

**LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO**

LUT Kemiantekniikka

BJ10A0102 Kandidaatintyö

## **PAINELAJITTELU**

Joni Myyryläinen 0238693

myyryla@gmail.com

20.5.2014

## TIIVISTELMÄ

LTY, LUT Kemianteekniikka, Kuitu- ja paperitekniiikan osasto

Tekijä: Joni Myyryläinen

Kandidaatintyö: **Painelajittelu**

Vuosi, sisältö: 2014, 36 sivua, 18 kuvaa, 1 taulukko ja 1 liite

Tarkastaja ja ohjaaja: TkL Kati Turku, DI Katriina Mielonen

Hakusanat: Lajittelu, painelajitin, roottori, sulppu

Kirjallisuustyössä tarkasteltiin lajittelun historiaa. Lisäksi esiteltiin lajittelun teoriaa ja parametreja. Lopuksi perehdyttiin painelajittimen rakenteeseen, toimintaperiaatteeseen ja käyttökohteisiin. Lajittelu on tärkeimpiä massa- ja paperiteollisuuden yksikköprosesseja. Tarkoituksena on poistaa massasta epäpuhtauksia, kuten tikkuja, kuituuntumatonta jaetta, kuitukimppuja ja kuorta. Lajittelu suoritettiin käsin ennen koneellisen paperinvalmistuksen keksimistä. Jo ensimmäisissä lajittimissa käytettiin sihtilevyjä. Perälaatikon paineistaminen johti myös painelajittelun kehittämiseen. Prosessien sulkemisen seurauksena keskipakolajittimet on korvattu nykyään melkein kokonaan painelajittimilla.

Painelajittimia käytetään yleensä kolmesta neljään vaiheeseen jaotellun hienolajittelun päälinjan laitteina. Painelajitin koostuu useimmiten pyörivästä roottorista ja paikoillaan olevasta sihtirummusta, jotka toimivat painelajittimen hallinnan perusrakenteina. Sihti on yleensä lieriön muotoinen ja sen aukot muodostuvat rei'istä tai raoista. Sihtilevyt voivat olla sileitä tai profiloituja. Lajittimet voidaan jakaa roottorirakenteen perusteella foilityypisiin sykesiivellisiin roottoreihin, turbulentsisiin rumpuroottoreihin ja siivekkeellisiin roottoreihin. Roottori tuottaa tangentiaalisen nopeuden sihtipinnan lähellä ja aiheuttaa turbulenssia. Sen tärkeimpänä tehtävänä on puhdistaa sihtilevyn pinta sille sakeutuvista kuitu- ja tikkukerrostumista.

Painelajittimen syöttö voidaan toteuttaa tangentiaalisesti tai aksiaalisesti, joista jälkimmäinen on yleistynyt paremman energiatehokkuutensa ansiosta. Hyväksytyt jae virtaa sihtilevyn läpi akseptin ulosmenoon. Roskapitoinen hylätty jae ohittaa sihdin avoimen pinnan ja kulkeutuu rejektinpoistoon. Sihtilevyn lävitse kulkeutuva sulppuvirtaus aiheuttaa painehäviötä, joka suurenee läpivirtauksen kiihtyessä ja sihtilevyn pinnalla olevan kuitukerroksen tihentyessä. Syötön ja akseptin välistä paine-eroa käytetään lajittimen hallintaan ja siihen vaikuttaa massalaji, syötön tilavuusvirta, syöttösakeus ja sihtilevyn geometria.

Toiminnan ja teorian tuntemus auttaa saavuttamaan lajittelulle asetetut tavoitteet. Tunnetuimmat lajitteluteoriat käsittelevät huopautumista, orientoitumista, sekä nopeuksiltaan ja kuituominaisuuksiltaan poikkeavien kerrosten muodostumista lajittimessa. Lajittelutapahtuman hyvyyteen vaikuttavat monet eri tekijät samanaikaisesti. Lajitteluratkaisut ovat tästä johtuen hyvin yksilöllisiä. Lajittelutulosta arvioidaan priimakuituhäviön ja epäpuhtauksien poiston perusteella.

## **ABSTRACT**

LUT, LUT Chemical technology, Fibre and paper technology department  
Author: Joni Myyryläinen  
Bachelor's Thesis: **Pressure screening**  
Year, content: 2014, 36 pages, 18 figures, 1 table and 1 appendice  
Supervisor: Lic.Sc. Kati Turku, M.Sc. Katriina Mielonen  
Keywords: Screening, pressure screen, rotor, pulp

The purpose of this bachelor's thesis was to study the history of screening. The research covered also screening theories and parameters. Set up, principles and applications of pressure screening were introduced at the end. Screening is one of the most important unit operations of fibre and paper industry. The idea is to remove solid impurities, such as shives, unfibrillated fraction, fibre bundles and bark out of paper mass. Screening was performed manually before the invention of paper machine. Screen plates were used already in the earliest screening devices. Pressurization of head boxes led also to the development of pressure screening. Nowadays they've replaced centrifugal screens almost entirely as the result of process closure.

Pressure screens are used in the mainline of fine screening, which is usually divided into three or four stages. Pressure screen consist of spinning rotor and stable screen basket. They are the basic structures of controlling pressure screen. Screen basket is usually a cylindrical with hole or slot shaped apertures. Screen plates can be smooth or contoured. Pressure screens can be classified based on rotor structure as foil-type pulsation element rotors, turbulent bump rotors and hydrofoil rotors. Rotor produces tangential velocity near the surface of screen and causes turbulence. The most important task of rotor is to clean screen plate out of thickening fibre and shive layers.

Pressure screen's feed can be emplaced tangentially or axially, of which later has become general due to better energy consumption. Accepted fraction flows through the screen plate into the exit of accept. Thrash containing rejected fraction passes an open area of the screen and travels into the reject removal. Pulp flow that goes through the screen plate causes a pressure loss. It enlarges when flow through accelerates and fibre layers on the top of the screen thicken. Device is controlled due to the pressure difference between feed and accept. It is affected by the type of pulp, volumetric flow and concistency of feed as well as geometry of the screen.

The knowledge concerning functioning and the earlier theories help achieving objectives set for screening. Well known theories of screening concern fibrage, orientation, and formation of layers with different velocities and fibre properties. Various elements affect simultaneously on quality of screening. Therefore screening solutions are very unique. Screening result is evaluated based on prime fibre loss and removal of impurities.

## SYMBOLILUETTELO

### Latinalaiset symbolit

$a, b$	kokeellisten mittausten perusteella määritettävät parametrit
$A$	lajittimen kapasiteetti, ADMT/d
$A_0$	sihdin avoin pinta-ala, m <sup>2</sup>
$A_W$	kokonaisvirtauksen akseptiosuus, -
$c$	sakeus, %
$c_A$	akseptin sakeus, %
$c_F$	syötön sakeus, %
$c_R$	rejektin sakeus, %
$D_1$	sihtilevyjen välisen reiän halkaisija, m
$D_2$	partikkelin liikesuuntaan projisoidun reiän halkaisija, m
$E_C$	tehokkuus- eli puhtauskerroin, -
$E_m$	lajittimen moottorin energiankulutus, kWh
$E_{R_s}, SRE$	tikkujen erotustehokkuus, -
$F$	kokonaisvirtaus, m <sup>3</sup> /s
$k_{ca}$	akseptin laimenemiskerroin, -
$k_{cr}, RTF, T$	rejektin sakeutumiskerroin, -
$l$	pitkäkuituosuus, -
$LY$	pitkäkuitusaanto, m-%
$L_A$	akseptivirtauksen pitkäkuitusaanto, m-%
$L_F$	syöttövirtauksen pitkäkuitusaanto, m-%
$\dot{m}$	massavirtaus, g/s
$\dot{m}_i$	tietyt fraktion massavirtaus, g/s
$\dot{m}_s$	tikkumassan virtaus, g/s
$p_A$	akseptin paine, bar
$p_F$	syötön paine, bar
$P_t$	massassa olevien kaikkien hiukkasten läpäisytodennäköisyys, -
$P_S$	tikkujen läpäisytodennäköisyys, -

$Q$	epäpuhtauksien erottumisindeksi, -
$R_G$	pitkäkuituhäviö, -
$R_t, RR$	paino-osuuksien rejektisuhde, -
$R_W$	kokonaisvirtauksen rejektiosuus, -
$s$	tikkupitoisuus, -
$v$	rakonopeus, m/s
$\dot{V}_A$	akseptin tilavuusvirtaus, m <sup>3</sup> /s
$\dot{V}_{\text{akσιαallinen}}$	akσιαallinen virtausvektori, -
$\dot{V}_F$	syötön tilavuusvirtaus, m <sup>3</sup> /s
$\dot{V}_R$	rejektin tilavuusvirtaus, m <sup>3</sup> /s
$\dot{V}_{\text{radiaalinen}}$	radiaalinen virtausvektori, -
$\dot{V}_{\text{tangentialinen}}$	tangentialinen virtausvektori, -

### Kreikkalaiset symbolit

$\Delta p$	paine-ero, bar
$\theta_X$	tikkuvirtauksen akseptiosuus, -

### Alaindeksit

$A$	aksepti
$F$	syöttö
$R$	rejekti

### Lyhenteet

$ADMT$	ilmakuiva sellutonni, johdettu massayksikkö
$EOK$	energian ominaiskulutus, kWh/ADMT
$RR_m$	massarejektisuhde, -
$RR_V$	tilavuusrejektisuhde, -

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>LAJITTELUN HISTORIA .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>LAJITTELUN TEORIA JA TUNNUSLUVUT .....</b>	<b>9</b>
3.1	Virtausjärjestelmä .....	12
3.2	Lajittelumekanismi normaalissa sakeudessa.....	14
3.2.1	Huopautuminen .....	15
3.2.2	Orientoitumisteoria .....	15
3.2.3	Lajittimen erilaiset kuitukerrokset .....	16
3.3	Lajittimen malli.....	17
3.3.1	Taseyhtälöt .....	18
3.3.2	Lajittelutuloksen luonnehdinta.....	22
3.4	Lajittelun perusyhtälöitä ja tunnuslukuja .....	24
<b>4</b>	<b>PAINELAJITTELU.....</b>	<b>25</b>
4.1	Rakenne.....	25
4.2	Toiminta.....	27
4.3	Käyttökohteet .....	30
<b>5</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>32</b>
	<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>35</b>
	<b>LIITTEET</b>	

## 1 JOHDANTO

Kirjallisuustyössä läpivalaistiin lajittelun historiaa. Lisäksi esiteltiin lajittelun teoriaa ja parametreja. Lopuksi pureuduttiin painelajittimen rakenteeseen, toimintaperiaatteeseen ja käyttökohteisiin.

Lajittelulla tarkoitetaan prosessia, jossa hyvästä massasta erotetaan haitalliset epäpuhtaudet mahdollisimman tehokkaasti eli kohtuullisin kustannuksin ja vähäisin priimakuitutappioiden /1/. Korkealaatuisten paperituotteiden valmistamisen perusedellytyksenä voidaan pitää hyvin toimivaa lajittelujärjestelmää. Lajitteluvaiheessa hyväksytyyn massan joukkoon päätyvä epäpuhtaus näkyy suoraan lopputuotteessa. Laadun heikentämisen ohella jokainen roska tai tikku on potentiaalinen ajettavuusongelmien aiheuttaja. Lajittelua voidaan edellisin perustein pitää yhtenä tärkeimmistä massa- ja paperiteollisuuden yksikköprosesseista. /2/

Roottorirakenne ja sihtilevyn geometria vaikuttavat painelajittimen toiminta-arvoihin. Painelajittimien kehitystyössä on keskitytty viime aikoina erityisesti uusien roottori- ja sihtilevyratkaisujen etsimiseen. Muutoksilla on saavutettu selvästi parantuneet tulokset kapasiteetin, puhdistustehokkuuden ja sakeutusalueiden osalta. Hyvältä painelajittimelta vaadittavia ominaisuuksia ovat: suuri kapasiteettialue lajittelupinta-alan suhteen, laaja sakeusalue (1 – 5 %), pieni energiankulutus ja kehittynyt huolto. /3/

Paperi- ja kartonkitehtaalla käytetään yleensä yhdestä kahteen konesihtiä lyhyessä kierrossa juuri ennen perälaatikkoa. Paperimassan valmistuksessa painelajittimet toimivat hienolajittelun päälinjassa. Primäärilajittelu toteutetaan joko reikä- tai rakorummuilla. Lajittelu on tavallisimmin jaettu kolmeen tai neljään vaiheeseen. Primäärivaiheen aksepti johdetaan lajitteluprosessissa eteenpäin ja rejekti puhdistetaan useammassa portaassa /3/. Mekaanisen massan valmistuksessa painelajittelu on tärkein erotuskeino /4/.

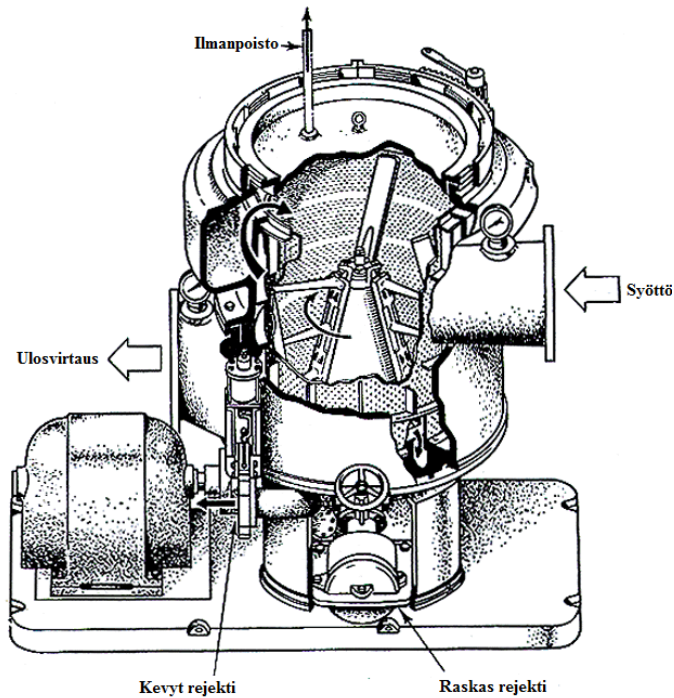
## 2 LAJITTELUN HISTORIA

Ts'ai Lun esitteli paperintekotaidon Kiinan keisarille 105 jKr. Seuraavat 1700 vuotta paperia valmistettiin kyseisen kiinalaisen virkamiehen keksimällä kuitujen suotautusmenetelmällä. Taito levisi vuosisatojen kuluessa Aasiasta Lähi-idän (Bagdad Irakissa v. 793), Pohjois-Afrikan (Kairo Egyptissä 1100-luvulla) ja Euroopan (Xativa Espanjassa v. 1144) kautta aina ”Uuteen maailmaan” (Germantown Yhdysvalloissa v. 1690) saakka /5/. Tällä käsipaperinvalmistuksen aikakaudella lajittelu hoidettiin poimimalla roskat kuitulietteen joukosta työntekijöiden toimesta /6/.

Paperi- ja selluteollisuudessa lajittelu muodostui varsinaiseksi käsitteeksi ranskalaisen Nicolas Louis Robertin 18.1.1799 patentoiman käsikäyttöisen paperikoneen myötä. Tätä perinteistä tasoviirakonetta alettiin erinäisten kehitysvaiheiden jälkeen kutsua Fourdrinier-koneeksi /5/. Ensimmäinen kirjallinen maininta lajittelukoneesta on vuodelta 1830. Tuolloin englantilainen Richard Ibotson keksi yksinkertaisen rei’itetyllä sihtilevyillä varustellun värähtelevän laatikon. /6/

Painelajittimien kehitykseen vaikutti paperikoneen perälaatikon paineistaminen. Näiden epäpuhtauksien erotukseen melko tehottomien lajittimien tärkein tehtävä oli sellun deflokkulaatio välittömästi ennen perälaatikkoa tasaisen formaation varmistamiseksi. Ensimmäinen tämän tyyppinen lajitin oli Black-Clawsonin Selectifier noin vuodelta 1950 (kuva 1). Ensimmäinen hienolajitteluun tarkoitettu kaupallisesti menestynyt painelajitin oli Canadian Ingersoll-Randin ja Bird Machinen yhdessä kehittämä Centrisorter Screen vuoden 1964 tienoilla. Tämän jälkeen monet valmistajat ovat tuoneet markkinoille erilaisia paineistettuja hienolajittimia /6/.





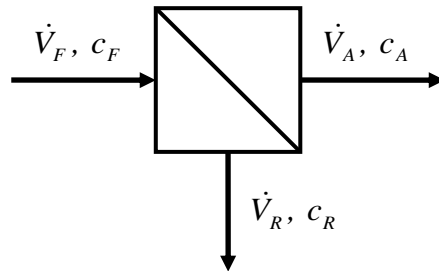
Kuva 1: Black-Clawsonin valmistama Selectifier -painelajitin /6/.

Prosessien sulkemisasteen kasvaessa olosuhteet muodostuivat ylivoimaisiksi avoimille keskipakosihdeille. Lämpötilan, kuiva-aine- ja kemikaalipitoisuuksien nousu aiheuttaa avoimissa lajittimissa vaahtoamista, hönkimistä ja kapasiteetin alenemista /7/. 1960-luvulle asti hallinneet erilaiset keskipakolajittimet onkin korvattu nykyään lähes täysin painelajittimilla /6, 7/. Viime aikoina lajittimia on kehitetty toimimaan entistä korkeammissa massasakeuksissa /7/.

### 3 LAJITTELUN TEORIA JA TUNNUSLUVUT

Lajittelun teorian ja toiminnan tuntemusta tarvitaan, jotta ymmärretään mitä lajittelussa tapahtuu ja saavutetaan lajittelulle asetetut tavoitteet. Lajittelutapahtuman hyvyden määrittämistä varten on arvioitava useaa eri tekijää samanaikaisesti toimintakriteerien avulla. Lajitteluratkaisut ovat tästä johtuen hyvin yksilöllisiä. Lajittelutuloksen arvostelu on vastaavasti lähinnä priimakuituhäviön ja epäpuhtauksien poiston arviointia tunnuslukujen avulla. /1/

Kuvassa 2 on esitetty lajitinta ympäröivät prosessivirrat. Kuituja ja epäpuhtauksia sisältävä sulppu saatetaan lajittimeen syöttövirtana  $\dot{V}_F$  ja konsentraatiopitoisuudella  $c_F$ . Puhdas sulppu kulkeutuu sihdin aukkojen lävitse akseptivirtaan  $\dot{V}_A$  konsentraation ollessa  $c_A$ . Rejektivirta  $\dot{V}_R$  konsentraatiolla  $c_R$  sisältää runsaasti epäpuhtauksia. Yleisesti ottaen eräs tietyillä ominaisuuksilla varustettu jae rikastuu rejektivirtaan, kun taas toisia ominaisuuksia sisältävä jae poistuu lajittimesta akseptivirran mukana. /8/



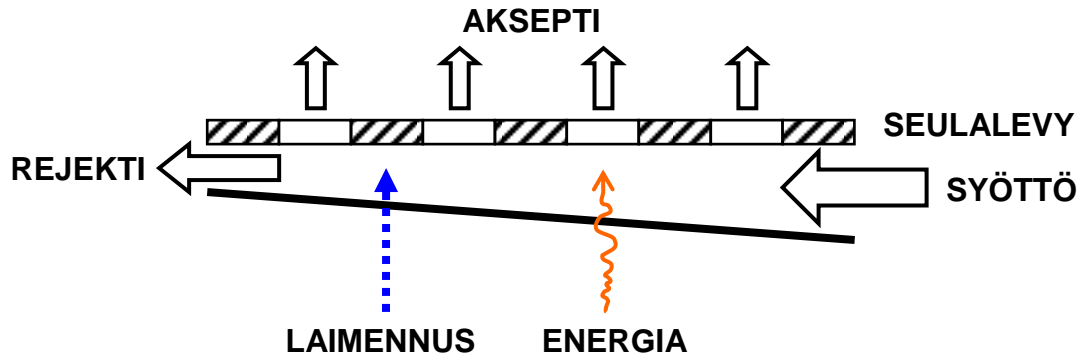
Kuva 2: Lohkokaavio lajitinprosessin virroista. Alaindeksi F tarkoittaa syöttöä (*feed*), A on aksepti (*accept*) ja R merkitsee rejektia (*reject*) /8/.

Kuvan 2 virtojen lisäksi valtaosaan teollisessa käytössä olevista painelajittimista on sijoitettu sisäinen laimennusvesijärjestelmä rejektisuodoksen ulostulon yhteyteen. Laimennusvettä operoimalla pyritään estämään lajittimen rejektipuolen tukkeutumista. /8/

Painelajittimella toteutettava kiintoaine-kiintoaine erotus voidaan jakaa kahteen eri mekanismiin. Barrierilajittelussa (*barrier separation*) partikkelin jokainen fyysinen dimensio on sihdin aukkoa suurempi, joten se rejektoituu varmuudella. Lajittelu perustuu todennäköisyyteen (*probability separation*) silloin, kun partikkeli mahtuu kulkemaan aukosta jossain asennossa. Mahdollinen läpäisy määräytyy kulman ja asennon perusteella, jolla partikkeli lähestyy sihtiaukkoa. Näiden erotustyyppien eroavaisuudet ovat erityisen huomionarvoisia kaikilla lajittelusovelluksilla. Lajittelutehokkuuden kannalta todennäköisyyteen perustuva erottelu on selvästi haasteellisempi hallita. /8/

Lajittimen tehtävänä on poistaa massasta epäpuhtauksia, kuten tikkuja, kuituuntumatonta jaetta, kuitukimppuja, kuorta ja hiekkaa /7, 9/. Lajitteleva elin on reikä- tai rakolevy ja

lajittelevana voimana toimii painelajittimissa syötön ja akseptin välinen paine-ero. Hyväksytyt jae kulkee sihdin lävitse akseptiin ja hylätty jae poistuu rejektiin (kuva 3) /7/.

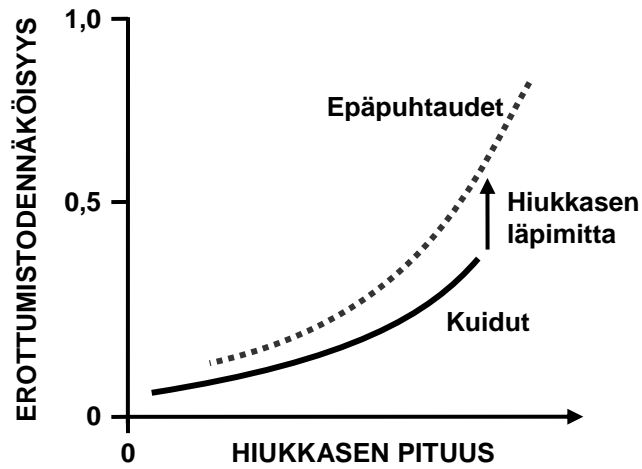


Kuva 3: Lajittelun periaatteet Pikan esittämää kuvaa mukailten /7/.

Seulalevyllä varustetussa lajittimessa epäpuhtauden erottumistodennäköisyyden määräävät:

- epäpuhtauden fysikaaliset ominaisuudet
- sulpun ominaisuudet
- lajittimen:
  - o olosuhteet
  - o rakenne
  - o toimintaperiaate
- edellisten tekijöiden yhdistelmät.

Priimakuitua joutuu aina rejektiin ja roskia akseptiin. Lajittimella ei siis voida erotella partikkeleita täysin selektiivisesti. Kuitujen ja epäpuhtauksien erottumistodennäköisyydet ovat varsin lähellä toisiaan, kuten kuvan 4 lajittimen toimintakarasteristikasta havaitaan. Käyrien muoto ja sijainti riippuvat lajitintyyppistä. /7/

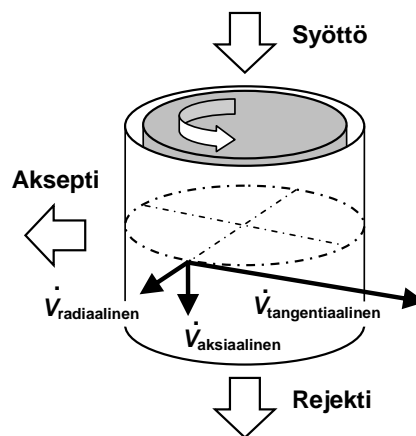


Kuva 4: Uudelleen piirretty periaatekuva sihtin toimintakarakteristikasta /7/.

### 3.1 Virtausjärjestelmä

Kuvassa 5 on esitetty sihtipinnan lähellä oleva virtauskuvio. Virtaukset voidaan jakaa kolmeen osaan sulpun kulkiessa lajittelutilan lävitse:

- aksiaalinen virtausvektori kulkee syötöstä rejektiin
- tangentiaalinen virtausvektori roottorin pyörimisen seurauksena
- radiaalinen virtausvektori sihtiaukkojen lävitse akseptin puolelle.



Kuva 5: Sihtikorin lähellä olevat virtausvektorit /8/.

Roottorilla on keskeisin vaikutus virtaamaan. Sen liike fluidisoi sulpun, tuottaa tangentiaalisen liikkeen sihtilevyä pitkin ja aiheuttaa takaisinvirtauksen sihtiväleihin.

Fluidisointi heikentää partikkeleiden välisiä vuorovaikutuksia ja lisäksi partikkeleiden orientaatio sihtiaukkojen suhteen muuttuu nopeammaksi. Tämä parantaa akseptikelpoisten partikkeleiden läpäisytodennäköisyyttä. Roottoripala kulkee sihtivälin editse tietyn syklin mukaisesti ja liikettä seuraa jokaisella kierroksella takaisinvirtaus akseptista sihtikammioon. Takaisinvirtaukset poistavat kapeisiin sihtiväleihin juuttuneita partikkeleita ja pitävät täten sihdin puhtaana. Kaikki kolme virtausvektoria vaikuttavat sihdin toimintaan, mutta jatkuvatoimisen lajittimen hallinnan kannalta radiaalivirtaus on tärkein. /8/

Tilannetta, jossa kuidut tukkivat sihdin aukkoja aiheuttaen akseptivirran pienenemisen tai tyrehtymisen kokonaan, kutsutaan sihdin tukkeutumiseksi. Tukkeutumisen seurauksena sihtipinnalle muodostuu kuitumatto, joka voi peittää sihdin osittain tai kokonaan. Jälkimmäisessä tapauksessa sihti menee tukkoon muutamassa minuutissa, mutta usein kyse on ennemminkin sekunneista. Kuitujen kasaantuminen sihtiaukkojen reunalle tapahtuu erittäin nopeasti, jo muutamien sekunnin tuhannesosien kuluessa. Ilmiön seurauksena tiheään esiintyvää takaisinvirtausta tarvitaan tukkeutumisen estämiseksi. Painelajittimen roottorin aiheuttaman pulssin taajuus on yleensä yli 30 Hz. /8/

Rakonopeutta  $v$  pidetään usein keskeisenä suunnitteluparametrina painelajittimen sihdille. Rakonopeus lasketaan yhtälöstä

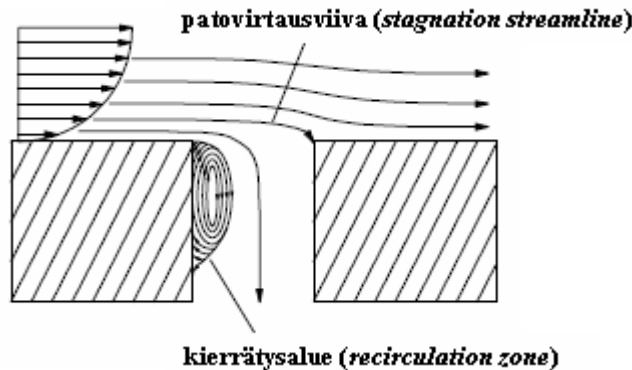
$$v = \frac{\dot{V}_A}{A_O} \quad (1)$$

jossa

- $v$  rakonopeus (*aperture / passing velocity*), m/s
- $\dot{V}_A$  akseptin tilavuusvirtaus (*volume accept flow rate*), m<sup>3</sup>/s
- $A_O$  sihdin avoin pinta-ala (*open area of the screen basket*), m<sup>2</sup>.

Kannattaa kuitenkin huomioida, että todellinen rakonopeus on huomattavasti suurempi, kuin yhtälöllä (1) laskettu. Ensinnäkin roottorin liikkeen aiheuttama painepulsaatio johtaa takaisinvirtaukseen akseptista syötön puolelle. Tästä seuraa syötöstä akseptiin siirrettävän

virtauksen määrän ja nopeuden kasvu. Toisaalta kuitujen kasautuminen sihtiväleihin vähentää avointa pinta-alaa /8/. Painelajitinta ajettaessa sihtiraon läheisyydessä vallitsevaa virtauskenttää havainnollistetaan kuvassa 6.



Kuva 6: Virtauskenttä sihtiaukon läheisyydessä. Aukon ylävirtauksen puolelle muodostuva pyörre kasvaa rakonopeuden vanavedessä. Patovirtausviiva jakaa virran pidemmälle sihtiin jatkavaan ja kyseiseltä kohdalta sihdin läpäisevään virtaukseen /10/.

### 3.2 Lajittelumekanismi normaalissa sakeudessa

Lajiteltavan kuitususpension sakeus on yleensä alueella 1 – 3 %. Kuidut ovat luonteeltaan taipuisia ja heterogeenisiä. Niiden suuri keskinäinen vuorovaikutus ilmenee verkoston ja kuitukimppujen muodostumisena. Tämän seurauksena priimakuitujen rejektoitavuus kasvaa voimakkaasti. Lajittimen rakenteella ja toimintatavalla pyritään estämään kuitujen kietoutumista toisiinsa. Tehokkaan toiminnan kannalta on tärkeää sihdin pysyminen avoimena ja massan mahdollisimman homogeenisena lajittelutilassa. Tunnetuimmat tavallista käyttösakeutta koskevat lajitteluteoriat käsittelevät seuraavia ilmiöitä:

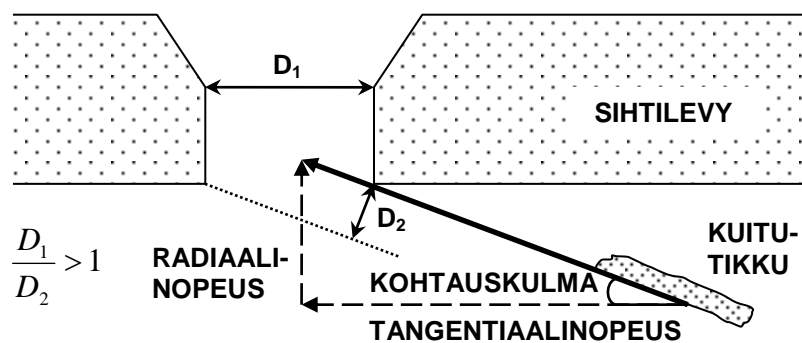
- huopautuminen
- orientoituminen
- nopeuksiltaan ja kuituominaisuuksiltaan poikkeavien kerrosten muodostuminen lajittimessa. /7/

### 3.2.1 Huopautuminen

Matalasakeusteoriaa ei tässä laajemmin käsitellä, mutta sen mukaan jokainen dimensioiltaan sihtiaukkoa pienempi partikkeli saattaa läpäistä sihdin. Lajittimella on kuitenkin kyky erottaa sulpusta sihtilevyn aukkoa huomattavasti pienempiä partikkeleita. Huopautumisteoria olettaa sihtilevy toimivan karkeaseulana. Sen päälle kerrostunut kuitumatto muodostaa hienoseulan, joka päästää lävitseen pelkästään veden ja kuidut. Huomionarvoisaa on, että painelajittimien paine-imusykeillä pyritään nimenomaan pitämään sihtilevy puhtaana. Teoria soveltuneekin paremmin keskipakolajittimille. /7/

### 3.2.2 Orientoitumisteoria

Kuitujen orientoitumisella on huomattava merkitys lajittelutapahtumassa. Painelajittimen siirtämä energia pitää suspension homogeenisena. Kuidut ja epäpuhtaudet pyrkivät suuntautumaan syke-elinten tuottaman pyörivän virtauksen mukaisesti. Mitä suurempi on hiukkasen pituus suhteessa läpimittaan, sitä voimakkaammin virtausvoimat orientoivat sitä. Kuidut ovat järjestäen tikkuja ja kuitukimppuja lyhyempiä. Kuvassa 7 havainnollistetaan kuitujen ja epäpuhtauksien orientoitumista. /7/



Kuva 7: Orientoitumishypoteesi partikkelin lähestyessä sihtiaukkoa. Kuvassa  $D_1$  merkitsee reiän läpimittaa ja  $D_2$  on kuidun tai epäpuhtauden liikesuuntaan projisoidun reiän läpimitta. Kuva on piirretty uudelleen alkuperäisen mallin mukaan /7/.

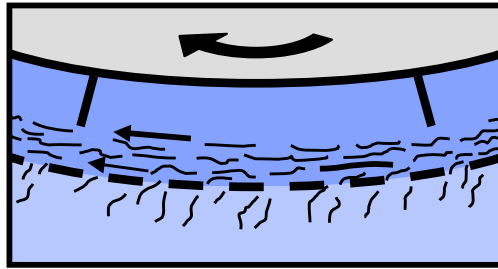
Sihtilevyn suuntaisen tangentiaalinopeuden aiheuttavat roottorin syke-elementit. Radiaalinopeus on seurausta sihtireikien läpivirtauksesta. Partikkelit orientoituvat nopeusvektoreiden summavektorin suuntaisesti. Hiukkaset ”näkevät” liikesuuntaan projisoidun näennäisen reiän, jonka läpimitta on pienempi kuin sihtilevyn reiän läpimitta. Orientoitumishypoteesin perusteella lajittimessa voidaan käyttää suurempaa reikäkokoa silloin, kun kuidun ja sihtilevyn kohtauskulma pienenee /7/. Erottumistodennäköisyys määräytyy orientoitumisteorian perusteella sihtipinnan suuntaisten virtausten nopeuden, sihtiaukon läpivirtauksen voimakkuuden ja sihdin ylittävän paine-eron perusteella. Kuitujen ja epäpuhtauksien orientoitumiseen voidaan vaikuttaa roottorivirtauksilla, sihtilevyn geometrialla ja rakokoolla /11/.

### 3.2.3 Lajittimen erilaiset kuitukerrokset

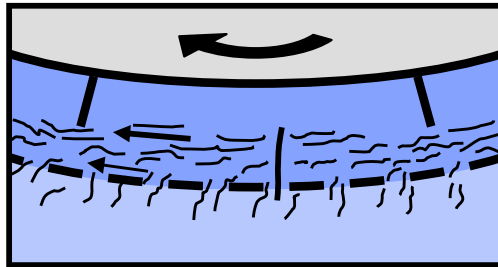
Lajittimeen muodostuu yleisen käsityksen mukaan kuitukoostumukseltaan ja epäpuhtauksiltaan erilaisia kerroksia vallitsevien olosuhteiden vaikutuksesta. Vyöhykkeitä esiintyy radiaali- ja aksiaalisuunnassa, joista jälkimmäisessä kerrostuminen tapahtuu vähitellen kuljettaessa syötöstä kohti rejektipäätä. Tikkupitoisuus saattaa olla 3 – 4 kertainen rejektiosassa syöttöpäähän verrattuna. Massan radiaalisuuntainen sekoittuminenkaan ei ole täydellistä, vaan tikkumäärä lisääntyy sihtipintaa kohti mentäessä. Sakeusprofiilit voidaan erottaa tikkuprofiilien tapaan lajittimen aksiaali- ja säteensuunnassa. Rejektin sakeutumiskerroin voi olla 1,5 – 3. /7/

Kuidut ja tikut pyrkivät pyörivän roottorin syke-elementtien aiheuttaman keskipakoisvoimakentän vaikutuksesta ulkokehälle, sillä ne ovat hieman laimennusnestettä tiheämpiä. Neste läpäisee sihtiaukot helpoiten ja taipuisat kuidut pystyvät seuraamaan sitä. Roottorin läheisyydessä suspension kehänopeus vastaa suunnilleen roottorin nopeutta. Massan kehänopeus kuitenkin laskee sihtilevyä kohti siirryttäessä, joten suspensiossa on lukuisia samankeskeisiä leikkausvoimavyöhykkeitä. Partikkelit pyrkivät suuntautumaan virtauksen mukaisesti kaikissa nopeuskentissä. Leikkausvoimien merkitystä tikkujen erottamisessa havainnollistetaan kuvassa 8. /7/

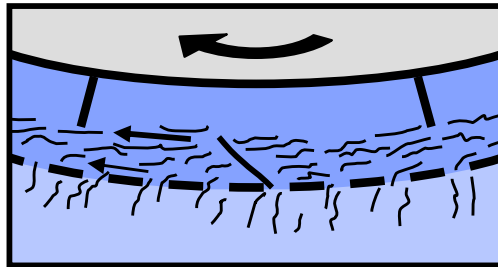




Kuidut ja tikut orientoituvat virtauksen suuntaan. Partikkelit pyrkivät seuraamaan nestevirtausta.



Jäykkä tikku ei pysty seuraamaan nestevirtausta reiän läpi, ellei koko tikku käänny säteen suuntaan.

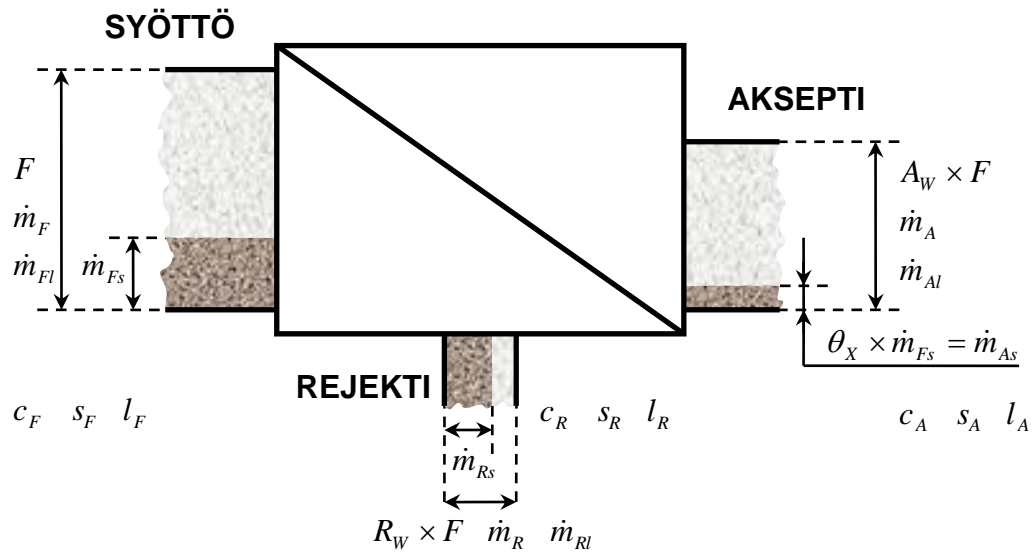


Tikun kääntyttyä oikeaan asemaan, se joutuu toisesta päästään voimakkaamman virtauksen kenttään. Virtaus nyppää tikun irti ja liikkeelle. Tämä toistuu kunnes tikku rejektoidaan.

Kuva 8: Lajittelutilassa vallitsevat leikkausvoimakentät /7/. Jäykät kuidut eivät pysty orientoitumisteorian mukaan vaihtamaan virtaussuuntaansa tangentialisesta radiaaliseen /11/. Iso kaareva nuoli osoittaa roottorin pyörimissuuntaa. Pienet suorat nuolet kuvaavat massan nopeutta, joka on suurempi roottorin läheisyydessä. Kuva on piirretty uudelleen.

### 3.3 Lajittimen malli

Syöttövirtaus jakautuu lajittimessa aksepti- ja rejektivirtaukseen (kuva 9).



$F$	kokonaisvirtaus	$\dot{m}_s$	tikkuvirtaus
$A_W$	kokonaisvirtauksen akseptiosuus	$\dot{m}_l$	tietyn fraktion virtaus
$R_W$	kokonaisvirtauksen rejektiosuus	$c$	sakeus
$\theta_X$	tikkuvirtauksen akseptiosuus	$s$	tikkupitoisuus
$\dot{m}$	massavirtaus	$l$	pitkäkuituus

Alaindeksit  $A$ ,  $F$  ja  $R$  tarkoittavat akseptia, syöttöä ja rejektiä.

Kuva 9: Lajittimen malli Tienviertä mukaillen /1/.

### 3.3.1 Taseyhtälöt

Lajittimen mallin taseyhtälöitä ovat:

$$1 = A_W + R_W \quad (2)$$

$$\dot{m}_F = \dot{m}_A + \dot{m}_R \quad (3)$$

$$\dot{m}_{Fs} = \dot{m}_{As} + \dot{m}_{Rs} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{Fl} = \dot{m}_{Al} + \dot{m}_{Rl} \quad (5)$$

Taseiden avulla lajittimen mallista saadaan:

$$\dot{m}_{Rs} = (1 - \theta_X) \dot{m}_{Fs} \quad (6)$$

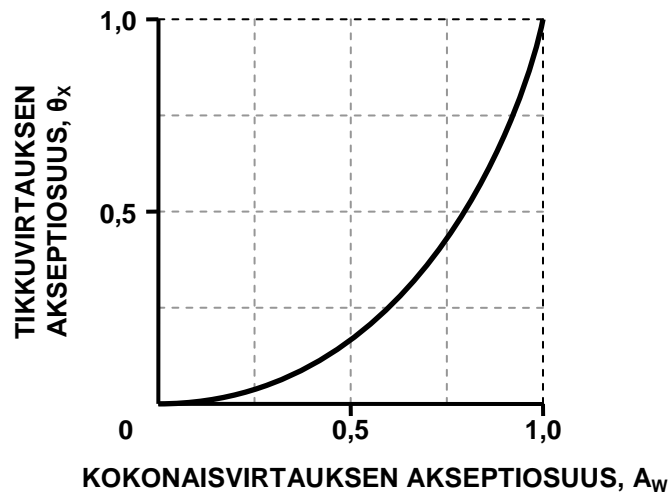
Yhtälöistä (1) ja (5) johtuen seuraavan epäyhtälön tulee aina olla voimassa:

$$0 < \theta_X, A_W \leq 1 \quad (7)$$

Akseptiosuudet  $\theta_X$  ja  $A_W$  ovat toisistaan riippuvia.  $A_W$ :n kasvaessa epäpuhtauksilla on suurempi todennäköisyys joutua akseptiin, jolloin  $\theta_X$  kasvaa. Tähän riippuvuuteen vaikuttaa syöttömassan laatu ja lajittimen ominaisuudet. Sitä voidaan kuvata puhdistusfunktiolla:

$$\theta_X = (A_W)^n \quad \theta_X < A_W \Rightarrow n > 1 \quad (8)$$

Akseptiosuuksista  $A_W$ :n on aina oltava  $\theta_X$ :tta suurempi, jotta lajitin puhdistaa massaa. Tästä seuraa epäyhtälö  $n > 1$ . Tyypillinen lajittimen puhdistusfunktio on esitetty kuvassa 10. /1/



Kuva 10: Lajittimen puhdistusfunktio, jossa  $A_W$  on kokonaisvirtauksen akseptiosuus ja  $\theta_X$  on tikkuvirtauksen akseptiosuus /1/. Kuva on entisöity.

Wahren /12/ on johtanut lajittimen toimintaa kuvaavat yhtälöt taseiden (1) - (4) avulla

$$R_t = \frac{1}{1 + \frac{c_A}{c_R} \times \left( \frac{1}{R_W} - 1 \right)} = R_W \times \frac{c_R}{c_F} \quad (9)$$

$$\frac{c_F}{c_A} = \frac{1 - R_W}{1 - R_t} \quad (10)$$

joissa

$R_t$  paino-osuuksien rejektisuhde.

Tikkutaseiden avulla saadaan yhtälöt, jotka ottavat huomioon eri massaosuuksien epäpuhtauspitoisuudet

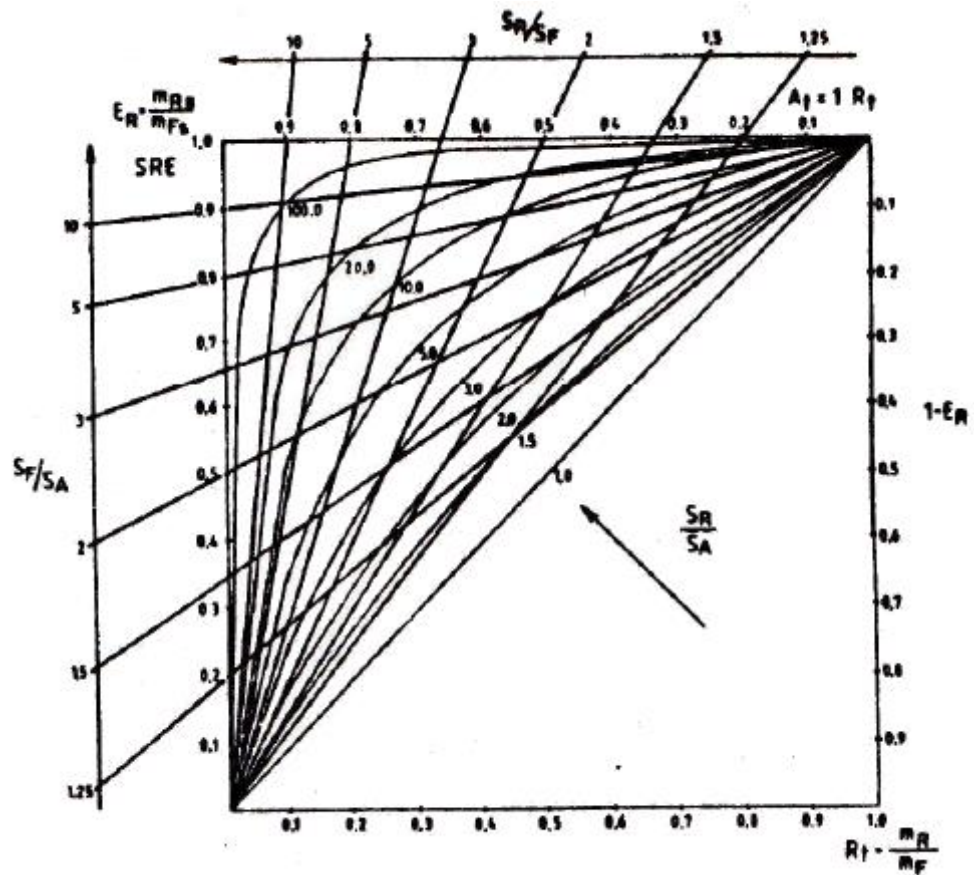
$$E_{Rs} = \frac{1}{1 + \frac{s_A}{s_R} \times \left( \frac{1}{R_t} - 1 \right)} = R_t \times \frac{s_R}{s_F} \quad (11)$$

$$\frac{s_F}{s_A} = \frac{1 - R_t}{1 - E_{Rs}} \quad (12)$$

joissa

$E_{Rs}$  tikkujen erotustehokkuus.

Lajittimen toiminnan kartoittamiseksi tulee tietää neljä parametria, jotka ovat yhtälöiden (9) ja (11) perusteella  $E_{Rs}(R_t)$ ,  $R_t$ ,  $c_A/c_R$  ja  $s_A/s_R$ . Lajittimen syöttösakeutta  $c_F$  suositellaan käytettäväksi viidentenä parametrina. Lajittelutekijöiden vaikutusta kuvaavat parametrit  $R_t$ ,  $c_A/c_R$  ja  $c_F$  voidaan valita vapaasti.  $E_{Rs}(R_t)$  ja  $s_A/s_R$  ovat tietyille lajittimille ominaisia parametreja, jotka riippuvat lajittimen rakenteesta ja syöttömassan laadusta. Yhtälöiden (11) ja (12) avulla voidaan piirtää lajittimen epäpuhtauksien erottumista kuvaava diagrammi (kuva 11). Vastaava diagrammi voidaan piirtää myös yhtälöiden (9) ja (10) perusteella. Se kuvaa lajittimen rejektisuhteen  $R_t$  riippuvuutta rejektiosuudesta  $R_w$ . Lajittimen optimoituiminta-alue voidaan selvittää määrittämällä kokeellisesti useita edellä mainittujen parametrien yhdistelmiä ja sijoittamalla niitä vastaavat pisteet diagrammiin. /1/



Kuva 11: Diagrammi lajittimen epäpuhtauksien erottumiselle /1/.

Wahren /12/ on johtanut kaksi läpäisytodennäköisyyttä ilmaisevaa parametria, joilla voidaan kuvata lajittimen toimintaa.

$$P_t = \frac{b}{a-1} \quad (13)$$

$$P_s = \frac{P_t - \frac{b}{a}}{1 - \frac{b}{a}} \quad (14)$$

joissa

$P_t$  massassa olevien kaikkien hiukkasten läpäisytodennäköisyys, -

$P_s$  tikkujen läpäisytodennäköisyys, -

$a, b$  kokeellisten mittausten perusteella määritettävät parametrit. /1/

### 3.3.2 Lajittelutuloksen luonnehdinta

Lajittelutuloksen arvostelukriteerinä käytetään yleensä akseptin puhtautta tai verrataan akseptin ja syötön puhtautta keskenään. Nämä kriteerit eivät kuitenkaan sisällä tapaa, jolla akseptin puhtausaste on saavutettu eli rejektoitujen priimakuitujen määrää. Lajittimen erotustehokkuus tulisi ilmaista kahdella tunnusluvulla, jotta se huomioi molemmat lajittimessa tapahtuvat virheet:

- I luokan lajitteluvirhe: rejektiä joutuu akseptiin (lajitellun massan epäpuhtausmäärä)
- II luokan lajitteluvirhe: akseptia joutuu rejektiin (priimakuituhäviö).

Erotustehokkuus voidaan myös esittää graafisesti rejektisuhteen funktiona. /1/

Kuvan 9 lajittimen malliin perustuvat yleiset ja lajittimen toimintaa hyvin kuvaavat tunnusluvut ovat /1/:

- rejektisuhde (*reject rate*), -

$$RR = R_t = \frac{S_F - S_A}{S_R - S_A} \quad (15)$$

- tikkujen erotustehokkuus (*shive removal efficiency*), -

$$E_{Rs} = SRE = \frac{\dot{m}_{Rs}}{\dot{m}_{Fs}} = R_t \times \frac{S_R}{S_F} \quad (16)$$

- pitkäkuituhäviö (*long fiber loss*), -

$$R_G = \frac{\dot{m}_{Rl}}{\dot{m}_{Fl}} = R_t \times \frac{100 - S_R}{100 - S_F} \quad (17)$$

Rejektisuhde RR ilmaisee painelajittimen toimintapisteen. Se voidaan laskea yhtälöiden (9) ja (15) lisäksi tilavuus- tai massarejektin suhteena syöttöön /13, 14, 15/:

- tilavuusrejektisuhde (*volume reject rate*), -

$$RR_V = \frac{\dot{V}_R}{\dot{V}_F} \quad (18)$$

jossa

$\dot{V}_R$  rejektin tilavuusvirtaus, m<sup>3</sup>/s

$\dot{V}_F$  syötön tilavuusvirtaus, m<sup>3</sup>/s

- massarejektisuhde (*mass reject rate*), -

$$RR_m = \frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_F} = \frac{c_R \times \dot{V}_R}{c_F \times \dot{V}_F} \quad (19)$$

Tikkujen erottumistodennäköisyydet ovat samat yhtälöissä (16) ja (11). Tikkujen erotustehokkuus  $E_{Rs}$  kertoo kuinka tehokkaasti lajitin poistaa tikkuja ja pitkäkuituhäviön  $R_G$  avulla voidaan selvittää rejektiin joutuneen priimakuidun määrä. Erotustehokkuuden tulos saadaan yhtälöä (16) vähemmän rejektisuhteesta riippuvaksi johtamalla se yhtälöstä (12) /1/:

$$E_{Rs} = 1 - \frac{s_A}{s_F} \times (1 - R_t) \quad (20)$$

TAPPI:n julkaiseman TIP 0605–04 mukaan lajittimen erotuskyky voidaan esittää  $E_{Rs}$ :n ohella tehokkuuskertoimena  $E_C$ :

- tehokkuus- eli puhtauskerroin, -

$$E_C = 1 - \frac{s_A}{s_F} \quad (21)$$

$E_C$  ilmaisee epäpuhtauksien suhteellista alenemista lajittimessa. Tikkupitoisuuksien suhdetta  $s_A/s_F$  nimitetään puhtaussuhteeksi (*cleanliness ratio*).  $E_{Rs}$  antaa virheellisen kuvan tilanteissa, joissa rejektisuhdetta on suurennettu, mutta erotustehokkuus on pysynyt samana.  $E_C$  ei ole sen sijaan suoraan riippuvainen rejektisuhteesta. Tehokkuuskerroin  $E_C$  ei ilmaise priimakuitujen rejektoitumista, joten sen lisäksi on ilmoitettava rejektisuhde  $R_t$  tai pitkäkuituhäviö  $R_G$ . /1/

Bolton /1/ on esittänyt yhtä tunnuslukua lajittimen toiminnan seuraamiseen:

- epäpuhtauksien erottumisindeksi, -

$$Q = \frac{E_C}{E_{Rs}} = 1 - \frac{s_A}{s_R} \quad (22)$$

Erottumisindeksi  $Q$  on vähemmän riippuvainen rejektisuhteesta kuin  $E_{Rs}$  ja  $E_C$ . Myös Wahrenin käyttämää tikkupitoisuuksien suhdetta  $s_A/s_R$  nimitetään selektiivisyydeksi

(*selectivity*) /1/. Se osoittaa terävyyden, jolla epäpuhtaudet on saatu rikastumaan rejektiin tietyllä rejektisuhteella. /7/

### 3.4 Lajittelun perusyhtälöitä ja tunnuslukuja

Rejektin sakeutumiskerroin  $k_{cr}$  kuvaa rejektin sakeutumista syöttövirtaan nähden. Se ilmaisee lajittimen ajettavuutta, jota korkea rejektin sakeutumiskerroin yleensä heikentää. Toisaalta lajittumisen edellytyksenä massan on sakeuduttava jonkin verran matkalla kohti rejektitilaa. /11/

- Rejektin sakeutumiskerroin, - /11, 13, 14, 15, 16/

$$k_{cr} = RTF = T = \frac{c_R}{c_F} = \frac{RR_m}{RR_V} \quad (23)$$

Akseptin laimenemiskerroin  $k_{ca}$  lasketaan vastaavasti akseptin sakeuden suhteena syötön sakeuteen. /11/

- Akseptin laimenemiskerroin, -

$$k_{ca} = \frac{c_A}{c_F} \quad (24)$$

Lajittimen toimintaa voidaan luonnehtia myös pitkäkuitusaannolla, sillä lajittelulla pyritään haitallisten partikkeleiden poistamisen ohella säästämään mahdollisimman paljon käyttökelpoisia kuituja. Pitkäkuitusaanto lasketaan aksepti- ja syöttövirtauksen pitkien kuitujen suhteena. /13/

- Pitkäkuitusaanto, m-%

$$LY = \left[ \left( 1 - \frac{RR_m}{100} \right) \times \frac{L_A}{L_F} \right] \times 100 \% \quad (25)$$

jossa

$L_A$  akseptivirtauksen pitkäkuitusaanto, m-%

$L_F$  syöttövirtauksen pitkäkuitusaanto, m-%



Paine-ero  $\Delta p$  ilmaisee sihtipinnalla vallitsevaa vastusta syötön ja akseptin välillä. Virtausta vastustavat voimat, kuten virtausvastus sihtiaukossa ja sihdille syntyneen kuitumaton vastus, suurenevat paine-eron kasvaessa. /11/

- Paine-ero, bar:

$$\Delta p = p_F - p_A \quad (26)$$

jossa

- $p_F$  syötön paine, bar
- $p_A$  akseptin paine, bar.

Lajittelukustannusten kannalta on tärkeää tietää lajittimen energiankulutus. Lajittamossa kuluu energiaa lajittimen roottoria pyörittävän moottorin lisäksi esimerkiksi massan pumppaamiseen. Tämä tulee huomioida koko lajittamon energiankulutusta laskettaessa. Energian ominaiskulutus esitetään tavallisesti lajiteltua ilmakeivää massatonna kohti. /11/

- Lajittimen energian ominaiskulutus, kWh/ADMT:

$$EOK = \frac{E_m}{A} \quad (27)$$

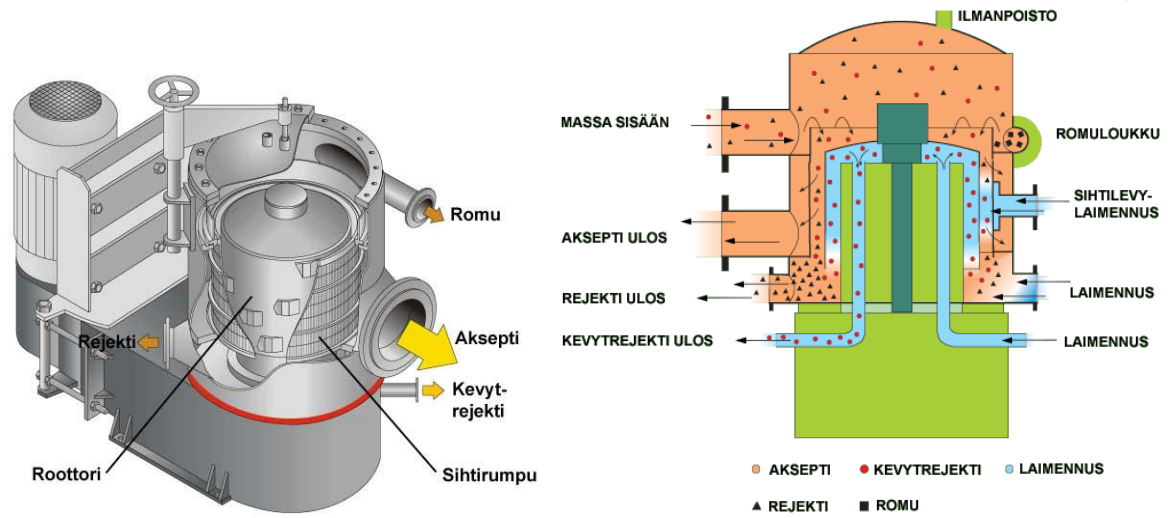
jossa

- $E_m$  lajittimen moottorin energiankulutus, kWh
- $A$  lajittimen kapasiteetti, ADMT/d.

## 4 PAINELAJITTELU

### 4.1 Rakenne

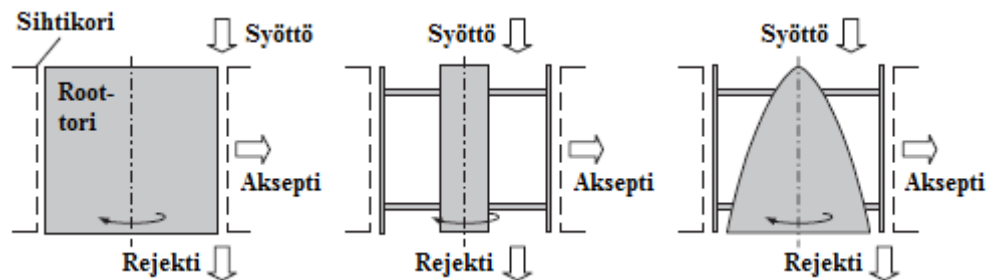
Kuvassa 12 on havainnollistettu painelajittimen rakennetta ja virtauksia /17/. Syöttökammio on tila ennen sihtikorin alkamista /18/. Painelajitin koostuu tyypillisesti pyörivästä roottorista ja paikoillaan olevasta sihtirummusta /3/. Sihti on useimmiten lieriön muotoinen ja sijoitettu kiinteästi paikoilleen sihtikoteloon. Sihtikorin aukot muodostuvat rei'istä tai raoista. Sihtilevyt voivat olla sileitä tai profiloituja /3, 8/.



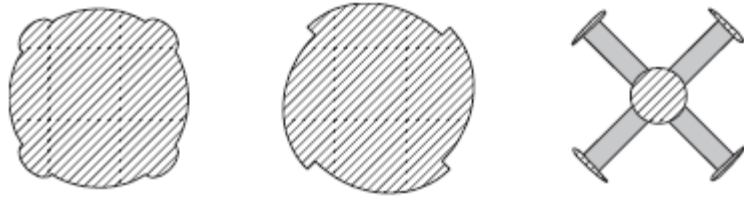
Kuva 12: Painelajittimen rakenne ja virtaukset /17/.

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty erilaisia roottorirakennelmia. Aikojen saatossa on suunniteltu suuri määrä erilaisia roottorimalleja, joista yleisimmät noudattavat suljetun rumpuroottorin ja avoimen siipiroottorin suunnitteluperiaatteita /8/. Roottorirakenteen perusteella lajitimet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- foilityyppiset sykesiivelliset roottorit
- turbulenssia aiheuttava rumpuroottori
- siivekkeelliset roottorit /7/.



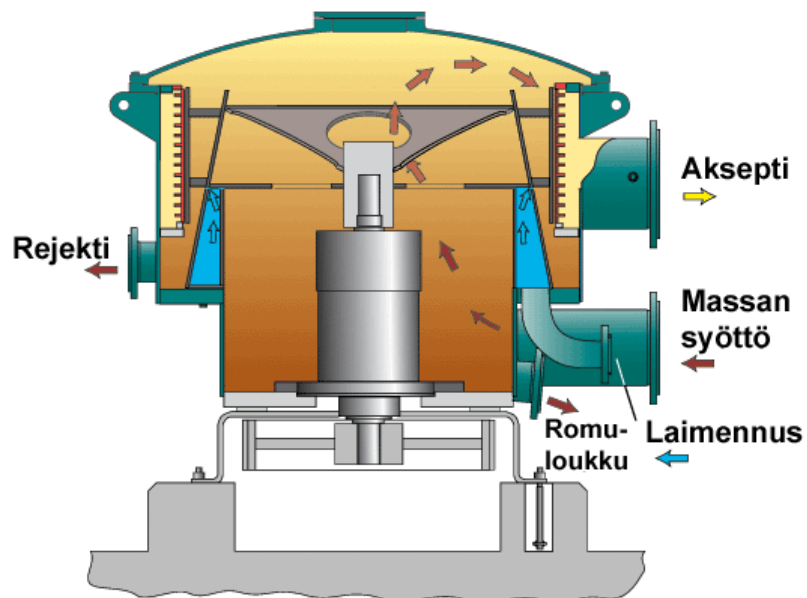
- Kuva 13: Erilaisia roottoreita vasemmalta oikealle: suljettu, avoin ja puoliksi avoin roottori /8/.



- Kuva 14: Roottoreiden syke-elementtejä vasemmalta oikealle: kuplaroottori (*bump rotor*), listaroottori (*step rotor*) ja siipiroottori (*foil rotor*) /8/.

## 4.2 Toiminta

Painelajittimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 15 /17/. Sihti ja roottori ovat painelajittimen hallinnan peruselementit /8/. Massan syöttö tapahtuu sihdin yläosasta. Siellä sijaitsee myös romuloukku isoimpien rejektipartikkeleiden poistamiseksi. Massa virtaa sihtilevyn ja roottorin väliseen n. 20 mm leveään tilaan, jota paikoitellen kaventaa roottorin pinnalle sijoitetut elementit. Niiden ja sihtilevyn välinen etäisyys on 2 – 7 mm suuruusluokkaa. Hyväksytty jae kulkeutuu roottorin pakottaman sihtilevyn läpi akseptin ulosmenoon. Hylätty jae vastaavasti ohittaa sihdin avoimen pinnan ja virtaa lajittimen alaosan rejektinpoistoon. /3/



Kuva 15: Painelajitin tulo- ja lähtövirtoineen /17/.

Sihdin pinnalle sakeutuu kuitu- ja tikkukerrostumia, joita roottorin liike pyrkii hajottamaan /3/. Tukkeutuminen estetään roottorin pulsaatiota synnyttävillä elementeillä, jotka aiheuttavat jaksottaisen takaisinvirtauksen (*backflush*) sihtiaukkojen läpi /8, 17/. Syke-elementtien lukumäärällä pyritään vaikuttamaan painesykkeiden taajuuteen ja muodolla suuruuteen /7/. Roottorin tehtävinä ovat:

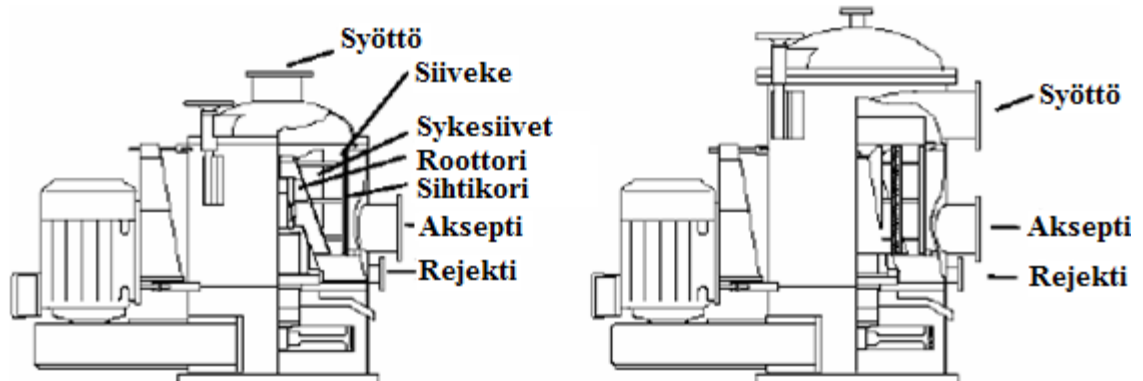
- tangentiaalisen nopeuden aikaansaaminen sihtipinnan lähellä
- turbulenssin tuottaminen
- puhdistaa sihtilevyn pinta sille sakeutuneista sulppukerroksista (tärkein) /3, 8/.

Sulppu sakeutuu lajittelutilassa matkalla kohti rejektiä /19/. Andritz AG:n vuonna 2001 ostaman Ahlström Machinery Oy:n kehittämän LRi-roottorin avulla lajittelutilassa olevaa rejektimäärän osuutta voidaan vähentää lajittelun jälkipuoliskolla. Keksintö perustuu uuden lajittelemattoman massan syöttömahdollisuuteen roottorin ja sihdin väliseen tilaan lajittelun puolivälissä. /3/

Ahlströmin profiloituilla sihtilevyillä voidaan parantaa lajitteluprosessin laatua ja taloudellisuutta. Lisäksi hydraulista kapasiteettia on onnistuttu lisäämään jopa 70 % verrattuna perinteisiin sihtilevyihin. Profile -levyjen uritus on toteutettu siten, että ne muodostuvat kahdesta levyn suuntaisesta pinnasta, joista toinen on kohtisuorassa ja toinen vinossa. Urien ansiosta sihtilevyjen reikä- ja rakokokoa voidaan pienentää. Uraprofiili aiheuttaa sihdin pinnalle suuremman leikkausjännityksen ja siten ohjaa virtausta paremmin kohti levyn aukkoa. Virtauksen taipuminen tasoittaa läpimenovirtausta sihdin raossa tai reiässä. Urien aiheuttamat leikkausvoimat ja turbulenssi hajottavat kuitukimppuja, jolloin yksittäiset tikut saadaan erotettua kuitujoukosta. /3/

Painelajittimen syöttö voidaan toteuttaa kahdella tavalla (kuva 16). Perinteisesti syöttö on kohdistettu tangentiaalisesti syöttökammion kehälle. Aksiaalinen syöttötapa on kuitenkin voimakkaasti yleistynyt edullisen energiatehokkuutensa ansiosta. Energian säästö johtuu aksiaalisesti syötetyn lajittimen taipumuksesta kasvattaa akseptin ja rejektin painetta

verrattuna syöttöpaineeseen Pumpausvaikutus on näin ollen huomattavasti suurempi, eikä energiaa kuluttavia välipumppauksia tarvita. /18, 4/



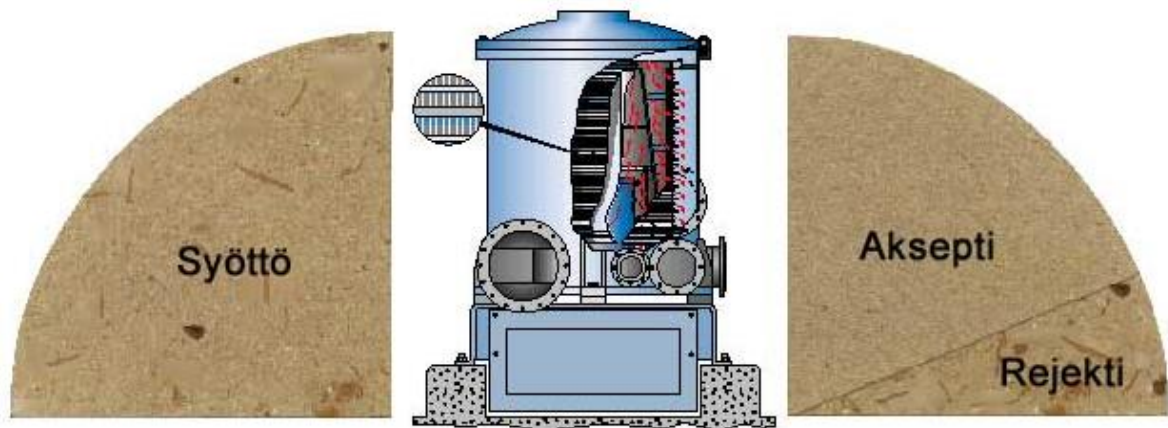
Kuva 16: Aksiaalisen ja tangentialisen syöttötavan sijoittelu painelajittimessa /4/.

Tangentialisella syötöllä varustetun lajittimen negatiivinen nostokorkeus aiheuttaa painehäviötä. Aksiaalilla syötöllä tehonkulutus nousee kuitenkin suuremmaksi, sillä sulppu täytyy saattaa tangentialiseen liikkeeseen. Ero muodostuu merkittäväksi vasta suurilla tilavuusvirtauksilla. /4/

Lajittimeen pumpatun massan virtausta kiihdytetään roottorilla toimintatavasta riippuen. Sihtilevyn lävitse poistuu matkalla kuituja ja nestettä. Painetta luonnollisesti häviää läpivirtauksen seurauksena. Painehäviö suurenee läpivirtausnopeuden ja sihtilevyn pinnalla olevan kuitukerroksen paksuuden kasvaessa. Paine-eroa käytetään lajittimen hallintaan ja se on helppo mitata. Sihtilevyn läpivirtausta säädetään akseptipuolen venttiilillä. Lajitteleva voima kasvaa läpivirtausta suurennettaessa. Kuidut eivät kykene seuraamaan nestevirtausta enää tietyn läpivirtausnopeuden / paine-eron raja-arvon jälkeen. Tällöin sihtilevylle saostuu massasuspensiokerros ja lajitin tukkeutuu. Paine-ero on yleensä 20 – 100 kPa. Akseptin paine voi olla myös syötön painetta suurempi, jolloin paine-ero muuttuu positiiviseksi. Syötön ja akseptin väliseen paine-eroon vaikuttavat:

- massalaji
- syötön tilavuusvirta
- syöttösakeus
- sihtilevygeometria /7/.

Hyväksytyt materiaalit läpäisevät sihtikorin aukot hylätyn jakeen kulkeutuessa sihtilevyä pitkin kohti rejektin ulosmenoa /8/. Rejektia poistetaan lajittimesta tauotta. Rejektisuhde eli rejektin määrä suhteessa syöttöön on yleensä 10 – 30 %. Rejektisuhdetta nostamalla voidaan lyhentää partikkeleiden viipymäaikaa lajittimessa. Näin toimitaan korkealla massan epäpuhtauspitoisuudella, sillä tällöin lajittelutehokkuuden pitäisi parantua. Partikkeleiden viipymäaikaa voidaan lyhentää myös syötön tilavuusvirtausta suurentamalla silloin, kun rejektisuhde on vakio. Toisaalta syötön ja akseptin välinen paine-ero, lajitteluvoima, suurenee myös syöttövirtaaman kasvaessa. Lajittelutehokkuus laskee kullekin lajittimelle ja lajitteluolosuhteille ominaisen paine-eron / syöttövirtaaman ylittämisen jälkeen. Toisaalta akseptin on myös havaittu olevan sitä puhtaampaa, mitä pienemmäksi paine-ero on kaventunut /7/. Kuvassa 17 havainnollistetaan painelajittelun vaikutusta sulpulle. /17/



Kuva 18: Painelajittimessa syöttö jakautuu puhtaampaan aksepti- ja epäpuhtaampaan rejektijakeeseen ja /17/.

### 4.3 Käyttökohteet

Paperi- ja kartonkitehtaalla käytetään yleensä yhtä tai enintään kahta konesihtiä. Sijaintipaikka on koneen lyhyessä kierrossa juuri ennen perälaatikkoa. Tehtävinä on varmistaa kuitukimppujen hajoaminen ja epäpuhtauksien poistuminen. Sihtien rakokokoon vaihteluväli on 0,2 – 0,35 mm. Kuituhävikin minimoimiseksi rejekti ohjataan kulkemaan

rejektisihdin läpi. Rejektisuhde eli lajittimen rejektivirta suhteessa syöttöön vaikuttaa puhdistustehokkuuteen siten, että puhtailla massoilla käytetään 3 - 5 %:n ja likaisilla massoilla suurempaa 5 - 10 %:n suhdetta. Perälaatikon läheisyydestä johtuvia erityisen tärkeitä vaatimuksia konesihdeille ovat hyvä puhdistuskyky ja kiillotetut sisäpinnat. Lisäksi vaaditaan mahdollisimman pientä painesykettä, sekä toisistaan erottuvaa kierroslukutaajuutta sihtien ollessa rinnakkain kytkettyinä. /5/

Paperimassan valmistuksessa painelajittimia käytetään hienolajitteluun keiton ja valkaisu välissä. Hienolajittelu koostuu usein kolmesta tai neljästä vaiheesta. Ensimmäisen eli primäärivaiheen reikä- tai rakorummista lähtevä aksepti johdetaan seuraavaan prosessiin, kun taas rejektin puhdistamista jatketaan sekundäärilajittimissa. Sarja- ja kaskadikytkentä ovat tyyppiesimerkkejä kuitulinjan lajittimien asettelutavoista. Kaskadikytkennälle on omaleimaista korkea vaatimustaso ensimmäisen lajittimen kapasiteetille. Pseudokaskadikytkennässä sekundäärilajittimen aksepti johdetaan edellisestä järjestelmästä poiketen prosessissa eteenpäin, jolloin saavutetaan pienempi kapasiteetin tarve. Rejektisuhde on keskimäärin 10 – 15 %:n luokkaa sulfaattimassoja lajiteltaessa.

Pyörrepuhdistuksen käytöstä on luovuttu valkaisuamattoman massan päälinjassa. Pyörrepuhdistimien alhainen syöttösakeus (0,5 – 0,6 %) kasvattaa pumpattavien nestevirtojen määrää ja sitä kautta energiankulutusta. Niitä voidaan käyttää erottamaan hiekkaa rejektivirrasta. /3/

Myös mekaanisen massan valmistuksessa syntyy ja esiintyy paperinvalmistukseen soveltumattomia partikkeleita, kuten esimerkiksi hiekkaa hiomakivestä ja tikkuja. Lajittelulla pyritään epäpuhtauksien erottamisen ohella tasaamaan laatuvaihtelua jauhin- ja hiomalinjoilla. Lisäksi kehittymättömät kuidut ja tikkuaines pyritään erottamaan ja kuiduttamaan uudelleen rejektin jauhatuksessa. Mekaanisen massan lajittelu voidaan jakaa pyörrepuhdistukseen, karkea- ja sihtilajitteluun. Pyörrepuhdistimia käytetään edelleen hiekan poistoon ja karkeiden kuitujen fraktiointiin, mutta rakosihdit ovat tehneet ne osittain tarpeettomiksi. Profiloitujen rakosihtien rakokoko on yleensä välillä 0,1 – 0,2 mm.

Hiomolla tikkujen poistoon käytetään reikäsihtejä. Reikäsihtejä käytetään esivaiheena ns. 0-sihteinä. Esilajittelu voidaan suorittaa myös samassa prosessilaitteessa. Kromipinnoite lisätään usein hiokelajittimien sihteihin. Painelajittelu on mekaanisen massan tärkein erotuskeino. /4/

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kirjallisuustyössä perehdyttiin painelajittelun tarkoitukseen ja historiaan. Lisäksi selvitettiin painelajittimen rakenne ja toimintaperiaate. Lopuksi esiteltiin lajittelun teoriaa ja parametreja.

Lajittelun tarkoituksena on poistaa massasta epäpuhtauksia, kuten tikkuja, kuituuntumatonta jaetta, kuitukimppuja ja kuorta. Aluksi tämä toteutettiin manuaalisesti käsin ja paperikoneen alkutaipaleella mekaanisesti värähtelevällä sihtilaatikolla. Perälaatikon paineistaminen johti vastaavaan myös lajittimien osalta. Painelajittimet toimivat keskipakolajittimia huomattavasti paremmin prosessien sulkemista seuranneissa olosuhteissa. Pyörrepuhdistimien alhainen syöttösakeus kasvattaa pumpattavien nestevirtojen määrää ja sitä kautta energiankulutusta. Niiden käytöstä on luovuttu valkaisuamattoman massan päälinjassa. Viime aikoina lajittimia on kehitetty toimimaan entistä korkeammassa massasakeuksissa.

Hyvältä painelajittimelta vaaditaan suurta kapasiteettialuetta lajittelupinta-alan suhteen, laajaa sakeusaluetta, pientä energiankulutusta ja kehittyneitä huoltoja. Sihti ja roottori ovat painelajittimen hallinnan peruselementit. Profiloinnilla on saavutettu lähes 70 %:n lisäys hydrauliseen kapasiteettiin perinteisiin sihtilevyihin verrattuna. Uraprofiili aiheuttaa sihdin pinnalle suuremman leikkausjännityksen ja ohjaa virtausta siten levyn aukon suuntaan.

Roottorin tärkein tehtävä on estää sihdin tukkeutuminen. Pulsaatiota aiheuttavat roottorielementit synnyttävät jaksottaisen takaisinvirtauksen sihtiaukkojen läpi. Täten



sihtilevyn pinta puhdistuu sille sakeutuneista sulppukerroksista. Syke-elementtien lukumäärällä pyritään vaikuttamaan painesykkeiden taajuuteen ja muodolla suuruuteen.

Energiatehokkaampi aksiaalinen syöttötapa on yleistynyt voimakkaasti verrattuna perinteiseen tangentiaaliseen syöttötapaan. Energiaa säästyy aksiaalisesti syötetyn lajittimen taipumuksesta kasvattaa akseptin ja rejektin painetta verrattuna syöttöpaineeseen. Huomattavasti suurempi pumppausvaikutus poistaa energiaa kuluttavien välipumppauksien tarpeen, joskin ero muodostuu merkittäväksi vasta suurilla tilavuusvirtauksilla.

Syötön ja akseptin välistä paine-eroa käytetään lajittimen toiminnan ohjaamiseen. Paine-eroon vaikuttaa massalaji, syötön tilavuusvirta, syöttösakeus ja sihtilevygeometria. Painehäviö kasvaa läpivirtauksen nopeutuessa ja sihtilevyn pinnalla olevan kuitukerroksen paksuuntuessa. Akseptipuolen venttiilillä säädettävän läpivirtauksen lisäys kasvattaa lajittelevaa voimaa. Lajittelutehokkuus laskee kullekin lajittimelle ominaisen syöttövirtaaman / paine-eron raja-arvon jälkeen. Lopulta sihtilevylle saostuva massasuspensiokerros tukkeuttaa lajittimen.

Rejektin määrää suhteessa syöttöön eli rejektisuhdetta nostamalla voidaan lyhentää partikkeleiden viipymäaika lajittimessa. Näin tehdään korkealla massan epäpuhtauspitoisuudella, jolloin lajittelutehokkuuden kuuluisi kohentua. Toisaalta akseptin on myös havaittu olevan sitä puhtaampaa, mitä pienemmäksi paine-ero on kaventunut. Lajittelun säätö on optimointia, jossa pyritään saavuttamaan mahdollisimman puhdasta massaa mahdollisimman suurella kapasiteetilla.

Lajittelun teorian ja toiminnan tuntemusta tarvitaan lajittelutavoitteiden saavuttamiseksi. Lajittelutapahtuman hyvyyttä arvioitaessa on tutkittava useaa eri tekijää samanaikaisesti toimintakriteerit huomioiden, joten lajitteluratkaisut ovat hyvin yksilöllisiä. Itse lajittelutuloksen arviointi on lähinnä priimakuituhäviön ja epäpuhtauksien poiston määrittämistä tunnuslukujen avulla.

Painelajittimella toteutettava kiintoaine-kiintoaine erotus voidaan jakaa barriereeri- ja todennäköisyyslajitteluun, joista jälkimmäinen on lajittelutehokkuuden kannalta selvästi haasteellisempi hallita. Kaikilla lajittelusovelluksilla on erityisen tärkeää tuntea näiden erotusmekanismien väliset eroavaisuudet. Partikkeleita ei voida erotella täysin selektiivisesti, sillä priimakuitua joutuu aina rejektiin ja roskia akseptiin. Lajittimen toimintakarakteristikasta voidaan havaita kuitujen ja epäpuhtauksien erottumistodennäköisyyksien olevan melko lähellä toisiaan.

Lajitteluteorioista tunnetuimmat käsittelevät huopautumista, orientoitumista, sekä nopeuksiltaan ja kuituominaisuuksiltaan poikkeavien kerrosten muodostumista lajittimessa. Painelajittimen sihdin suunnittelussa tärkeimpänä parametrina pidetään usein rakonopeutta. Rejektin sakeutumiskerroin, akseptin laimenemiskerroin, pitkäkuitusaanto, paine-ero ja lajittimen energian ominaiskulutus ovat tavallisimpia lajittelua luonnehtivia tunnuslukuja.

## LÄHDELUETTELO

1. Tienvieri, T., Lajittamon teoria, lajittelun toimintakriteerien määrittäminen ja lajittelutuloksen arvostelu, 1985, INSKO, Julkaisu 60–85, *Kemiallisen massan lajittelu*, 21 s.
2. VTT Tuotteet ja tuotanto, ProWledge Oy, KnowPap 13.0 - Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö, [LTY:n Intranetissä], [Viitattu 13.1.2014], Saatavissa: Intranet LTY:n sisäisessä käytössä, vaatii käyttäjätunnuksen
3. Seppälä, M.J. (ed.), Paperimassan valmistus, Kemiallinen metsäteollisuus 1, Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi 2002, s. 112 – 120
4. Manner, H., Paperitekniikan aineopintojakso, Luentokalvot, Mekaanisen massan valkaisu ja lajittelu, 2007, 44 s.
5. Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P., Paperin ja kartongin valmistus, Kemiallinen metsäteollisuus 2, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2003, s. 31, s. 128
6. Gallagher, B.J., Pressure screening, *TAPPI 2005 Improving screening and cleaning efficiencies short course*, Orange Beach, Alabama, April 6-8, 2005, s. 39 – 41
7. Pikka, O., Painelajittimet, 1985, INSKO, Julkaisu 60–85, *Kemiallisen massan lajittelu*, 51 s.
8. Krottscheck, A.W., Pulp Screening, Cleaning and Fractionation, Handbook of Pulp, Sixta, H. (ed.), Straus GmbH, Mörlenbach 2006, s. 561 – 608
9. Gullichsen, J., Fiber line operations, *Chemical Pulping*, Papermaking Science and Technology, Book 6A, Gullichsen, J., Fogelholm, C.-J., (Ed.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000, s. 127
10. Paul, S.T., Duffy G.G., Chen, X.D., Viscosity control as a new way to improve pressure screen performance, *Tappi Journal*, **83**(2000)9, s. 61
11. Kiero, S., Painelajittimen toimintasäädin nostaminen havupuusellun lajittelussa, Diplomityö, LTY, Kemiantekniikan osasto, Lappeenranta, 2007, 78 s.
12. Wahren, D., Fundamentals of suspension screening, *Svensk Papperstidning*, **82**(1979)18, s. 539-546

13. Schauman, H.-C., The effect of rotor piece characteristics on pressure screen performance, Master's Thesis, LUT, Department of Chemical Technology, Lappeenranta, 2000, 70 s.
14. Lappalainen, J.T.J., Paperin- ja kartonginvalmistusprosessien mallinnus ja dynaaminen reaaliaikainen simulointi, Espoo 2004, Otamedia Oy, VTT Tuotteet ja tuotanto, *VTT Publications 518*, 144 s.
15. Ämmälä, A., Fractionation of thermomechanical pulp in pressure screening. An experimental study on the classification of fibres with slotted screen plates, Väitöskirja, Oulun Yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulu, 2001, 102 s.
16. Jokinen, H., Screening and cleaning of pulp – a study to the parameters affecting separation, Väitöskirja, Oulun Yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulu, 2007, 10
17. VTT Tuotteet ja tuotanto, ProWledge Oy, KnowPulp 10.0 - Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö, [LTY: n Intranetissä], [Viitattu 13.1.2014], Saatavissa: Intranet LTY:n sisäisessä käytössä, vaatii käyttäjätunnuksen
18. Ämmälä, A., Dahl, O., Kuopanportti, H., Niinimäki, J., The role of back flow in an axially fed pressure screen, *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, **81**(1999)3, s. 210 - 215.
19. Carlsson, J., Broman, F., Pressurized tail screen – improved fiber recovery using intermediate dilution, *Engineering, Pulping & Environmental Conference*, Atlanta, Georgia, November 5-8, 2006

## **LIITTEET**

Tehtävänanto

<b>Kandityö</b>	
<b>Otsikko</b>	<b>PAINELAJITTELU</b>
<b>Kirjallisuusosuus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Painelajittelun tarkoitus ja historia</li><li>- Periaate ja painelajittimen rakenne</li><li>- Lajittelun teoria</li><li>- Lajittelun parametrit</li></ul>
<b>Kokeellinen osuus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- ei tarvita</li></ul>