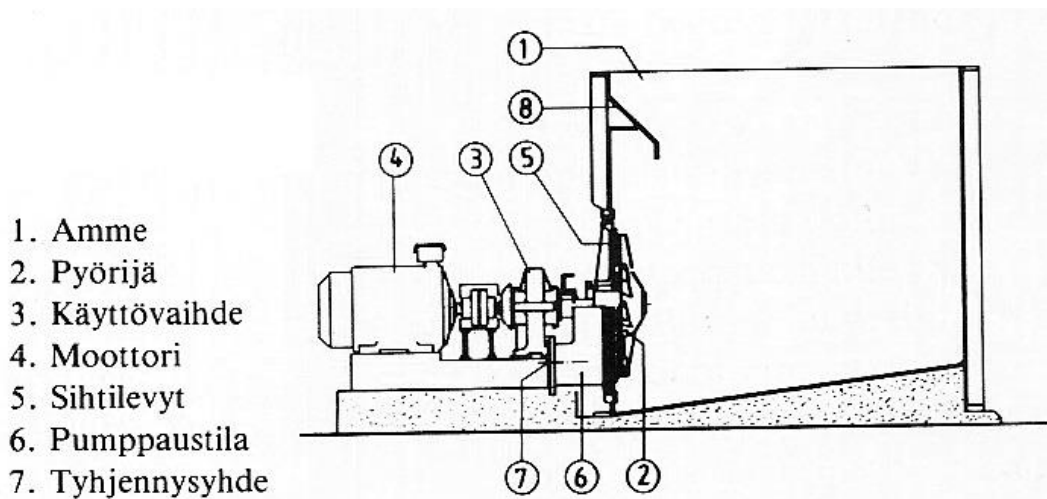
4.3.3 Vaakapulperi ja pystypulperi

Pulppereita on vaaka- ja pystypulppereita. Vaakapulperissa sekoitin on asennettu vaakasuoraan asentoon ja tyhjennys sekä sihtilevyt ovat ammeen pystyseinässä. Pienillä vaakapulppereilla on yksi sekoitin ja suuremmilla kaksi. Vaa-

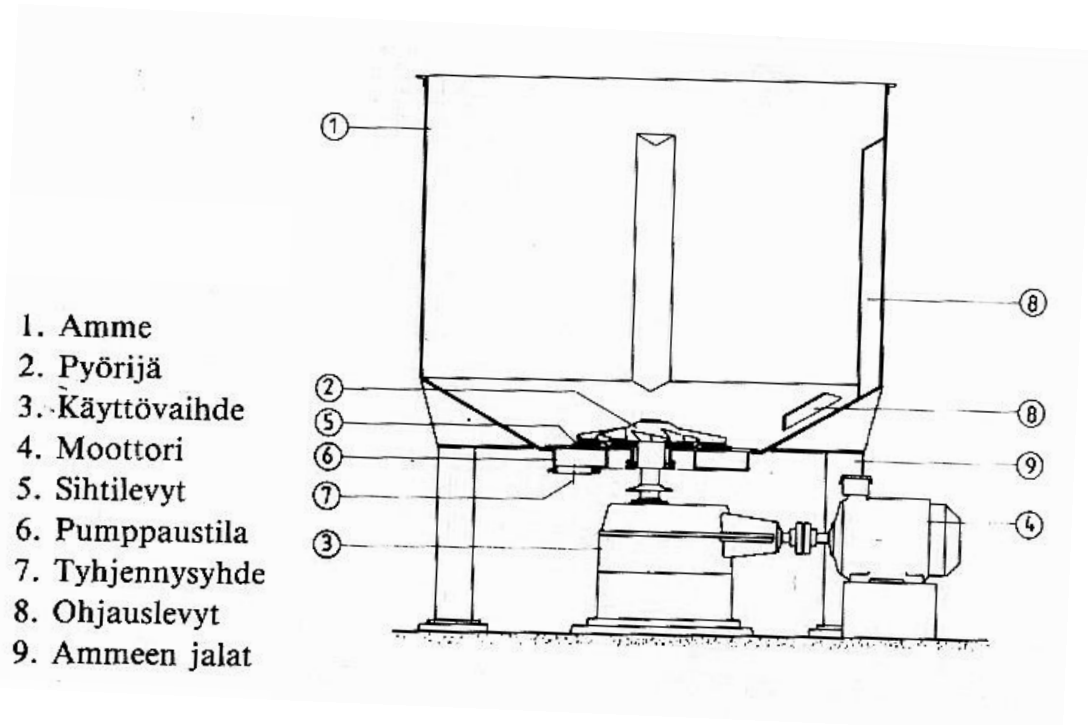
kapulppereiden ammeen muoto vaihtelee ja korkeus on vain 2-3 metriä. Mataluutensa takia niitä on hyvä käyttää sellaisten kartonkikoneiden yhteydessä, joiden alla on vähän tilaa. (Arjas 1983, 411; Paulapuro 2008, 80.)

Pystypulpperissa amme on pyöreähalkaisijainen säiliö, jonka alhaalla on kartiomainen osa ja yläosa on lieriö. Lieriömäiseen ja pystysuoraan osaan on yleensä kiinnitetty välilevyjä optimoimaan massalietteen kiertovirtaus ammeessa. Jos pulpperin pystysuora osa on ovaalin tai D:n muotoinen, välilevyjä ei tarvita. Sekoitin ja tyhjennys sekä sihtilevyt ovat yleensä sijoitettu ammeen pohjalle. Pystypulpperin korkeus on 4-7 metriä, joten se on usein sijoitettu kellarikerrokseen ja vain pulpperin yläosa on ensimmäisen tai toisen kerroksen tasolla. (Arjas 1983, 417; Paulapuro 2008, 80.)

Vaakapulpperi ja sen osat on esitetty kuvassa 6. Pyöreähalkaisijainen pystypulpperi ja sen osat on esitetty kuvassa 7.



Kuva 6. Vaakapulpperi (Arjas 1983, 411)



Kuva 7. Pystypulperi (Arjas 1983, 411)

Pystypulperin tehokkuus on yleensä parempi kuin vaakapulperin: Tämä johtuu siitä, että pystypulperoinnissa painovoima vetää massaa kohti sekoitinta. Hyllynkäsittelyssä tämä ei kuitenkaan haittaa, sillä pulperoinnin tehtävänä on vain hajottaa hylky pumpattavaksi massalietteeksi. Tarkempi kuidun hajottaminen tapahtuu hyllynkäsittelyn myöhemmissä vaiheissa. (Paulapuro 2008, 81.)

Pystypulperi on mieluisampi jos sen käytölle on tilaa, etenkin hylkyrullien pulperoinnissa. Hylkyrullille pystypulperi on parempi myös siksi, että niiden hajoitus vaatii voimakkaan virran, mitä vaakapulperilla ei voida saavuttaa yhtä helposti kuin pystypulperilla. Muuten hyllynkäsittelyssä käytetään yleensä vaakapulpereita. (Arjas 1983, 416.)

4.3.4 Jatkuvatoiminen pulperi ja panospulperi

Hylkypulpereita voidaan käyttää joko jatkuvatoimisesti tai panosreaktiona. Jatkuvatoimisessa pulperoinnissa vettä ja hylkyä syötetään jatkuvasti pulperiin mahdollisimman tasaisella nopeudella. Määrät ovat keskenään suhteessa niin, että saadaan haluttu massalietteen sakeus hajotuksen aikana. Syötön kanssa samanaikaisesti massalietettä pumpataan ulos, jotta ammeen pinta pysyy samana. (Arjas 1983, 417.)

Panospulpperoinnissa ammeeseen laitetaan ensin tietty määrä vettä ja sitten tietty määrä hylkyä. Täytön jälkeen pulpperin sekoitin hajottaa hyllyn annetussa ajassa. Kun pulpperointi on valmis, massaliete pumpataan ulos. Prosessiin lisätään laimennusvettä jos on tarvetta. Täten jokainen pulpperointikierto koostuu täytöstä, pulpperoinnista ja tyhjennyksestä. (Paulapuro 2008, 84.)

Panospulppereilla on matalampi kapasiteetti, mutta ne tuottavat homogeenisemmän massalietteen kuin jatkuvatoiminen pulpperointi. Tämä johtuu siitä, että panospulpperoinnissa kaikkiin kuituihin kohdistuu yhtä kauan sama voima, kun taas jatkuvatoimisessa reaktiossa osa hylystä viipyy ammeessa kauemmin ja osa poistuu nopeammin. (Paulapuro 2008, 84.)

Kartonkikoneen alla hyllynkäsittelyssä käytetään yleensä jatkuvatoimista vaakapulpperia, johon on asennettu kaksi sekoitinta vierekkäin pulpperin pitkälle sivulle. Sekoittimet pyörivät vastakkaisiin suuntiin, jotta niiden aiheuttama virtaus vetää hyllyn ammeeseen. (Paulapuro 2008, 186.)

4.3.5 Pulpperoinnin edistäminen

Pulpperointia voidaan tehostaa lisäämällä pulpperiin kemikaaleja tai nostamalla lietteen lämpötilaa lisäämällä höyryä. Kemikaaleja ja höyryä lisätään erityisesti viimeistelyvaiheen ja hylkyrullien pulppereissa, sillä siellä materiaali on ollut kauiten kuivana. (Paulapuro 2008, 187.)

Myös pulpperoinnin pH vaikuttaa hajoamisnopeuteen. Yleensä pulpperoitaessa alkalisella puolella kuitujen sidokset purkautuvat helpommin kuin happamalla. Optimaaliset pulpperointiolosuhteet riippuvat kuitenkin pulpperoitavasta paperista. Esimerkiksi eräät märkälujat paperit vaativat happaman, toiset taas alkalisen pH:n. (Arjas 1983, 415.)

4.4 Sakeutus

Pulpperoinnin jälkeen hylky kerätään varastosäiliöön, missä sen sakeus on yleensä hyvin alhainen. Jotta varastotilaa ei tarvitsisi suuria määriä, massa voitaisiin palauttaa sekoitussäiliöön halutussa sakeudessa ja vaihtelu annostelun sakeudessa olisi vähäinen, hylkyjärjestelmään on asennettu saostin tai saostimia. Saostin nostaa varastoidun hyllyn sakeutta ja vesi voidaan johtaa takaisin

kiertovesijärjestelmään. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112; Paulapuro 2008, 187.)

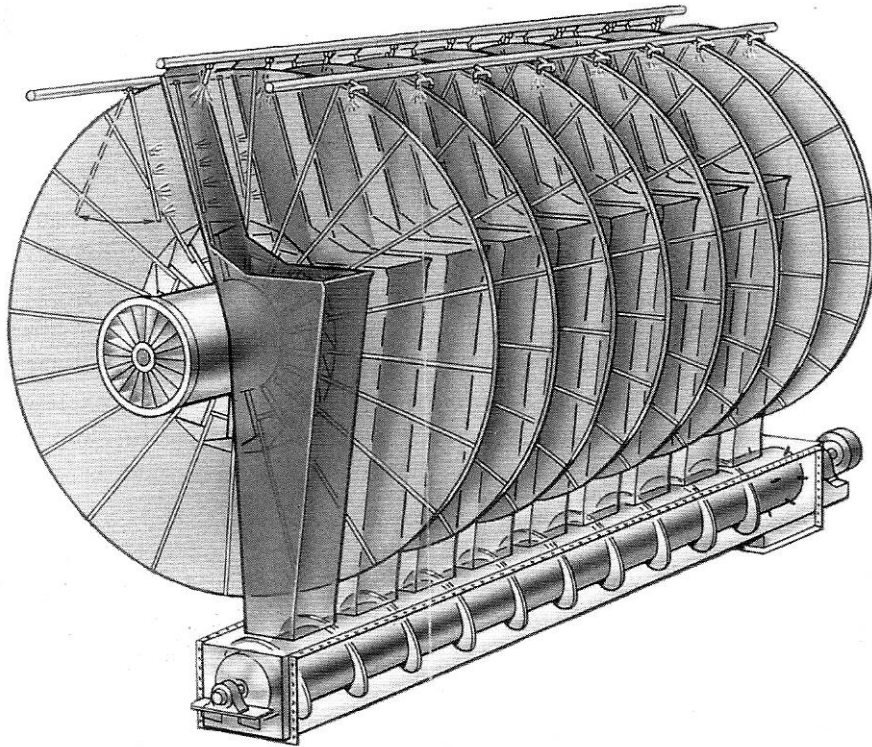
Saostettu hylky kerätään säiliöön, mistä osa hylystä jatkaa seuraavaan käsitteilyvaiheeseen ja osa kierrätetään takaisin varastosäiliöön. Näin varastosäiliön sakeus saadaan pidettyä korkeamana ja säiliön kapasiteetti saadaan parhaiten hyödynnettyä. Erikoistapauksissa, kun käsitellään värjättyä paperia, voidaan varastosäiliöön lisätä myös hylkyä valkaisevia kemikaaleja. (Paulapuro 2008, 187.)

4.4.1 Kiekkosuodatin

Hylyn suodatukseen käytetään yleensä kiekkosuodatinta (Kuva 8). Kiekkosuodattimessa on suodatusrummun sisällä akseliin asennettuja kiekkoja, jotka muodostuvat suodatuspaneeleista. Saostettava massaliete johdetaan suodatusrumpuun 0,5-1,5 % sakeudessa. Kun massalietepinta nousee paneelin yläpuolelle, massaliete alkaa suotautumaan suodatuspaneelin pinnalle paneelin molemmille puolille. Paneelin pinnalla oleva viirakangas estää massalietteen suoran kosketuksen paneeliin. Joissakin sovellutuksissa suodatuspinta-alaa kasvatetaan aallotetulla paneelin pinnalla. (Lönnerberg 2009, 400-401.)

Paneelin sisään suotautunut suodos kulkeutuu akseliin ja virtaa akselin sisällä olevia kapeita kanavia pitkin kiekkosuodattimen päädyssä olevaan venttiiliin. Venttiililtä suodos jatkaa imujalalle, missä luodaan 2-4 metrin korkeuseron avulla imu. Imu parantaa suotautumista paneelien pinnalla, jolloin saadaan korkeampi sakeuksinen kuitumatto. Paksumpi kuitumatto tarkoittaa puhtaampaa suodosta. (Lönnerberg 2009, 401.)

Yleensä puhtaampi suodos erotetaan venttiilissä imuputkella omaan säiliöön. Kiintoaineen määrä puhtaassa suodoksessa on noin 50-100 mg/l. Jos prosessissa on tarvetta, myös kolmas erittäin puhdas virta voidaan erottaa suodoksesta. Tätä suodosta voidaan käyttää esimerkiksi kiekkosuodattimen suihkujärjestelmässä, sillä sen kiintoainepitoisuus on alle 50 mg/l. (Lönnerberg 2009, 401.)



Kuva 8. Kiekkosuodatin (Lönnerberg 2009, 400)

Kun pinta nousee tarpeeksi korkealle kiekkojen sisällä, pinnanmittausanturi pyöryttää suodatusrumpua ja huuhtelusykli käynnistyy. Paneelin noustessa pinnan yläpuolelle, kuitumatto irrotetaan paneelista suihkujärjestelmällä. Kuitumatto putoaa keräyskouruihin ja jatkaa siitä ruuvikuljettimelle. Ruuvikuljettimella massalietteen sakeus on 8-15 %, riippuen muun muassa jauhatusasteesta, lämpötilasta ja kuitusuodattimen pyörimisnopeudesta. Kuitumaton poistamisen jälkeen paneelit pestään suihkujärjestelmällä, jotta paneelien pinta pysyisi puhtaana. (Lönnerberg 2009, 401.)

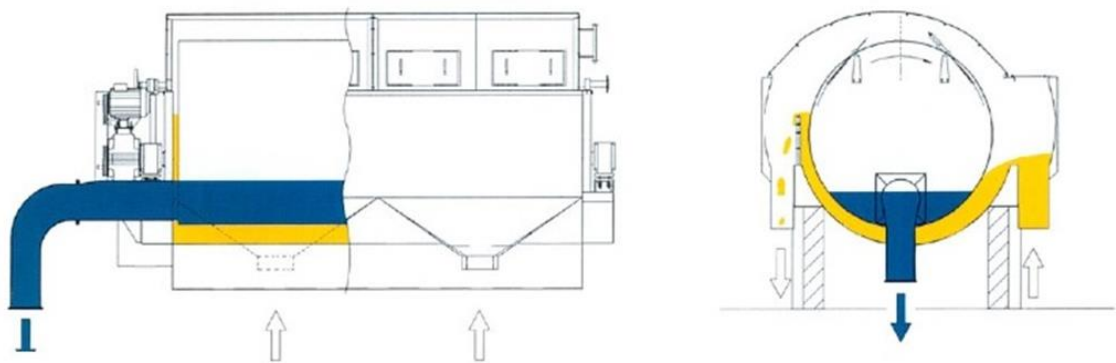
Kuitusuodattimien halkaisija vaihtelee 3-6 metrin välillä. Kieikkoja voi olla maksimissaan 32. (Lönnerberg 2009, 401.)

4.4.2 Painovoimasaostin

Hyllyn saostuksessa voidaan käyttää myös painovoimasaostinta (Kuva 9). Painovoimasaostimessa massaliete syötetään saostimeen sen koko leveydelle. Saostimen sisällä on rumpu, jonka pinta on reiitetty ja pinnalle voi myös olla kiinnitetty viirakangas. Saoste kulkee rumpun pinnan läpi ja poistuu saostimen avonaisesta päästä olevasta poistoputkesta. Rumpu on sijoitettu saostimen si-

sällä lähemmäs reunaa, josta saostettu massaliete poistetaan, ja nesteen pinta rummun sisällä on matalammalla kuin rummun ulkopuolella. Asettelyn luoma staattinen paine-ero rummun ympärillä aiheuttaa veden suotautumisen rummun läpi. (GL&V 2014.)

Rummussa ei ole imua, joten ulos tulevan massalietteen sakeus on 5-8 %. Painovoimasaostimella on matala kapasiteetti, joten ne eivät sovi kovin suuriin järjestelmiin. Saostimesta poistuvan suodoksen kuiva-ainemäärä on 500-800 mg/l. (Lönnerberg 2009, 402.)



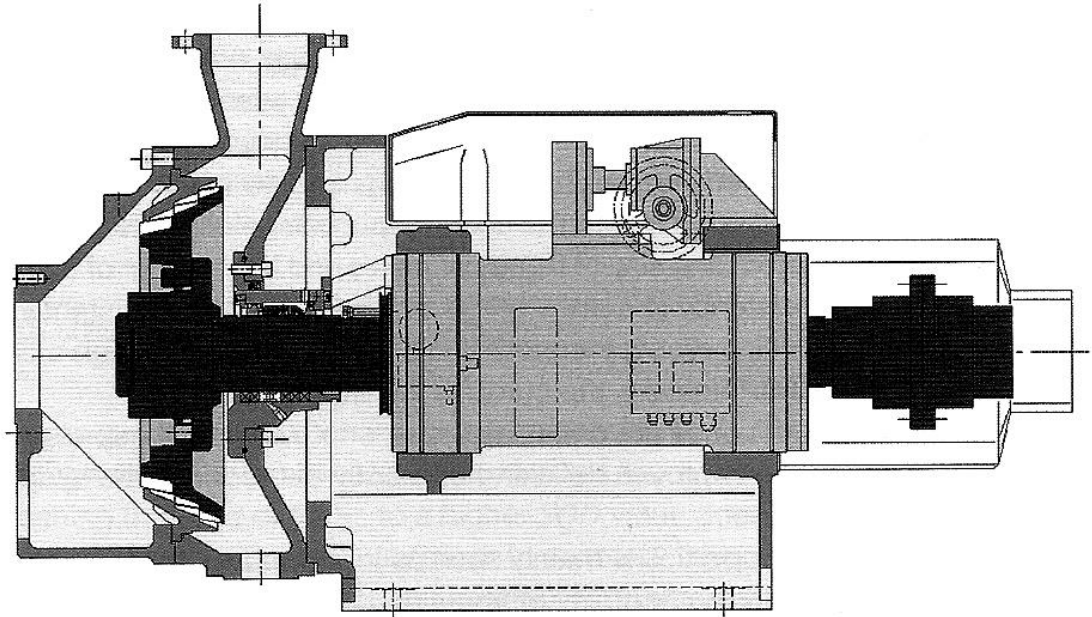
Kuva 9. Painovoimasaostatin (GL&V 2014)

4.5 Kuidutus

Kuidutuksessa hyllyn palaset, kuituhiutaleet, kuitumöykät tai irralliset mutta vielä kuivat ja jäykät kuidut hajotetaan erillisiksi, märäksi ja joustaviksi kuiduiksi. Hyllyssä on usein suuri määrä kasaumia, sillä viipymäajat ja pulpperointiaika ovat lyhyet. Kuiduttimia tarvitaan erityisesti päällystetyn ja märkälujan paperin hyllylle. (Paulapuro 2008, 86.)

Kuiduttimia (Kuva 10) on matalasakeuskuidutin, joka toimii sakeusalueilla 1-6 %, ja korkeasakeuskuidutin, joka toimii sakeuksilla 20-30 %. Hyllynkäsittelyssä käytetään matalasakeuskuidutinta. (Arjas 1983, 417.)

Matalasakeuskuiduttimessa on pyöriviä teriä, eli pyörjijöitä, sekä paikallaan olevia teriä, eli staattoreita. Massa pumpataan staattorin ja pyörjijän välisen vyöhykkeen läpi, mikä luo suuria hydraulisia voimia. Vyöhykkeitä on kolme tai useampi. (Arjas 1983, 418.)



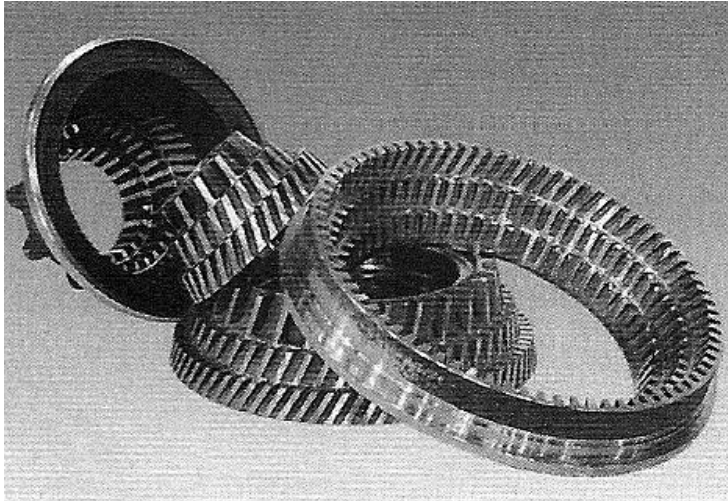
Kuva 10. Kuidutin (Paulapuro 2008, 82)

Massalietteen suuri nopeus ja suunnan vaihtelu sekä kuitujen törmäily toisiinsa repii hylkykasaumat ja möyköt erillisiksi kuiduiksi. Pyörijän ja staattorin muotoilulla saadaan kohdistettua kuitukimppuihin useampia perättäisiä iskuja. (Arjas 1983, 417; Paulapuro 2008, 86.)

Matalasakeuskuiduttimessa teräväli on yleensä noin 0,5 mm ja kehänopeus noin 40 m/s. Hyllynkäsittelyssä terät on joku rei'itetty tai niissä on urat joita pitkin massa kulkee. Kuidutustehoa lisää urien kulmista massaan kohdistuvat mekaaniset iskut. (Arjas 1983, 418; Paulapuro 2008, 87.)

Kuiduttimessa voi olla joko kartiomaiset terät (Kuva 11), mikä on yleisin malli, tai levymäiset terät. Terän muoto vaikuttaa siihen, kuinka hyvin energia saadaan kohdistetuksi massaan. (Paulapuro 2008, 87.)

Kuiduttimia voi järjestää muun muassa seuraavilla tavoilla: Kaiken hyllyn kuiduttaminen ennen annostelua, vain ensimmäisen seulontavaiheen rejektin kuiduttaminen, vain päällystetyn ja kuivan hyllyn kuiduttaminen tai ei ollenkaan kuiduttamista. Jos on tarvetta, kuiduttimet voidaan asentaa rinnan. (Paulapuro 2008, 86.)



Kuva 11. Kuiduttimen kartiomaiset terät (Paulapuro 2008, 81)

4.6 Lajittelu

Pulpperissa hajotettu ja eri kuidutusvaiheiden läpi käynyt sulppu voi vielä sisältää kuituuntumattomia paperinpalasia ja epäpuhtauksia. Siksi hylkymassasta on varastoinnin ja kuidutusvaiheiden jälkeen vielä lajiteltava oikeanlaiset ja oikean kokoiset kuidut erilleen kuituuntumattomista paloista ja epäpuhtauksista ennen palauttamista prosessiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112.)

Lajittelun voi suorittaa lajiteltavien partikkelien koon tai tiheyden perusteella. Kummallekin lajittelutavalle on omat menetelmänsä ja laitteensa.

4.6.1 Kokoon perustuva lajittelu

Kokoon perustuvassa lajittelussa syöttövirta johdetaan rei'itetyn tai raotetun levyn läpi. Reiät tai raot ovat mitoitettu niin, että yksittäiset oikean kokoiset kuidut pääsevät niistä läpi mutta kuitukimput eivät. Levyn läpi menevä massaliete, eli aksepti, johdetaan hyllynkäsittelyn seuraavaan vaiheeseen ja levyn pinnalle jäänyt massaliete, eli rejekti, palautetaan hyllynkäsittelyjärjestelmän aikaisempaan vaiheeseen. Huomattava osa myös oikean kokoisista kuiduista voi joutua rejektivirtaan, kun akseptivirtaan pyritään saamaan vain oikeankokoisia kuituja. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 122, 124.)

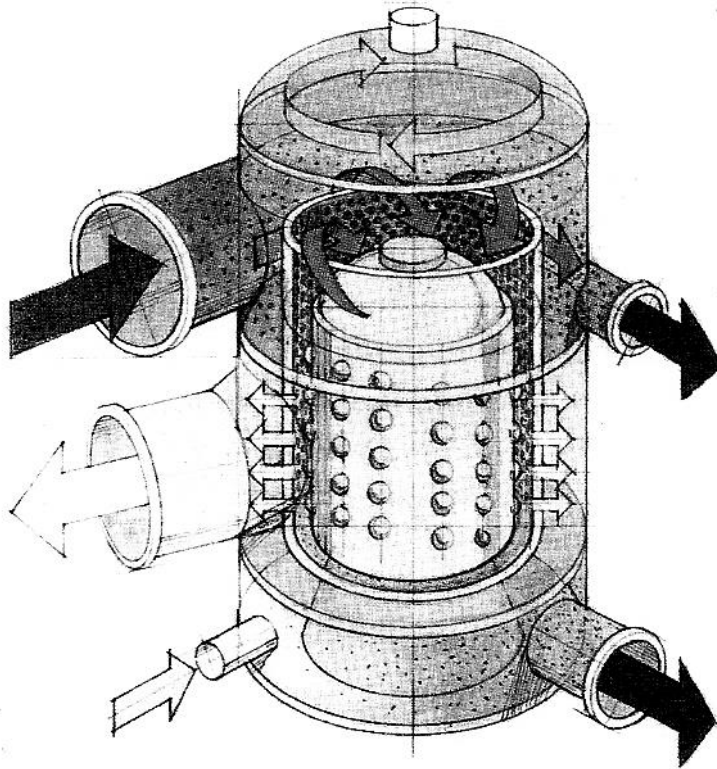
Jotta lajittelu toimisi oikein ja kuidut pääsisivät levyn läpi, pitää kuitukimput olla hyvin hajotettu ja rejekti poistettava levyn pinnalta tehokkaasti. Lajittelussa on

myös tärkeää, että kuidut pääsevät liikkumaan niin vapaasti kuin mahdollista massalietteessä. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 124.)

Rejektin poistaminen levyn pinnalta ja kuitujen erottamiseksi massalietteeseen kohdistetaan leikkausvoimia. Mitä korkeampi sakeus massalietteellä on, sitä jäykempiä kuituverkostoja se sisältää ja sitä enemmän voimaa tarvitaan verkostojen hajottamiseksi ja lajittimen levyn puhtaana pitämiseksi. Leikkausvoimia muodostetaan joko tärisyttämällä levyä, liikuttamalla sitä edestakaisin korkealla taajuudella tai tuottamalla tarpeeksi turbulenssia massalietteeseen. Virtauksen liike etenkin levyn pinnalla on merkittävä lajittimen toiminnan kannalta. Monissa lajittimissa aksiaalinen virtaus, poikittainen virtaus lajittimen levyn läpi ja kohtisuora virtaus ovat ratkaisevia lajittimen tehokkuuden kannalta. Yhtä tärkeitä ovat myös levyssä olevien reikien koko ja muoto. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 124.)

Hylynlajittelussa on yleensä käytössä painelajittimia. Painelajittimessa lajitteleva osa on pystysuora reiällinen sihtikori. Hylky pumpataan tangentialisesti sihtikorin ulkopuolella olevaan syöttökammioon, josta hylky kulkeutuu rengasmaiseen tilaan lajittimen koteloinnin ja sihtikorin väliin. Aksepti virtaa sihtikorin reikien läpi sihtikorin sisään ja rejekti jää ulkopuolelle. Akseptivirta puretaan paineella lajittimen pohjasta ja rejektivirta lajittimen yläosasta. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 129.)

Kuvassa 12 on esitetty painelajitin. Vasemmalla oleva musta nuoli kuvaa syöttöä, oikealla ylhäällä oleva musta nuoli rejektiä ja oikealla alhaalla oleva nuoli akseptia. Valkoiset nuolet kuvastavat sisään tulevaa laimennusvettä ja lajittimesta poistuvia epäpuhtauksia.



Kuva 12. Painelajitin (Gullichsen & Fogelholm 1999, 131)

Painelajittimissa muodostuvat sentrifugiset voimat saattavat myös irrottaa irtosainesta massalietteestä. Jos hyllyssä on epäpuhtauksia, ne irtoavat lajittimen yläosassa ja voidaan poistaa jatkuvasti tai ajoittain. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 129.)

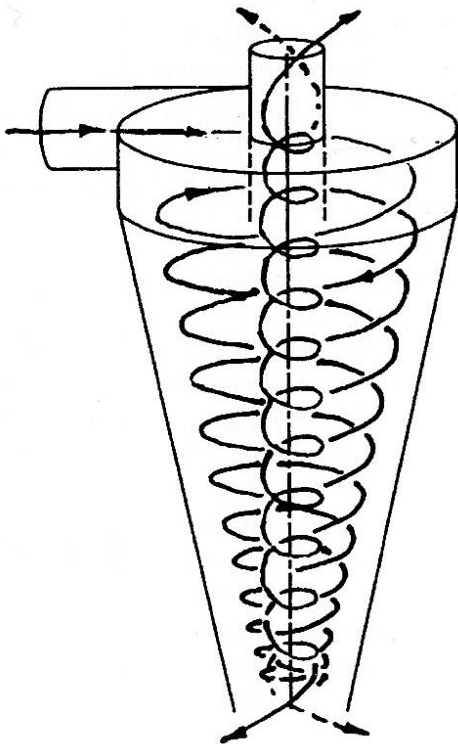
Sihtikorin sisällä on roottori. Roottorissa voi olla kohoumia tai kantosiipi ohjauslevyjä, jotka pyyhkäisevät sihtikorin pinnan läheltä. Kantosiivet aiheuttavat painepulsseja sisään virtaavaan akseptiin, mikä estää kuituja kerääntymästä ja tukkimasta sihtiä. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 129.)

Sihtilevyn mallilla ja rakenteella on suurempi vaikutus lajittimen toimintaan kuin millään muulla säädettävällä muuttujalla. Sihtilevyn koko vaikuttaa kapasiteettiin, erotuksen tehokkuuteen sekä rejektin minimimäärään. Kapasiteetti kasvaa sihtilevyn kasvaessa, kun taas tehokkuus ja rejektin minimimäärä vähenevät. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 129, 131.)

4.6.2 Tiheyteen perustuva lajittelu

Tiheyteen perustuvassa lajittelussa tiheydeltään eroavat materiaalit erotetaan toisistaan syklonilla. Hydrosykloni muuttaa nesteen paine-energian pyöriväksi liikkeeksi, mikä osaltaan saa massalietteen erikokoiset partikkelit liikkumaan eri tavoin. Partikkelit saadaan erotettua, jos sentrifuginen voima on tarpeeksi suuri, partikkelien tiheysero tarpeeksi iso ja erilaiset partikkelit pääsevät liikkumaan vapaasti massalietteessä. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 134.)

Hydrosyklonissa (Kuva 13) yläosa on sylinterimäinen ja loppuosa alaspäin ka-ventuva kartio. Massaliete syötetään matalassa sakeudessa 0,3 %-1,5 % välillä ja suurella nopeudella syklonin yläosaan tangentiaalisesti. Kevyemmän materiaalin tyhjennys on sijoitettu syöttöpäädyn keskelle, joten pyörivä massaliete pakottautuu kiertymään keskustaa kohti poistukseen syklonista. Täten massalietteellä pyörre suuntautuu säteittäisesti sisäänpäin ja partikkeleihin kohdistuu kaksi voimaa: toinen ulospäin säteen suuntaisesti johtuen materiaalin kiihtyvyydestä, ja toinen säteen suuntaisesti sisäänpäin johtuen sisäänpäin liikkuvan materiaalin vastuksesta. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 134.)



Kuva 13. Hydrosykloni (Gullichsen & Fogelholm 1999, 134)

Näiden voimien suuruus riippuu massalietteen virtausolosuhteista sekä siinä olevan materiaalin koosta ja painosta tai tiheydestä. Painavammalla ja tiheimmällä materiaalilla on tapana jäädä pyörteen kehälle, kun taas kevyempi ja alhaisemman tiheyden omaava materiaali kulkeutuu pyörteen keskelle. Painavampi materiaali poistetaan syklonin pohjasta läheltä pyörteen kehää. (Gullichsen & Fogelholm 1999, 134.)

4.7 Hyllyn annostelu

Hylky lisätään tuoreeseen massaan yleensä sekoitussäiliössä. Sellu muuttuu peruuttamattomasti, kun sen ensimmäisen kerran kuivaa. Tämä heikentää paperin edullisia ominaisuuksia ja täten myös jo kerran kuivatun hyllyn ominaisuudet eroavat tuoreesta sellusta. Tästä syystä hyllyn annostelussa on oltava tarkka. Hyllyn, varsinkin päällystetyn hyllyn, vaihteleva annostelu voi häiritä tai jopa kumota määränpään kemikaalien vaikutuksen. (Paulapuro 2008, 189.)

Yleensä hyllyn määrä on 5-20 % tuotannosta. Ajoittain hyllyn annostelu voi kuitenkin olla huomattavasti suurempi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112.)

Monikerroksisten kartonkien valmistuksessa tai monikerroksisilla perälaatikoilla hylky voidaan annostella määrätyille kerroksille, esimerkiksi piilottamaan kartongin keskimmäisen kerroksen likaa tai tahroja (Paulapuro 2008, 189).

4.8 Päällystetyn hyllyn käsittely

Päällystetty paperi tarvitsee erilaisen käsittelyn kuin päällystämätön, sillä se on varaustilaltaan sekä kemikaali- ja pigmenttipitoisuuksiltaan hyvin erilaista kuin päällystämätön paperi. Varastoitaessa päällystyspastaan lisäaineet voivat aiheuttaa kemiallista aktiiviteettia ja pH:n muutoksia. Tämän takia päällystettyjä tuotteita tekevällä kartonkikoneella erotellaan päällystetty ja päällystämätön hylky toisistaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112.; Paulapuro 2008, 189.)

Päällystetty hylky tarvitsee kunnollisen hajotuksen, lajittelun kapeilla sihtiraoilla sekä varaustilan neutraloinnin kationiaktiivisella aineella. Jos kartonkikoneella on käytössä erikoistarkoituksiin tehtyä päällystyspasta, esimerkiksi korkean sideaineen omaavaa, voi hyllynkäsittelyjärjestelmään olla asennettu erillinen

laite murskaamaan päällystyspartikkeleita. Riittämättömästi hajotetut päällystyspartikkelit voivat aiheuttaa ongelmia rainan muodostuksessa ja juovia, etenkin ohuilla päällystemäärillä. Usein hylkyjärjestelmässä on myös pH:n säätö. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112.; Paulapuro 2008, 189.)

Päällystetty hylky myös annostellaan erillisesti. Näin saadaan märälle päälle hyvä kemiallinen tila, tasainen pohjapaperin laatu ja sopiva pigmenttipitoisuus. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000, 112.)

5 Kokeellinen osa

Opinnäytetyön kokeellisen osan tavoitteena oli optimoida Stora Enson Imatran tehtaiden KA5:n hyllynkäsittelyjärjestelmän hyllyn lajitteluosa niin, että järjestelmästä poistuu rejektivirran mukana kuiva-ainetta kanaaliin alle 500 kg vuorokaudessa. Samalla sekoitussäiliöön kulkeutuvan hyllyn laatu oli tarkoitus pysyä mahdollisimman muuttumattomana. Kuiva-aineen kulkeutumisen lisäksi opinnäytetyön aikana tarkasteltiin hyllyn hienojakoisuutta ja tikkupitoisuutta.

Kokeellinen osa aloitettiin 5.1.2015 ja päätettiin 13.4.2015. Työ aloitettiin tutustumalla KA5:n hyllynkäsittelyjärjestelmään kaavioilla, ohjausjärjestelmillä ja paikan päällä sekä tutustumalla opinnäytetyössä tarvittaviin tietokonesovelluksiin. Tästä jatkettiin näytteiden ottoon sen hetkisen tilanteen selvittämiseksi, järjestelmän uusien asetusten määrittämiseen tavoitteen saavuttamiseksi, muutosten prosessiin ajoon ja näytteiden ottoon lopputulosten saamiseksi.

5.1 Tarkasteltava alue

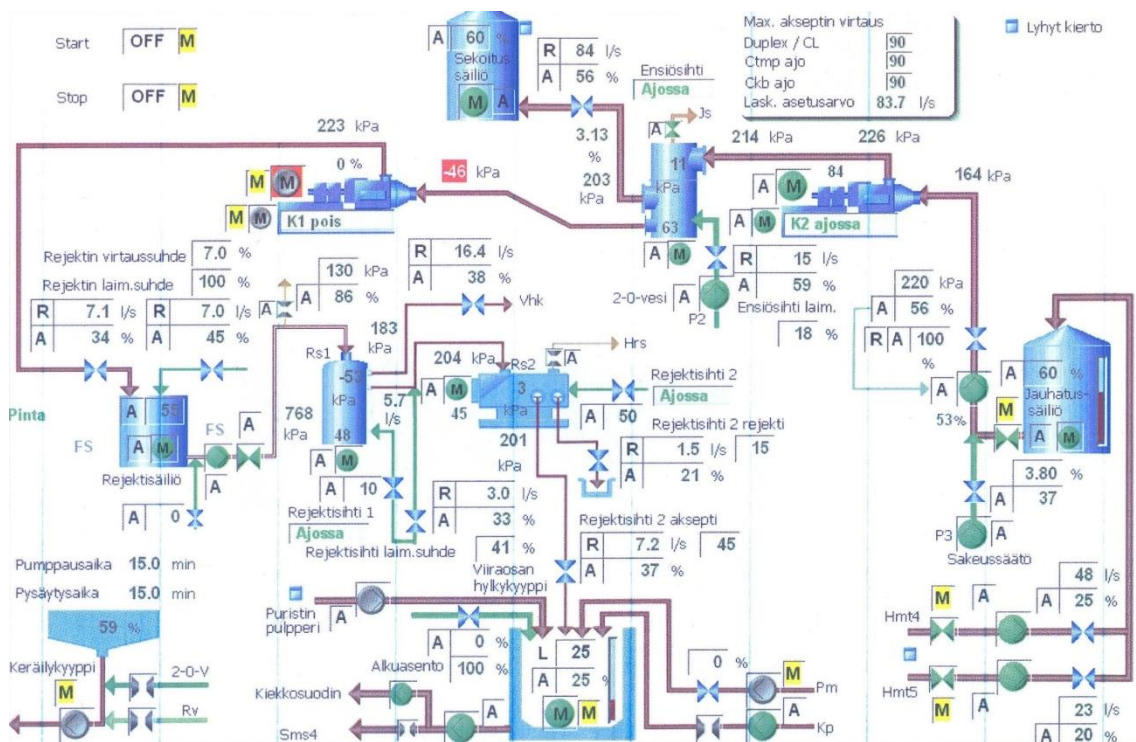
Hyllynkäsittelyjärjestelmässä optimoitava alue oli KA5:n hyllynkäsittelyjärjestelmän loppuosa. Siihen kuului hyllyn jauhatussäiliö, kuidutin 2, hyllyn ensiösihti, kuidutin 1, hyllyn rejektisäiliö, hyllyn rejektisihti 1 ja hyllyn rejektisihti 2. Kuiduttimet eivät kuitenkaan koskaan olleet samanaikaisesti käytössä.

Hyllyn jauhatussäiliössä hylkymassa on 4,5 % sakeudessa. Jauhatussäiliössä erotetaan liimainen massa muusta hylkymassasta ja liima kulkeutuu liimamassan jauhatukseen. Loppu hylky kulkeutuu kuidutin 2:n kautta hyllyn ensiösihdille.

Kuidutin 2:n teho on 315 kW ja läpi kulkevan massan virtausnopeus on 1486 l/min.

Hylyn ensiösihti on painelajitin, jolta aksepti menee sekoitussäiliöön ja rejekti kuidutin 1:lle. Kuidutin 1:n teho on 220 kW ja läpi kulkevan massan virtaus 1486 l/min. Kuidutin 1:ltä hylkymassa kulkeutuu hylyn rejektisäiliön kautta hylyn rejektisihti 1:lle.

Hylyn rejektisihti on myös painelajitin ja sen aksepti virtaa takaisin hyllynkäsittelyjärjestelmän alkuun viiraosan hylkykyyppiin. Rejekti kulkeutuu hylyn rejektisihti 2:lle. Rejektisihti 2:lta rejekti laskee kanaaliin ja aksepti palaa viiraosan hylkykyyppiin. Hyllynkäsittelyjärjestelmän DNA-näkymä on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Hyllynkäsittelyjärjestelmän lajitteluosan DNA-näkymä (Stora Enso 2015)

5.2 Käytettävät sovellukset

Kokeellista osaa suoritettaessa oli käytössä Valmetin DNA-järjestelmä. Valmetin DNA on automaatiojärjestelmä jolla voi hallita prosessia, laitteita, ajureita ja laadunvalvontaa. Se kattaa tiedonhallinnan sekä mekaanisen ja kenttälaitteiden kunnonvalvonnan. (Valmet 2015.)

Työn aikana DNA:ta käytettiin prosessiarvojen kuten sakeuksien ja virtauksien seuraamiseen sekä hylynkäsittelyjärjestelmän historiatietojen tarkasteluun. Lopuksi DNA järjestelmän kautta ajettiin muutokset prosessiin.

5.3 Ensimmäinen näytteidenottokierros

5.3.1 Valmistelu

KA5:n hylynkäsittelyjärjestelmässä ei ollut näytteidenottoon tarkoitettuja paikkoja kuin yksi, joten ensimmäisenä selvitettiin sopivat näytteidenottopaikat. Joissakin näytteidenottopaikoissa tarvittiin myös apuvälineitä näytteiden saamiseksi.

Näytteiden analysointia varten Kaukopään tehtaan kuitulinja 3:n sellulaboratorioon varattiin ylimääräistä työvoimaa. Näytteiden ottoa edeltävänä päivänä kartonkikoneen määränpään työntekijöille ilmoitettiin näytteiden otosta.

5.3.2 Näytteiden otto, analysointi ja tulokset

Näytteiden otto tapahtui 27.1.2015 6:30 ja 7:30 välillä. Tilanne näytteiden otolle ei ollut paras mahdollinen, sillä KA5:llä oli ollut yön aikana paljon katkoja. Myös näytteiden oton lopussa kartonkikoneella rata meni katki määrässä päässä, jolloin myös hylynkäsittely lakkautettiin. Näytettä saatiin kuitenkin kerättyä tarpeeksi.

Näytteet analysoitiin Kaukopään kuitulinja 3:n sellulaboratoriossa. Jokaisesta näytteestä analysoitiin kaksi sakeusarvoa, kaksi freeness arvoa määrittämään hienousaste sekä yksi somerville arvo määrittämään tikkupitoisuus. Tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. 1. näytteidenoton tulokset

Laite	Sakeus 1 %	Sakeus 2 %	Freeness 1 ml	Freeness 2 ml	Sommerville %
Jauhatussäiliö	4,26 %	4,19 %	583,00	603,00	0,26 %
Kuidutin 2	3,46 %	3,62 %	528,00	548,00	0,06 %
Ensiösihti aksepti	2,38 %	2,42 %	546,00	556,00	0,06 %
Ensiösihti rejekti	4,01 %	3,99 %	628,00	628,00	0,21 %
Kuidutin 1	4,01 %	3,99 %	628,00	628,00	0,21 %
Rejektisäiliö	1,32 %	1,22 %	607,00	607,00	0,23 %
Rejektisihti 1 aksepti	0,81 %	0,87 %	607,00	607,00	0,45 %
Rejektisihti 1 rejekti	1,04 %	1,07 %	582,00	552,00	0,13 %
Rejektisihti 2 aksepti	0,79 %	0,80 %	597,00	597,00	0,13 %
Rejektisihti 2 rejekti	1,07 %	1,02 %	653,00	653,00	1,66 %

5.4 Järjestelmän optimointi

5.4.1 Lähtötilanteen määrittäminen

Lähtötilanteen määrittämiseksi lähdettiin liikkeelle taulukoimalla hylynkäsittelyjärjestelmän työn kannalta merkittävät virtaukset näytteiden oton aikana ja laskemalla niiden keskiarvo. Virtaukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Prosessin virtaukset 1. näytteidenoton aikana

	Virtaus 1 l/s	Virtaus 2 l/s	Virtaus 3 l/s	Virtaus 4 l/s	Virtaus keskiarvo
Ensiösihti laimennus	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Ensiösihti aksepti	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00
Ensiösihti rejekti	7,10	6,30	7,60	7,40	7,10
Ensiösihti rejektin laimennus	7,00	6,80	7,30	7,30	7,10
Rejektisäiliö aksepti	22,10	21,90	22,70	22,70	22,35
Rejektisihti 1 aksepti	16,40	16,10	16,70	16,70	16,48
Rejektisihti 1 rejekti	5,70	5,80	6,00	6,00	5,88
Rejektisihti 2 laimennus	3,00	3,00	3,10	3,10	3,05
Rejektisihti 2 aksepti	7,20	7,30	7,50	7,50	7,38
Rejektisihti 2 rejekti	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Tunnettujen virtausten ja taulukon 1 tulosten perusteella laskettiin kuinka paljon viimeisen vaiheen rejektin mukana poistuu kuiva-ainetta sekunnissa kaavassa 1 ja sen mukaan päivässä kaavassa 2. Kaavoissa Q on virtaama, C sakeus, t aika ja m massa. Q_1 on rejektisihti 2 rejektivirtauksen keskiarvo ja C_1 saman rejektin sakeus. Sakeutena käytettiin taulukon 1 sakeus 1 ja sakeus 2 keskiarvoa.

Kaavassa 2 aika on sekuntien määrä päivässä. Hylkysulpun tiheydeksi oletetaan 1 000 kg/m³.

$$Q_1 \times C_1 = Q_2 \quad (1)$$

$$1,5 \frac{l}{s} \times \frac{0,0107 + 0,0102}{2} = 0,015675 \frac{l}{s} = 0,015675 \frac{kg}{s}$$

$$Q_2 \times t = m_1 \quad (2)$$

$$0,015675 \frac{kg}{s} \times 86400 s = 1354,32 kg$$

Tulosten perusteella järjestelmästä poistui kuituja viemäriin noin 1350 kg päivässä.

5.4.2 Optimointi

Järjestelmään oli mahdollista vaikuttaa joko muuttamalla rejektisihtien akseptin ja rejektin suhdetta, jotta järjestelmästä virtaisi pois vähemmän rejektiä ja samalla vähemmän kuiva-ainetta, ja/tai lisäämällä laimennuksia, jotta rejektinä poistuvassa virrassa olisi vähemmän kuiva-ainetta. Rejektisihti 2:n akseptin ja rejektin suhdetta ei kuitenkaan pystynyt muuttamaan, sillä rejektin virtaus oli jo minimissä. Jäljelle jäi rejektisihti 1:n akseptin ja rejektin suhteen muuttaminen, johon vaadittiin laimennusten lisäämistä.

Poistuvan kuiva-aineen määrää päätettiin vähentää niin, että rejektisihti 2:n rejektin virtaus pidettiin samana ja rejektiä laimennettiin sen verran, että vain haluttu määrä kuiva-ainetta poistui järjestelmästä. Tätä varten laskettiin, kuinka sakeaa rejektivirran tulisi olla, jotta se sisältää vain halutun määrän kuiva-ainetta.

Kaavan 2 mukaan laskettiin, kuinka paljon kuiva-ainetta saisi poistua sekunnissa, jos päivässä sitä saa poistua 500 kg. Kaavan 1 ja 2 mukaan laskettiin kuinka sakeaa $V_1=1,5$ l/s virta on, jos se sisältää kyseisen määrän kuiva-ainetta.

$$m_2 \div t = Q_3$$

$$500 \text{ kg} \div 86400 \text{ s} = 0,005787 \dots \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx 0,00579 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx 0,00579 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_3 \div Q_1 = C_2$$

$$0,00579 \frac{\text{l}}{\text{s}} \div 1,5 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,003858 \dots \approx 0,4 \%$$

Rejektin sakeuden tulisi siis olla noin 0,4 %, jotta järjestelmästä poistuisi kuiva-ainetta noin 500 kg päivässä. Ensimmäisten näytteiden oton aikana rejektin sakeus oli 1,2 %. Sakeuden laskemiseksi laimennuksia oli mahdollista lisätä vain rejektisäiliöön ja rejektisihdeille. Näiden lisääminen muutti myös rejektisihti 1 akseptin ja rejektin suhdetta.

Sopiviin muutoksiin päädyttiin määrittämällä erilaisia laimennussuhteita ja laskeamalla kuinka paljon ne todennäköisesti muuttaa eri vaiheiden sakeuksia. Rejektisäiliön laimennus oli pidetty 100 % tai alle ensiösihdin rejektivirtaan nähden, joten päätettiin olla nostamatta laimennusta enempää kuin 110 %:iin. Kun kuiva-aineen määrä oletettiin pysyvän samana ja vain virtauksen kasvavan laimennusta lisättäessä, voitiin arvioida, että rejektisäiliön jälkeen sakeus laskisi kaavan 3 mukaisesti. Kaavassa 3 C_3 on rejektisihti 1 syötön sakeuksien keskiarvo ja Q_4 saman syötön virtaus. Q_5 on arvio kuinka suureksi Q_4 kasvaa laimennusta lisättäessä. Virtauden arvioitiin kasvavan 1,5 l/s.

$$C_3 \times Q_4 = C_4 \times Q_5 \quad (3)$$

$$\frac{C_3 \times Q_4}{Q_5} = C_4$$

$$\frac{\frac{0,0132 + 0,0122}{2} \times 21,86 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{23,36 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 0,01122 \dots \approx 0,0112 \approx 1,12 \%$$

Sakeuden oletettiin laskevan eri vaiheissa samassa suhteessa kuin näytteiden tuloksissa, jolloin saatiin rejektisihti 2 rejektin arvioitu sakeus C_6 . C_6 on laskettu kaavassa 4, jossa C_5 on rejektisihti 2 rejektin sakeuksien keskiarvo.

$$C_3 \times C_6 = C_4 \times C_5 \quad (4)$$

$$\frac{C_4 \times C_5}{C_3} = C_6$$

$$\frac{0,0112 \times \frac{0,0107 + 0,0102}{2}}{\frac{0,0132 + 0,0122}{2}} = 0,00921 \dots \approx 0,0092 \approx 0,92 \%$$

Tällä muutoksella ei vielä päästy tarpeeksi alhaiseen sakeuteen, joten myös rejektisihtien laimennusta piti lisätä. Rejektisihdin laimennuksen vaikutusta sakeuteen oli kuitenkin vaikea arvioida, sillä rejektisäiliön laimennus lisäsi rejektisihti 1 akseptin virtausta ja tätä kautta myös rejektisihti 2 syöttöä sekä laimennusta. Historiatrendien perusteella pystyttiin kuitenkin arvioimaan kuinka paljon rejektisihti 1 aksepti kasvaisi, kun virtauksien määrä rejektisäiliöön kasvoi.

Rejektisäiliön laimennusten lisäysten jälkeen rejektisihti 1 akseptin virtauden arvioitiin nousevan 18:aan l/s. Tällöin, koska rejektisihti 2 aksepti oli 45 % rejektisihti 1 akseptista, rejektisihti 2 rejekti 15 % rejektisihti 2 akseptista ja rejektisihdin laimennus 41 % rejektisihti 2 akseptista, saatiin uusiksi virtauksiksi taulukon 3 mukaiset virtaukset. Taulukossa 3 on myös kaavan 4 mukaan arvioidut sakeudet. Laskujen mukaan rejektisihti 2 rejekti olisi 1,35 l/s, mutta todellisuudessa rejektin minimivirtaus on 1,5 l/s.

Taulukko 3. Arvioidut sakeudet

	Virtaus l/s	Sakeus %
Rejektisihti 1 aksepti	18,00	0,74 %
Rejektisihti 1 rejekti	6,01	0,93 %
Rejektisihti 2 aksepti	7,65	0,70 %
Rejektisihti 2 rejekti	1,50	0,92 %

Seuraavaksi selvitettiin kuinka suuri rejektisihti 2 akseptin virtaus pitäisi olla, jotta sen sakeus laskisi alle halutun 0,4 % kun kuiva-aineen määrä oletetaan pysyvän samana. Tällöin myös rejektin sakeuden pitäisi laskea lähelle tätä arvoa. Uusi virtaus on laskettu kaavan 3 mukaisesti.

$$Sakeus 7 \times Virtaus 4 = Sakeus 8 \times Virtaus 5$$

$$\frac{\text{Sakeus 7} \times \text{Virtaus 4}}{\text{Sakeus 8}} = \text{Virtaus 5}$$

$$\frac{0,0070 \times 7,65 \frac{l}{s}}{0,0040} = 13,3875 \frac{l}{s} \approx 13,39 \frac{l}{s}$$

Saatu arvo oli kuitenkin vain suuntaa antava ja todellisuudessa tarvitsi olla pienempi. Kun akseptin virtausta lisättiin lisäämällä rejektisihdin laimennusta, samalla rejektisihti 1:lle tulevasta hylystä enemmän ohjautui akseptiin. Tämä osataan laski rejektisihti 2:lle tulevan hyllyn sakeutta.

Rejektisihdin laimennusta päätettiin kasvattaa vähintään 45 prosenttiin rejektisihti 2 akseptista. Ylärajana oli laimennuksen lisäämisen vaikutus rejektisihti 1 akseptiin, jota ei laskemalla pystynyt kunnolla arvioimaan. Aksepti ei saanut kasvaa liian suuriksi, sillä sille piti jättää tilaa kasvaa, kun jauhatussäiliön syöttö on suurempi.

5.5 Koeajo

5.5.1 Muutosten ajo prosessiin

Koeajo suoritettiin 13.4.2015. Aikaväli näytteidenoton alkutilanteen määrittämiseksi ja koeajon välillä oli suuri muun muassa laiterikon vuoksi. Ensimmäisiä näytteitä otettaessa käytössä ollut kuidutin 2 oli hajonnut eikä sitä loppujen lopuksi saatu käyttöön koeajoa varten. Tämän takia ensimmäisessä näytteidenotossa ohituksessa ollut kuidutin 1 oli otettu käyttöön koeajoa varten ja ensimmäisessä näytteidenotossa käytössä ollut kuidutin 2 oli koeajossa ohitettuna.

Järjestelmään alettiin tehdä muutoksia kello 6:25 ja muutokset tehtiin 6:25-8:00 välillä. Ensimmäisenä ensiosihdiltä tulevan rejektin laimennussuhde nostettiin hitaasti 90 prosentista 110 prosenttiin. Seuraavaksi rejektisihdin laimennussuhde nostettiin 44 prosentista 49 prosenttiin. Muutosten vaikutus oli tasaantunut noin klo 8:10, jonka jälkeen järjestelmästä otettiin näytteet.

5.5.2 Näytteiden otto, analysointi ja tulokset

Näytteet kerättiin ja analysoitiin samalla periaatteella kuin ensimmäisellä näytteidenottokerralla. Poikkeuksina oli, että jokaisesta näytteidenottopaikasta kerättiin näytettä yhden näyteämpärin sijasta kahteen, joista toinen meni Tainionkosken laboratorioon freeness-määrittelyksi ja toinen Kaukopään kuitulinja 3:n sellulaboratorioon somerville-määrittelyksi, sekä kuidutin 2:n ohitus ja kuidutin 1:n käyttöönotto muutti hieman näytteenottoaikoja.

Näytteet kerättiin 8:22-9:45 välillä. Näytteenoton aikana yksi tyhjennysventtiileistä meni tukkoon, mikä keskeytti näytteenoton tukoksen avaamisen ajaksi.

Freeness ja sakeus määritettiin tällä kertaa Tainionkosken laboratoriossa ja vain somerville Kaukopään sellulaboratoriossa. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. 2. näytteenoton tulokset

Laite	Sakeus 1 %	Sakeus 2 %	Freeness 1 ml	Freeness 2 ml	Sommerville %
Jauhatussäiliö	3,26 %	3,25 %	568,00	548,00	7,27 %
Kuidutin 2	3,26 %	3,25 %	568,00	548,00	7,27 %
Ensiöshti aksepti	2,47 %	2,43 %	568,00	568,00	1,32 %
Ensiöshti rejekti	4,58 %	4,32 %	640,00	629,00	41,49 %
Kuidutin 1	5,02 %	4,91 %	664,00	664,00	8,40 %
Rejektisäiliö	1,77 %	1,79 %	629,00	640,00	7,77 %
Rejektisihti 1 aksepti	0,46 %	0,48 %	647,00	657,00	2,79 %
Rejektisihti 1 rejekti	1,63 %	1,56 %	628,00	628,00	4,69 %
Rejektisihti 2 aksepti	0,17 %	0,17 %	661,00	651,00	13,95 %
Rejektisihti 2 rejekti	0,40 %	0,42 %	709,00	710,00	57,68 %

5.6 Tulosten tulkinta

5.6.1 Kuitumäärä

Prosessista poistuvan kuitumäärän muutoksen selvittämiseksi listattiin jälleen keskiarvot työn kannalta tärkeimmistä virtauksista näytteenoton aikana. Virtaukset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Prosessin virtaukset 2. näytteiden oton aikana

	Virtaus 1 l/s	Virtaus 2 l/s	Virtaus 3 l/s	Virtaus 4 l/s	Virtaus keskiarvo
Ensiösihti laimennus	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Ensiösihti aksepti	79,00	75,00	75,00	79,00	77,00
Ensiösihti rejekti	6,00	7,50	6,20	6,70	6,60
Ensiösihti rejektin laimennus	6,70	6,50	6,70	7,20	6,78
Rejektisäiliö aksepti	27,80	26,30	26,20	27,30	26,90
Rejektisihti 1 aksepti	21,50	20,20	20,10	21,00	20,70
Rejektisihti 1 rejekti	6,30	6,10	6,10	6,30	6,20
Rejektisihti 2 laimennus	4,70	4,40	4,50	4,70	4,58
Rejektisihti 2 aksepti	9,50	9,10	9,10	9,50	9,30
Rejektisihti 2 rejekti	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Virtausten ja sakeuksien perusteella laskettiin jälleen, kuinka paljon viimeisen vaiheen rejektin mukana poistuu kuituja sekunnissa kaavan 1 mukaan ja sen perusteella vuorokaudessa kaavan 2 mukaan.

$$1,5 \frac{l}{s} \times \frac{0,0040 + 0,0042}{2} = 0,00615 \frac{l}{s} = 0,00615 \frac{kg}{s}$$

$$0,00615 \frac{kg}{s} \times 86400 s = 531,36 kg$$

Tulosten perusteella prosessiin tehtyjen muutosten jälkeen prosessista poistuu nyt kuiva-ainetta noin 530 kg vuorokaudessa. Määrä on lähellä tavoitearvoa, joka oli 500 kg vuorokaudessa.

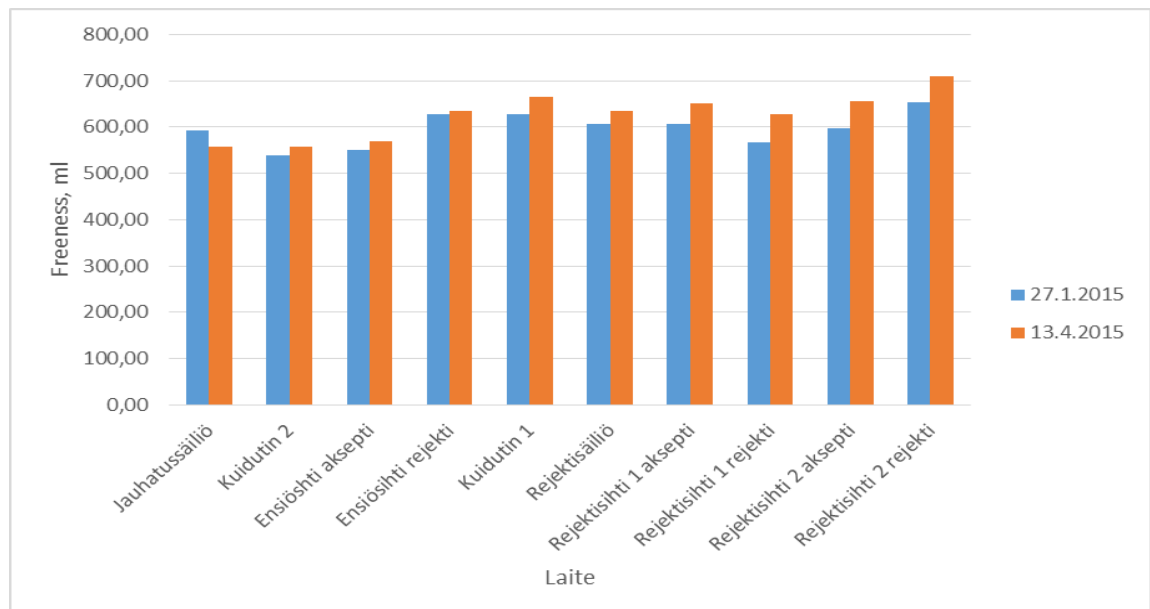
Kuiva-ainemäärä olisi luultavasti vielä pienempi, jos kuidutin 2 olisi ollut käytössä molemmilla näytteidenottokerralla. Kuidutin 2 on tehokkaampi kuin kuidutin 1 ja mitä luultavimmin tästä syystä hyllyn kuidut eivät ole hajonnet kunnolla. Kuituuntumattomat kuidut eivät ole päässeet lajittimien sihtilevyjen läpi, jolloin iso osa kuiva-aineesta on päätynyt rejektivirtaan ja viimeisten vaiheiden akseptivirtojen sakeudet ovat jääneet alhaisiksi.

Tavoitteena työssä oli myös pitää ensiösihdiltä akseptina sekoitussäiliöön poistuva virta muuttumattomana. Taulukoita 1 ja 4 tarkasteltaessa huomataan, että sakeuden osalta akseptivirta on pysynyt lähes muuttumattomana.

5.6.2 Hienousaste

Freeness-testillä (CSF, Canadian Standard Freeness) mitataan massan suotautuvuutta. Se sopii kuitenkin myös määrittämään hienousasteen, sillä hienousaste on merkittävin suotautuvuuteen vaikuttava tekijä. Freeness-arvo pienenee sitä mukaan, kun massan hienousaste lisääntyy. (Katajamäki 2013.)

Alkutilanteen ja koeajon jälkeisen tilanteen freeness-keskiarvoja taulukoista 1 ja 4 on vertailtu kuviossa 1. Siitä huomataan, että prosessiin ajettujen muutosten jälkeen hienousaste on pääosin laskenut näytteenottopisteissä. Myös ensisihdiltä akseptina poistuvan virran hienousaste on laskenut. Tämä ei kuitenkaan johdunut pelkästään prosessiin ajetuista muutoksista, sillä ensimmäisten ja toisten näytteiden oton aikana prosessissa tapahtui myös muita muutoksia.



Kuvio 1. Freeness-arvot

Suurempi vaikutus hienousasteen vaihteluun kuin laimennusten lisäys on luultavasti eri kuiduttimien käyttö ensimmäisten ja toisten näytteiden oton aikana. Kuten aikaisemmin mainittiin, kuiduttimet eivät ole samanlaisia vaan kuidutin 2 on tehokkaampi kuin kuidutin 1 ja melko varmasti siitä myös hienousasteen vaihtelu johtuu.

Epätarkkuutta vertailuun on voinut myös tuoda näytteiden analysointi. Ensimmäiset ja toiset näytteet jouduttiin analysoimaan eri laboratorioissa ja eri laitteil-

la freeness-määrityksen ja sakeusmäärityksen osalta. 27.1. otettujen näytteiden kaikki määritykset tehtiin Kaukopään kuitulinja 3 sellulaboratoriossa, mutta 13.4. näytteitä piti ottaa kaksinkertainen määrä, joista puolet vietiin Tainionkosken laboratorioon freeness- ja sakeusmäärityksiin ja puolet Kaukopäähän kuitulinja 3 sellulaboratorioon somerville-määrityksiin. CSF-mittauksissa esiintyy suuria eroja eri mittareiden välillä, joten vain samalla mittarilla saatuja tuloksia voi luotettavasti verrata keskenään (Metlas Ky 1999).

5.6.3 Tikkupitoisuus

Somerville-menetelmää käytetään määrittämään tikkupitoisuus. Tikuiksi luokitellaan yleensä kuitukimput joissa on 2-4 kuitua rinnan. Pitkät, jäykät kuidut ovat myös tikkujen luonteisia. Tikkupitoisuudella on vaikutus paperin ajettavuuteen paperikoneella. Liian korkea tikkupitoisuus voi esimerkiksi lisätä ratakattojen riskiä. (Metlas Ky 1999.)

Tikkupitoisuuksia ensimmäisen ja toisen näytteidenoton välillä on verrattu taulukossa 6. Taulukosta huomataan, että tikkupitoisuus vaihteli suuresti ensimmäisen ja toisen näytteiden oton välillä. Muutos oli pienin ensimmäisen lajittimen akseptissa ja suurin viimeisen lajittimen rejektissä. Kuten hienojakoisuuden vaihtelevuudessa, suuri vaihtelevuus tikkupitoisuuksissa tuskin johtuu pelkästään prosessiin tehdyistä laimennusten lisäyksistä, vaan eri kuiduttimien käytöstä.

Taulukko 6. Somerville-arvot

Laite	Somerville 27.1. %	Somerville 13.4. %
Jauhatussäiliö	0,26 %	7,27 %
Kuidutin 2	0,06 %	7,27 %
Ensiöshti aksepti	0,06 %	1,32 %
Ensiösihti rejekti	0,21 %	41,49 %
Kuidutin 1	0,21 %	8,40 %
Rejektisäiliö	0,23 %	7,77 %
Rejektisihti 1 aksepti	0,45 %	2,79 %
Rejektisihti 1 rejekti	0,13 %	4,69 %
Rejektisihti 2 aksepti	0,13 %	13,95 %
Rejektisihti 2 rejekti	1,66 %	57,68 %

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön päätavoite oli optimoida Tainionkosken tehtaan KA5:n hylynkäsittelyjärjestelmä niin, että prosessin viimeisen lajitteluvaiheen rejektin mukana kulkeutuisi kuiva-ainetta noin 500 kg vuorokaudessa ja ensiösihdin aksepti pysyisi mahdollisimman muuttumattomana. Samalla selvitettiin hylyn hienousaste sekä tikkupitoisuus ja prosessiin tehtyjen muutosten vaikutukset niihin.

Ensimmäisenä prosessista selvitettiin kuitutaseiden sekä virtauksien hienousasteiden ja tikkupitoisuuksien lähtötilanne ottamalla näytteitä hylynkäsittelyjärjestelmän loppuosan jokaisesta vaiheesta. Näytteistä analysoitiin sakeus sekä freeness- ja somerville-arvot. Sakeuksien ja tunnettujen virtausten avulla laskettiin kuitutaseet prosessin eri vaiheissa.

Saatujen kuituvirtausten perusteella määritettiin uudet aksepti-rejekti ja laimennussuhteet niin, että asetettuun tavoitteeseen päästäisiin. Uudet asetukset ajettiin prosessiin ja prosessista otettiin uudet näytteet, jotka analysoitiin edellisten mukaisesti. Tulosten mukaan laskettuja kuiva-ainemääriä verrattiin asetettuun tavoitteeseen ja saatuja freeness- sekä somerville-arvoja verrattiin aikaisemmassa näytteidenotossa saatuihin arvoihin.

Viimeisen lajitteluvaiheen rejektin kuiva-ainemäärässä päästiin hyvin lähelle asetettua tavoitetta. Tavoite olisi luultavasti alittunut, jos kuidutin 2 ei olisi ollut rikki toisella näytteidenotokerralla.

Hienousasteen ja tikkupitoisuuden osalta vertailua ennen ja jälkeen prosessin muutoksia on melko mahdoton tehdä. Eri kuiduttimien käytöllä oli mitä ilmeisimmin paljon suurempi vaikutus freeness- ja somerville-arvoihin kuin prosessiin tehdyillä muutoksilla.

Kuvat

- Kuva 1. Eri tavoin asetellut telat pintaliimauksessa, s. 11
- Kuva 2. Päällistyksen vaiheet, s. 12
- Kuva 3. Pope-rullain, s. 13
- Kuva 4. Pulpperi, liukuhihna ja suihkujärjestelmä, s. 17
- Kuva 15. Pulpperin siipipyörä, s. 19
- Kuva 16. Vaakapulpperi, s. 20
- Kuva 17. Pystypulpperi, s. 21
- Kuva 18. Kiekkosuodatin, s. 24
- Kuva 19. Painovoimasuodatin, s. 25
- Kuva 20. Kuidutin, s. 26
- Kuva 21. Kuiduttimen kartiomaiset terät, s. 27
- Kuva 22. Painelajitin, s. 29
- Kuva 23. Hydrosykloni, s. 30
- Kuva 14. Hylynkäsittelyjärjestelmän lajitteluosan DNA-näkymä, s. 33

Kuviot

- Kuvio 2. Freeness-arvot, s. 41

Taulukot

- Taulukko 1. 1. näytteidenoton tulokset, s. 34
- Taulukko 7. Prosessin virtaukset 1. näytteidenoton aikana, s. 34
- Taulukko 8. Arvioidut sakeudet, s. 37
- Taulukko 9. 2. näytteidenoton tulokset, s. 39
- Taulukko 10. Prosessin virtaukset 2. näytteidenoton aikana, s. 40
- Taulukko 11. Somerville-arvot, s. 42

Lähteet

Arjas, A. 1983. Paperin valmistus. Turku: Suomen Paperi-insinöörien yhdistys r.y.

GL&V 2014. GDX™ Gravity Decker.
<http://www.glvpulppaper.com/Brands/Hedemora/GDXGravityDecker>. Luettu 3.12.2014.

Gullichsen, J & Fogelholm, C. 1999. Chemical Pulping. Helsinki: Fapet Oy.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2000. Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki: Opetushallitus.

Katajamäki, S. 2013. Paperin ominaisuuksien riippuvuus kuitukoostumuksesta ja rakenteesta. Aalto-yliopisto. Puunjalostustekniikan laitos. Laboratorioyö.
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/puu-0.1200/harjoitustyot/Puu-0_1200_paperilabran_tyooohje.1200labratyooohje_s2013.pdf
Luettu 21.4.2015

KnowPap-demo 2013.
http://www.knowpap.com/www_demo/suomi/paper_technology/general/6_finishing/frame.htm. Luettu 3.12.2014

Lindfors, T. 2011. Kartonkikone 5:n mekaaninen online kunnonvalvonta. Saimaan ammattikorkeakoulu. Konetekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Lönnerberg, B. 2009. Mechanical Pulping. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Metlas Ky 1999. Puusta paperiin M-301. Hiokkeen valmistus. Anjalankoski. Scanark.

Paulapuro, H. 2008. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Sepsilva Ltd Oy 1997. Kartonkikoneet. Saarijärvi: Gummerrus Kirjapaino Oy.

Stora Enso 2015.
<http://renewablepackaging.storaenso.com/about-us/mills/imatra-mill/finnish>.
Luettu 20.4.2015

Valmet 2015.
http://www.valmet.com/Automation/ip_prod.nsf/WebWID/WTB-041117-2256F-BC5B1?OpenDocument&mid=BC096E0F46F84250C2257E0600442C0B
Luettu 21.4.2015

Näytteidenottosuunnitelma

Näytteidenottosuunnitelma

Näytteiden otto

Näytteet otetaan 27.1.2015. Näytteitä otetaan yhdeksän. Näytteet otetaan neljän näytteen kokoomanäytteinä. Näytteenottokierroksia tehdään neljä peräjälkeen, jolloin jokaisella kierroksella otetaan näytettä näytepaikan näyteastiaan 1/4 tarvittavasta näytemäärästä. Viimeisen näytekerroksen jälkeen näyteastioissa on määrätty määrä näytteitä.

Tarvittavat ämpärit ja kauhat viedään paikoilleen enne ensimmäisen näytteenottokierroksen aloittamista.

Näytepisteet

Näyte	Tarkasteltava laite/säiliö	Näytepaikan tyyppi	Näytepaikka	Näytemäärä	Tietoa näytteen otosta
1	Hyllyn jauhatussäiliö	Näytteenottoaika	NOP204	3 L	
2	Kuidutin 2	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1105	3 L	
3	Hyllyn ensiösihti – rejekti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1112	3 L	
4	Hyllyn ensiösihti - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1146	3 L	
5	Hyllyn rejektisäiliö	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1116	10 L	
6	Hyllyn rejektisihti 1 - rejekti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1158	10 L	
7	Hyllyn rejektisihti 1 - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1155	10 L	
8	Hyllyn rejektisihti 2 - rejekti		Putkien 631-519 ja 631-520 väli	10 L	Rejekti kulkeutuu putkea 631-519 pitkin kanaaliin johtavaan putkeen 631-520. Putkien välissä on aukko, josta saa näytteen kupilla
9	Hyllyn rejektisihti 2 - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1122	10 L	Tyhjennysputki johtaa suppiloon ja siitä kanaaliin laskevaan putkeen. Tyhjennysputken ja suppilon väliin ei mahdu näyteämpäriä, mutta näytteen saa kauhallalla

Kuidutin 1 ohitetaan.

Näytteiden analysointi

Näytteistä määritetään sakeus, freeness ja somerville. Jokaisesta näytteestä tehdään kaksi sakeus ja freeness rinnakkaismäärittystä ja vain yksi somerville määrittys.

Koeajosuunnitelma

Koeajosuunnitelma

Hylynkäsittelyjärjestelmään tehtävät asetusten muutokset

Hylynkäsittelyjärjestelmän asetusten muuttaminen aloitetaan torstaina 13.4.2015 klo 6:30. Muutettavat asetukset ovat rejektisihti 1:n laimennussuhde ja ensiösihdin rejektin laimennussuhde.

Ensiösihdin rejektin laimennussuhde nostetaan 90 %:sta 110 %:iin. Riippuen laimennussuhteen muuttamisen vaikutuksesta rejektisihti 1:n akseptiin, rejektisihti 1:n laimennussuhde nostetaan 44 %:sta enintään 50 %:iin.

Hylynkäsittelyjärjestelmästä otetaan näytteet kun muutokset ovat asettuneet voimaan. Näytteet on otettu puoleen päivään mennessä.

Näytteiden otto

Näytteet otetaan kun muutosten vaikutus on tasaantunut. Näytteitä otetaan kahdeksantoista. Näytteet otetaan neljän näytteen kokoomanäytteinä. Näytteenottokierroksia tehdään neljä peräjälkeen, jolloin jokaisella kierroksella otetaan näytettä näytepaikan kahteen näyteastiaan 1/4 tarvittavasta näytemäärästä. Viimeisen näytekierroksen jälkeen näyteastioissa on määrätty määrä näytteitä.

Tarvittavat ämpärit ja kauhat viedään paikoilleen ennen ensimmäisen näytteenottokierroksen aloittamista.

Näytteidenottoaikat

Näyte	Tarkastettava laite/säiliö	Näytepaikan tyyppi	Näytepaikka	Näytemäärä	Tietoa näytteen otosta
1 A	Hyllyn jauhatussäiliö	Näytteenottoaikka	NOP204	3 L	
2 A	Hyllyn ensiösihti – rejekti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1112	3 L	
3 A	Hyllyn ensiösihti - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1146	3 L	
4 A	Kuidutin 1	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili		3 L	
5 A	Hyllyn rejektisäiliö	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1116	3 L	
6 A	Hyllyn rejektisihti 1 - rejekti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1158	3 L	
7 A	Hyllyn rejektisihti 1 - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1155	3 L	
8 A	Hyllyn rejektisihti 2 - rejekti		Putkien 631-519 ja 631-520 väli	3 L	Rejekti kulkeutuu putkea 631-519 pitkin kanaaliin johtavaan putkeen 631-520. Putkien välissä on aukko, josta saa näytteen kupilla
9 A	Hyllyn rejektisihti 2 - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1122	3 L	Tyhjennysputki johtaa suppiloon ja siitä kanaaliin laskevaan putkeen. Tyhjennysputken ja suppilon väliin ei mahdu näyteämpäriä, mutta näytteen saa kauhalla

1 B	Hylyn jauhatussäiliö	Näytteenottoaikka	NOP204	3 L	
2 B	Hylyn ensiösihti – rejekti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1112	3 L	
3 B	Hylyn ensiösihti - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1146	3 L	
4 B	Kuidutin 1	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili		3 L	
5 B	Hylyn rejektisäiliö	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1116	10 L	
6 B	Hylyn rejektisihti 1 - rejekti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1158	10 L	
7 B	Hylyn rejektisihti 1 - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1155	10 L	
8 B	Hylyn rejektisihti 2 - rejekti		Putkien 631-519 ja 631-520 väli	10 L	Rejekti kulkeutuu putkea 631-519 pitkin kanaaliin johtavaan putkeen 631-520. Putkien välissä on aukko, josta saa näytteen kupilla
9 B	Hylyn rejektisihti 2 - aksepti	Käsiventtiili Tyhjennysventtiili	V631-1122	10 L	Tyhjennysputki johtaa suppiloon ja siitä kanaaliin laskevaan putkeen. Tyhjennysputken ja suppilon väliin ei mahdu näyteämpäriä, mutta näytteen saa kauhalla

Kuidutin 2 ohitetaan.

Näytteiden analysointi

Näytteistä 1-9 A määritetään sakeus sekä freeness ja näytteistä 1-9 B määritetään somerville. Näytteistä 1-9 A tehdään kaksi sakeus ja freeness rinnakkaismäärittystä, näytteistä 1-9 B yksi somerville määrittys.

