

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Kemiantekniikan osasto
Paperitekniikan laboratorio
Kandidaatin työ

**PAPERIN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAMINEN KUITULAJEILLA
JA VALMISTUKSEN OSAPROSESSEILLA**

TEKIJÄT: Joni Askola, Ke4
Sami-Seppo
Ovaska, Ke4
VALVOJA: Mika Pulkkinen,
assistentti

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Kemiantekniikan osasto

Paperitekniikan laboratorio

Puunjalostustekniikan koulutusohjelma

Askola, Joni

Ovaska, Sami-Seppo Paperin ominaisuuksiin vaikuttaminen kuitulajeilla ja valmistuksen osaprosesseilla

Kandidaatin työ 64 sivua, 11 kuvaa, 5 taulukkoa

Työn ohjaaja DI Mika Pulkkinen

Työn teettäjä Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Marraskuu 2008

Hakusanat Jälkikäsitteily, kuitulajit, optiset ominaisuudet, paperilajit, paperin valmistus, reologiset ominaisuudet, sellun valmistus, valkaisu

TIIVISTELMÄ

Työn tarkastellaan massalaatujen valmistusmenetelmiä ja paperinvalmistuksen osaprosesseja pitäen silmällä massalaadun ja jälkikäsitteilyn vaikutusta paperin optisiin ja reologisiin ominaisuuksiin. Pääpaino oli käytössä olevilla prosesseilla, mutta myös muutaman viimeisen vuosikymmenen aikaisiin valmistusmenetelmiin tutustuttiin suppeasti.

Koska asiakkaat ja kuluttajat vaativat yhä vaaleampia, kestävämpiä ja lujempia papereita, on tärkeää kyetä tunnistamaan eri osa-prosessit, joilla voidaan vaikuttaa näihin ominaisuuksiin. Asiakaslähtöisyyden ohella prosessien pitää nykyisten tiukkojen päästömääräysten vuoksi pyrkiä ympäristöystävälliseen liiketoimintaan. Myös keräyspaperin käytöstä on säädetty asetus, jonka mukaan keräyspaperin pitää päätyä ensisijaisesti uusiopaperin raaka-aineeksi. Ympäristövaatimukset ja kierrätyskuidun käyttö antavatkin omat haasteensa hyvien optisten ja reologisten ominaisuuksien saavuttamisessa.

ABSTRACT

This Bachelor's thesis contains information on how the type of fiber and different processes in a paper mill affect the properties of paper. This work concerns mainly processes that are in service but also there is a limited view of older methods from the last few decades.

Since the customers and consumers demand increasingly lighter and stronger papers it is important to be able to recognize different subprocesses which affect these properties. Together with customer orientation the processes are demanded to be pro-environmental because of strict emission decrees. Besides, recycled paper is supposed to be used primarily in paper manufacturing in accordance with statutes. Using recycled paper and following environmental demands means more challenges to obtain desired optical and rheological properties.

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	3
2 MEKAANISET MASSAT	4
2.1 Hiokkeen ja hierteen valmistus.....	4
2.3 Mekaanisen massan valkaisu.....	8
2.2.1 Peroksidivalkaisu.....	9
2.2.2 Ditioniittivalkaisu.....	10
2.2.3 Vaihtoehtoiset valkaisumenetelmät.....	11
2.3 Mekaaninen massa raaka-aineena	12
3 SELLU.....	13
3.1 Sulfaattisellun valmistusprosessi.....	13
3.1.1 Kuitulinja.....	14
3.1.2 Kemikaalien talteenotto.....	15
3.2 Sulfiittiprosessi.....	16
3.3 Kemiallisen massan valkaisu.....	17
3.3.1 ECF-valkaisu.....	18
3.3.2 TCF-valkaisu.....	18
3.4 Kemiallinen massa raaka-aineena	19
4 KIERRÄTYSMASSA.....	20
4.1 Uusiomassan raaka-aineet.....	21
4.2 Uusiomassan valmistus.....	22
4.3 Uusiomassan ominaisuudet.....	23
4.4 Uusiomassa raaka-aineena.....	24
5 KEMIMEKAANISET MASSAT.....	25
5.1 Kemimekaanisen massan valmistus.....	25
5.2 Kemimekaaninen massa raaka-aineena.....	26
6 PAPERIN JA KARTONGIN VALMISTUSPROSESSI.....	28
6.1 Rainanmuodostus.....	28
6.2 Puristinosa.....	29
6.3 Kuivatusosa.....	29
7 PAPERILAADUT.....	30
7.1 Aikakauslehtipaperi.....	30
7.2 Kopio- ja toimistopaperi.....	31
7.3 Sanomalehtipaperi.....	32
7.4 Hienopaperit.....	32
7.5 Pehmopaperit.....	33
7.6 Pakkausmateriaalit.....	33
8 PAPERIN OPTISET OMINAISUUDET.....	35
8.1 Vaaleus.....	35
8.2 Opasiteetti.....	36
8.3 Väri.....	36
8.4 Kiilto.....	37
8.5 Valonsirontakerroin.....	38

9 OPTISIIN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAMINEN	39
9.1 Vaaleuden parantaminen	39
9.1.1 Mekaanisen massan valkaisu.....	40
9.1.2 Optiset kirkasteet ja sävytysvärit.....	40
9.2 Opasiteetin parantaminen	42
9.3 Valonsirontakertoimen parantaminen.....	42
9.4 Kiillon parantaminen	43
10 PAPERIN LUJUUSOMINAISUUDET	44
10.1 Vetolujuus ja murtovenymä.....	44
10.2 Repäisylujuus.....	44
10.3 Jäykkyys	45
10.4 Puhkaisulujuus.....	45
10.5 Taittojuuus.....	45
10.6 Palstautumislujuus	45
10.7 Pintalujuus	46
10.8 Karheus ja sileys.....	46
10.9 Märkälujuus	46
11 LUJUUSOMINAISUUKSIEN PARANTAMINEN.....	47
11.1 Vetolujuuden ja murtovenymän parantaminen.....	47
11.2 Repäisylujuuden parantaminen.....	47
11.3 Jäykkyyden parantaminen	48
11.4 Puhkaisulujuuden parantaminen.....	48
11.5 Taittojuuuden parantaminen.....	48
11.6 Palstautumislujuuden parantaminen.....	48
11.7 Pintalujuuden parantaminen	49
11.8 Karheuteen ja sileyteen vaikuttaminen.....	49
11.9 Märkälujuuden parantaminen	49
12 LIIMAUSOSAPROSESSIT JA NIIDEN VAIKUTUS TUOTTEEN PAPERIN OMINAISUUKSIIN	50
12.1 Liimausmenetelmät puupitoisille papereille.....	50
12.4.1 Paperin pintaliimaus	50
12.4.2 Paperin massaliimaus	51
13 JÄLKKÄSITTELYN VAIKUTUS PAPERIN OMINAISUUKSIIN.....	55
13.1 Kalanterointi	55
13.2 Pigmenttipäällystys.....	58
13.3 Pigmentointi.....	60
14 YHTEENVETO.....	61
LÄHDELUETTELO	62

1 JOHDANTO

Paperimassateollisuus tuottaa hyvin erilaisia massalaatuja eri menetelmin ja näistä massalajeista valmistetaan erityyppisiä paperilajeja. Tämä työ antaa kokonaisvaltaisen kuvan eri valmistusmenetelmistä, massojen ominaisuuksista ja kertoo kuitulajien vaikutuksesta ja soveltuvuudesta eri paperilaaduille.

Paperituotteiden optisia ja reologisia ominaisuuksia viedään kuluttajien mieltymysten mukaisesti eteenpäin jatkuvasti. Painotalot vaativat paperilta yhä korkeampaa vaaleutta ja vahvempia paperilaatuja tarvitaan painojen konekatkojen ehkäisemiseksi. Tuote, joka on pakattu näyttävästi, saa varmemmin kuluttajan katseen, kuin pelkkään valkaisemattomaan kääreeseen pakattu tuote.

Eri kuitulaatuja tuotetaan Suomessa tällä hetkellä noin 12 miljoonaa tonnia. Mekaanisen ja kemimekaanisen massan osuus on noin 40 %, sellun 60 %. Suomen osuus maailman kuitumarkkinoilla on verraten pieni, sillä koko maailman kuiduntuotannon on ennustettu vuonna 2010 olevan 391 milj. tonnia. Eroa kuitenkin selittää kierrätyskuidun vähäinen käyttö kuituraaka-aineena: esimerkiksi Keski-Euroopassa jopa puolet massasta on peräisin kierrätyskuiduista.

Optisiin ja reologisiin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa paperinvalmistuksessa eri massalaaduilla ja paperin jälkikäsittelyprosesseilla. Paperin valmistuksen todetaan olevan monimutkainen prosessi, jossa jokaisella osaprosessilla on merkitystä lopputuotteeseen.

2 MEKAANISET MASSAT

Mekaanisen massan valmistuksessa ligniini pehmenetään mekaanisen rasituksen ja lämmön avulla. Kuitujen irrottamiseen voidaan käyttää hioke- tai hiertoprosessia, joiden tärkeimmät muuttujat ovat lämpötila, paine ja puun kosteus. Hiokkeen pääraaka-aineena ovat kuoritut kuusipöllit ja valmistus tapahtuu painamalla puuta pyörivää hiomakiveä vasten. Hiertoprosessissa syötetään puuraaka-aine hakkeena levyjauhimen kiekkojen väliin. Mekaanisen massan saanto on luokkaa 92–97 %. [1,2,3,4]

Mekaanisen massan kuidut ovat lyhyitä sekä rikkonaisia kemialliseen massaan verrattuna ja massa sisältää paljon hienoainetta. Mekaaninen massa antaa painopapereille sekä hyvät optiset että painatusominaisuudet. [1]

2.1 Hiokkeen ja hierteen valmistus

Hiokkeen valmistus alkaa puunkäsittelyllä, jossa puu mahdollisesti sulatetaan, kuoritaan ja siitä poistetaan epäpuhtaudet. Pöllit syötetään hiomakoneelle kuidutusta varten. [1,2]

Hiontaprosessissa kuidutettaessa puuta painetaan pyörivää hiomakiveä vasten veden läsnä ollessa niin että kuidut ovat poikittain hiomakiven pinnan liikesuuntaan nähden. Hiomakiven pinnassa on rakeita, jotka antavat kuiduille suuren määrän iskuja. Nämä aikaansaavat lämpöä, joka nostaa puun sisäistä lämpötilaa. Ligniini pehmenee, kuitujen väliset sidokset heikkenevät ja kuidut irtoavat. [1,2,3]

Prosessissa vedellä ja lämpötilalla on tärkeä merkitys. Vesi jäähdyttää prosessia sekä muodostaa kalvon hiomakiven pinnalle. Lisäksi vesisuihkun avulla massa poistuu kiven pinnalta hiomakoneen altaaseen, josta osa massasta

johdetaan uudelleen prosessiin. Korkeammalla kuidutuslämpötilalla saadaan taas suurempi pitkien ja ehjien kuitujen osuus saavutettua. Massan hyvä laatu saavutetaan säätämällä lämmön ja mekaanisen rasituksen määrä sopivaksi. Prosessia voidaan tehostaa myös paineella (PGW tai PGW-S). Muita hiontaprosesseja ovat kivihioke (GW) ja kuumahioke (TGW). Hiontaprosessin saanto on nykyaikaisilla laitteilla noin 98–98,5 % [3,4]

Hierreprosessin (RMP) alussa hakkeesta poistetaan hiekka ja raskaat komponentit pesemällä se kuumalla vedellä, jonka jälkeen hake johdetaan esilämmityksen kautta jauhatukseen. Hierrossa jauhinterien kuvioinnin kohoumat siirtävät jaksottaisella rasituksella mekaanista energiaa puuhun, jonka seurauksena puukuidut irtautuvat toisistaan. Voimien vaikutuksesta kuitujen fibrilloituminen lisääntyy ja samalla niiden pinta-ala kasvaa, jotka aiheuttavat paremman sitoutumiskyvyn, joka puolestaan on tärkeää paperin lujuusominaisuuksien kannalta. Terävälän lämpötila pidetään noin 170 °C:ssa, sillä liian alhaisella lämpötilalla massasta tulee heikko ja liian korkea lämpötila aiheuttaa taas huonon sitoutumiskyvyn. Korkea lämpötila vähentää myös vaaleutta. [3]

Hierteen valmistus voidaan toteuttaa myös kuumahierreprosessilla (TMP), jossa lämpötilalla ja vedellä on oleellinen vaikutus. Prosessissa voi olla 1-3 jauhatusvaihetta ja jauhimet ovat lähes aina paineistettuja. Jauhatusta edeltää paineellinen esilämmitys. Paineella tehostettua hierreprosessia kutsutaan PRMP:ksi, joka on RMP:n kaltainen, mutta siinä käytetään korkeampaa lämpötilaa. Hierreprosessien saannot ovat uusilla laitteilla 97,5 %. [2,3,4]

Lämmön talteenotto on tärkeä vaihe erityisesti hierreprosessissa. Kuitu erotetaan höyrystä höyrynerotussykloonassa ja kylläinen höyry käytetään syöttöveden lämmitykseen paperikoneen kuivatusosastolla. [2]

Kuidutuksen jälkeen hierreprosessissa kuidut on oikaistava voimakkaalla sekoituksella ennen ligniinin jähmettymistä, sillä kuidut ovat kiharaisia. Prosessia kutsutaan latenssipoistoksi ja sillä on merkittäviä vaikutuksia hierteen laatuun sekä prosessitalouteen. [3]

Sekä hioke- että hiertoprosessissa massa lajitellaan karkea- ja sihtilajittelulla. Lajittelun ja siihen liittyvän rejektin käsittelyn tarkoituksena on erottaa rejekti ja käsitellä sen sisältämät tikut ja karkeat kuidut. Käsitelty massa palautetaan usein päätuotteen joukkoon. Myös epäpuhtauksien poisto massasta on tärkeä osaprosessi, sillä ne voivat aiheuttaa paperin laadun heikkenemistä sekä laitteiden turhaa kulumista. [2,3]

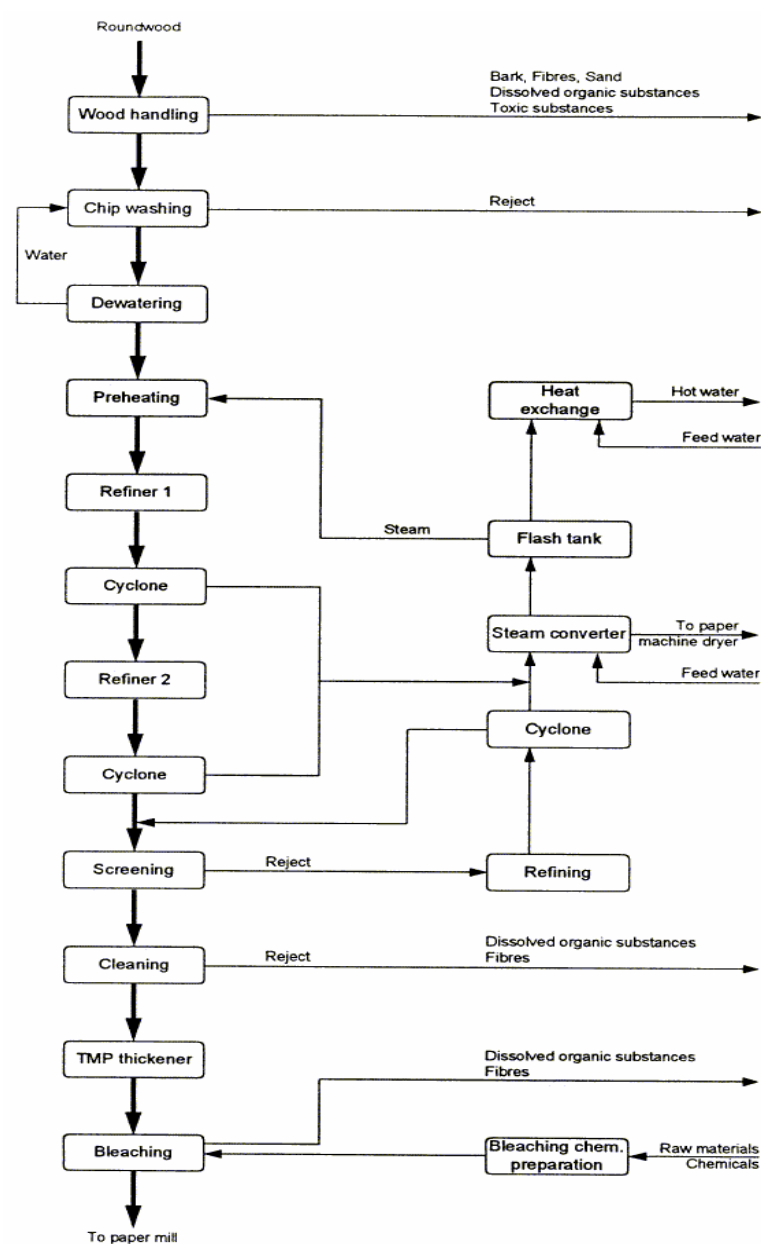
Karkean lajittelun tavoite on poistaa ylisuuret tikut ja säleet massasta ennen sihtilajittelua. Tämä tehdään täryseulalla, jonka läpi massa virtaa. Seuloissa on pieniä rakoja ja edestakaisen liikkeen avulla poistuu alle 1 % massasta. Täryseulan rejekti käsitellään tikkumurskaimella ja yhdistetään lopuksi sihtilajittelun rejektin kanssa. Sihtilajittelussa poistetaan vielä massasta loput tikut sekä kuitukimput. Sihtilajittelussa haastavinta on rejektin määrän hallitseminen; rejektin lisääminen parantaa massan puhtautta mutta silloin osa hyvälaatuista kuitua menee rejektiin. [3]

Lajittelun jälkeen mekaaninen massa valkaistaan. ISO-lähtövaaleus on 58–68 % ja loppuvaaleus on enimmillään noin 83–84 %. Valkaisu voidaan suorittaa joko hapettavalla peroksidivalkaisulla tai pelkistävällä ditioniittivalkaisulla. Käytetyin menetelmä on peroksidivalkaisu, joka on tehokas vaaleuden nostaja ja menetelmää käytetäänkin korkean loppuvaaleuden papereille. Ditioniittivalkaisulla vaaleuden pysyvyys on huonompi, mutta sen etuja ovat hyvä saanto sekä pienet kemikaali- ja investointikustannukset. [3,4]

Massa varastoidaan torneihin, jotka yleensä sijaitsevat massatehtaan ja paperitehtaan välissä. Massalle luodaan haluttu sakeus, joka normaalisti on 4-5 %. [4]

Jälkijauhatuksen tavoite on tehdä kuiduista paremmin sitoutuvia, alentaa tikkupitoisuutta sekä varmistaa massan tasalaatuisuus. Jälkijauhatusta voidaan tehdä matala- tai suurisakeusjauhatusella kiekko- tai kartiojauhaimella. Energiataloudellisesti matalasakeusjauhatusta on parempi mutta korkeasakeusjauhatusta antaa massalle paremman repäisyjuuuden ja lisäksi CSF-luvun pudotus on pienempi. [1]

Ennen massan siirtoa sille tehdään vielä loppusaostus. Tämä tehdään siksi että mekaanisen massan valmistusprosessin eri vaiheissa on erilaiset optimisakeudet. Massa tulee lajittelusta tai pyörrepuhdistuksesta yleensä alle 1 % sakeudessa, joka ei ole sopiva paperikoneeseen tai valkaisuun. Samalla likainen vesi jää massatehtaan kiertovedeksi paperikoneelle johtamisen sijaan. Kuvassa 1 on esitetty TMP-massan valmistusprosessi. [3]



Kuva 1: TMP-massan valmistus lohkokaavioesityksenä prosessivirtoineen. [5]

2.3 Mekaanisen massan valkaisu

Mekaanisen massan vaaleus (57–65 % ISO) ei ole aina lopputuotteen vaatimalla tasolla. Mekaaninen massa valkaistaan ligniiniä säästävasti; ainoastaan ligniinin värilliset rakenteet yritetään saada värittömiksi.

Tavallisesti vaaleus paranee 10–20 % ISO. Valkaisumenetelmiä ovat hapettava peroksidivalkaisu ja pelkistävä ditioniittivalkaisu. [2,3,6]

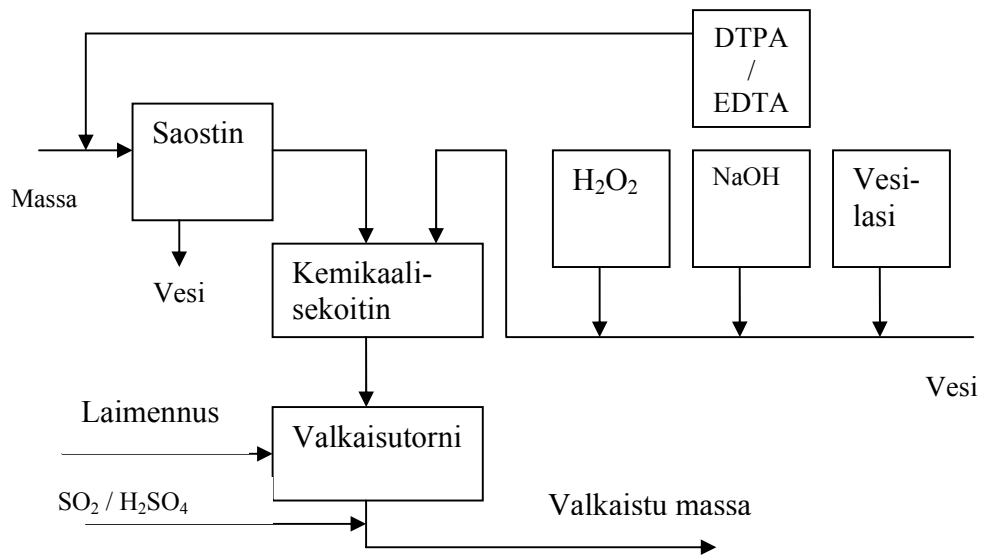
2.2.1 Peroksidivalkaisu

Massan esikäsitteilyyn käytetään DTPA:ta tai EDTA:ta, jotta mahdolliset valkaisu haittaavat siirtymämetallit muuttuisivat kelaateiksi. Valkaisukemikaaleina käytetään vetyperoksidia ja natriumperoksidia. Peroksidiannos on tavallisesti 0,5-5 %. Pienillä annoksilla valkaisu kehittyy suhteellisesti enemmän kuin suurilla annoksilla. [2,3]

Peroksidivalkaisu tehdään tyypillisesti 50–80 °C:n lämpötilassa ja lämpötila on riippuvainen reaktioajasta, joka on tavallisesti 120 minuuttia. Reaktioajan lisääminen ei olennaisesti lisää vaaleutta. pH säädetään alussa tasoon 10,5, joka laskee valkaisu aikana noin 9,0:ään. Liian alhaisessa pH:ssa peroksidi ei reagoi massan kanssa ja liian korkea alku-pH puolestaan aiheuttaa peroksidin hajoamisen. Peroksidin hajoamista voidaan estää natriumsilikaatilla. [2,3,7]

Jälkikellertymisen ehkäisyksi massaan on jäätävä valkaisuun jälkeen peroksidia. Kellertymistä estetään myös massan loppuhapotuksella rikkihapolla tai SO₂-vedellä, jonka tarkoitus on neutraloida jäännösalkali. Peroksidivalkaisulla vaaleutta saadaan nostettua 7-20 % ISO. Peroksidivalkaisua käytetään papereille, joilla on korkea loppuvaaleustavoite. [2,3]

Peroksidivalkaistun massan lujuus lisääntyy, uutepitoisuus pienenee ja lisäksi massasta valmistetun paperin painettavuus paranee. Laitteistoja on erilaisia, mutta periaatteellinen kaavio tyypillisestä laitteistokonfiguraatiosta on esitetty kuvassa 2. [2]



Kuva 2: Periaatekuva peroksidivalkaisulaitteistosta ja prosessivirroista. [2]

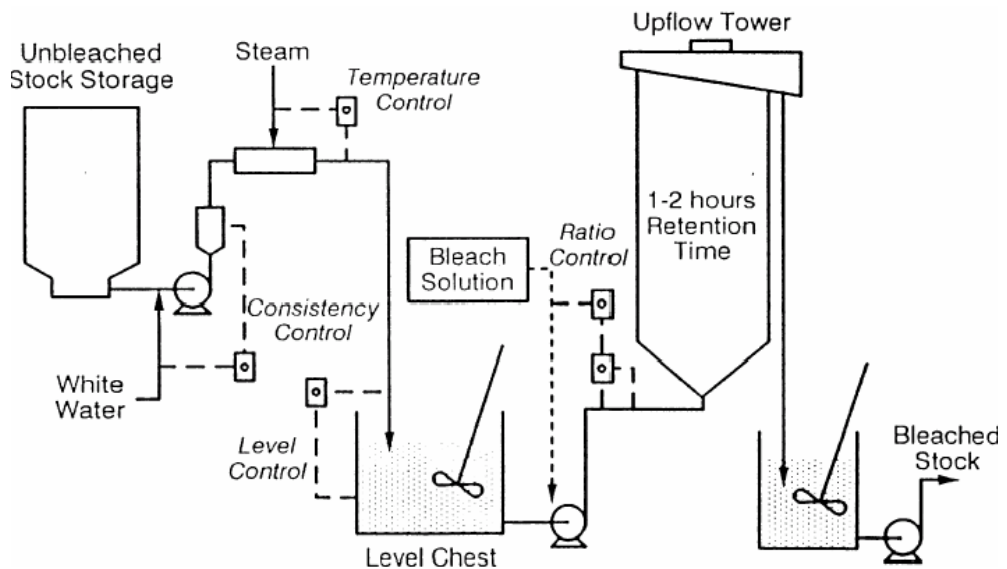
2.2.2 Ditioniittivalkaisu

Ditioniittivalkaisussa pyritään muuttamaan mekaanisen massan sisältämät värilliset aineet värittömiksi. Käytössä ovat yleisempi natriumditioniitti ja harvinainen sinkkiditioniitti. Ennen ditioniittivalkaisua mekaanisesta massasta on poistettava ilma. Ditioniittivalkaisua käytetään erityisesti sanomalehtihiokkeen valkaisuissa. Sen valkaisu-teho on peroksidivalkaisua heikompi. [2]

Massa esikäsitellään tripolyfosfaatilla tai EDTA:lla raskasmetallien vaikutusten eliminoimiseksi. Ditioniittivalkaisun sakeus on 3-5 % ja annostelu noin 0,5-1 % sulpun painosta. Reaktioaika on tornissa 30–60 min ja säiliössä alle 15 minuuttia. pH säädetään natriumditioniitilla noin 6,5:een ja valkaisu- lämpötila on 60–70 °C, jotta reaktio tapahtuisi mahdollisimman nopeasti. [2,3,4]

Ditioniittivalkaisulla massa vaalenee 4-10 yksikön verran ja valkaisuosaanto on lähes 100 %. Valkaisun pysyvyys on huono ja auringonvalo aiheuttaa nopeasti massan tummumista. Ditioniitit aiheuttavat myös korroosiota, joten valkaisulaitteistojen tulee olla haponkestävää terästä. [2]

Ditioniittivalkaisulaitteita on erilaisia ja käytössä on myös peroksidi- ja ditioniittilaitteistojen kombinaatioita. Laitteisto on sinällään yksinkertainen. Tyypillinen torni-tyyppinen ditioniittivalkaisulaitteisto on esitelty kuvassa 3.



Kuva 3. Tyypillinen ditioniittivalkaisulaitteisto valkaisu tornilla. [4]

2.2.3 Vaihtoehtoiset valkaisumenetelmät

Vaihtoehtoisia mekaanisen massan valkaisumenetelmiä ovat esimerkiksi valkaisu natriumbisulfiitilla tai FAS:lla ($\text{HO}_2\text{S}-\text{CNH}-\text{NH}_2$). [4,7]

Valkaisu natriumbisulfiitilla on ollut jo kauan tunnettu menetelmä mekaanisen massan valkaisussa. Menetelmä ei ole koskaan päässyt laajaan käyttöön. Natriumbisulfiitilla vaaleutta voidaan parantaa 3-7 %, mutta sen käyttö suurina

pitoisuuksina ei ole taloudellisesti kannattavaa. Kemimekaanisten massojen esikäsitelyssä natriumbisulfiitti on yleinen kemikaali. [4,7]

Mekaanisen massan valkaisuissa FAS on harvinainen kemikaali, jonka teho vastaa ditioniittia. Sen sijaan kierrätysmassan valkaisuissa FAS:a käytetään yleisesti. [4,7]

2.3 Mekaaninen massa raaka-aineena

Kuituominaisuuksiltaan mekaaninen massa poikkeaa merkittävästi kemiallisesta massasta. Kuidut ovat erikokoisia ja ne eivät ole ehjiä. Hienoainetta on runsaahkosti. Ligniinipitoisuutensa takia kuidut ovat jäykkiä ja sitoutumisominaisuuksiltaan huonoja.

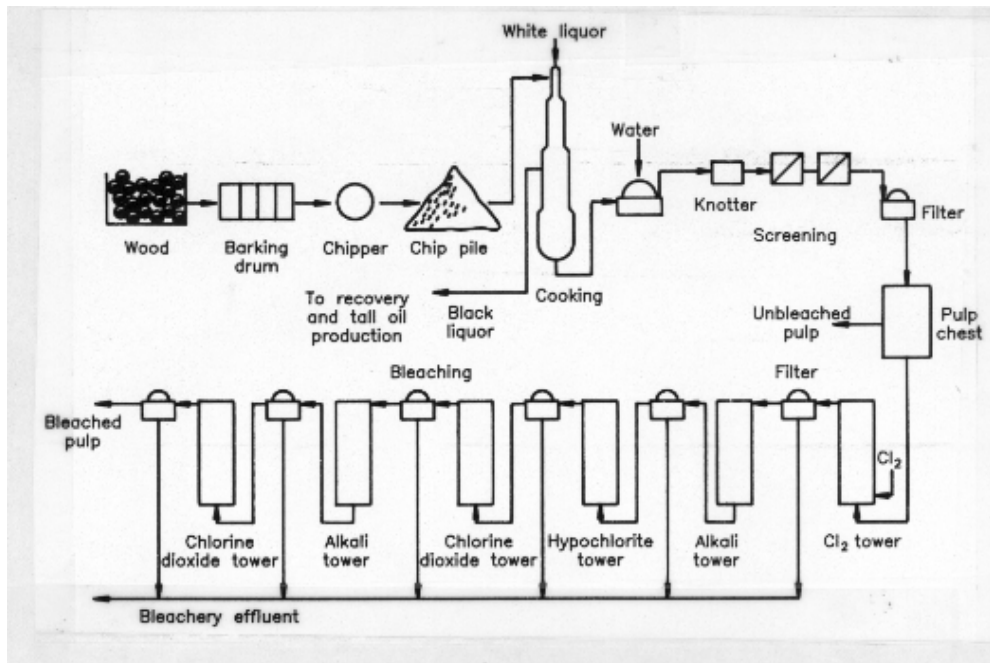
Mekaanisen massan lujuusominaisuudet ovat selluun verrattuna huonoja. Lujuusominaisuudet kasvavat kuituosuuksien kasvaessa; $TMP > PGW > SGW$. Opasiteetin osalta massatyyppien järjestys on päinvastainen; hienoaineen ansiosta mekaanisesta massasta valmistettu paperi on kuitenkin sileää ja sen valonsirontakerroin on suuri. Vaaleudeltaan mekaaninen massa on lähellä puun vaaleutta, 57–65 % ISO. Joihinkin tuotteisiin tämä vaaleus on riittävä, mutta valkaisuilla saavutetaan korkeampia vaaleusasteita. Valkaistun mekaanisen massan vaaleus ei ole kestävää ligniinipitoisuuden vuoksi; kellastumisen vuoksi mekaanisesta massasta valmistettu paperi on tarkoitettu ainoastaan lyhyeen käyttöön, tai tarkoituksiin, joissa kellastumisesta ei ole haittaa. Esimerkkejä mekaanisesta massasta valmistetuille tuotteille on sanoma- ja aikakauslehtipaperi, pehmopaperit ja kartonkien sisäkerrokset. [4,8]

3 SELLU

Sellua on valmistettu kemiallisesti puusta jo vuosikymmeniä. Takavuosina hapan sulfiittiprosessi oli pääasiallinen valmistusmenetelmä, mutta nykyään sulfiittiprosessin ympäristöhaittojen vuoksi on siirrytty alkaliseen sulfaattiprosessiin. Valkaistua sellua käytetään mm. hienopapereissa ja graafisissa papereissa sekä armeerausmassana kirjoitus- ja painopapereissa antamaan lujuutta ja parantamaan ajettavuutta, pehmopapereissa ja parempilaatuisissa kartongeissa. Valkaisematon sellu taas on voimapaperin ja aaltopahvin pintakerroksen raaka-ainetta. [2,9]

3.1 Sulfaattisellun valmistusprosessi

Sulfaattisellutehdas koostuu kuitulinjasta eli massanvalmistuslinjasta ja kemikaalien talteenottolinjasta sekä sivutuotteiden valmistusosastoista. Kemikaalien talteenottolinja voidaan jakaa lipeäkiertoon ja kalkkikiertoon. Massanvalmistusketju alkaa puunkäsittelystä ja päättyy lopulta markkinaselluksi, kemikaalien talteenottolinjan tarkoitus on taas muuttaa jo käytetyt kemikaalit edelleen käyttökelpoisiksi sekä ottaa talteen energiaa keittoliuokseen liuenneesta puuaineksesta. Sulfaattisellua valmistetaan erä- ja vuokeitolla. Käyttökohde määrää, valkaistaanko kemiallinen massa vai ei. Energiataloudellisesti sulfaattiprosessi on loistava, koska se tuottaa sähköä jopa yli tehtaan tarpeen. Lisäksi prosessista saadaan mäntyöljyä ja tärpättiä sivutuotteina. Yksinkertaistettu piirros valmistusprosessista on esitetty kuvassa 4. [2,9]



Kuva 4: ECF-valkaistun sulfaattisellun valmistuksen osaprosessit.[10]

3.1.1 Kuitulinja

Kuitulinja koostuu useista osaprosesseista. Puun käsittely alkaa puun kuorinnasta rumpukuorimakoneissa. Kuori kerätään talteen energiantuotantoa varten. Haketuksen tarkoitus on pilkkoa kuorittu puu pieniksi palasiksi, jotta keittoliuos pystyy imeytymään puun sisään ja reagoimaan ligniinin kanssa puun kuitujen erottumiseksi. Hakkeen seulonnassa erotetaan ylisuuri jae ja puru hakkeen joukosta käyttämällä yleensä tasoseulaa. Tavoitteena on tuottaa mahdollisimman homogeenista haketta. [9,11]

Sellunkeiton päätehtävä on liuottaa puussa kuituja toisiinsa sitova ligniini kuitujen vapautumiseksi. Kuidut pyritään säilyttämään pitkinä ja ehjinä. Kuitujen irtoaminen tapahtuu voimakkaan alkalisen, valkoliipeää sisältävän keittonesteen ja lämmön avulla. Keitossa poistetaan myös puun uuteaineita, jotka voivat aiheuttaa vaahtoamista myöhemmissä prosesseissa. [9]

Keiton jälkeen massa pestään ja lajitellaan. Pesussa orgaaninen ja epäorgaaninen aines otetaan talteen sarjassa olevilla pesulaitteilla vastavirtapesulla. Lajittelun tarkoitus on erottaa keiton jälkeen epäpuhtaudet sulpusta, jotta saavutetaan haluttu puhtaustaso lopputuotteessa. [11]

Seuraavana on vuorossa massan valkaisu, jolla parannetaan massan puhtautta ja vaaleutta. Sellun valmistuksessa käytetään usein ligniiniä poistavaa valkaisua. Integroimattomassa tehtaassa sellu vielä kuivataan noin 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Sen sijaan integroidussa sellutehtaassa ei sellua kuivata, koska sellu viedään pumppumassana suoraan paperitehtaalle.[9,11]

3.1.2 Kemikaalien talteenotto

Keittokemikaalien talteenotto ja regenerointi uudelleen käytettävään muotoon sekä keittonesteeseen liunneen puun hyödyntäminen energiantuotannossa ovat olennaisia osia sulfaattisellun valmistusprosessissa. Kemikaalien talteenottolinjat jaetaan lipeäkiertoon ja kalkkikiertoon, josta voidaan erottaa useita osaprosesseja. [11,12]

Massan pesussa erotetaan neste eli mustalipeä sellusta. Mustalipeä sisältää tässä vaiheessa paljon vettä ja epäorgaanisia kemikaaleja, joten sen kuiva-ainepitoisuus on alhainen. Siksi sitä ei voida suoraan viedä soodakattilaan polttoon vaan siitä haihdutetaan vettä haihduttamalla kuiva-ainepitoisuuden nostamiseksi. [11]

Soodakattilassa otetaan talteen mustalipeässä olevat keittokemikaalit ja regeneroidaan ne uudelleen käytettävään muotoon. Lisäksi mustalipeän orgaaninen aines poltetaan energian tuottamiseksi. [11]

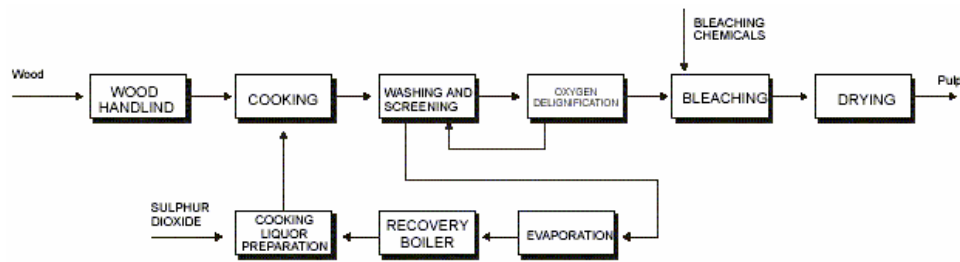
Sellun keitossa keittoliemenä käytetään valkolipeää, joka sisältää aktiiviset kemikaalit, jotka ovat natriumsulfidi ja natriumhydroksidi. Prosessia, jossa soodakattilasta saatu natriumkarbonaatti muutetaan keitossa käytettäväksi natriumhydroksidiksi meesanpoltosta saatavan kalsiummonoksidin avulla, sanotaan kaustisoinniksi. [9,11,12]

Valkolipeän selkeytyksessä erotettu ja kaustisoinnissa syntynyt meesa on pääasiassa kalsiumkarbonaattia. Se regeneroidaan edelleen uudelleen käytettäväksi polttamalla sitä korkeassa lämpötilassa meesauunissa. [12]

3.2 Sulfiittiprosessi

Sulfiittilaatuja tuotetaan maailmalla yhä vähemmän ja vähemmän, tuotanto on nykyään noin 6 miljoonaa tonnia vuodessa. Suomessa sen tuotanto loppui 1991. Sulfiittisellu aiheuttaa suurempia ympäristöhaittoja jätevesipäästöjen vuoksi, mutta sen valkaisu on helpompaa kuin sulfaattimassan ja tuotannon jäteliemestä on mahdollista tehdä eläimille rehua pekilo-prosessin avulla. Hiilihydraattien saanto on hyvä. Sulfiittiprosessilla on mahdollista tuottaa lisäksi massoja, joiden selluloosapitoisuus on hyvin korkea. Toisaalta energiantarve on sulfaattimenetelmää suurempi ja hajuhaitat voimakkaita. [13,14,15]

Sulfiittiprosessilla on mahdollista tuottaa vaaleaa ja lujaa massaa. Prosessin raaka-aineena ovat havupuut, kun taas sulfaattiprosessissa lehtipuiden käyttö on mahdollista. Keittokemikaalina on kalsium-, natrium- tai magnesiumsulfiitti. Prosessin valmistusmenetelmä on esitetty kuvassa 5. [16]



Kuva 5: Periaatekuva sulfiittisellun valmistuksesta. [17]

Sulfiittimassaa käytettiin eritoten sanomalehtipaperin lujuuden parantajana ja hienopaperien raaka-aineena. Nykyään käyttö on keskittynyt veden-, rasvan- ja ilmanpitävien erikoispaperien, kuten glassiinin, valmistukseen. Kemimekaaninen valmistusmenetelmä on korvannut jonkin verran sulfiittiprosessia. [3]

3.3 Kemiallisen massan valkaisu

Sellun valkaisun tavoitteena on massan vaaleuden ja puhtauden parantaminen poistamalla tai vaalentamalla massan värillisiä yhdisteitä. Yleisimmin kemiallisen massan valkaisu pohjautuu jäännösligniinin poistoon useassa vaiheessa. Tämän vuoksi jälkikellertyminen on vähäistä verrattuna mekaanisiin massoihin. [9,18]

Valkaisemattoman mäntysulfaattisellun ISO-vaaleus on 23–28 %, lehtipuumassan hieman parempi. Valkaisun jälkeinen vaaleus on 88–91 %. Sulfiittiprosessilla on mahdollista saavuttaa jopa 95 % ISO-vaaleus. [12,15]

3.3.1 ECF-valkaisu

Ympäristönäkökohtien vuoksi aiemmin tavallinen alkuainekloorivalkaisu on korvaantunut alkuainekloorittomalla valkaisulla. ECF-valkaisu toteutetaan useimmiten klooridioksidilla (ClO_2). Keiton jälkeinen jälkivalkaisuprosessi on jaettavissa neljään eri vaiheeseen: klooraukseen, alkaliuuttoon ja kahteen olosuhteiltaan erilaiseen klooridioksidilisäykseen.

Kloorauksessa massaan, jonka kappaluku havusellulle on 10–12 ja koivusellulle 8-10, annostellaan klooridioksidia kappaluvun perusteella. Myös otsonin käyttö on mahdollista. [2]

Alkaliuuttovaiheessa kloorauksessa syntyneet klooriligniinit poistetaan NaOH:lla. Apukemikaaleina käytetään happea ja peroksidia. Apukemikaalien käyttö pienentää tuotantokustannuksia, lisää kapasiteettia ja parantaa massan vaaleutta ja puhtautta. Alkaliuuttovaiheen prosessiolosuhteet ovat seuraavat: pH 10,5–11, lämpötila 70-78 °C. Tyypillinen alkaliannos on 20-30 kg/ts. [2,9]

Klooridioksidivaiheita on yleensä vähintään kaksi. Vaiheiden välissä suoritetaan pesu. Vaiheessa on keskeistä säädellä loppu-pH:ta, jotta massan vaaleus, viskositeetti ja puhtaus olisivat halutulla tasolla. Loppu-pH on tavallisesti n. 4. Prosessin lämpötila on 70-80 °C. Klooridioksidijäänteet poistetaan viimeisessä valkaisuvaiheessa SO_2 -vedellä. [2,9]

3.3.2 TCF-valkaisu

TCF-valkaisu on kallis valkaisumenetelmä, joka perustuu otsonin ja vetyperoksidin käyttöön. Aiemmin TCF-valkaisun edut perustuivat rinnakkaisen kaasukloorivalkaisun aiheuttamiin ympäristöhaittoihin, mutta ECF-valkaisun yleistyttyä TCF-valkaisun merkitys on pienentynyt. [2,15]

TCF-valkaisu varten massan on oltava mahdollisimman hyvin delignifioitua. Valkaisu koostuu kolmesta vaiheesta: otsonivalkaisusta, kelatoinnista ja peroksidivaiheesta. Kelatointi on mahdollista suorittaa lisäksi ennen otsonivalkaisua. [2]

Otsonivalkaisuvaiheessa 30-50 °C lämpötilassa vähintään keskisakeaan massaan (10-15 %) lisätään otsonia max. 5 kg/ts. Riippuen prosessista, pH säädetään tasolle 2-4. Otsonin käyttö heikentää erityisesti havumassan viskositeettia, se on epäselektiivinen jäännösligniinin suhteen ja hiilihydraattien pilkkoutuminen saattaa kiihtyä. Erityisesti lämpötilan nouseminen aiheuttaa hiilihydraattien saantohäviöitä. [2,15]

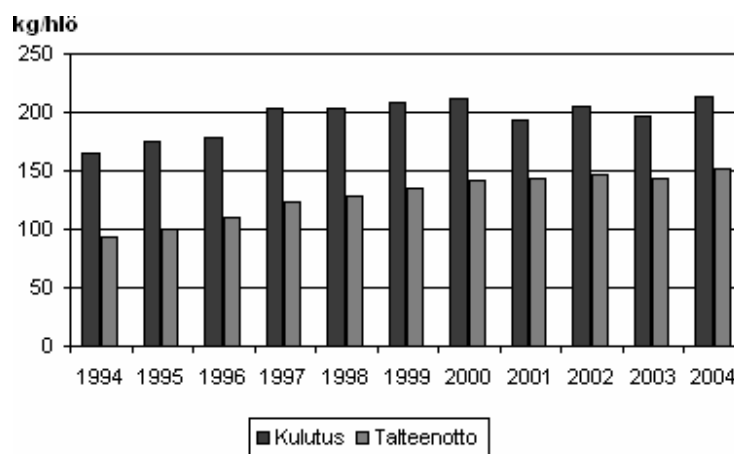
Kelatointivaiheessa poistetaan metalli-ionit, jotteivät ne hajottaisi peroksidia. Metallionien ja peroksidin reaktiotuotteet vaikuttavat hiilihydraatteihin, mistä seuraa kemikaalikulutuksen kasvua ja viskositeetin menetystä. Peroksidivaihe tapahtuu pitkällä reaktioajalla (4 h) korkeassa lämpötilassa (yli 80 °C). Painetta nostamalla reaktioaikaa on kuitenkin mahdollista alentaa kahteen tuntiin. Peroksidiannos on luokkaa 10-40 kg/ts. [2]

3.4 Kemiallinen massa raaka-aineena

Sellua käytetään lukuisissa eri paperi- ja kartonkilaaduissa. Sen käyttöä rajoittaa joissain tapauksissa huonosta saannosta johtuva korkea hinta. Lehtipuusellun käyttökohteita ovat hienopaperit ja valkoiset kartongit, joissa sellulla saadaan aikaan hyvät optiset ominaisuudet havupuukuituja pienempien kuitujen ansiosta. Havupuusellulla on kuitujen pituuden ansiosta kyky muodostaa voimakkaampia verkostoja. Siksi sitä käytetään armeerausmassana kirjoitus- ja painopapereissa, mutta myös parempien kartonkilajien pinta- ja taustakerroksissa sekä pehmopapereissa. Valkaisemattoman havupuusellun käyttökohteita ovat voimapaperi ja aaltopahvin pintakerros. [8,15]

4 KIERRÄTYSMASSA

Varsinkin Keski- ja Pohjois-Euroopassa kierrätyspaperin talteenottojärjestelmä on hyvin kattava, ja paperista päätyykin merkittävä osa takaisin kiertoon. Viime vuosikymmeninä paperin talteenotto on kasvanut merkittävästi, ja vuonna 1999 kierrätyspaperia kerättiinkin jo 750 milj. tonnia. Vastaavasti Länsi-Euroopassa kierrätyskuidun osuus vuosituhannen vaihteessa oli noin 50 % kaikesta kuidusta. Kuvassa 6 on esitetty paperin ja kartongin kulutus- ja talteenottolukuja Suomessa. [19,20]



Kuva 6: Paperin ja kartongin kulutus sekä talteenotto asukasta kohden vuosina 1994-2004. [21]

Talteenottoasteet vaihtelevat maittain merkittävästi riippuen jätteenpolton yleisyydestä, ja taulukkoon 1 on kerätty tietoja paperin kierrätysasteesta muutamissa maissa vuonna 2000: [2,19]

Taulukko 1: Paperin keräysasteita EU-maissa.

Maa	Keräysaste, [%]
Suomi	74
Saksa	69
Ruotsi	63
Espanja	48
Ranska	46
Iso-Britannia	41
Italia	37
Irlanti	19

4.1 Uusiomassan raaka-aineet

Uusiomassan pääasiallisia raaka-aineita on keräyspaperi ja erilaiset pakkausmateriaalit. Raaka-aine luokitellaan laatuluokkiin taulukon 2 mukaisesti:[2]

Taulukko 2: Keräyspaperin luokittelu, sisältö ja osuudet kotikeräyspaperista

Laatuluokka	Sisältö	Osuus kotikeräyspaperista
Alemmat lajit:	sanomalehdet, kotikeräyspaperi, sekalainen keräyspaperi	90-95 %
Keskilajit:	ruskea kartonki, painopaperi ja -kartonki	< 10 %
Korkeammat lajit:	painamattomat paperit	marginaalinen

Keräyspaperin käyttöön sisältyy kuitenkin käytännön ongelmia, sillä kierrätysmateriaalissa esiintyy runsaasti epäpuhtauksia, jotka on poistettava

laadukkaan lopputuotteen saamiseksi. Näitä epäpuhtauksia ovat mm. niitit, painovärit, muovi ja ruskea keräyspaperi. [2]

4.2 Uusiomassan valmistus

Yksi tonni keräyspaperia vastaa keskimäärin 20 kuitupuuta: uusiomassaa kierrätyspaperitonista saadaan n. 850 kg. Massanvalmistusprosessi alkaa siistauksella, eli hajotetusta keräyspaperista poistetaan täyteaineet ja painomuste pesusiistauksella, entsyymaattisella siistauksella tai vaahdottamisella. Myös erilaiset yhdistelmäsiistaukset ovat yleisesti käytössä. [2,22]

Pesusiistauksessa keräyspaperista poistetaan hiukkaset koon perusteella, entsyymaattisessa taas aminohappojen avulla. Näitä menetelmiä ei käytetä Suomessa teollisessa mittakaavassa. [2,20]

Siistauksessa käytetään useita kemikaaleja. Natriumhydroksidia annostellaan 0,5-2,0 %. Natriumhydroksidilla nostetaan pH:ta riittävän korkeaksi. Se myös turvottaa kuituja ja tehostaa painovärien poistoa. Na_2SiO_3 :a lisätään 1-2,5 %. Vesilasi toimii pH-puskurina ja tehostaa painovärien dispergointia. Vetyperoksidia siistaukseen lisätään noin 1 %. Se estää alkalista kellastumista kuiduttimessa ja edesauttaa painovärien irroitusta. Vetyperoksidilla (vaihtoehtoisesti ditioniitilla) myös valkaistaan massaa: 1-2 % vetyperoksidilisäys vaalentaa massaa noin 5 ISO-%. Lisäksi rasvahappoja ja tensidejä käytetään painovärien kerääjinä. Niitä lisätään 0,2-1,0 %. Siistauksessa voi esiintyä myös muita kemikaaleja apuaineina. [20]

Vaahdotus on Suomessa käytetty painovärienpoistomenetelmä. Se tehdään kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe tapahtuu kennoissa, joissa laimeaan (1 %) massasulppuun lisätään saippuaa ja puhalletaan ilmaa. Saippuakupliin

kerääntyy painoväriä, ja kuplat poistetaan ylijuuksuna. Toisessa vaiheessa käsitellään ensimmäisen vaiheen ylijuuksuvahtoa. [2]

Seuraavassa vaiheessa, jälkilajittelussa, poistetaan epäpuhtaudet kolmessa vaiheessa, raskaimmat kappaleet ensin. Jälkilajittelua seuraa sakeutus, jossa massasta poistetaan vettä kiekkosäostimillä ja puristimilla. Sakeutettu massa siirretään levyjauhimiin, joissa painovärijäämät irtoavat kuidun pinnasta ja muodostavat pieniä hippuja, joita paljain silmin ei näe. Tähän muokausvaiheeseen lisätään tarpeen vaatiessa pihkatalkkia, jotteivät jätteet saostuisi uudelleen. Muokkausta seuraa edellisen vaiheen kaltainen jälkivaahdotus, jossa poistetaan loput epäpuhtaudet ja kemikaalijäämät ilman saippuaa. Lopuksi massa sakeutetaan kiekkosäkeuttimillä ja varastoidaan noin 10 % sakeudessa paperikonetta varten. [2,20]

4.3 Uusiomassan ominaisuudet

Uusiopaperin kuidut eroavat neitsytkuidusta ominaisuuksiltaan merkittävästi, joten paperin valmistuksessa se käyttäytyy eri tavalla. Kuivaus on luhistuttanut kuidun seinämät, joten ne turpoavat uusiokäytössä huomommin. Lujuus- ja vaaleusominaisuudet ovat huonohkot, mutta ne paranevat kemikaalien vaikutuksesta. Siistausmassan tavoitevaaleus on noin 60 ISO-%. Siistattavuuteen vaikuttaa mm. keräyspaperin ikä: mitä vanhempi painos on kyseessä, sitä huomommin mustetta saadaan poistettua ja tästä seuraa väriongelmiä. Erityisesti värilliset painovärit ovat ongelmallisia. [2,20]

4.4 Uusiomassa raaka-aineena

Ominaisuuksiensa vuoksi uusiomassan käyttö raaka-aineena on rajallista. Ehkäpä parhaiten uusiomassat sopivat pehmopapereihin, sillä uusiokuiduilla on erityisen hyvä imukyky, eikä vaaleus tuota ongelmia tässä käyttötarkoituksessa. SC-paperissa uusiomassa heikentää painettavuutta ja LWC-paperissa optisia ominaisuuksia. Monikerroskartonkeihin ja flutingiin uusiomassa sen sijaan soveltuu mainiosti, toisaalta elintarvikepakkauksissa käyttö on rajallista ja jopa kiellettyä uusiomassan sisältämien metallien (Cr, Cd, Ni, Pb) vuoksi. Lainsäädäntö on kuitenkin paperin uusiokäytön kannalla, sillä kierrätyspaperia on valtioneuvoston päätöksen mukaan käytettävä pääasiassa raaka-aineena, eikä energianlähteenä. Lisäksi monet kierrätyspaperista valmistetut tuotteet ovat ympäristöystävällisempiä, kuin neitsytkuidusta valmistetut. Tästä osoituksena uusiotuotteissa yleisesti esiintyvä pohjoismainen ympäristömerkki, joutsenmerkki. [2,20,23]

Suomessa uusiomassan pääasialliset käyttökohteet ovat sanomalehtipaperi, kartonki ja pehmopaperi. Useiden jo olemassa olevien käyttökohteiden lisäksi kierrätyskuidun käytöstä aikakausilehtipaperissa on muodostumassa trendi. Myös aikakausilehtikeräyspaperin tuhkan käyttöä täyteaineena on tutkittu. [2,24]

5 KEMIMEKAANISET MASSAT

Kemimekaaniset massat ovat lehtipuista tai kuusesta valmistettua mekaanista, kemikaaleilla käsiteltyä massaa. Tyypillisiä lehtipuulajeja kemimekaanisen massan valmistuksessa on haapa ja poppeli, mutta myös akaasian ja eukalyptuksen käyttöä ollaan aloittamassa. Mekaaninen käsittely heikentää massan lujuusominaisuuksia, sillä kuidut vaurioituvat hionta- ja hierreprosesseissa. Kemiallisen massan saanto taas on huono, noin 45-55 % puulajista riippuen. Kemimekaanisella menetelmällä on mahdollista saavuttaa hyvä saanto ja melko ehjiä kuituja. Valmistusmenetelmät jaotellaan käytettävän kemikaalin mukaan, karkeasti sulfiitti- ja alkaliperoksidiprosesseihin. Erilaisia sovellutuksia on kuitenkin kymmenittäin. Sulfiittiprosesseja ovat esimerkiksi CMP ja CTMP, alkaliperoksidiprosesseja APP ja APMP. [2,8,25,26]

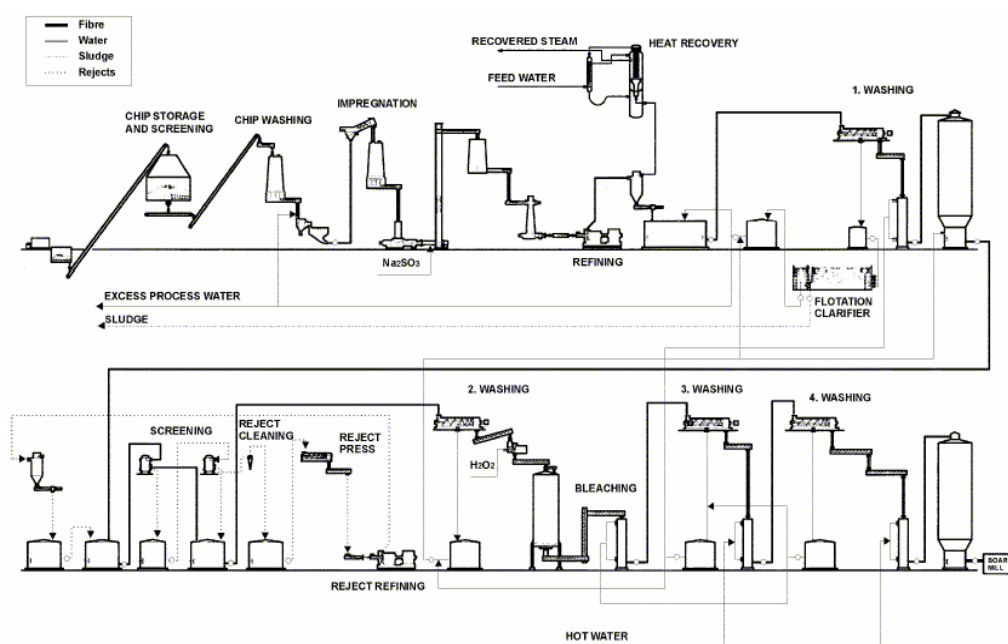
5.1 Kemimekaanisen massan valmistus

Mekaanisen rasituksen vaikutusta kuituihin on mahdollista vähentää kemiallisella menetelmällä ennen hakkeen kuidutusta. Kemiallinen käsittely tapahtuu tyypillisesti kahdessa vaiheessa: kemikaalien imeytyksessä ja keitossa. Imeytyksessä eli impregnoinnissa haketta pidetään 170 °C lämpötilassa 20 minuuttia. Imeytyksen on tapahduttava tasaisesti, jottei massan vaaleus olisi alempi, tikkupitoisuus kasvaisi ja lisäenergiaa kuidutuksessa ei tarvittaisi. [2]

Keittovaiheessa puun kuitujen välisiä sidoksia heikennetään. Tämä perustuu ligniinin ja hemiselluloosan liukenemiseen keittokemikaalien kanssa. Keittokemikaali valmistetaan sulfiittiprosesseissa ammoniakista ja SO₂-vedestä. Alkaliperoksidiprosessin pääkemikaalit ovat vetyperoksidi ja NaOH.

Lämpötila on tyypillisesti 175 °C, paine 8-9 bar, keittoaika 30 minuuttia ja pH:ta säädellään keittoliemen aineosien suhdetta muuntelemalla. [2,26]

Keittovaihetta seuraa hakkeen kuidutus kiekkokuiduttimilla. Kemiallisen käsittelyn ansiosta kuituuntuminen tapahtuu välilamellissa ja primääriseinämässä, joten kuidut säilyvät ehjinä. Kuiduttamisen jälkeen massa pestään suotimilla tai pesupuristimilla, jotta jätevesikuorma pienenee, keittokemikaalit saataisiin pois massasta uudelleenkäytettäviksi ja jotta liennut puuaines saadaan polttoaineeksi. Kuvassa 7 on esitetty CTMP-valmistusprosessin periaate. [2,8]



Kuva 7: CTMP-valmistusprosessin eri vaiheet ja virrat. [27]

5.2 Kemimekaaninen massa raaka-aineena

Kemimekaaninen massa on monikäyttöinen raaka-aine, jonka hienoaine- ja tikkupitoisuudet ovat alhaisia. Havupuusta valmistetun kemimekaanisen massan ominaisuuksia voidaan säädellä muuttamalla

ominaisenergiankulutusta. Lehtipuusta valmistetun kemimekaanisen massan lujuusominaisuudet jäykkyyttä lukuun ottamatta ovat alhaiset lyhyiden kuitujen ja korkean saannon vuoksi. Jäykkyys johtuu massan korkeasta hemiselluloosapitoisuudesta sekä lehtipuulle tyypillisistä lyhyistä ja jäykistä kuiduista. [2,26]

Kemimekaanisten massojen pääasialliset käyttökohteet ovat jäykkyydenparannus kartongeissa (esimerkiksi fluting ja hylsykartongit), jotka voivat sisältää myös uusiomassaa. Muita kemimekaanisen massan käyttökohteita ovat pehmopaperit, revinnäistuotteet ja pienemmässä mittakaavassa painopaperit. Puhtautensa vuoksi kemimekaaniset massat soveltuvat myös elintarvikepakkauksien valmistukseen. [2,6]

6 PAPERIN JA KARTONGIN VALMISTUSPROSESSI

Paperin ja kartongin valmistusprosessissa sekoitetaan valitut ja käsitellyt raaka-aineet vesipitoiseksi seokseksi, levitetään seos perälaatikon avulla tasaiseksi rainaksi viiraosalle sekä lujitetaan sitä vettä poistamalla. Tämän jälkeen veden poistoa jatketaan ensin puristamalla ja sitten haihduttamalla, jolloin saadaan kuivaa tuotetta. Paperi ja kartonki pysyvät koossa lähinnä kuitujen välisillä vetysidoksilla, jotka syntyvät kuivatusvaiheessa noin 70-80 % kuiva-ainepitoisuudessa. [6]

6.1 Rainanmuodostus

Paperikoneen rainanmuodostusosa koostuu perälaatikon syöttöputkistosta, perälaatikosta sekä viiraosasta. Perälaatikon tärkeimmät tehtävät ovat syöttövirtauksen painevaihteluiden tasaaminen, sopivan turbulenssin muodostaminen kuituflokkien estämiseksi sekä tuottaa viiraosalle koko koneen levyinen suihku halutulla sakeudella, suunnalla ja nopeudella. Viiraosan tavoitteet ovat vedenpoisto, hyvä retentio, riittävä kuiva-ainepitoisuus puristimelle siirryttäessä sekä hydrodynaamisten voimien aiheuttaminen flokkien hajottamiseksi ja estämiseksi. Sulppu syötetään viiralle noin 0,2-1,2 % sakeudessa. Viiraosan jälkeen sakeus on noin 15-20 %. [6,8]

Rainanmuodostus vaikuttaa moneen lopputuotteen rakenneominaisuuteen, kuten formaatioon ja orientaatioon. Rainanmuodostuksessa saadut kuitujen ja muiden raaka-aineiden jakaumat vaikuttavat merkittävästi syntyvien vetysidosten lujuuteen. [6,8]

6.2 Puristinosa

Puristinosan tärkein tehtävä on poistaa rainasta mahdollisimman paljon vettä ja samalla tiivistää sitä. Puristimella pyritään saamaan tarpeeksi suuri märkälujuus, jotta rainan siirto kuivatusosalle onnistuu ilman ratakatkoja. Tiivistyminen mahdollistaa lujien kuitujen välisten sidosten muodostumisen rainaa kuivattaessa. [6]

Märkäpuristus tapahtuu aina joko puristinhuovan ja sileän telan tai kahden puristinhuovan välissä. Puristettaessa rainan tilavuus pienenee, jolloin vedelle ei jää enää tilaa vaan se poistuu huopaan. Puristinosan jälkeen kuiva-ainepitoisuus on lajista riippuen noin 35-50 %. Märkäpuristus vaikuttaa oleellisesti paperin ominaisuuksiin, kuten hienoainejakaumaan, pölyävyyteen, kosteuteen ja kosteusprofiileihin, huokoisuuteen, bulkkiin sekä sileyteen ja sen symmetriaan. Puristingeometria, huovat, viivapaineyhdistelmät sekä telat ja niiden pinnoitteet valitaan sopiviksi valmistettavan lajin ja ajonopeuden mukaan. [6,8]

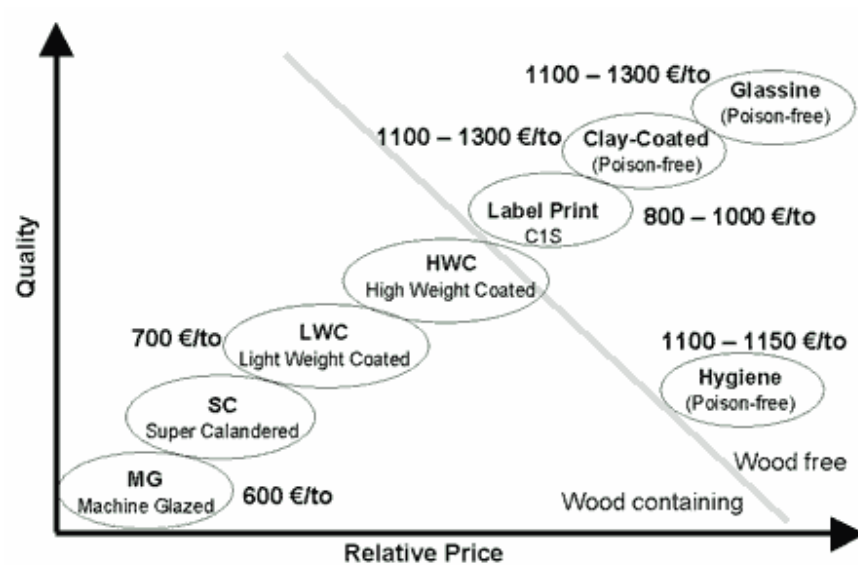
6.3 Kuivatusosa

Kuivatusosan tehtävä on poistaa vettä haihuttamalla rainaa tasaisesti, taloudellisesti tehokkaasti laatua huonontamatta. Kosteus poistetaan rainasta lämmitettyjen sylintereiden avulla. Kuivatussylinterin ja rainan kosketuksen aikana lämpötila rainassa nousee, jolloin vettä haihtuu kuivatuskudokseen ja sen läpi. Päälllystystä varten paperin kosteus säädetään yleensä 2-4 %:iin ja pintaliimatuille 1,5-3 %:n tasolle. [6,8]

Kuivatuksella voidaan vaikuttaa esimerkiksi kosteuden poikkiprofiilin, pituussuuntaiseen kosteusprofiilin, pinnan ominaisuuksiin kuten sileyten ja karheuteen, venymään, vaaleuteen sekä veto- ja repäisyjuuteen.

7 PAPERILAADUT

Paperilaadut voidaan jakaa karkeasti paino-, pakkaus-, pehmo- ja erikoispapereihin. Jokaiselta paperilajilta edellytetään eri ominaisuuksia. Paperilajien hinnat vaihtelevat suuresti (kuva 8).



Kuva 8: Eri paperilaatujen (puupitoiset ja puuvapaat) hintoja. Laadun kasvattaminen nostaa hintoja, poikkeuksena kuitenkin hygieniapaperin korkea hinta. [3]

7.1 Aikakauslehtipaperi

Pääasialliset aikakauslehtipaperilaadut ovat SC, LWC ja MFC. MFC on mekaanisesta massasta valmistettua, konepäällystettyä paperia. Pintaominaisuuksiltaan se on mattaviimeisteltyä; siihen on lisätty täyteaineita parantamaan vaaleutta ja opasiteettia. Värientoistoltaan se ei vastaa korkealaatuisten aikakauslehtien tarvetta, mutta on halpuutensa vuoksi yleisesti käytetty paperilaji. MFC-paperia käytetään mm. offset-painatuksessa ja arkkipainokoneissa.[8]

SC-paperi on superkalanteroitua, kiillotettua mekaanisesta massasta valmistettua päällystämätöntä paperia. Sitä käytetään suurilevikkisten aikakauslehtien paperina, jotka ovat syväpainettuja, mutta myös eräissä sanomalehdissä. Suomessa monet suurilevikkiset lehdet, kuten *Apu* ja *Suomen kuvalehti*, ovat valmistettu SC-laadusta.

LWC-laatu on pääasiassa hiokkeesta valmistettua kevyesti päällystettyä paperia. Sitä käytetään MFC-laadun tapaan offset- ja arkkipainokoneissa. Suurin volyymeihin LWC:tä ei yleensä käytetä. [8,28,29]

7.2 Kopio- ja toimistopaperi

Kopio- ja toimistopaperi (UWF, WFU) on kopiokoneissa ja tulostimissa käytettyä keskitasoista paperia, jonka tärkeimmät ominaisuudet ovat ajettavuus, läpinäkyväisyys ja väriaineen tarttuvuus. Kriittinen ominaisuus kopio- ja toimistopapereilla on bulkki, koska se tuo mukanaan opasiteettia ja jäykkyyttä, jota tarvitaan kopiokoneella. Optisten kirkasteiden avulla haetaan sinertävyyttä ja vaaleutta. Väriaineita tuotettaessa lisäaineeksi lisätään värikomponenttia.

UWF valmistetaan valkaistusta sulfaattimassasta. Lehtipuumassaa se sisältää 70-80 %, loput massasta on valmistettu havupuista. Suurta lehtipuumassan osuutta selittää sen antamat hyvät optiset ominaisuudet. UWF:n painosta noin viidennes on täyteainetta, tyypillisesti kalsiumkarbonaattia. Side- ja liima-aineita on muutaman prosentin luokkaa. Liima-aineista tavallisin on tärkkelys. [8,30]

7.3 Sanomalehtipaperi

Sanomalehtipaperi (eli newsprint) on tavallisesti kuusihierteestä ja uusiomassasta valmistettua paperia, johon on lisätty armeeraussellua. Pohjoismaissa kierrätyskuidun osuus on kuitenkin pieni ja raaka-aineena käytetään lähinnä neitsytkuitua. Suomessa kierrätyskuitua käytetään sanomalehtipaperin valmistamiseen UPM:n Kaipolan tehtaalla. [2,8]

Newsprint on matalahintaista ja –laatuista. Sen neliömassa on matalampi (n. 40 g/m²) kuin kopiopapereilla, ja sitä nostetaan täyteaineilla. Puupitoisuus aiheuttaa sanomalehtipaperin kellastumista. [2,8]

Newsprint-laadun tärkeimmät ominaisuudet ovat hyvä painettavuus ja ajettavuus painokoneilla. Painotalot myös vaativat standardoitua ja tasalaatuista tuotetta, jonka ominaisuudet eivät muutu. Muuten tätä laatua kohtaan ei ole yleensä lyhyestä käyttöiästä johtuen suurempia vaatimuksia.[2,8]

7.4 Hienopaperit

Hienopaperit ovat pääasiassa selluloosasta valmistettuja hyvälaatuisia papereita, kuten taidepapereita (WFC, CWF). Selluloosan ansiosta hienopaperien vetolujuus ja vaaleus ovat korkeita. Mekaanisen massan osuus hienopapereissa on alle 10 %. Täyteaineena optisia ominaisuuksia parantamaan käytetään esimerkiksi PCC:tä. Täyteainelisäyksen haittana on repäisyjuuden aleneminen. [8,29,31]

7.5 Pehmopaperit

Pehmopaperit ovat tyypillisimmin 1-3 kerroksisia hygieniapapereita, joita valmistetaan mekaanisesta massasta, valkaistusta kemiallisesta massasta, uusiomassasta tai näiden yhdistelmistä. Tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu hyvä imukyky ja vetolujuus. Uusiomassan käyttö ei huononna pehmopaperien käytettävyyttä hyvän imukykyensä ansiosta. Suomessa pehmopapereita tuotetaan 200 000 t vuodessa kahdella tehtaalla. [2,32]

7.6 Pakkausmateriaalit

Pakkausmateriaalit voidaan luokitella pakkauspapereihin, kotelokartonkeihin ja aaltopahviin. Pakkauspapereita on useita eri tyyppisiä. Säkkipaperi on havusellusta valmistettua, valkaistua tai valkaisuamatonta, vahvaa paperia, joka saattaa olla märkälujaliimattua ja päällystettyä. Säkkipaperin on oltava lujaa ja päällystyskelpoista. Lisäksi on olemassa erilaisia rasva- ja kaasutiiviitä erikoispapereita, jotka on valmistettu jauhetusta sellusta ja käsitelty esimerkiksi kalanterilla tai laminoinnilla haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. [3,8]

Kotelokartongit koostuvat useista kerroksista. Ne voivat sisältää sellua, kemimekaanista massaa ja mekaanista massaa. Ominaisuudet vaihtelevat tarpeen mukaan; tyypillisiä vaatimuksia ovat taivutusjäykkyys, sileyys, hygienia ja painettavuus. Erityisesti elintarvikepakkauksissa hygienia korostuu lainsäädännön vuoksi. [3]

Aaltopahviin käytettyjä kartonkilajeja ovat esimerkiksi valkaisuamattomasta sellusta valmistettu kraftliner, joka on luja ja tiivis laatu, sekä fluting, mikä koostuu kierrätetystä aaltopahvista valmistetusta uusiomassasta ja

puolikemiallisesta sellusta. Muita laatuja ovat esim. siistatusta uusiomassasta valmistettu testliner ja valkaistusta sellusta tehty kartonki. Aaltopahvin tärkein ominaisuus on lujuus, jäykkyys sen sijaan on tärkeää, muttei kriittistä. Aallot antavat kartongille hyvän kantavuuden aaltojen suunnassa. [3,8]

8 PAPERIN OPTISET OMINAISUUDET

Paperin optiset ominaisuudet kuvaavat paperin vuorovaikutusta valon kanssa ja määräävät paperin ulkonäön. Paperin optisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi vaaleus, läpinäkymättömyys eli opasiteetti, väri ja kiilto.

Paperilla on monimutkainen verkostorakenne, jonka vuoksi sillä tapahtuu paljon heijastumista, taittumista ja absorptiota. Fysiikassa heijastuminen ja taittuminen kuvaavat juuri valon ja aineen vuorovaikutusta. Heijastuminen ja taittuminen aiheuttavat valon poikkeamaa alkuperäisestä suunnasta ja tätä kutsutaan valonsironnaksi tai hajaheijastumiseksi. Valon absorptio havaitaan paperin värinä. Taittumista kuvaava taitekerroin sekä absorptio ovat riippuvaisia aallonpituudesta. [3,8]

Hajaheijastusluku R on materiaalin pinnasta heijastunut säteilyteho verrattuna ideaalisesti heijastavasta pinnasta heijastuneeseen säteilytehoon. Ominaisheijastusluku R_{∞} on puolestaan niin paksun materiaalikerroksen heijastusluku, että heijastusluku pysyy vakiona, vaikka kerroksen paksuutta lisättäisiin. Yksittäisen arkin heijastusluku (R_0) mitataan arkista mustaa taustaa vasten. [3]

8.1 Vaaleus

Yleisimmin käytetty vaaleuden tunnusluku on ISO-vaaleus (Brightness). Se on ominaisheijastusluku R_{∞} mitattuna valolla, jonka aallonpituus on 457 nm mittausgeometrialla D/o.

Vaaleutta voidaan mitata myös Y-arvolla (Lightness). Se on ominaisheijastusluku R_{∞} mitattuna valolla, jonka intensiteettijakauma vastaa silmän spektraalista herkkyyttä.

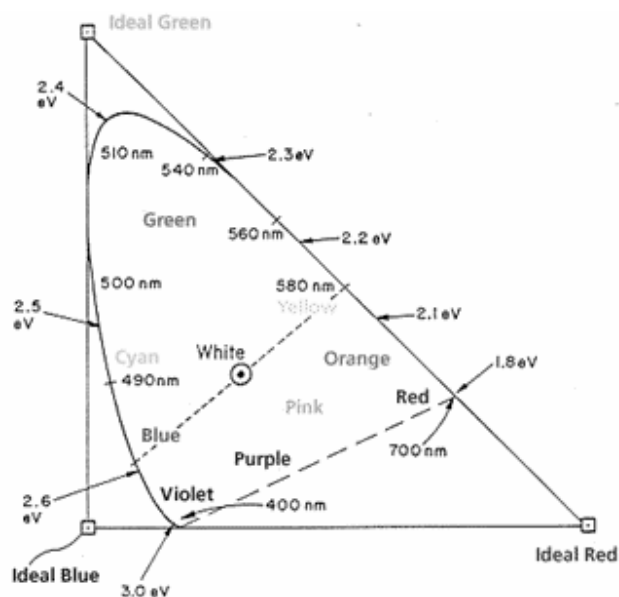
Vaaleudesta puhuttaessa voidaan puhua myös valkoisuudesta (Whiteness) eli kuinka lähellä valonlähdettä heijastuneen valon väri on. Se kuvaa lähinnä värisävyä. [3,33]

8.2 Opasiteetti

Opasiteetti on läpinäkymättömyyden tunnusluku, joka määritetään yleensä R_0 :n ja R_{∞} :n suhteena (prosentteina). Mitä korkeampi opasiteetti on, sitä vähemmän paperi kuultaa läpi. Liian huono opasiteetti huonontaa luettavuutta, sillä läpipainatus lisääntyy. Opasiteettia voidaan parantaa esimerkiksi jauhatuksella ja oikeilla täyteainevalinnoilla. Opasiteetti kasvaa neliömassan kasvaessa. [6,8,33]

8.3 Väri

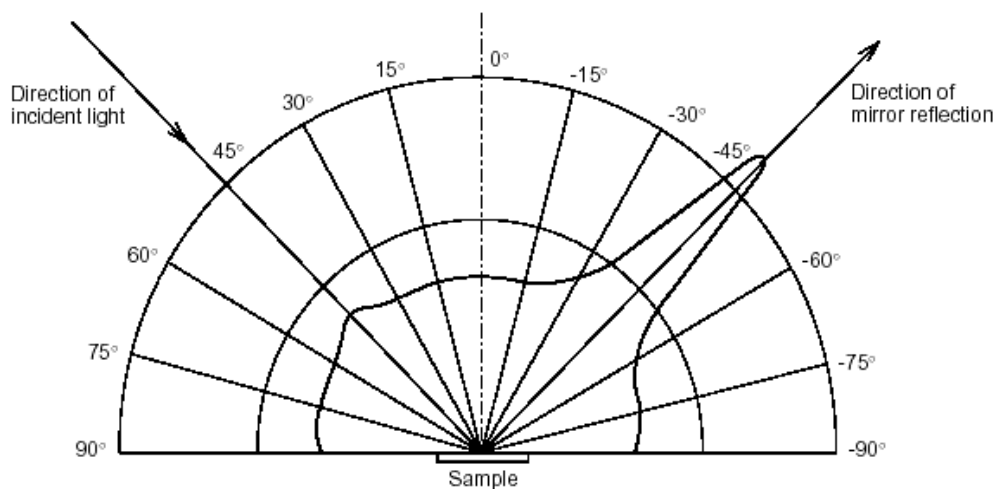
Se, minkä väriseltä paperi näyttää riippuu valon intensiteettijakaumasta, silmän herkkyydestä heijastuneen valon eri aallonpituuksien intensiteeteille sekä paperin kyvystä heijastaa ja absorboida eri aallonpituista valoa. Paperin väri määritellään kolmea eri väriä koskevien ominaisheijastuslukujen avulla. Paperin tarkan värin tulkitsemiseksi voidaan käyttää värikoordinaatistoja, joita ovat mm. C.I.E. ja L^*,a^*,b^* -värikoordinaatistot. Kuvassa 9 on CIE-värikoordinaatisto [3]



Kuva 9: CIE-värikoordinaatisto. Kolmion sisällä oleva kaari erottaa näkyvän valon alueen. [34]

8.4 Kiilto

Paperin kiilto (kuva 10) määritellään vertaamalla kiiltokomponentin intensiteettiä standardipinnan kiiltokomponenttiin. Paperin kiilto ei ole tavoite sinänsä, sillä luettavassa tekstissä kiilto on lähinnä haittana. Toisaalta tavoite on pyrkiä saavuttamaan painojäljelle ja erityisesti monivärikuvulle korkea kiilto, sillä se syventää värivaikutelmaa. Paperin kiilto kertoo että pinta on sileä, jolloin tasainen ja korkeakiiltoinen värikerros voidaan saavuttaa. Paperin suuri kiilto ei kuitenkaan aina takaa hyvää painoväri kiiltoa. Jos paperi on liian imukykyinen, painoväri absorboituu paperin sisään, jolloin pinnasta ei tule kiiltävää. Paperin kiillolla on merkittävä vaikutus painojäljen tummuusarvoon eli densiteettiin. [8]



Kuva 10: Paperinäytteen kiillon mittaamisperiaate. [3]

8.5 Valonsirontakerroin

Valonsirontakerroin kertoo opasiteettia parantavien, valoa takaisinpäin sirottavien pintojen määrän paperissa. Valoa sirottavia pintoja ovat esimerkiksi kuitu-ilma-rajapinnat ja hienojakoinen täyteainepartikkeliaines. Valonsirontakertoimen yksikkönä on m^2/kg . [35]

9 OPTISIIN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAMINEN

Optisten ominaisuuksien kannalta tärkein jae mekaanisessa massassa on hienoaine, jolla on suuri ominaispinta-ala ja sen takia hyvä valonsirontakyky. Jauhettaessa mekaanista massaa, syntyy hienoainetta, joka sisältää ligniiniä, jolla on sitoutuvaa pinta-alaa vähentävä vaikutus. Tämän vuoksi mekaaninen massa on luonteeltaan heterogeenisempää kuin kemiallinen massa; valoa sirottavia rajapintoja on enemmän. Tästä syystä mekaanisella massalla saavutetaan hyvät optiset ominaisuudet. [36,37]

Sellun jauhatuksessa syntyvä hienoaine sitoutumiskykyistä, joten kemiallisesta massasta valmistettu paperi on melko homogeenistä. Rajapintoja on vähän, joten optiset ominaisuudet ovat huonommat kuin mekaanisella massalla. [36,37]

9.1 Vaaleuden parantaminen

Useimmissa lopputuotteissa vaaleus on tärkeä tekijä, erityisesti painopapereissa. Painetussa kuvassa korkea vaaleus on tärkeä visuaalisen kontrasti-efektin tekijä eli kontrasti painetun tekstin ja taustan välillä tulee olla riittävä. Paperin vaaleus on myös merkittävä tekijä kuvan sävyjen toteutumisessa. [3]

Massaseoksessa voimakkaasti jauhettu mekaaninen massa vaikuttaa suhteessa sellua enemmän loppuvaaleuteen. Tämä johtuu mekaanisen massan korkeammasta valonsironnasta eli sellusta valmistettu paperi on läpinäkyvämpää sen homogeenisemmän luonteen johdosta. [3]

9.1.1 Mekaanisen massan valkaisu

Mekaanisen massan valkaisu on merkittävä prosessi lopputuotteen vaaleuden kannalta, sillä massa ei aina ole niin vaaleaa kuin lopputuote vaatii. Mekaanisen massan valkaisussa muutetaan ligniinin värilliset kromoforiyhdisteet värittömiksi yhdisteiksi. Valkaisulla ISO-vaaleutta nostetaan tavallisesti noin 10-20 %. [2,3]

9.1.2 Optiset kirkasteet ja sävytysvärit

Paperin vaaleuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi optisilla kirkasteilla ja sävytysväreillä. Väriaineet absorboivat tiettyjä aallonpituuksia. Esimerkiksi sininen väri absorboi keltaista valoa. Etenkin mekaanista massaa sisältävien paperien väri on kellertävä, joten lisättäessä sinistä väriä, paperi näyttää vaaleammalta.

Optiset kirkasteet fluoresoivat sinistä. Ominaista niille on että ne absorboivat näkymätöntä UV-säteilyä vapauttaen absorboitunutta energiaa sinisenä valona. Toisin sanoen auringonvalosta suodattunut ultravioletti valo poistetaan uudelleen heikosti sinertävällä fluorisoinnilla, jolloin tuote näyttää vaaleammalta. Optiset kirkasteet voidaan lisätä joko massaan, pintaliimaan tai päällystepastaan. [6,38,39,40]

Massaan lisättäessä optisten kirkasteiden toimintaan vaikuttavat lähtövaaleus, pH, liimaus sekä massan määrä ja tyyppi. Jo hyvin lyhyt kontaktiaika (30-60 s) on riittävä tehokkaalle toiminnalle. Kontaktiajan pidentäminen parantaa kuitenkin lopputulosta. [6]

Kun tavoitellaan huomattavaa valkoisuuden lisäystä, on lisäys pintaliimaan tehokas menetelmä ja sitä voidaan vielä tehostaa CMC:n

(karboksimeetyliselluloosa) tai PVA:n (polyvinyylialkoholi) lisäyksellä. Menetelmää käytetään usein valmistettaessa päällystämättömiä puuvapaita paperilajeja. Edullinen tapa valmistaa ns. keskivaaleuspapereita on yhdistetty käyttö, jossa optiset kirkasteet lisätään sekä massaan että pintaliimaan. [33]

Optiset kirkasteet voidaan lisätä myös päällystepastaan tai yhdistettynä massaan ja päällystepastaan. Distyryylibifenyyliipohjainen kirkaste on erittäin tehokas päällystepastoissa. Kirkasteiden tehoon vaikuttavat eniten erityyppiset apusideaineet sekä niiden lisäysmäärät. Myös pigmentit ja sideaineet vaikuttavat niiden tehokkuuteen. Kuten pintaliimaan lisäyksellä, myös päällystepastaan lisättäessä tehokkuutta voidaan parantaa CMC:llä tai PVA:lla. [6]

Optisia kirkasteita ei annostella rajattomasti, sillä liian suuri käyttö johtaa paperin vihertymiseen ja lopulta vaaleuden laskuun. Ne toimivat paremmin mekaanisen massan kuin kemiallisen massan kanssa. [6]

Optisten kirkasteiden haittapuoli on huono biologinen hajoavuus. Lisäksi niillä on taipumus reagoida helposti ulkoisten epäpuhtauksien kanssa, joten suuri puhtaus on niiden käytön perusedellytys. [6]

Yleisimmät paperinvalmistuksen yhteydessä käytettävät optiset kirkasteet ovat diaminostilbeenidisulfonihapon johdannaisia. Niiden on todettu kiinnittyvän parhaiten kuituihin. [3,6]

Sävytysväreillä saadaan paperiin haluttu värisävy. Värjäyksen tavoitteena on saada valkoiselta vaikuttavaa paperia, mutta todellisuudessa paperin vaaleus laskee. Väri lisätään massan joukkoon hyvin laimeana liuoksena (0,1-1%). Esimerkiksi amerikkalaisiin valkoisiin papereihin lisätään keltaista ja eurooppalaisiin sinistä sävytysväriä. [8]

9.2 Opasiteetin parantaminen

Opasiteetin kannalta merkittävimpiä yksityiskohtia paperin valmistuksessa on paperin kuituraaka-aineen koostumus, paksuus sekä täyteaineen määrä ja laatu. Runsaasti hienoainesta sisältävä rajusti jauhatettu mekaaninen massalaji antaa parhaimman opasiteetin. Päinvastaisesti kemiallisen massan opasiteetti kärsii voimakkaasta jauhatuksesta. Täyteainelisäyksellä opasiteettia voidaan myös parantaa, mutta haittapuolena on lujuusominaisuuksien, eritoten repäisylujuuden, heikentyminen. [8,33,40]

Liukkonen et al. tekemän tutkimuksen mukaan paras opasiteetti on saavutettavissa nopeakasvuisia lyhytkuituja sisältävällä massalla. Lyhytkuituisten mekaanisten massojen valmistaminen kuluttaa kuitenkin enemmän energiaa kuin pitkäkuituisen massan valmistus. [40]

9.3 Valonsirontakerroimen parantaminen

Koska valonsironta johtuu valon taittumisesta eri aineiden rajapinnoissa, vetolujuuden kasvattaminen rajulla jauhatuksella heikentää valonsirontakerrointa. Tämä johtuu sirottavan pinta-alan vähenemisestä, sillä jauhatus parantaa kuitujen sitoutumiskykyä. Täyteainelisäys parantaa valonsirontaa, mutta tyypillisesti heikentää lujuusominaisuuksia. [37]

Märkäpuristusta vähentämällä voidaan myös parantaa valonsirontakerrointa. Märkäpuristuksen ansiosta paperissa muodostuu helpommin sidoksia kuivatusosalla. Tämä vähentää rajapintojen määrää, joten märkäpuristuksen vähentämisellä voidaan parantaa paperin valonsirontakerrointa. [37]

Valonsirontakerrointa voidaan parantaa myös hienoainelisäyksellä, esimerkiksi sekoittamalla kemiallisen ja mekaanisen massan hienoaineita

keskenään ja käyttämällä prosessissa kationista tärkkelystä, joka Retulainen et al. tekemän tutkimuksen mukaan johtaa parhaimpiin tuloksiin. [33, 41]

9.4 Kiillon parantaminen

Keskeisin keino parantaa kiiltoa on kalanterointi, mutta myös eräillä täyteainepigmenteillä on kiiltoa parantava vaikutus. Esimerkiksi päällystämättömään SC-paperiin lisätään kaoliinia ja PCC:tä tarpeeksi kiiltävän lopputuotteen saamiseksi. Suontaustan et al. tutkimuksen mukaan kalanteroinnissa eniten kiiltoon vaikuttava tekijä on vaaleutta heikentävä kalanterointilämpötila. [8,42]

10 PAPERIN LUJUUSOMINAISUUDET

Reologiset ominaisuudet kuvaavat paperin käyttäytymistä voimavaikutusten alaisena. Kuormitettaessa paperia vetolujuuskokeessa se venyy ja sen jälkeen venymä palautuu ainakin osittain, joten paperi on viskoelastinen materiaali. [3]

10.1 Vetolujuus ja murtovenymä

Kun vetolujuuskoetta jatketaan eli jännitystä lisätään, jossakin vaiheessa paperiliuska katkeaa. Silloin voidaan todeta paperin lujuutta kuvaavat ominaisuudet eli vetolujuus ja murtovenymä. Vetolujuus kuvaa siis suurinta kuormitusta, jonka paperi tai kartonki kykenee kestämään murtumatta sitä pinnan suunnassa vedettäessä. Murtovenymä on alkavaan murtumiseen venytetyn testikappaleen pituuden muutos. Kuituaineen orientoituneisuudesta johtuen vetolujuus ja kimmokerroin ovat suurempia konesuunnassa kuin poikkisuunnassa, kun taas murtovenymä on yleensä suurempi poikkisuunnassa. [3,6]

Paperin käyttäytymistä vetolujuuskokeessa kuvataan jännitys-venymäriippuvuudella. Se ei ole miltään osin lineaarinen ja sen kulmakerroin nollassa on paperin kimmokerroin. [8]

10.2 Repäisylujuus

Repäisylujuus kuvaa tietyn mittaisen repeämän tekemiseksi tarvittavaa työtä. Kun paperia repäistään, havaitaan että osa kuiduista on tullut vedetyksi ehjinä ulos ja osa on katkennut. Repäisyyn tarvittava työ voidaan jakaa siis näihin kahteen komponenttiin. Repäisylujuuden kannalta kuitupituus ja -lujuus ovat merkittävässä asemassa. Myös ulosvetämistä vastustavalla kitkalla on vaikutusta repäisylujuuteen. [3,6]

10.3 Jäykkyys

Jäykkyys on elastisuuden määrää kuvaava ominaisuus ja papereilla puhutaan yleensä taivutusjäykkyydestä. Kun paperin jäykkyyttä testataan, paperia tai kartonkia taivutetaan ja mitataan siihen tarvittu työ. Jäykkyys voidaan myös laskea kertomalla keskenään kimmokerroin, paperin paksuus ja liuskan leveyden kolmas potenssi. [3,6,33]

10.4 Puhkaisulujuus

Puhkaisulujuus on maksimiarvo käytetylle hydrauliselle paineelle, jonka paperi kestää rikkoutumatta. Puhkaisulujuus määräytyy testikappaleen pienimmän murtovenymän mukaan, joka on yleensä konesuunnassa. Puhkaisulujuus riippuu siis konesuunnan vetolujuudesta ja venymästä. [3,6]

10.5 Taittelujuus

Taittelujuus kuvaa paperin kestävyyttä lehtiä selattaessa. Taitteluku on edestakaisen kaksoistaittojen lukumäärä, joka tarvitaan murtamaan paperi tietyn vetokuormituksen alaisena. Taittelujuus määritetään taitteluvun 10-kertaisena logaritmina. [6]

10.6 Palstautumislujuus

Palstautumislujuus on se työ paperin tai kartongin pinta-alayksikkö kohti, jolla näytepala palstautuu tai halkeaa vetokuormituksen vaikuttaessa pinnan suuntaisena tai sitä vastaan kohtisuorassa. Käytännössä palstautumislujuuteen törmää esimerkiksi tapetinpoistossa, jossa vanhan tapetin pohjakerros jää seinään siististi, ja pintakerros irtoaa.[6]

10.7 Pintalujuus

Paperin pintalujuudella tarkoitetaan sen pintakerroksen kykyä kestää rasitusta, joka aiheutuu tahmeista painoväreistä. Rasituksen vaikutuksesta paperista voi nousta yksittäisiä kuituja, irtautua kuitukimppuja tai pintakerros. Nämä voivat aiheuttaa painoväriin epätasaista siirtymistä arkille. [8]

10.8 Karheus ja sileyys

Karheutta tai sileyttä määritetään Bendtsenin laitteella, jolla mitataan paperin läpi kulkevan ilmavirran määrää yksiköllä ml/min. Karheus parantaa lujuusominaisuuksia, mutta sileydellä saadaan paperille hyvä kuvantoistokyky. Paperiteollisuudessa optimin löytäminen onkin keskeistä, jotta kaikki laatuvaatimukset täytettäisiin. [6]

10.9 Märkälujuus

Märkälujuutta mitataan yleisimmin märän arkin vetolujuutena. Märkälujuuden ollessa suurempi kuin 15 % kuivalujuudesta, on kyseessä märkäluja paperi. Märkälujuus on ominaisuus, jota tarvitaan jo paperin valmistuksessa; rainan on oltava märkälujaa, jotta raina ei katkea sen siirtyessä paperikoneen kuivatusosalle. [6,8]

11 LUJUUSOMINAISUUKSIEN PARANTAMINEN

Lujuusominaisuuksia voidaan parantaa esimerkiksi liimauksilla, mutta myös muilla menetelmillä, joita on mainittu alla olevien lujuusominaisuuden kuvauksen yhteydessä. Tietyn ominaisuuden parantamisella saattaa olla toista ominaisuutta heikentävä vaikutus; yksiselitteistä parannuskeinoa ei siis ole olemassa.

11.1 Vetolujuuden ja murtovenymän parantaminen

Hyvän vetolujuuden saavuttaminen on tärkeää esimerkiksi painatuksen ratakatkojen eliminoimiseksi. Vetolujuutta voidaan parantaa lisäämällä mekaanisen massan jauhatusta, jolloin syntyy sitoutumiskykyistä hienoainetta. Myös kemiallisen massan lisäys ja paperin pintaliimaus parantavat vetolujuutta. [8]

Murtovenymää voidaan parantaa vähän jauhetulla sellulla. Yleensä vetolujuuden kasvattaminen heikentää venymäominaisuuksia. Toisaalta myös paperin kosteudella on vaikutusta murtovenymään. [6]

11.2 Repäisylujuuden parantaminen

Repäisylujuutta vaaditaan esimerkiksi paino- ja pakkauspapereilta. Kuten aiemmin todettiin, repäisylujuus juontaa juurensa kuitupituuteen ja -lujuuteen. Sitä voidaan parantaa kemiallisen massan hienoaineella, joka vahvistaa kuitujen välisiä sidoksia. Retulaisen et al. Tutkimuksen mukaan paras lopputulos on saavutettavissa käyttämällä kationista tärkkelystä. [6]

11.3 Jäykkyyden parantaminen

Jäykkyys on kartongeille erityisen tärkeä ominaisuus. Siihen voidaan vaikuttaa kasvattamalla liuskan leveyttä, paksuutta ja kimmokerrointa. Myös kerrosmainen rakenne parantaa jäykkyyttä. Painopaperien jäykkyys on peräisin neliömassasta. Esimerkiksi tulostuspapereissa jäykkyyttä tarvitaan hyvän ajettavuuden saavuttamiseksi. Kosteus heikentää jäykkyyttä. [3,33]

11.4 Puhkaisulujuuden parantaminen

Puhkaisulujuus on erityisesti pakkausmateriaaleille, kuten voimapaperille. Se riippuu konesuunnan vetolujuudesta ja venymästä, ja on siis parannettavissa esimerkiksi mekaanisen massan voimakkaammalla jauhatuksella, kemiallisella massalla ja pintaliimauksella. [6,8]

11.5 Taittolujuuden parantaminen

Paperin taittolujuuteen vaikuttavat useat tekijät, joista tärkeimmät ovat vetolujuus ja kimmo-ominaisuudet. Kun neliömassaa kasvatetaan, tiettyyn pisteeseen asti taittolujuus kasvaa, jonka jälkeen se alkaa laskea. Hyvää taittolujuutta vaaditaan esim. setelipapereilta, mutta myös kartongeilta. [6]

11.6 Palstautumislujuuden parantaminen

Palstautumislujuutta vaaditaan mm. offset-painatuksessa, aallotettaessa aallotuskartonkia, kartonkia nuutattaessa sekä muovilla päällystettäessä. Palstautumislujuuteen vaikuttavat tekijät ovat massatyyppejä, massatärkkelyksen määrä, paperikoneen formerityyppi, formerin ajoparametrit, märkäpuristus ja lämpötila. [6]

11.7 Pintalujuuden parantaminen

Pintalujuus on painotuotteille tärkeä ominaisuus, jota vaaditaan tahmeiden painovärien käytössä. Mitä tahmeampaa painoväri on, sen suurempaa pintalujuutta vaaditaan. Pintalujuus riippuu pinnan sitoutuneisuudesta ja sitä voidaan parantaa pintaliimaamalla paperi, jossa rainan pintaan tuodaan liimaseos. [6]

11.8 Karheuteen ja sileyteen vaikuttaminen

Paperin karheuteen vaikuttavat massan koostumus, kuitujen asettuminen paperissa ja kalanteroinnin voimakkuus. Karheus parantaa paperin jäykkyyttä ja ajettavuutta, mutta huonontaa kuvantoistoa. Sileyttä voidaan parantaa esimerkiksi täyteaineilla tai hienoaineella. Retulaisen ja Niemisen tutkimuksen mukaan kemiallisen ja mekaanisen massan hienoaineen sekoitus parantaa sileyttä.[6,43]

11.9 Märkälujuuden parantaminen

Sitä voidaan parantaa esimerkiksi märkälujaliimauksella, mutta myös kemikaalikäsittelyllä. Tietyissä erityispaperesissa, kuten teepusseissa, märkälujuutta parannetaan myös erityisen pitkillä kuiduilla, kuten manila-hampulla. Tyypillisesti säkki-, pehmo- ja pakkauspaperit, tapetit ja setelipaperi vaativat hyvää märkälujuutta. [8,44]

Kemikaalikäsittelyistä rikkihappokäsittely on tunnetuin. Tällä menetelmällä valmistettu pergamenttipaperi on myös rasvankestävää. Märkälujuutta lyhytaikaisesti kasvattavia kemikaaleja on polyetyleni-imiini ja dialdehyditärkkelys. [3,8]

12 LIIMAUSOSAPROSESSIT JA NIIDEN VAIKUTUS TUOTTEEN PAPERIN OMINAISUUKSIIN

Paperin liimausmenetelmiä on useita erilaisia ja liimaus voidaan toteuttaa valmistusprosessin eri vaiheissa. Yleisimmät liimat ovat orgaanisia polymeerejä, jotka ovat hyvä kasvualusta erilaisille bakteereille. Tämän vuoksi bakteereita tuhoavan lisäaineen käyttö paperikoneen kiertovedessä on aiheellista..

12.1 Liimausmenetelmät puupitoisille papereille

Paperin valmistuksessa liimaus voidaan tehdä joko pintaliimauksena tai massaliimauksena. Pintaliimauksessa paperin pintaan lisätään kemikaaleja, jotka edistävät kuitujen sitoutumista. Massaliimaus voidaan toteuttaa hydrofobiliimoilla, kuivalujaliimoilla tai märkälujaliimoilla riippuen siitä millaisia ominaisuuksia lopputuotteille halutaan. [6]

12.4.1 Paperin pintaliimaus

Pintaliimauksen tarkoitus on parantaa paperin tai kartongin lujuusominaisuuksia kuten palstautumislujuutta tai pintalujuutta eli pölyävyyttä. Pintaliimauksen tuloksena paperin laadusta saadaan tasaista ja painettavuutta saadaan parannettua. Lisäksi pintaliimauksella vaikutetaan positiivisesti mitanpitävyyteen eli dimensiostabiliteettiin, kiillottuvuuteen sekä kosteusprofiiliin. Pintaliimaus on yleisesti käytetty menetelmä ja sitä käytetään hienopapereille, päällystettäville raakapapereille sekä kartongeille. [6,42,44,45]

Pintaliimauksessa kuitujen välisiä sidoksia lisätään vesiliukoisilla polymeereillä, joista yleisin on tärkkelys. Paperin tulee olla tarpeeksi kuivaa,

jotta se kestää liimauksen ja siksi liimauskoneet on sijoitettu tarpeeksi kauas kuivatusosalle. Liimauksen jälkeen paperi kuivatetaan ja vesi poistuu tärkkelysliuoksesta muodostaen erittäin lujia vetysidoksia tärkkelyksen ja muiden väliaineiden välille. [6,46]

Pintaliimaus suoritetaan tavallisesti paperikoneessa filmiliimapuristimessa ja kartonkikoneessa lammikkoliimapuristimessa. Filmiliinapuristimessa pintaliimafilmi annostellaan urasauvalla nippitelan pinnalle, josta siirto paperin pinnalle tapahtuu telojen välisessä nipissä. Jälkikuivatuksen tarve tällä menetelmällä on vähäisempi. Lammikkoliimapuristinyksikköissä on kaksi pyörivää telaa, joiden väliin liima-aine annostellaan. Paperirata ohjataan lammikon lävitse nippiin, jossa päällysteen puristaminen rataa tapahtuu. Lammikkoliimapuristin antaa kartongille hyvän sisäisen lujuuden, joka johtuu menetelmällä saavutettavasta tärkkelyksen hyvästä tunkeumasta. [6,46]

12.4.2 Paperin massaliimaus

Massaliimaus tehdään paperin valmistuksessa kemiallisena käsittelynä, jonka tarkoitus on tehdä paperi vähemmän vettä imeväksi (hydrofobiliimat), parantaa kuivan paperin lujuutta (kuivalujaliimat) tai parantaa märän paperin lujuutta (märkälujaliimat). Massaliimaus suoritetaan lisäämällä liima-aineet sulpun sekaan ennen perälaatikkoa. Jos näiden retentio kuituun on hyvä, valmiissa paperissa liima-aineet ovat tasaisesti jakautuneina. Massaliimat voidaan jakaa happamissa olosuhteissa käytettäviin hartsiliimoihin ja neutraaleissa ja alkalisissa olosuhteissa käytettäviin neutraaliliimoihin. [8,45,47]

Hydrofobiliimat

Paperi ja kartonki ovat luonnostaan vettä imeviä eli hydrofiilisiä. Ne sitovat vettä ensin pinnalle ja sitten huokosten kautta koko rainan läpi. Vettä imeytyy

neljällä eri mekanismilla, joita ovat painepenetraatio, kapillaariabsorptio sekä veden ja höyryn diffuusiot, joista merkittävimmät ovat kaksi ensimmäistä. Mikäli imeytyminen huokosiin on estetty kovalla hydrofobiliimauksella, paperi kostuu silti hitaasti juuri diffuusion vaikutuksesta. Suuri imukyky on suotavaa vain harvoissa paperilajeissa, joten useimpia paperilajeja valmistettaessa on imukykyä rajoitettava. Etenkin kirjoitus- ja painopaperien sekä pakkausmateriaalien valmistuksessa on yleensä suoritettava liimaus. [8,45,48]

Hydrofobisia komponentteja ovat sekä ligniini että uuteaineet. Rainan luontainen hydrofiilisuus on siis sitä suurempaa mitä vähemmän näitä komponentteja massassa on. Mekaaniset massat on tämän vuoksi hydrofobisempia kuin kemialliset massat. Lisäksi valkaistu sellu on hydrofiilisempää kuin valkaisematon. [8]

Hydrofobiliimaus suoritetaan yleensä massaliimauksena mutta hydrofobiliimaa käytetään yhä enemmän myös pintaliiman seassa. Paperin hydrofobisuutta tarvitaan paperin käsittelyssä tehtaalla, paperin jalostuksessa sekä loppukäytössä. [8]

Kuivalujaliimat

Kuivalujaliimat ovat sideaineita, joilla parannetaan kuituverkostossa olevien raaka-aineiden sitoutumista. Niiden ansiosta siis kuivan paperin lujuusarvot paranevat. Kuidut pystyvät tekemään luontaisesti sidoksia toistensa kanssa mutta erityisesti täyteaineiden sitouttaminen rainaan on tärkeää. Opasiteetin ja jäykkyyden kannalta kuivalujaliimauksen etuna on mahdollisuus lisätä sidoksia ilman että rainan tiheys kasvaa yhtä paljon kuin jauhatuksessa. [8,49]

Kuivalujaliimoina käytetään enimmäkseen luonnosta saatavia liukoisia sideaineita, joista yleisin on tärkkelys. Se pystyy tekemään samanlaisia

vetysidoksia kuituihin kuin kuidut tekevät keskenään. Tärkkelys vaikuttaa hienoaineksen retentioon ja kuitujen sekä täyteaineiden jakautumiseen paperissa, joten paperin laatu riippuu epäsuorasti siitä. Tärkkelys kationisoidaan paremman retention saavuttamiseksi. [8,48]

Taulukkoon 3 on kuvattu massatärkkelyksen vaikutuksia paperin ominaisuuksiin sekä sen valmistusprosessiin.

Taulukko 3. Massatärkkelyksen vaikutuksia paperin valmistusprosessiin ja lopputuotteen ominaisuuksiin.

Ominaisuus	Muutos	Selitys
Veto- ja puhkaisulujuus	Paranee	Lisää sidoksia, parempi hienokuidun retentio
Pintalujuus, pölyämättömyys	Paranee	Lisää sidoksia, parempi hienokuidun retentio
Palstautumislujuus	Paranee merkittävästi	Sidoksia rainan keskelle
Jäykkyys	Paranee hiukan	Lisää sidoksia, paksuus säilyy lähes entisenä
Retentio, tasapuolisuus	Paranee	Kuidut, täyteaineet ja hydrofobi-liimat yleensä anionisia
Formaatio	Huononee hiukan	Flokkaantuminen, veden poisto vaikeutuu
Repäisylujuus	Huononee hiukan	Sidokset eivät aukea vaan kuidut katkeavat
Mittapysyvyys	Huononee hiukan	Suurempi kuivumiskutistuma
Viiraosan vedenpoisto	Huononee	Veden viskositeetti ja rainan vedenpidätyskyky kasvavat
Puristimen jälkeinen kuiva-aine	Alenee	Huovat tukkeutuvat, veden viskositeetti kasvaa
Koneen ajettavuus	Huononee	Ka-pitoisuus laskee, likaantuminen, lima, reiät, määrän pään kemia
Valmistuskustannukset	Yleensä kasvavat	Ka-pitoisuus laskee, tärkkelyksen hinta, käyttö-ongelmat

Kuivalujaliimoja käytetään yleensä puuvapailta papereilla ja kiertokuidusta tehdyillä kartongeilla. [8]

Märkälujaliimat

Märkälujahartsit ovat reaktiivisia ja vesiliukoisia polymeerejä, jotka muodostavat kuitujen väliin verkkomaisia sidoksia, jotka eivät liukene veteen. Tähän perustuu myös märkälujaliimoilla saavutettu märkäljuuden parantuminen. Sidokset muodostuvat ja kypsyvät sekä paperikoneen kuivatusosalla että paperin varastoinnin aikana. Märkälujaliimat ovat myös yleensä kationisoitu paremman retention aikaansaamiseksi. [8,48]

Tärkeimpiä märkälujaliimoja ovat ureaformaldehydi ja melamiiniformaldehydi, joita käytetään happamassa paperin valmistuksessa. Neutraaleissa ja alkalisissa prosesseissa yleisin märkälujaliima on polyamidi-epikloorihydridi. [8]

Märkälujaliiman käyttö vaatii hyllyn pulpperointiin erikoisjärjestelyitä. Pulpperin on oltava tehokas ja höyrylämmityksellä varustettu. Lisäksi tarvitaan kemikaalilisäyksiä. [8]

13 JÄLKIKÄSITTELYN VAIKUTUS PAPERIN OMINAISUUKSIIN

Paperin jälkikäsitteilyllä tarkoitetaan pintaliimausta, pigmentointia, päällystystä, kalanterointia, rullausta, pituusleikkausta ja arkitusta. Optisiin ja reologisiin ominaisuuksiin kolmella viimeisellä vaiheella ei ole vaikutusta, joten ne jätetään käsittelemättä. Pintaliimaus on käsitelty edellisessä luvussa muiden liimausmenetelmien joukossa. [6]

13.1 Kalanterointi

Kalanterointi on jälkikäsitteilyn tärkeä osaprosessi ja viimeinen mahdollisuus vaikuttaa monien paperilajien ominaisuuksiin. Prosessissa paperiraina viedään kahden tai useamman telan muodostaman nippisysteemin läpi, jolloin paperi muokkautuu mekaanisen työn ansiosta. Vierintäkitkalla on myös merkittävä vaikutus kalanteroinnissa; siitä johtuvat leikkaus- ja puristusvoimat saavat aikaan rainan muodonmuutoksen. Kalanteroinnissa tapahtuvia ilmiöitä ovat rainan puristuminen paksuussuunnassa, päällysteen siirtyminen, partikkelin suuntautuminen sekä ns. jäljentyminen, jossa paperi toistaa pintakuvion. Joissakin tapauksissa kalanteroinnilla voidaan saavuttaa erityisominaisuuksia lisäämällä kalanteroinnin yhteydessä rainan pinnalle vettä, liima-aineita, väriä tai muita lisäaineita. Kalanterointia voidaan tehostaa pigmentoinnilla. [3,9,49,50]

Kalanteroinnin hallintasuureita ovat kalanterointipaine, nippien lukumäärä, telojen lämpötila, paperin kosteus, koneen nopeus sekä rainan ominaisuudet. Kalanterointitulokset riippuvat näistä ominaisuuksista. Telojen lämpötilan tulee olla niin korkea, että lämmönsiirtoa rainasta telaan ei tapahdu. Lämpötilan vaikutuksesta päällysteen sideaineet ja kuitujen ligniini plastisoituvat, joka aiheuttaa paperin pinnan sulkeutumisen, silenemisen ja kiillottumisen. Kosteuden lisääminen parantaa sileyttä, pienentää paksuutta, bulkkia, vaaleutta

ja opasiteettia. Liian korkea kosteuspitoisuus voi puolestaan aiheuttaa rainan mustumista. [3]

Kalanterityyppejä ovat mm. konekalanteri, välikalanteri, superkalanteri, softkalanteri ja pitkänippikalanteri. Kalanterointi voidaan suorittaa paperikoneen yhteydessä on-line kalanterilla tai erillisenä prosessina off-line kalanterilla. [6]

Kalanteroinnin tavoitteita ovat karheuden vähentäminen ja kiillon parantaminen, jotta paperin painatus- ja muut jalostusominaisuudet paranisivat. Toinen tärkeä tavoite on säätää paperin paksuus ja opasiteetti halutulle tasolle. Paperin paksuusprofiilin tulee olla mahdollisimman hyvä, sillä rainaan syntyy tiheysvaihteluita erilaisen tiivistymisen vuoksi. Kalanteroinnin avulla paperi voidaan myös pintakuvioida kuvioituilla teloilla. Mitä parempia paino-ominaisuuksia paperilta vaaditaan, sitä sileämmäksi ja kiiltävämmäksi paperi pitää kalanteroida. [3,9]

Vaikka kalanterointi vaikuttaa positiivisesti moniin paperitekniisin ominaisuuksiin, huononevat ajettavuuteen ja käytettävyyteen liittyvät ominaisuudet. Kalanteroinnin vaikutus jäykkyyteen, lujuuteen ja vaaleuteen on myös negatiivinen. Lisäksi kalanterointivaiheen kannalta suuri huokoisuus merkitsee kokoonpuristuvuutta. [3,6]

Taulukkoon 4 on kuvattu superkalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin. [3]

Taulukko 4. Superkalanteroinnin vaikutus eräisiin paperin ominaisuuksiin.

Ominaisuus	Muutos [%]
Kiilto	+500
Karheus	-87
Ilmanläpäisevyys	+350
Öljynabsorptio	-50
Vetoindeksi	+17
Paksuus	-19
Taivutusvaste	-40
Repäisyindeksi	-17
ISO-vaaleus	-6
Opasiteetti	-4
Valonsirontakerroin	-33
Absorptiokerroin	8

Suontausta et al. tutkivat kalanteroinnin vaikutuksia LWC-paperin kiiltoon ja karheuteen. Tutkimuksessa käytettiin vaihtelevaa nippipainetta, lämpötilaa sekä koneen nopeutta, jonka jälkeen tulokset arvioitiin. Tutkimuksen mukaan korkean lämpötilan ja hitaan konenopeuden tuloksena paperin loppukosteus oli alhainen. Kalanterointilämpötilalla havaittiin olevan suurempi vaikutus paperin pinnan ominaisuuksiin kuten kiiltoon, kun taas nippipaine vaikutti enemmän bulkkiin ja karheuteen. Suontaustan et al. tutkimuksessa paras lopputulos painettavuuden kannalta saavutettiin käytettäessä matalaa kalanterointilämpötilaa sekä paperin alhaista kosteuspitoisuutta. Myös paras kiilto saavutettiin kun päällystekerros kuivui alhaisessa kalanterointilämpötilassa. [42,51]

13.2 Pigmenttipäällystys

Pigmenttipäällystyksellä tarkoitetaan paperin pinnan päällystämistä pigmentin (kaoliini, talkki, kalsiumkarbonaatti, titaanidioksidi, alumiinihydroksidi, satiinivalkoinen), sideaineiden (tärkkelys, lateksit, CMC) ja mahdollisten lisäaineiden seoksella. Lisäaineita käytetään estämään vaahdon muodostumista (alkoholit, eetterit) sekä säätämään pH:ta (natriumhydroksidi, ammoniakki) ja viskositeettia (urea, CMC). Lisäaineiden osuus pastasta on kuitenkin häviävän pieni, useimmiten alle 1 %. Pastan kuiva-ainepitoisuus pyritään pitämään korkeana, jotta päällystettyä paperia tarvitsisi energiatehokkuuden vuoksi kuivattaa mahdollisimman vähän. [49,52]

Krogenius et al. ovat tutkineet jätepaperituhkan käyttämistä täyteaineena. Aikakausilehtikeräyspaperi, joka sisälsi 30 % tuhkaa ja jonka ISO-vaaleus oli 75 %, havaittiin newsprint-laadulle hyväksi täyteaineeksi. Tuhkapitoisuus tutkimuksen mukaan voi olla täyteaineen kokonaismassasta 20 %. Tuhkan todettiin myös olevan DIP-massaa parempi vaihtoehto, sillä DIP laskee vetolujuutta ja vaaleutta. Tuhkan ja kaoliinin seos vähentää karheutta. [24]

Pigmenttipäällystyksen tavoitteena on parantaa painettavuusominaisuuksia ja pinnan ulkonäköä. Päällyste voidaan levittää paperin molemmille puolille tai vain toiselle. Jotta tavoiteltu painatuslaatu saavutettaisiin, voidaan paperi päällystää jopa kolme kertaa. Taulukkoon 5 on koottu eri pigmenttien ominaisuuksia. [6,52]

Taulukko 5. Pigmenttien ominaisuuksia ja vaikutuksia paperin ominaisuuksiin

Pigmentti	Ominais-paino, [g/cm ³]	Vaaleus, [%]	Taite-kerroin	Hiukkas-koko, [µm]	Muuta
Kaoliini	2,58	85-92	1,56	< 2	Yleisin, halpa
Kalsium-karbonaatti	2,8	90-97	1,49-1,69	0,3-3	Lisää päällysteen vaaleutta ja huokoisuutta
Titaani-dioksidi	4,05	98-98,5	2,55-2,72	0,2-0,3	Lisää opasiteettia
Satiini-valkoinen	1,55	97-98	Ei vakio	0,2-2	Lisää kiiltoa
Alumiini-hydroksidi	2,42	98-100	1,57	0,2-2	Lisää vaaleutta
Talkki	2,7	86-89	1,57	1-10	Parantaa sileyttä ja tiiveyttä. Hydrofobinen

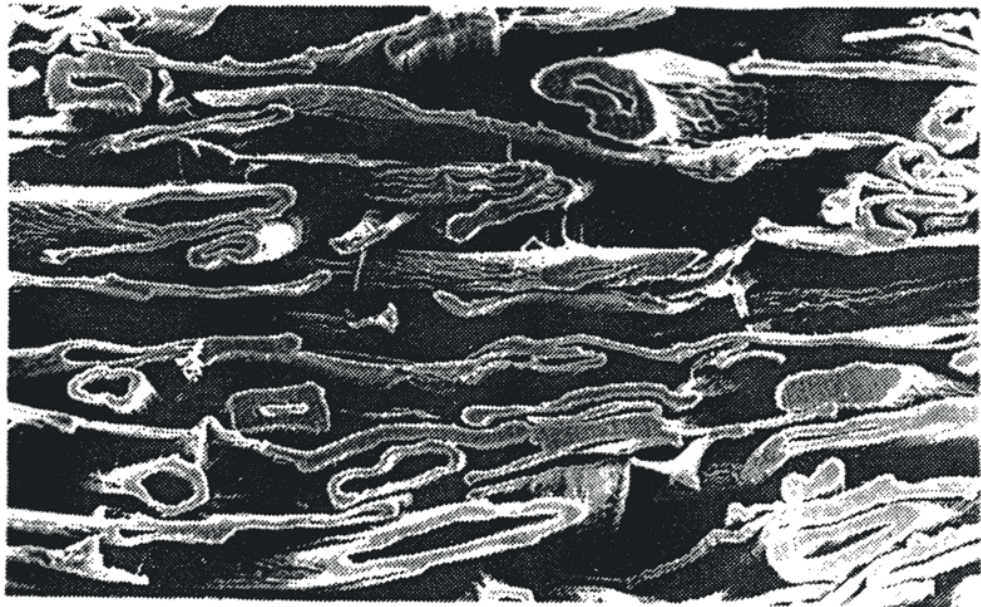
Päällystämättömän paperin pinta on kuoppainen ja siinä on erilaisia huokosia. Hyvää painatustulosta on vaikeaa saavuttaa rosoiselle pinnalle, joten epätasaisuudet on täytettävä osittain tai kokonaan. Tällöin painatuksen värintarve ja värin leviäminen vähenee. Päällystyksellä on mahdollista parantaa paperin vaaleutta ja opasiteettia. Halutessa voidaan parantaa kiiltoa tai luoda mattapinta. Se vaikuttaa myös paperin jäykkyyteen ja silyteen. [6,52]

Päällystys voidaan suorittaa kone- tai erillispäällystyksenä. Tavallisesti kartongit päällystetään paperikoneessa ja ohuet painopaperit erillispäällystyksenä. Pastassa käytetään yleisesti vähintään kahta eri pigmenttiä. Päällystysmenetelmiä on mm. teräpäällystys, jossa paperiradalle syötetyn pastan ylimäärä kaavitaan pois terällä. Muita menetelmiä on ilmarhapäällystys, jossa ilmasuihku poistaa liian pastan ja tasoittaa pinnan, sauvapäällystys, jossa metallisauva poistaa liian päällysteen ja tasoittaa pinnan

sekä telapäälystys, jossa päälystekerros muodostuu paperiradan pinnalle kahden telan välisessä nipissä. Uusia, ns. koskemattomia päälystystekniikoita on spray- ja verhopäälystys. [52]

13.3 Pigmentointi

Pigmentoinnilla tarkoitetaan pintaliimausta, jossa liiman sekaan on lisätty täyteaineita. Täyteaineet parantavat sileyttä täyttämällä paperin huokosia (kuva 11). Tyypillisesti päälystettä lisätään pigmentoinnissa vain 1-2 g/m². Paperin pigmentoinnin on tutkittu vaikuttavan merkittävästi optisiin ja absorptio-ominaisuuksiin. Se myös vähentää tulostuspaperin riippuvuutta karheudesta ja parantaa tulostusjälkeä lisäten tulostuksen tummuutta. [6,51]



Kuva 11. Kuitujen muodostamien tilojen huokosrakennetta.

Huokoisuutta kuvataan enimmäkseen ilmanläpäisevyytenä (yksikkö $\mu\text{m}/\text{Pas}$ tai ml/min) ja se voidaan mitata esimerkiksi Bendtsenin laitteella.

14 YHTEENVETO

Paperin optisiin ja reologisiin ominaisuuksiin vaikuttamiseen todettiin olevan lukuisia eri keinoja aina kuitulajin valinnasta paperin jälkikäsittelymenetelmiin saakka. Taloudellisuuden ja ympäristönäkökohtien merkitys metsäteollisuusyhtiöiden valinnoissa korostui kauttaaltaan paperinvalmistusprosessissa. Uutta ja tehokasta tekniikkaa on saatavilla, mutta korkeat käyttökustannukset hidastavat näiden ratkaisujen leviämistä yleiseen käyttöön. Esimerkkinä mainittakoon mekaanisen massan peroksidivalkaisu. Toisaalta joistakin vanhoista, mutta tehokkaista menetelmistä, kuten alkuainekloorin käytöstä valkaisukemikaalina, on luovuttu ympäristönäkökohtien vuoksi.

Yksikäsitteisiä optisten ja reologisten ominaisuuksien parantajaa ei paperiteollisuudella ole. Asiakkaiden vaatimukset täyttävää paperia valmistetaan lukuisia osaprosesseja käsittävällä menetelmällä. Jokaisella osaprosessilla on oma vaikutuksensa näihin ominaisuuksiin. Usein yhden ominaisuuden parantaminen heikentää toista ominaisuutta. Mikäli joitain tehokkaita vaikutuskeinoja halutaan mainita, massan valkaisu ja täyteaineiden lisäys paperiin on keskeistä optisten ominaisuuksien parantamisen kannalta. Lujuusominaisuuksien parantaminen taas käy näppärästi hienoainelisäyksellä tai armeeraussellun sekoittamisella mekaanisen massan joukkoon.

LÄHDELUETTELO

- [1] Hiokkeen valmistus M-301, *Metsäteollisuuden työnantajaliitto*. (1981).
- [2] Seppälä, M. J. (toim.), Klemetti U., Kortelainen V-A., Lyytikäinen J., Siitonen H. ja Sironen R., *Paperimassan valmistus*, Opetushallitus, Jyväskylä, 2004.
- [3] Manner, H., et al., Paperitekniiikan aineopintojakson luentomateriaali, LTY, 2007.
- [4] Pitkänen, M., Mannström, M., Lumiainen, J., Thickening, storage and post refining, *Mechanical Pulping*, Papermaking Science and Technology, Book 5, Sundholm, J. (toim.), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. 348.
- [5] Applied Processes and Techniques, http://aida.ineris.fr/cadre_rech.htm, viitattu 12.3.2008.
- [6] VTT- tuotteet ja tuotanto, KnowPap-oppimisympäristö 5.0, 2006, LTY:n Intranetissä, vaatii tunnukset.
- [7] Tamper, J., Mangaani mekaanisten massojen peroksidivalkaisussa, diplomityö, LTY, 2003. Abstract.
- [8] Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P., *Paperin ja kartongin valmistus*, Opetushallitus, Jyväskylä, 2006.
- [9] VTT tuotteet ja tuotanto, KnowPulp-oppimisympäristö 5.0, 2006, LTY:n Intranetissä, vaatii tunnukset.
- [10] Murray, W., *Pulp and Paper: The Reduction of Toxic Effluents*, Government of Canada: Science and Technology Division, 1992.
- [11] Kivistö, A., Puunjalostusteollisuuden energiatalous –kurssin luentomateriaali, LTY, 2006.
- [12] Henricson, C., Selluloosatekniiikan perusteet –kurssin luentomateriaali, LTY, 2007.
- [13] Seppälä, R. (toim.), *Suomen metsäklusteri tienhaarassa*, TEKES, 2000.
- [14] Mennola, R., Teknillisen biokemian perusteet –kurssin luentomateriaali, LTY, 2005.
- [15] Gullichsen, J., Fiber line operations, *Chemical Pulping*, Papermaking Science and Technology, Book 6A, Gullichsen, J., Fogelholm, C-J. (toimittajat), Fapet Oy, Jyväskylä, 1999, p. A86-A90.
- [16] Sellu ja puumassa, <http://storaenso.com/CDAvgn/showDocument/0,,1159,00.pdf>, viitattu 16.3.2008.
- [17] Sulfite process, http://aida.ineris.fr/bref/brefpap/bref_pap/english/bref_gb_sulfite_processus.htm, viitattu 16.3.2008.
- [18] Botnia–sanasto, <http://www.metsabotnia.com/default.asp?path=1,67,197>, viitattu 29.3.2008.
- [19] Kassi, T., Globaali metsäteollisuus –kurssin luentomateriaali, LTY, 2005.
- [20] Jernström, A., Suomalaisen kotikeräyspaperin siistattavuus, diplomityö, LTY, 2002.

- [21] Keräyspaperin ja -kartongin synty ja hyödyntäminen, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=17954&lan=fi>, viitattu 17.3.2008.
- [22] Paperinkeräys-yhtiöt, <http://www.paperinkerays.fi/956?id=57>, viitattu 17.3.2008.
- [23] Ympäristömerkit, <http://www.hel2.fi/YMK/julkaisut/oppaat/ympopas/ymparistomerkit.htm>, viitattu 18.3.2008.
- [24] Krogenius, B., Moilanen, A., Sipilä, K., Johansson, A., Use of Waste Paper Ash as Paper Filler, *EUCEPA Conference June 1997: Papier vol. 51, no. 6A*, 1997, Pp. V86-V90.
- [25] Porin kartonkitehdas: tuotanto, <http://www.storaenso.com/CDAvgn/showDocument/0,,1617,00.pdf>, viitattu 23.3.2008.
- [26] Tienvieri, T., Paperin valmistus –kurssin luentomateriaali, LTY, 2008.
- [27] Chemimechanical pulp, http://aida.ineris.fr/bref/brefpap/bref_pap/images/Image4_4.gif, viitattu 23.3.2008.
- [28] Paper grades <http://www.consolidatedpapers.com/CDAvgn/showDocument/0,,4925,00.pdf>, viitattu 23.3.2008.
- [29] Painotekniikan sanakirja, http://www.scanseri.fi/sanakirja_RS.php, viitattu 23.3.2008.
- [30] Väriaineet, http://www.kemira.com/NR/rdonlyres/87E1E45B-C3F4-4D02-A35B-43F944F9AE40/0/Kemira_04_2006.pdf, viitattu 24.3.2008.
- [31] Ylönen, T., PCC-täyteaineen vaikutus hienopaperin lujuuskäyttämiseen nopeassa vetokuormituksessa, diplomityö, LTY, 2002.
- [32] Lempinen, T., WC-paperin toiminnalliset ominaisuudet ja niiden mittaaminen, opinnäytetyö, TAMK, 2007.
- [33] Vääränkivi, K., Suomalaisten ja Eurooppalaisten sanomalehtipaperien ominaisuuksien vertailu, opinnäytetyö, TAMK, 2007.
- [34] Nassau, K., *The Physics and Chemistry of Color*, Wiley & Sons, New York, 1983.
- [35] Östring, A., Kopiopapereiden laadullinen vertailu, opinnäytetyö, TAMK, 2007.
- [36] Viitanen, J., Polymeerien vaikutukset paperin z-suuntaiseen lujuuteen, tutkintotyö, TAMK, 2008.
- [37] Vaarasalo, J., Optical properties of paper, KCL Finnish Pulp and Paper Research Institute, 1999.
- [38] Sanasto, <http://www.coloria.net/sanasto.htm>, viitattu 2.4.2008.
- [39] Mitä ovat optiset kirkasteet ?, http://www.piresma.fi/tahranpoistopas_5.shtml#26, viitattu 2.4.2008.
- [40] Liukkonen, S., Sirviö, J., Effect of spruce properties on TMP refining, 5th fundamental mechanical pulp seminar in Trondheim, Norway: Paper 1, 2006.

- [41] Retulainen, E., Nieminen, K., Fibre Properties as Control Variables in Papermaking: Part 2. Strengthening Interfibre Bonds and Reducing Grammage, *Pap Puu vol. 78, no. 5*, 2005; Pp. 305-316.
- [42] Suontausta, O., Järvinen, H., Hakanen, P., Effect of Calendering on the Gloss and Roughness of Printed Paper, *19th PTS Coating symposium in Munich, Germany*, 1999.
- [43] Tausta-artikkeli: Kalanterointi silottaa paperin ja saa sen kiiltämään, *Metso Oyj*, 2008.
- [44] Poutala, J-M., Paperin liimausasteen määrittäminen, tutkintotyö, TAMK, 2005.
- [45] Massojen käsittely M-501, *Metsäteollisuuden työnantajaliitto*, 1981.
- [46] Grön, J., Rantanen, R., Surface sizing and film coating, *Pigment Coating and Surface Sizing of Paper*, Papermaking Science and Technology, Book 11, Lehtinen, E. (toim.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000, p. 489-544.
- [47] Gräsbeck, L., Paperin pintaliimaus, Paperin valmistus, Suomen paperi-insinööriyhdistyksen oppi- ja käsikirja, kirja III, osa 2, 2.painos, Arjas, A., (toim.), Turku, 1983.
- [48] Lipponen, E., Paperin liimaus, Paperin valmistus, Suomen paperi-insinööriyhdistyksen oppi- ja käsikirja, kirja III, osa 1, 2.painos, Arjas, A., (toim.), Turku, 1983.
- [49] Ehrola, J., Hernesniemi, A., Kuosa, H., Kyytsönen, M., Linnonmaa, P., Mäenpää, T., Pietikäinen, R., Stapels, R., Tani, M., Vuorikari, H., Calendering, *Papermaking part 3, Finishing*, Papermaking Science and Technology, Book 10, Jokio, M. (toim.), Fapet Oy, Jyväskylä, 2000.
- [50] Sundqvist, M., Elektrofotografisen tulostuksen laatu ja siihen vaikuttavat paperitekniset ominaisuudet, diplomityö, TKK, 1995, Abstract.
- [51] Suontausta, O., Coating and Calendering: Means of Improving Surface of Coated Paper for Printing, KCL Communications 4, KCL, 2002.
- [52] Pigmenttipäällystys M-507, *Metsäteollisuuden työnantajaliitto*, 1981.