



# **Täyteaineen annostelu ja retentio kartongin valmistuksessa**

Joona Mörsky

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
International Pulp and Paper Technology

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
International Pulp and Paper Technology

MÖRSKY, JOONA:

Täyteaineen annostelu ja retentio kartongin valmistuksessa

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 1 sivua

Toukokuu 2015

---

Täyteaineiden käyttö on yleistä monissa paperi- ja kartonkilajeissa. Niiden käytöllä voidaan parantaa tuotteen optisia ominaisuuksia sekä painatusominaisuuksia. Täyteaineen annostelulla paperin ja kartongin valmistusprosessiin lujuusominaisuudet kuitenkin heikentyvät. Täyteaineen ollessa kuituraaka-ainetta halvempaa sen käyttöä pyritään mahdollisuuksien mukaan lisäämään.

Täyteaineen annostelumäärien nostaminen vaatii valmistusprosessilta hyvää retentiota. Retentio tarkoittaa sitä prosentuaalista osuutta perälaatikosta annostellusta massasulputta, joka muodostaa rainan ja jatkaa viiraosalta puristinosalle. Raina muodostuu paperi- ja kartonkikoneen viiraosalla, missä noin 1 %:n sakeudella syötetystä massasulputta poistetaan vettä.

Retentiota on mahdollista parantaa erilaisia retentioaineita käyttämällä. Jotkut aineista vaikuttavat kokonaisretentioon ja jotkut parantavat täyte- ja hienoaineretentiota. Retentioaineet voivat toimia monella tavalla. Osa aineista tehostaa raaka-ainepartikkelien flokkautumista ja osa muuttaa partikkelien varaustiloja parantaakseen sitoutumiskykyä.

Tämän opinnäytetyön kokeellinen osuus on luottamuksellinen.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Paper, Textile and Chemical Technology  
International Pulp and Paper Technology

**MÖRSKY, JOONA:**

Filler Use and Retention in Board Manufacturing

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 1 pages

May 2015

---

Use of fillers is very common in paper and board manufacturing. They are used because of their ability to improve optical properties and printability. They are also a lot cheaper as a raw material than fibers. Using high amount of fillers in the process, strength of the product is usually decreased.

Using fillers as a raw material in manufacturing process requires good retention. Retention is the percentage of the pulp that makes a web in the wire section. Pulp is fed on top of the wire from the headbox with about 1 % solid content. On the wire section the web is formed when water is removed through the wire.

Retention can be improved by using different kinds of retention agents. There are retention agents that improve total retention and agents that improve retention of fillers and fines. Retention agents can function in different ways. Some are affecting particle size by increasing it and some are changing the physical charge of the raw materials.

The experimental part of this thesis work is confidential.

---

Key words: filler, retention, paper, board

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	Retentio paperin ja kartongin valmistuksessa .....	6
2.1	Viiraretentio .....	7
2.2	Täyte- ja hienoaineretentio .....	8
2.3	Täyte- ja hienoaineretention parantaminen.....	9
2.4	Erialaisten viiraosien vaikutus täyte- ja hienoaineretentioon .....	10
2.5	Varaustila, z-potentiaali ja pH retentiossa .....	12
2.6	Retention säätäminen ja hallinta .....	13
3	Taivekartonki.....	14
4	Täyteaineet .....	16
4.1	Täyteaineen valinta .....	19
4.2	Kaoliini .....	20
4.3	Talkki .....	20
4.4	Kalsiumkarbonaatit .....	21
4.5	Erikoispigmentit.....	23
5	Retentioaineet .....	26
5.1	Retentioaineyhdistelmät.....	26
6	Massat.....	28
6.1	Mekaaniset massat .....	29
6.2	Kemialliset massat .....	30
6.3	Hylkymassa.....	31
	LÄHTEET.....	32

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli täyteaineen annostelu ja retentio kartongin valmistuksessa. Retentio kertoo raaka-aineen, esimerkiksi kuidun tai täyteaineen, viiraosalla paperi- tai kartonkirainaan kiinnittyvän määrän prosentuaalisesti. Yksi suurimmista haasteista täyteaineiden käytössä on niiden partikkelikoon pienuus. Täyteaineretentiota voidaan parantaa retentioaineilla, jotka auttavat täyteainepartikkeleja kiinnittymään toisiinsa paremmin ja sitoutumaan kuituverkoston kanssa.

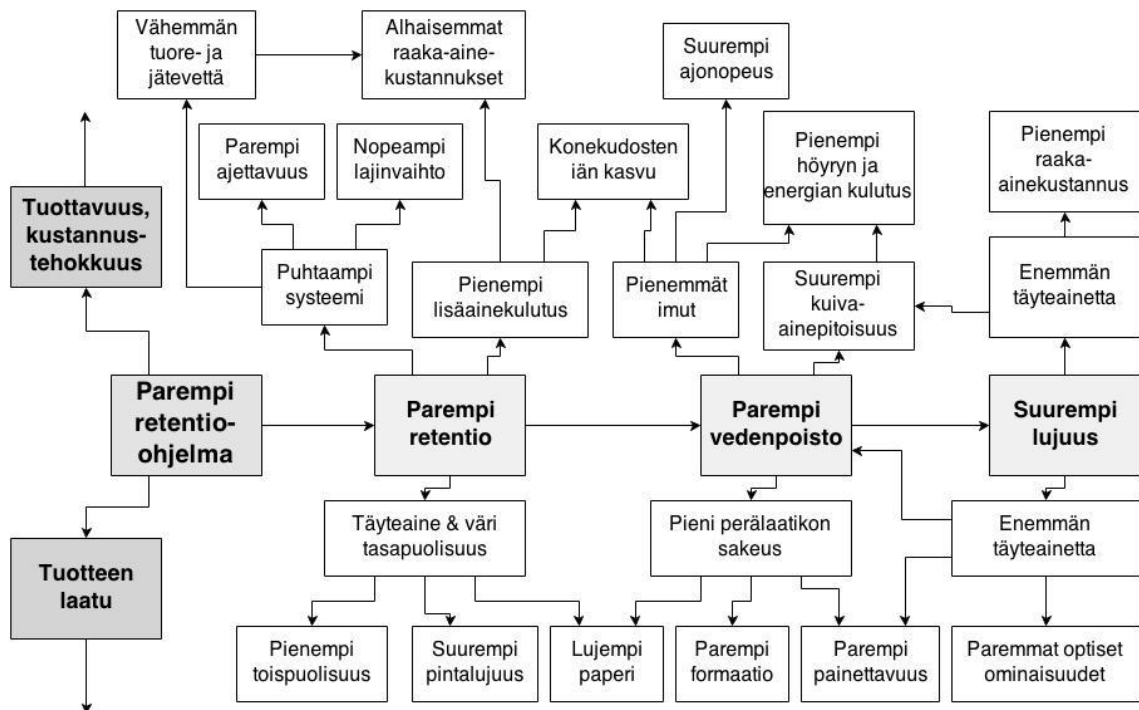
Opinnäytetyö sisältää kirjallisuusosan sekä kokeellisen osan. Kirjallisuusosassa käsitellään retentiota, täyteaineita, retentioaineita, ja muita raaka-aineita sekä taivekartonkia. Kokeellisessa osassa tutkittiin täyte- ja retentioaineen käyttöä kartonginvalmistus prosessissa. Työ tehtiin suomalaiselle taivekartonkitehtaalle.

Täyteaineita käytetään paperi- ja kartonkituotteiden valmistuksessa optisten ominaisuuksien parantamiseksi sekä raaka-ainekustannuksien pienentämiseksi. Täyteaineet kuitenkin heikentävät paperin ja kartongin lujuusominaisuuksia. Tästä syystä täyteainetta annostellessa on tärkeää seurata paperin tai kartongin ominaisuuksia, että saadaan laskettua kustannuksia laatua heikentämättä.

## 2 Retentio paperin ja kartongin valmistuksessa

Paperin ja kartongin valmistuksessa retentio kuvaa prosessin hyötysuhdetta. Sillä voidaan määrittää massan tai muiden aineiden paperi- tai kartonkirainaan jäävä osuus perälaatikosta annosteltuun määrään nähden. Retentio voidaan laskea kokonaisretentiona, mutta myös erikseen eri täyteaineille, lisäaineille ja hienoaineelle. Kokonaisretentiota voidaan laskea joko prosessikokonaisuudelle tai pelkästään viiraosalle jolloin käytetään sanaa viiraretentio, koska sen avulla voidaan määrittää viiraosalle jäävä ainemäärä joka jatkaa eteenpäin koneen puristinosalle. (Krogerus 1999b, 84; Knowpap.)

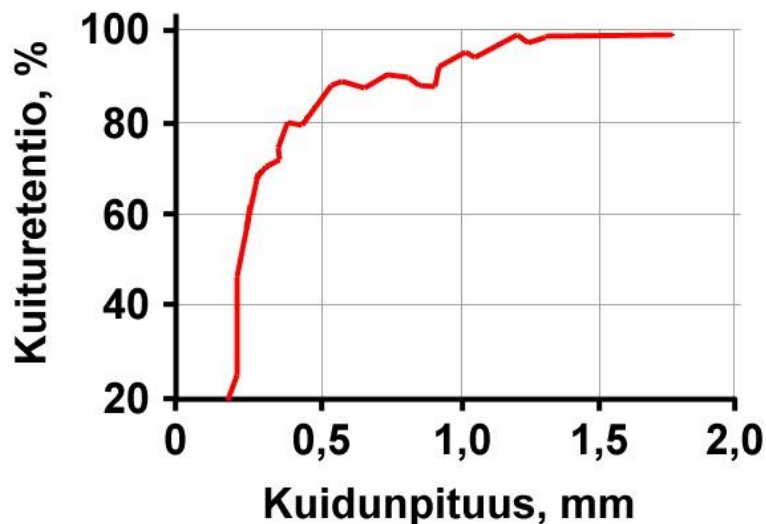
Retentionon vaikuttavat monet tekijät paperi- tai kartonkikoneen tyypistä ja iästä aina käytettyihin raaka-aineisiin ja niiden syöttömääriin. Monen vaikuttavan tekijän johdosta retention hallinta onkin vaikeaa ja siihen tarvitaan jatkuvaa mittausta perälaatikon ja viiraveden sakeuksista. Retention onnistuneella säädöllä voidaan vähentää koneen katkoja ja varsinkin monilajikoneilla tarkat sakeustasot ovat merkittävässä roolissa. Kuvassa 1 on esitetty onnistuneen retention hyödyt prosessissa. Retention hallinnasta ja säädöistä on lisää kappaleessa 2.3. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 149-151.)



Kuva 1. Onnistuneen retention hyödyt paperi- ja kartonkiprosessissa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 154, muokattu 12.10.2014)

## 2.1 Viirarententio

Viirarententio koostuu massasulpun kokonaisretentiosta viiraosalla. Massasulpun retentioon eli aineosien suotautumiseen vaikuttavat prosessissa monet asiat. Retentio voidaan jakaa kemialliseen ja mekaaniseen retentioon. Mekaaninen retentio tarkoittaa aineosien jäämistä rainalle niiden partikkelikoon takia. Esimerkiksi kuidut ovat normaalisti noin 2 mm pitkiä ja näin ollen jäävät mekaanisesti viiralle, koska viiran aukot ovat noin 0,2 mm kokoisia. Kuvassa 2 näytetään kuidunpituuden vaikutus kuiturententioon. Kemiallinen retentio viittaa yleensä hieno- ja täyteaineretentioon, koska nämä aineet ovat ilman kemiallista käsittelyä paljon viiran aukkoja pienempiä. Kemiallisella käsitellyllä pienipartikkeliset täyte- ja hienoaineet saadaan retentoitumaan paremmin viiraosalla. (Knowpap.)



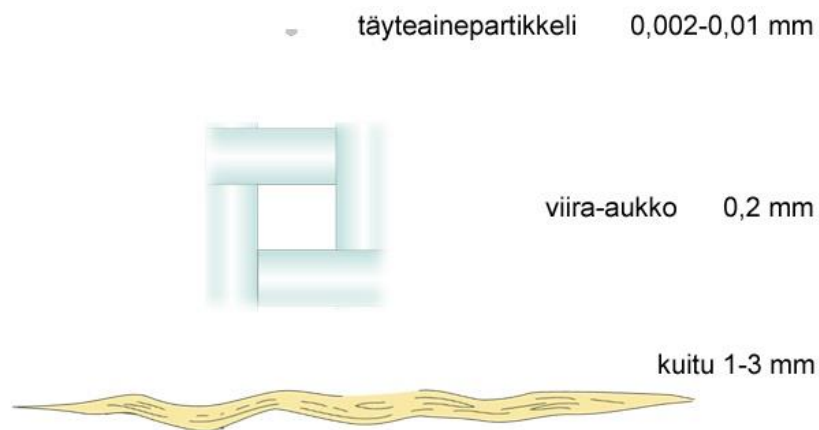
Kuva 2. Kuidunpituuden vaikutus kuiturententioon (Knowpap)

Viirarententio lasketaan kaavalla 1, ja se toimii seuraavalla tavalla. Ensin perälaatikon kokonaissakeudesta ( $S_p$ ) vähennetään viiraosalla poistuvan veden ja materiaalin kokonaissakeus ( $S_{vv}$ ), jonka jälkeen tulos jaetaan perälaatikon kokonaissakeudella ( $S_p$ ). Tämä tulos kerrotaan sadalla prosentilla, jotta saadaan viirarententioksi prosenttiluku. Kaava toimii kaikilla formerityypeillä, jos otetaan huomioon kaikkien viirojen kautta poistuvat vesi- ja ainemäärät. (Krogerus 1999b, 84.)

$$R_k = \frac{S_p - S_{vv}}{S_p} \times 100 \% \quad (\text{Kaava 1.})$$

## 2.2 Täyte- ja hienoaineretentio

Korkean täyte- ja hienoaineretention saavuttaminen prosessissa voi olla vaikeaa partikkeleiden ollessa vain 1-10  $\mu\text{m}$  läpimitaltaan. Kuvassa 3 on esitetty täyteainepartikkelin, viira-aukon sekä kuidun kokoerot. Retentiota voidaan pienikokoisten partikkelien kohdalla parantaa kuitenkin käyttämällä kemiallisia aineita, jotka saavat täyte- ja hienoainepartikkelit sitoutumaan toisiinsa sekä rainaan paremmin. Etenkin hienoaineen onnistunut sitoutuminen on tärkeää, koska sen avulla täyteaineiden optisiin ominaisuuksiin liittyvät hyödyt saadaan parhaiten lopputuotteeseen. (Knowpap; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 149-150.)



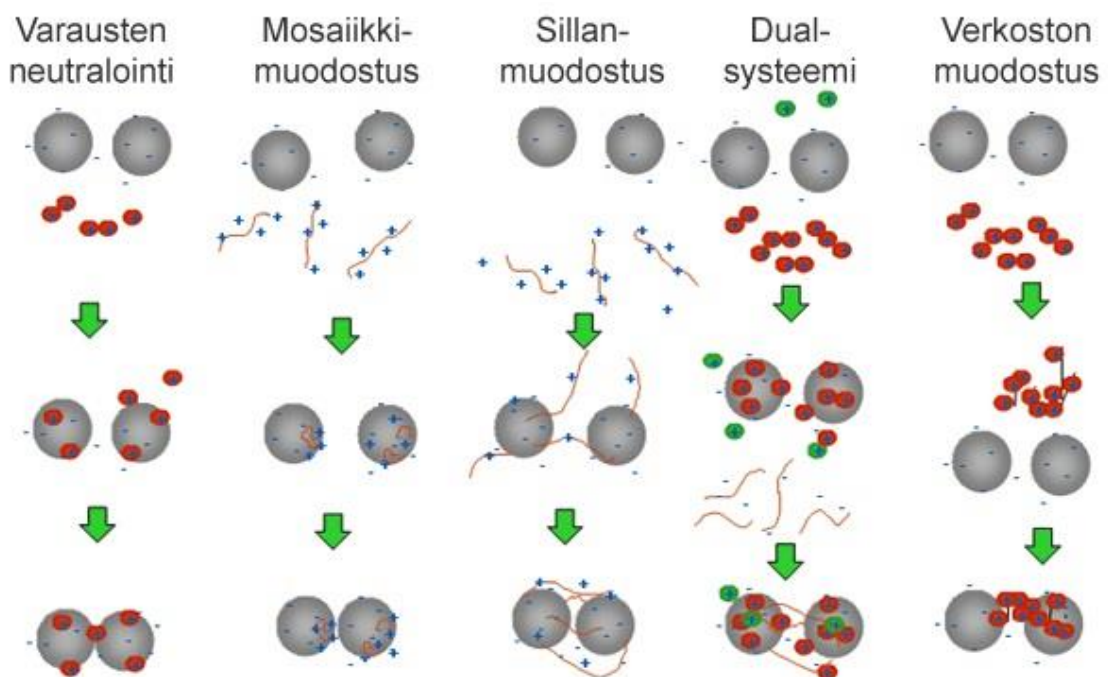
Kuva 3. Kokovertailua täyteainepartikkelin, viira-aukon sekä kuidun välillä (Knowpap)

Jauhatuksen aikana kuituun muodostuu uusia pintoja ja siitä irtoaa hienoainetta, joka on tärkeä elementti kuitujen ja muiden aineiden välisissä sidoksissa niin mekaanisia kuin kemiallisia massoja käytettäessä. Kemiallisen massan hienoaine on selvästi sitoutumiskykyisempää kuin mekaanisen massan. Jauhatusajan kasvu saa kemiallisen massan hienoaineen sitoutumiskyvyn paranemaan eli jauhatuksen lopussa syntynyt hienoaine on selvästi sitoutumiskykyisempää kuin aiemmin syntynyt hienoaine. Hienoaineen sitoutumiskykyyn vaikuttaa sen kemiallinen koostumus, koko ja muoto. (Knowpap.)



### 2.3 Täyte- ja hienoaineretention parantaminen

Täyte- ja hienoaineretention parantamiseen on monia kemiallisia menetelmiä. Sen parantaminen perustuu täyteainepartikkelien sitoutumisen tehostamiseen, jotta viiraosalla oleva kuitumatto pystyy pidättämään syntyneet täyteainekasaumat eli flokit. Täyteainetta voidaan esikäsitellä kemikaaleilla, jotka saavat aikaan flokkautumista partikkelien kesken. Erilaisia flokkautumismekanismeja ovat varauksen neutralointi, mosaiikinmuodostus, sillanmuodostus, dual-systeemi sekä verkoston muodostus. Kuvassa 4 on esitetty näiden mekanismien toimintaperiaate. Täyte- ja hienoainepartikkelit flokkautuvat myös heikoilla van der Waalsin voimilla sekä vetysidoksilla sekoittuessaan veteen. Van der Waalsin voimat perustuvat varauksettomien molekyylien väliseen vuorovaikutukseen ja sen voimakkuus on parhaimmillaankin pientä verrattuna edellä mainittuihin kemiallisiin mekanismeihin. (Norell, Johansson & Persson 1999, 32, 50-54.)



Kuva 4. Flokkautumismekanismien toimintaperiaatteet. (Knowpap)

Paperin ja kartongin valmistuksessa käytetyt kuidut ja täyteaineet saavat negatiivisen varauksen, kun ne sekoitetaan veteen. Varausten neutralointimekanismi perustuu varaamattomien molekyylien väliseen sidokseen ja saa partikkelit kiinnittymään toisiinsa. Varaukset neutraloituvat positiivisten ionien sitouduttua negatiivisesti varattuun molekyyliin. Tässä mekanismissa molekyylien välinen sidos on kuitenkin heikko ja kemikaal-

lien annostelumäärä suhteessa suuri verrattuna tapahtuvaan retention paranemiseen. (Norell 1999, 50.)

Mosaiikkimuodostus perustuu voimakkaasti varautuneen polymeerin adsorboitumiseen partikkelin pinnalle, jolloin tämä kohta partikkelista neutraloituu ja vaihtaa merkkiä. Tämä synnyttää voimakkaan vetovoiman partikkelin merkkiä vaihtaneen kohdan sekä toisen partikkelin varaukseltaan vaihtumattoman kohdan välille. Parhaassa tapauksessa partikkelit pysyvät ennallaan toiselta puolelta ja vaihtavat merkkiä toiselta. (Norell 1999, 50.)

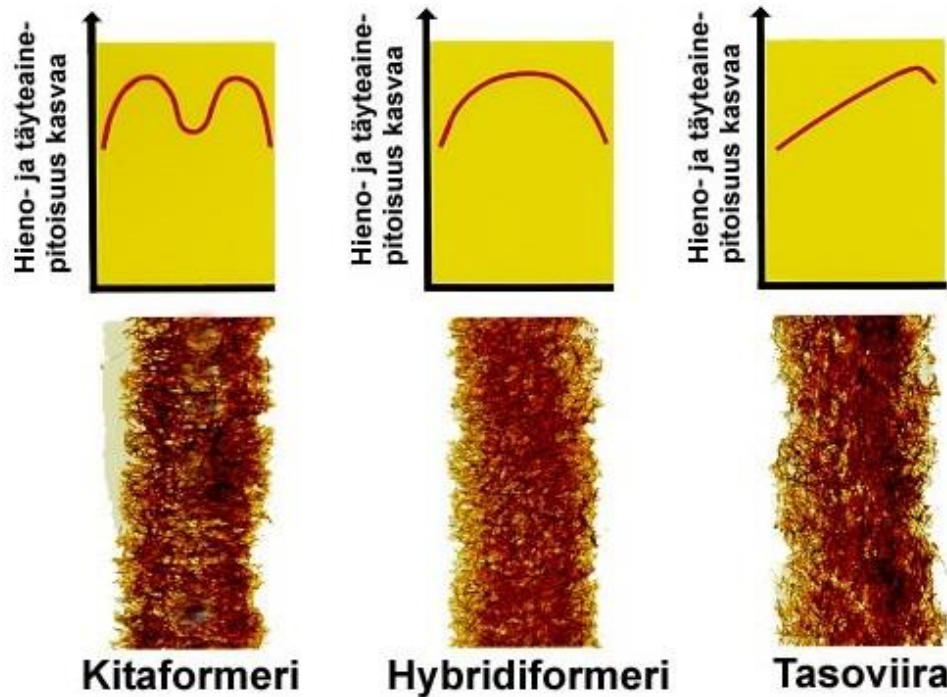
Sillanmuodostuksessa käytetään pitkäketjuisia polymeerejä, jotka muodostavat ns. siltoja partikkelin pinnasta toiseen. Nämä sillat voivat yhdistää partikkeleja ilman että niiden varauksia muutetaan. Sillanmuodostus saa aikaan lujia polymeeri- ja partikkeliketjuja, mutta hajotessaan uudelleen flokkautuminen ei tapahdu helposti. (Norell 1999, 51.)

Dual-systeemi on yhdistelmä varauksen neutralointia sekä sillanmuodostusta. Käsittelyn ensimmäisessä vaiheessa partikkelien joukkoon lisätään kationista polymeeriä, joka saa aikaan partikkeliflokkeja. Tämän jälkeen lisätään pitkäketjuista anionista polymeeriä, joka muodostaa uusia flokkeja aiemmin muodostuneista flokeista. (Norell 1999, 52.)

Verkoston muodostuminen perustuu retentioaineyhdistelmien käyttöön, jotka saavat aikaan partikkeliverkostoja kuiduista sekä täyte- ja hienoaineista. Erilaisia retentioaineyhdistelmiä käyttämällä on pyritty vähentämään haitallisten aineiden vaikutuksia ja samalla tehostamaan toisen aineen, itse retentioaineen, tehokkuutta prosessissa. Tällainen yhdistelmä voi vähentää retentioaineiden käyttömääriä tehokkaasti. (Knowpap; Norell 1999, 54.)

#### **2.4 Erilaisten viiraosien vaikutus täyte- ja hienoaineretentioon**

Täyte- ja hienoaineretentioon liittyvä z-suuntainen partikkelijakauma riippuu paperi- ja kartonkikoneella käytetystä formerityypistä. Kuvassa 5 on esimerkki täyte- ja hienoainejakaumista lopputuotteen z-suunnassa kolmella erilaisella formerityypillä. Monikeroksista taivekartonkia valmistavan koneen perälaatikko ja viiraosa on nykyään yhdistelmä tasoviirasta sekä hybridiformereista. (Knowpap.)



Kuva 5. Hieno- ja täyteainejakaumat z-suunnassa eri formerityypillä. (Knowpap)

Kitaformerilla saavutetaan tasaisin vedenpoisto molemmilta puolilta paperi- tai kartonkirainaa. Kitaformerin vedenpoisto alkaa tasapuolisesti heti alusta ja näin ollen hieno- ja täyteainejakauma on symmetristä puolittain. Heti alkava tasapuolinen vedenpoisto saa pienet partikkelit liikkumaan rainan pintoja kohti. Partikkelit, jotka eivät ole vielä retentoituneet riittävästi, poistuvat viiraosalla veden mukana lyhyeen kiertoon. Tästä syystä hieno- ja täyteainemäärät ovat alhaisemmat molemmilla pinnoilla sekä aivan rainan keskellä. (Holik 2013, 668-669.)

Tasoviiralla eli Fourdrinier-formerilla rainan z-suuntainen hieno- ja täyteainejakauma on toispuoleista, koska vedenpoisto tapahtuu vain yhteen suuntaan. Vedenpoiston suunta on alaspäin, joten täyte- ja hienoainemäärä kasvaa rainan yläpintaa kohden. Rainassa lähellä pohjapuolta olevat pienet partikkelit lähtevät helposti vedenpoiston yhteydessä takaisin lyhyeen kiertoon. (Holik 2013, 666.)

Hybridiformerin vedenpoisto tapahtuu kahteen suuntaan. Ensimmäisessä vaiheessa vedenpoisto toteutetaan perinteisellä tasoviiralla, jossa vesi poistuu alaspäin. Tasoviiran jälkeen hybridiformerissa sijaitsee yläviirayksikkö, joka poistaa vettä yläpinnan puolelta rainaa. Hybridiformerilla saadaan aikaan enemmän z-suuntaista symmetrisyyttä kuin tasoviiraa käyttämällä. Kuitujen ja muiden raaka-aineiden tasainen jakautuminen z-suunnassa tiivistää lopputuotetta. (Holik 2013, 668.)

## 2.5 Varaustila, z-potentiaali ja pH retentiassa

Massasulpuissa olevilla kiinteillä partikkeleilla on prosessissa lähes aina negatiivinen eli anioninen varaustila. Näitä partikkeleita ovat kuidut, hienoaineet, täyteaineet sekä liuenneet ja kolloidaaliset aineet. Voimakkaasti anionista massasulppua neutraloidaan kemikaaleilla tai korvaamalla anioninen vesifaasi puhtaalla vedellä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 148.)

Varaustilaa ja sen voimakkuutta voidaan mitata myös z-potentiaalin avulla. Mittaus soveltuu paperi- ja kartonkiprosessissa teoriatasolle ja varaustila ilmoitetaan millivoltteina. Z-potentiaalin avulla voidaan mitata massasulpun sijaan kiintoainepartikkelien varaustilaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 148.)

Paperi- ja kartonkiprosessissa pH:lla on todella suuri vaikutus prosessikemiaan. Se voi vaikuttaa voimakkaasti niin erilaisten ainesosien liukenemiseen kuin prosessissa oleviin varaustiloihin. Jatkuvässä prosessissa on tärkeää pitää pH-arvo halutulla alueella. Paperi- ja kartonkikoneiden pH-alueet jaetaan kolmeen alueeseen, happamaan (pH 4,5-6,5), neutraaliin (pH 6,6-7,4) ja alkaliseen (pH 7,5-8,5). Taulukossa 1 on esitetty paperi- ja kartonkiprosessissa olevien komponenttien pH- ja z-potentiaaliarvot. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 148.)

Taulukko 1. Prosessikomponenttien pH- ja z-potentiaaliarvot. (Strengell 2007, muokattu 25.3.2015)

Komponentti	pH	z-potentiaali (mV)
Kuitu	4	-15
	6	-25
	8	-35
Kaoliini	5	-20
	7	-30
Titaanidioksidi	4	-9
	6	-28
Liitu		-20
Marmori		0
PCC		12
Talkki	4	-10
	6	-20
Silika	5	-40

## 2.6 Retention säätäminen ja hallinta

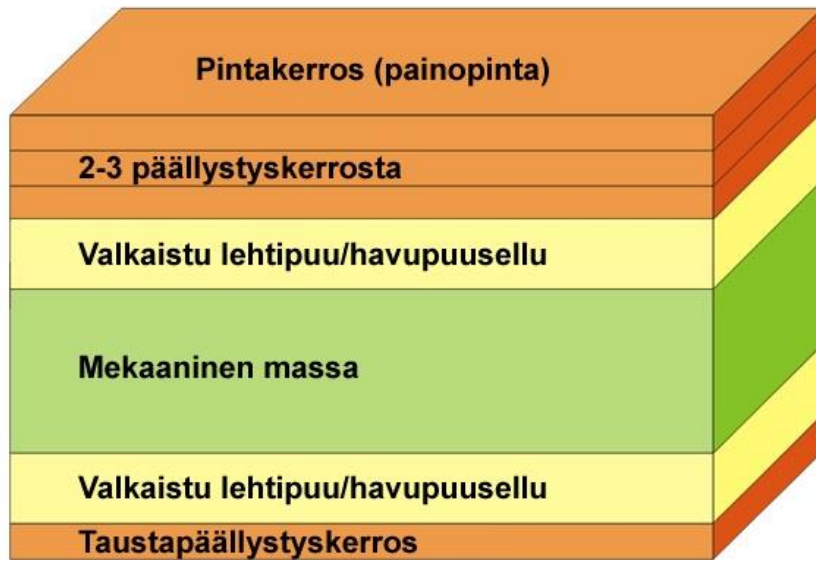
Retentiojärjestelmän on yleensä pystyttävä mukautumaan paperi- ja kartonkikoneilla erilaisiin tilanteisiin ja häiriöihin. Tästä syystä perinteinen sakeusmittaaminen käsinäytteistä on nykyisin korvattu online-mittausjärjestelmillä. Näiden järjestelmien toiminta perustuu sakeusmittauksiin perälaatikosta ja viiravedestä. Viiravedessä olevan kiintoaineen määrä on tärkeää mitata tarkasti, jotta retentioainetta voidaan lisätä oikea määrä prosessiin. Tämä mahdollistaa retention tarkemman säätämisen ja myös halutussa retentiomäärässä pysymisen. (Knowpap; Palonen 1999, 242-243.)

Online-viiravesimittaukset on hyvä ottaa mahdollisimman läheltä perälaatikkoa, jotta muutokset sakeudessa ei tulisi liian suurella viiveellä järjestelmän tietoon. Viiraveden kokonaissakeuden pitäminen pienellä vaihteluvälillä vähentää sakeusarvojen suuria muutoksia koko lyhyessä kierrossa. Hyvän retention ja kustannustehokkaan järjestelmän perustana on toimiva retentiokemikaaliratkaisu ja nopeasti sekä tarkasti muutoksiin reagoiva sakeusmittausjärjestelmä. Jos retentioainejärjestelmä ei pysty vastaamaan nopeasti esimerkiksi viiraveden sakeuden kasvuun, täyteainemäärät kasvavat lyhyessä kierrossa retentioaineen liian pienen annostelun johdosta. (Palonen 1999, 242-243.)

### 3 Taivekartonki

Taivekartonki eli FBB-kartonki on monikerroksinen kartonkilaji, jota käytetään yleisesti kosmetiikka-, lääke-, alkoholi- ja savukepakkauksiin. Myös erilaisissa kotitaloustavara- sekä elintarvikkepakkauksissa voidaan käyttää taivekartonkia. Taivekartongilla on mahdollista saavuttaa korkeatasoiset lujuus- sekä painettavuusominaisuudet joita pakkauksilta vaaditaan suojataksien sisällä olevaa tuotetta. Pakkauksien päällekkäin asettaminen esimerkiksi kuljetuksessa tai kaupassa vaatii hyvää jäykkyyttä, jotta alimmaisiet pakkaukset eivät litisty. Hyvä painettavuus on tärkeää, koska pakkauksen ulkonäkö on tärkeää loppuasiakkaalle. Korkea vaaleus on taivekartongin valmistuksessa myös tärkeää. Eri-tyisesti elintarvike- ja savuketeollisuudessa pakkauksen läpäisemättömyys- sekä hygieniominaisuuksien tulee olla hyvät, koska pakkaus on tehty suojaamaan sisällä olevaa tuotetta fyysisen rasituksen tai voiman lisäksi myös kosteudelta, kaasuilta, aromeilta tai mikrobeilta. Pakkauksesta ei myöskään saa siirtyä tuotteeseen tai pakkausta käsitteleviin ihmisiin mitään terveydelle tai tuotteen turvallisuudelle haitallista. (Knowpap; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 73.)

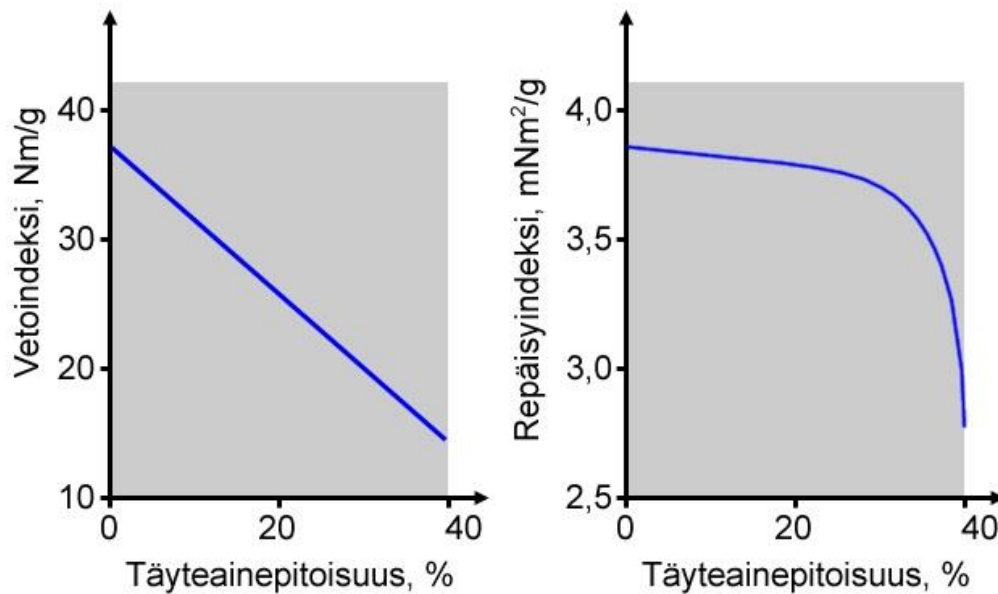
Taivekartongin hyvät lujuus- ja läpäisemättömyysominaisuudet perustuvat suurelta osin sen monikerroksiseen rakenteeseen. Rakenteeseen kuuluu normaalisti pinta-, keski- sekä taustakerroksesta. Korkeiden ulkonäkö- ja painettavuusvaatimusten johdosta taivekartonki päällystetään monella kerroksella. Pintakerros päällystetään yleensä 2-3 kertaa ja taustakerros tarvittaessa kerran. Taivekartongin neliömassa-alue on yleensä 200-400 g/m<sup>2</sup>. Pinta- ja taustakerroksiin käytetään valkaistua lehti- tai havupuusellua ja keskikerrokseen mekaanista massaa. Mekaanisiin massoihin kuuluvat hioke, hierre, CTMP sekä BCTMP. Hylkymassan käyttö keskikerroksessa on myös yleistä, koska sen käyttö tuo raaka-ainekustannuksia alaspäin. Taivekartongin neliömassaa muutetaan yleensä lajikohtaisesti keskikerroksen neliömassaa muuttamalla ja pitämällä pinta- sekä taustakerroksien neliömassat lähes vakioina. Kuvassa 6 on esimerkki taivekartongin rakenteesta. (Knowpap; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 73.)



Kuva 6. Päällystetyn kolmikerroksisen taivekartongin esimerkkirakenne. (Knowpap)

#### 4 Täyteaineet

Täyteaineet ovat pienikokoisia valkoisia pigmenttijauheita, joita käytetään nimensä mukaisesti täyttämään kuituverkossa olevia välejä. Lähes kaikissa paperi- ja kartonkilajeissa käytetään täyteaineita, joilla saadaan parannettua monia lopputuotteen ominaisuuksia. Täyteaineet heikentävät kuitenkin tuotteen lujuusominaisuuksia, mikä johtuu täyteaineen vaikutuksista kuitujen sidoskykyyn. Kuvassa 7 on täyteaineen vaikutukset veto- ja repäisyylujuuteen paperi- ja kartonkituotteilla. (Krogerus 1999a, 117.)



Kuva 7. Täyteaineen pitoisuuden vaikutus veto- ja repäisyylujuuksiin. (Knowpap)

Täyteaineen käytöllä pyritään parantamaan lopputuotteen opasiteettia, formaatiota, painettavuutta sekä kiiltoa. Rakenteellisilla täyteaineilla voidaan myös mahdollisesti parantaa kartonkituotteiden bulkkisuutta. Lopputuotteen optisten ominaisuuksien parantaminen sekä kustannusten pienentäminen ovat kuitenkin yleisimmät syyt täyteaineannostelulle. Taulukossa 2 on esitetty täyteaineannostelun etuja. (Holik 2013, 111.)

Formaation muutos on helpoimmin huomattava täyteaineannostelun vaikutus. Kuidut flokkaantuvat perälaatikossa sekä viiraosalla ja ne saattavat muodostaa epätasaisen raiinan. Täyteaineannostelulla pyritään tasoittamaan epätasaisuutta ja näin parantamaan formaatiota, joka myös vaikuttaa lopputuotteen sileyteen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 37-38.)



Taulukko 2. Täyteaineannostelun myönteiset vaikutukset ja niiden selitykset. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 38, muokattu 27.10.2014)

Ominaisuus	Muutos	Selitys
Opasiteetti	Paranee paljon	Valonsironta kasvaa
Vaaleus	Kasvaa yleensä	Valonsironta kasvaa, absorptiokerroin kasvaa
Sileys, kiilto	Kasvaa	Täyttää kuoppia, jotkut levymäisiä
Absorptio	Tasaisempi	Pienemmät huokokset
Läpipainatus	Paljon pienempi	Parempi absorptio pinnassa, ei läpihuokosia
Formaatio	Paranee paljon	Pitkät kuidut tekevät isoja flokkeja
Mittapysyvyys	Paranee	Täyteaine ei ime vettä itseensä eikä turpoa. Vähemmän sidoksia, jolloin pienempi kuivumiskutistuma
Viiraosan jälkeinen kuiva-ainepitoisuus	Kasvaa	Voidaan nostaa perän sakeutta formaatiota huonontamatta
Puristimen jälkeinen kuiva-ainepitoisuus	Kasvaa	Täyteaine ei pidätä vettä kuten kuitu
Kuivatuksen haihdutusteho	Kasvaa	Vähän energiaa, nopea kuivatus, vesi ei kiinni täyteaineessa
Valmistuskustannukset	Pienenevät	Hinta yleensä alle kolmannes kuituseoksen hinnasta

Täyteaineet poikkeavat kuituraaka-aineesta monella tavalla. Kokonsa lisäksi ne ovat ominaisuuksiltaan erilaisia kuin kuidut. Osa täyteaineen ominaisuuksista voi korvata kuituraaka-aineen puuttuvia ominaisuuksia, esimerkiksi pienen partikkelikoon johdosta formaatio paranee tai valonsironta kasvaa ja opasiteetti paranee. Täyteaineiden ainestihyys on yleensä  $2600 \text{ kg/m}^3$  ja kuidun vastaava luku on yleensä  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Tästä johtuen lopputuotteen tiheys kasvaa täyteainetta lisättäessä ja tiettyyn neliömassaan valmistettu tuote on ohuempaa. (Krogerus 1999a, 139; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 37.)

Huonoista sitoutumisominaisuuksista sekä pienestä koosta ja kovuudesta johtuen, täyteaineet huonontavat lopputuotteen lujuusominaisuuksia. Lujuusominaisuuksista erityisesti veto-, pinta- ja repäisylujuudet sekä jäykkyys huononevat täyteaineannostelun johdosta. Optisten ominaisuuksien lisäksi lopputuotteella voi olla korkeat laatuvaatimukset lujuusominaisuuksille. Nämä saattavat rajoittaa täyteaineannostelua. Samalla kun täyteaine auttaa painatuksen laadussa kartongin optisia ominaisuuksia parantamalla, lopputuotteen ajettavuus voi heikentyä. Tämä johtuu kartongin heikentyneistä lujuusominaisuuksista, jotka nostavat painatuskoneen katkoherkkyyttä. Liian suuri täyteainemäärä aiheuttaa painatuksessa myös pölyämistä, joka kerääntyessään aiheuttaa ongelmia niin lopulliseen laatuun kuin laitteistoihinkin. Paperi- ja kartonkiprosessissa huonot lujuusominaisuudet aiheuttavat heikentynyttä ajettavuutta ja mahdollisia katkoja. Taulukossa 3 on esitetty täyteaineannostelun haitallisia vaikutuksia. (Holik 2013, 111.)

Taulukko 3. Täyteaineannostelun haitalliset vaikutukset ja niiden aiheuttajat. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 38, muokattu 27.10.2014)

Ominaisuus	Muutos	Selitys
Lujuus	Laskee	Täyteaine ei sitoudu ja estää kuitusidoksia
Alkuperäis-märkälujuus	Laskee	Täyteaine ei sitoudu, pitkää kuitua vähemmän
Jäykkyys	Huononee	Paksuus laskee, sidoksia vähemmän pinnassa
Pölyäminen	Kasvaa	Huono sitoutuminen pinnassa, toispuolisuus
Vedenpoisto-elinten kuluminen	Kasvaa	Kovat, särmikkäät ja suuret partikkelit kuluttavat laitteistoa
Retentio, tasapuolisuus	Huononee	Pieni ja sileä partikkeli retentoituu huonosti

#### 4.1 Täyteaineen valinta

Täyteaineen valintaan vaikuttavat valmistetun paperi- ja kartonkituotteen käyttökohde sekä lopputuotteen vaatimat ominaisuudet. Prosessin helpottamiseksi tai yksinkertaistamiseksi täyteaineita ei juurikaan käytetä. Prosessissa ja täyteaineiden käytössä pitää ottaa kuitenkin huomioon muut lietteeseen lisättävät aineet esimerkiksi retentioaineet, tärkki, väriaineet sekä liima-aineet. Nämä aineet voivat aiheuttaa ongelmia yhdistyessään täyteaineiden kanssa. Nykyajan trendin mukaan erikoispigmentejä yritetään jatkuvasti korvata osittain tai kokonaan edullisemmilla täyteaineilla joko alkuperäisessä muodossaan tai muokattuna. (Knowpap; Holik 2013, 116.)

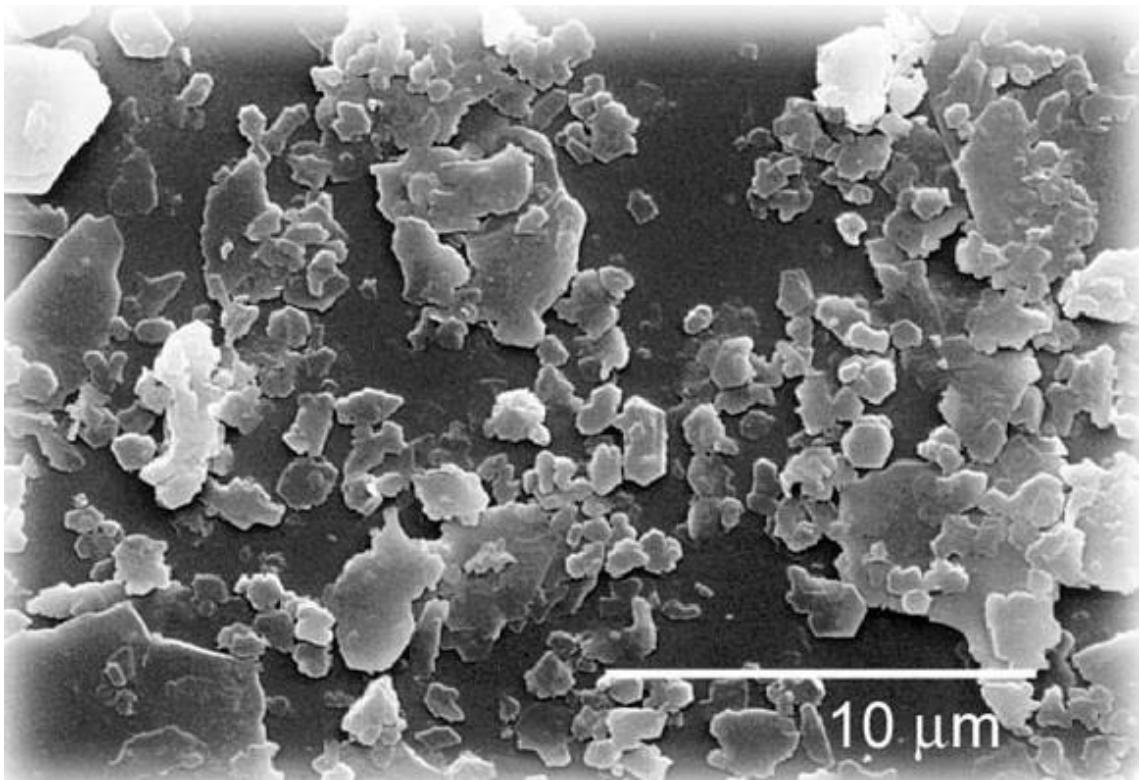
Käytetyimmät täyteaineet ovat kaoliini, talkki ja kalsiumkarbonaatti. Näiden täyteaineiden ominaisuudet, hintatasot sekä vaikutukset prosessiin ja lopputuotteeseen vaihtelevat. Siksi täyteaineen valinta ja annostelumäärä voivat olla erittäin merkityksellisiä. Valmistetun paperi- tai kartonkilajin vaatimat ominaisuudet tai tietyn kustannustason pitäminen voi määrittellä tarvittavan täyteaineen ja sen kustannustehokkaan annostelumäärän. Taulukossa 4 on esitetty yleisimmät täyteaineet ja niiden tärkeimmät fyysiset ominaisuudet. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 39-40.)

Taulukko 4. Yleisimmät täyteaineet ja niiden tärkeimmät fyysiset ominaisuudet. (Krogerus 1999a, 124, muokattu 12.02.2015)

Ominaisuus/aine	Kaoliini	Talkki	GCC	PCC
Tiheys (kg/dm <sup>3</sup> )	2,7	2,8	2,7	2,7
pH	5,0	9,0	9,0	9,0
ISO-vaaleus (%)	> 81	> 82	liitu: 80-90 marmori: 85-95	> 93
Partikkelikoko- jakauma				
< 10 µm (%)	94	84	98	100
< 5 µm (%)	75	45	90	100
< 2 µm (%)	48	16	40	70

## 4.2 Kaoliini

Levymäinen kaoliini on yksi käytetyimmistä täyteaineista ja se on luonnonvarainen mineraali. Se on alumiinisilikaattiseos ja se sisältää yleensä eniten savimineraali kaoliiniittia. Kaoliinia valmistetaan jauhamalla ja puhdistamalla graniittia tai muuta kaoliinia sisältävää maa-ainesta. Kaoliini toimitetaan tehtaille joko valmiina lietteenä tai kuivatettuna jauhana. Kaoliinin vaaleus on yleensä 78-87 % ja sen partikkelikoko vaihtelee. Täyteaineena käytetyt kaoliinit ovat normaalisti hieman tummempia ja karkeampia kuin päällysteeseen käytetyt. Maailmanlaajuisesti paperi- ja kartonkiteollisuudessa käytetystä kaoliinista noin 75 % käytetään päällystyspigmenttinä ja loput täyteaineena. Kuvassa 8 on esitetty kaoliinin partikkelimuoto sekä kokoluokka. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 39.)



Kuva 8. Kaoliinia mikroskooppikuvana, jossa esitetään partikkelimuoto sekä kokoluokka (Knowpap)

## 4.3 Talkki

Talkki on kaoliinin lisäksi levymäinen täyteaine ja sitä käytetään yleisimmin offset-papereiden pohjapaperissa. Näissä papereissa toivottu pintalujuus saavutetaan päällysteen sideaineilla. Talkin ominaisuuksiin kuuluu voimakas hydrofobisuus ja se saattaa

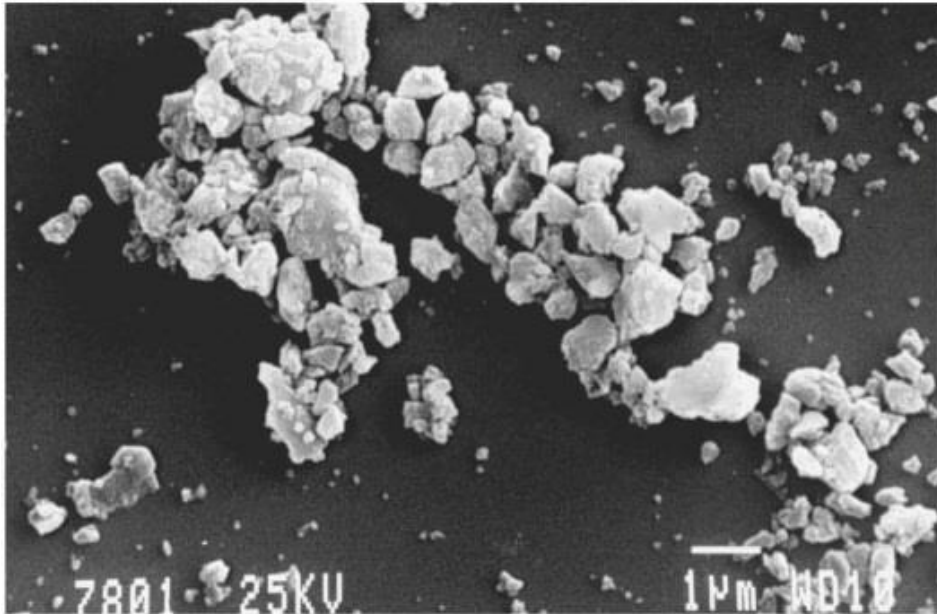
aiheuttaa pölyämistä painatuksessa hiukkasten irrotessa paperista. Talkin vaaleus on noin 82-87 %. Paperi- ja kartonkituotannossa käytetystä täyteaineesta noin 10 % on talkkia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 39; Holik 2013, 110.)

#### 4.4 Kalsiumkarbonaatit

Paperiteollisuuden käytetyimmät kalsiumkarbonaatit voidaan jakaa kahteen ryhmään; jauhettuun kalsiumkarbonaattiin (GCC) sekä saostettuun kalsiumkarbonaattiin (PCC). Karbonaattipartikkelit ovat yleensä muodoltaan pyöreähkön särmikkäitä ja niiden vaaleus nykyään noin 90-97 %:n tasoilla. Karbonaattipartikkelit eivät muotonsa vuoksi pysty sulkemaan paperin pintaa toisin kuin levymäiset täyteaineet. Karbonaattien käyttö on tästä huolimatta hyvin yleistä monilla paperi- ja kartonkilajeilla. Koko teollisuuden käyttämästä täyteainemäärästä noin 33 % on jauhettua kalsiumkarbonaattia ja 43% saostettua kalsiumkarbonaattia. Jauhettujen ja saostettujen kalsiumkarbonaattien kemialliset koostumukset ovat identtiset, mutta fyysisiltä ominaisuuksiltaan ne ovat erilaisia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 39-40; Holik 2013, 110.)

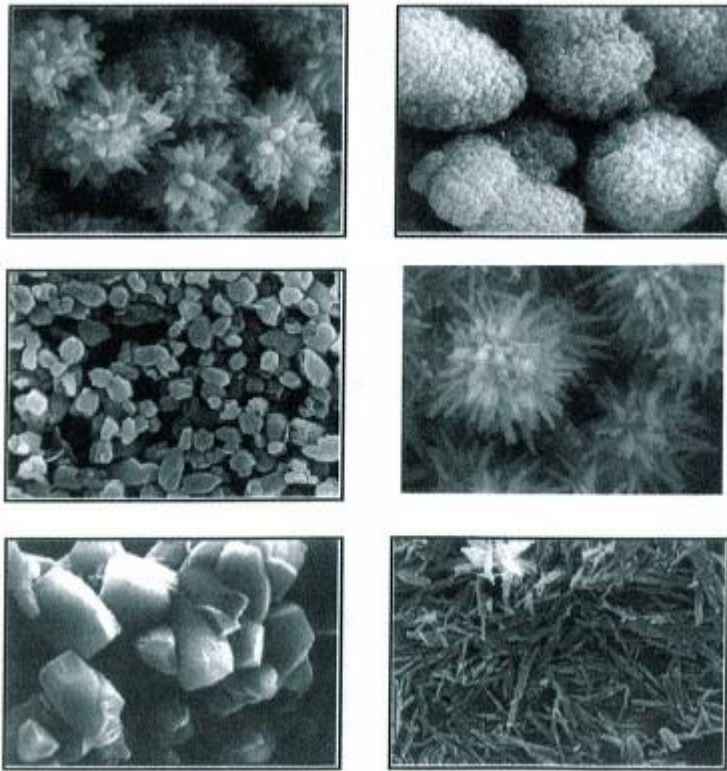
Karbonaattien käytölle täyteaineena on monia puoltavia syitä. Se lisää paperille kestävyttä ja puskuriominaisuuksia ajallisesti estäen ominaisuuksien menetyksen tai muuttumisen. Sen käytöllä voidaan parantaa tuotteen kitkaa ja pinnan pienimittakaavaista huokoisuutta, jotka auttavat arkituksessa, rullauksessa sekä painatuksessa. Karbonaatti vaikuttaa myös kiertovesiin neutraloimalla ne, jolloin kuitujen turpoaminen on tehokkaampaa ja niistä tulee joustavampia. Tämä saa kuidut muodostamaan enemmän sidoksia, joka vähentää täyteaineiden haittavaikutuksia esimerkiksi sidosten vähentymistä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 40.)

Jauhettu kalsiumkarbonaatti on luonnosta löytyvä raaka-aine, joka esiintyy liituna, marmorina sekä kalkkikivenä. Näistä yleisimmin käytetty kalsiumkarbonaattilähde on marmori, jonka vaaleus jauhettuna on yli 90 %. Liidun käyttö on nykyaikana vähäistä sen vaaleustason ollessa liian alhainen, noin 80-85 %. Jauhetun kalsiumkarbonaatin tärkeimmät vaikutukset ovat lopputuotteen vaaleustason nostaminen sekä opasiteetin parantaminen. Kuvassa 9 on esimerkki jauhetun kalsiumkarbonaatin partikkelikoosta sekä muodosta. (Knowpap; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 39.)



Kuva 9. GCC-partikkelin kokoluokka ja muoto (Knowpap)

Saostetun kalsiumkarbonaatin käyttö on nopeasti yleistynyt, koska sen vaaleustaso on hieman korkeampi kuin jauhetulla kalsiumkarbonaatilla. Saostetulla kalsiumkarbonaatilla vaaleustaso on noin 94-97 %. PCC:llä on vaaleuden lisäksi muitakin etuja verrattuna yleisempiin ja halvempiin mineraaleihin. Saostettu kalsiumkarbonaatti valmistetaan synteettisellä prosessilla kalkkikivestä. Prosessissa kalkkikivi poltetaan ja uudelleen saostetaan hiilidioksidilla, joka saadaan savukaasusta. PCC:n synteettinen valmistusprosessi antaa sille suuren vaaleustason. Prosessilla voidaan myös vaikuttaa hiukkasmuotoon, millä saadaan absorptio- ja valonsirontakertoimet halutulle tasolle. Korkean valonsirontakertoimen johdosta lopputuotteen vaaleustaso voidaan nostaa korkeaksi ilman että opasiteetti huonontuu. Saostettua kalsiumkarbonaattia käyttämällä voidaan lopputuotteen bulkkia sekä prosessin retentiota parantaa. PCC:llä on myös kapeampi hiukkaskokojakauma verrattuna GCC:en, mikä helpottaa täyteaineannostelua tiettyä hiukkaskokoa vaativissa prosesseissa. Kuvassa 10 on esitetty saostetun kalsiumkarbonaatin erilaisia partikkelimuotoja. (Knowpap; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 40.)



Kuva 10. Paperi- ja kartonkiteollisuudessa käytetyn PCC:n erilaisia partikkelimuotoja. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 40, muokattu 10.2.2015)

#### 4.5 Erikoispigmentit

Erikoispigmentit ovat prosesseissa määrällisesti vähemmän käytettyjä raaka-aineita, joiden vaikutus ja tehokkuus ovat kuitenkin suuria normaaleihin pigmentteihin verrattuna. Ne ovat yleensä synteettisiä tai pitkälle jalostettuja pigmenttejä, jotka vaikuttavat eniten lopputuotteen opasiteettiin sekä valonsirontakertoimeen. Erikoispigmenttien hinta on myös todella korkea, useimpien hintojen ollessa korkeampia kuin kuidun. Yleensä pääpigmenttien tehosteina käytettyjen erikoispigmenttien määrät prosessissa ovat vain 5-25 % pääpigmentin määrästä. Yleisimmät erikoispigmentit ovat kalsinoitu kaoliini, synteettiset silikaatit, titaanidioksidi sekä erilaiset muovipigmentit esimerkiksi ureaformaldehydijohdannaiset. Taulukossa 5 on listattu edellä mainitut erikoispigmentit ja niiden tiheys, pH-arvo, vaaleustaso sekä partikkelikokojakauma. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 41; Krogerus 1999a, 129-130.)

Taulukko 5. Erikoispigmentit ja niiden tärkeimmät fyysiset ominaisuudet. (Krogerus 1999a, 130, muokattu 12.02.2015)

Ominaisuus/aine	Kalsinoitu kaoliini	Synteettinen silikaatti	Titaanidioksidi	UF-johdannainen
Tiheys	2,9	2,0	3,9	1,4
pH	5,0	7,0-9,0	5,0-6,0	8,0
ISO-vaaleus	91,0	97,0	95,0	99,0
Partikkelikoko	0,3-2,0	0,1-0,5	0,2-0,5	5,0-6,0

Kalsinoitua kaoliinia käytetään monissa eri paperi- ja kartonkilajeissa, koska se nostaa valonsirontakerrointa sekä opasiteettia. Sillä voidaan myös estää musteen läpäisyä ohuilla paperilajeilla. Kalsinoidun kaoliinin valmistusprosessi kokoaa yhteen erittäin kestävän kaoliiniryhmittymän, joka muodostuu monista pienistä ja tarkoin valituista hiomattomista kaoliinipartikkeleista. (Krogerus 1999a, 130; Holik 2013, 136.)

Synteettiset silikaatit, esimerkiksi natrium-alumiini-silikaatti, ovat valmistettu yhdistämällä silikaatti siihen reagoivalla aineella. Suuren ominaispintansa vuoksi Na-Al-silikaattia käytetään opasiteettipigmenttinä. Synteettisillä silikaateilla on myös potentiaalia nostaa lopputuotteen bulkkia. (Krogerus 1999a, 131-132; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2003, 41.)

Titaanidioksidi on yksi yleisimmin luonnossa esiintyvä raaka-aine ja sillä on kaksi olomuotoa; rutiili ja anataasi. Molempia olomuotoja käytetään paperi- ja kartonkiteollisuudessa ja ne poikkeavat toisistaan fyysisiltä ominaisuuksiltaan. Titaanidioksidia voidaan valmistaa prosessivalmiuteen kahdella tavalla, sulfaatti- ja kloorimenetelmillä. Oluomudoista rutiili on kalliimpi raaka-aine kuin anataasi mutta se on myös tasaisempi sekä tiiviimpi. Myös titaanidioksidilla on suuret vaikutukset lopputuotteen opasiteettiin. Partikkelikokonsa puolesta sitä on kuitenkin vaikea saada pysymään rainassa valmistusprosessin aikana. (Krogerus 1999a, 132; Holik 2013, 137.)

Muovipigmenteistä yleisin on UF-johdannainen pigmentti, vaikka sen erittäin korkea hinta on pitänyt käytön pienenä. Se kehitettiin paperiteollisuuden käyttöön ja sen fyysi-



nen olomuoto on huokoinen ja kasattuna hyvin bulkkinen. UF-johdannaisella on myös matala tiheys, mikä johtaa hyvään valonsirontaan. Myös muita luonnollisia ja orgaanisia pigmenttejä on käytetty täyteaineena paperiteollisuudessa, useimmiten koeajoissa ja testeissä. (Krogerus 1999a, 133.)

## 5 Retentioaineet

Retentioaineiksi kutsutaan aineita, jotka parantavat täyte- ja hienoaineen sekä kuidun retentoitumista prosessissa. Nämä aineet ovat synteettisiä polyelektrolyyttejä tai kationisoituja luonnonpolymeerejä. Synteettiset polyelektrolyytit ovat pitkäketjuisia polymeerejä, joista osa on haaroittuneita ja osa suoraketjuisia. Yleisin retentioaineena käytetty kationisoitu luonnonpolymeeri on tärkkelys ja käytetyimmät synteettiset polyelektrolyytit ovat polyakryyliamidi (PAM), polyetyleneioksidi (PEO), polyetyleni-imiini (PEI), polyamiini sekä polyamidoamiini. Nykyään on yleistä että käytetään yhden retentioaineen sijaan retentioaineyhdistelmiä. (Knowpap; Holik 2013, 295-296.)

Kationinen tärkkelys eli massatärkkelys valmistetaan luonnollisesta ja anionisesta tärkkelyksestä lisäämällä kationisia ryhmiä sen molekyyliin kemiallisen sidoksen avulla. Katioimisen jälkeen massatärkkelyksen on mahdollista muodostaa vetysidoksia kuitujen ja itsensä väliin, mikä parantaa tuotteen lujuusominaisuuksia sekä prosessin retentiota. Koska kuidut sekä täyte- ja hienoaineet ovat yleensä anionisia, massatärkkelys saa aikaan monia uusia sidoksia, jotka pitävät kuitujen lisäksi pienemmät ainesosat paremmin rainassa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 43.)

### 5.1 Retentioaineyhdistelmät

Retentioaineyhdistelmät ovat nimensä mukaisesti kahden tai useamman retentiota parantavan aineen yhdistelmiä. Erilaisia yhdistelmiä tutkimalla on löydetty aineyhdistelmiä, joiden retention parantaminen johtuu niiden yhteisvaikutuksesta. Toinen vaihtoehto retentioaineyhdistelmän toimivuudelle on toisen aineen potentiaali poistaa retentiota häiritseviä aineita tai ehkäistä häiriötekijöitä prosessista. (Knowpap.)

Polymeeridualit ovat kahden synteettisen polyelektrolyytin yhdistelmiä. Tällaisten retentioaineyhdistelmien käyttäminen voi olla kuitenkin hankalaa, koska ne ovat herkkiä prosessin muutoksille. Polymeeridualissa ensin lyhyempiketjuinen polymeeri reagoi täyte- ja hienoaineiden kanssa absorboitumalla niiden pintaan. Pienten partikkelien pintaan kiinnittynyt lyhyketjuinen polymeeri helpottaa pitkäketjuisen polymeerin sitoutumista antamalla paremman kiinnityskohdan jo muodostuneeseen flokkiin tai lyhyketjuisen polymeerin ja partikkelin yhdistelmään. (Knowpap.)

Bentoniitin ja polyakryyliamidin teho retentioaineyhdistelmänä perustuu bentoniitin voimakkaaseen turpoamiseen veden vaikutuksessa. Tämä saa bentoniitin absorboimaan erilaisia prosessille ja retentiolle haitallisia aineita itseensä joka edistää varsinaisen retentioaineen tehoa. (Knowpap.)

Bentoniitin tavoin myös kationisella tärkkelyksellä on potentiaalia absorboida häiriöaineita prosessissa. Kationisen tärkkelyksen toiminta parantaa siis varsinaisen retentioaineen toimintaolosuhteita, jolloin retentioaineen tehokkuus lisääntyy. (Knowpap.)

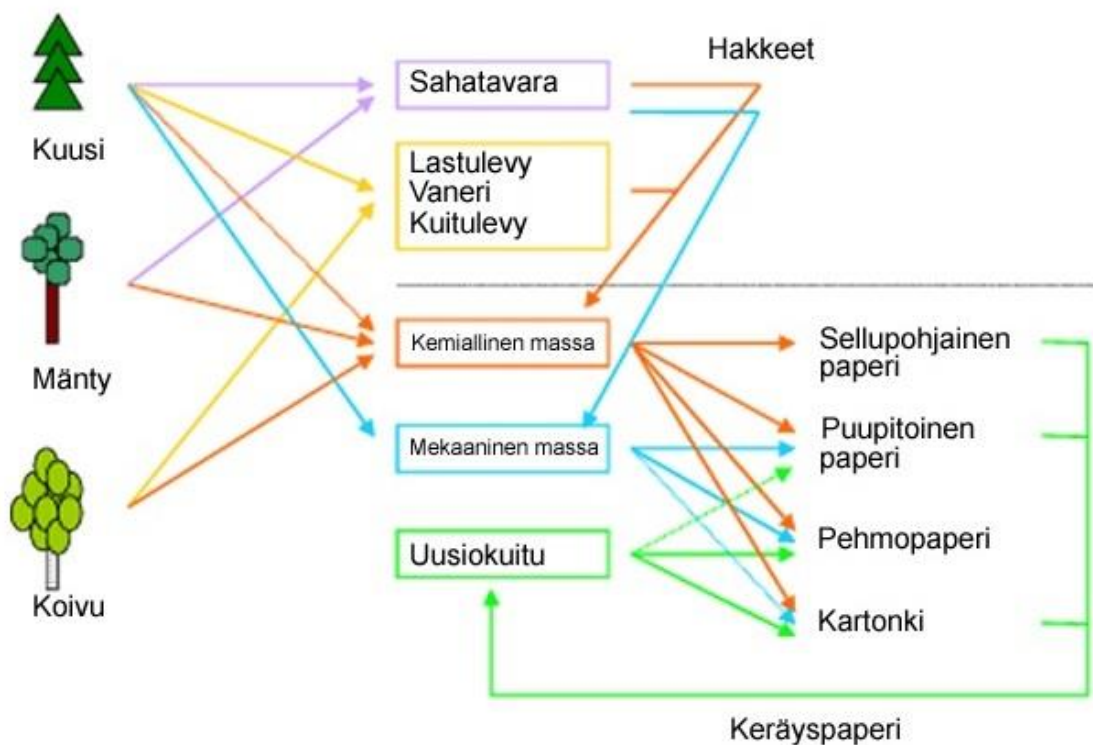
Polyetyleenioksidi on yksi ainesosa, jota kuitenkin pidetään eräänlaisena yhdistelmänä. Sen on mahdollista muodostaa polymeerikompleksi liuenneiden ja kolloidaalisten aineiden kanssa. Tämä kompleksi parantaa hienoaineen kiinnittymistä kuituihin parantaen retentiota. (Knowpap.)

Nanopartikkelisysteemit ovat kationisen polymeerin ja erittäin hienojakoisen nanopartikkelin, esimerkiksi silikaatin, yhdistelmiä. Yleensä aineet lisätään prosessiin eri vaiheissa, polymeeri massasuspensioon ja nanopartikkeli vasta juuri ennen perälaatikkoa. Käytetyt nanopartikkelit ovat useimmiten negatiivisesti varautuneita ja niiden yhteiskäyttö polymeerin kanssa saa aikaan mikroflokkeja massasuspensioon. Nanopartikkelisysteemit parantavat vedenpoistoa ja helpottavat kuivatusta, koska sen kyky flokkaantua uudelleen nostaa viiraosan jälkeistä huokoisuutta. Nanopartikkelisysteemin hyvä uudelleenflokkautumiskyky on nähtävissä flokkautuneesta viiravedestä. (Knowpap; Norell 1999, 52-53.)

## 6 Massat

Paperia ja kartonkia valmistaessa tärkein raaka-aine on kuitu. Prosessiin sopiva kuituraaka-aine saadaan eri puulajikkeista, haluttujen lopputuotteen ominaisuuksien mukaan. Käytetyllä massan valmistusprosessilla on myös suuri vaikutus lopputuotteeseen ja sen valmistamiseen. Kuituraaka-aineet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan valmistusmenetelmän mukaan; mekaanisiin massoihin sekä kemiallisiin massoihin eli selluihin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 14-15; Knowpap.)

Kuituraaka-aineet voidaan myös jakaa puutyypin perusteella kahteen pääryhmään, havupuihin ja lehtipuihin. Näiden puulajiryhmien suurin ero on kuitupituus. Havupuiden kuitupituus on keskimäärin 3 millimetriä ja lehtipuiden noin 1-2 millimetriä. Kuitujen pituudella on merkittävä vaikutus lopputuotteen optisiin ominaisuuksiin sekä lujuusominaisuuksiin. Lehtipuiden lyhyet kuidut parantavat lopputuotteen opasiteettia, sileyttä sekä bulkkia. Havupuiden pidemmät kuidut muodostavat lujempia sidoksia raihausvaiheessa ja se vaikuttaa positiivisesti paperin ja kartongin lujuusominaisuuksiin. Kuvassa 11 on esitetty yleisimmät Suomen paperi- ja kartonkiteollisuudessa käytetyt puutyypit ja niistä valmistettavat kuitumassat sekä lopputuotteet. (Knowpap.)



Kuva 11. Yleisimmät kuituraaka-aineet ja niistä valmistettavat massatyypit sekä lopputuotteet. (Knowpap)

## 6.1 Mekaaniset massat

Mekaanisten massojen valmistus tapahtuu joko hiomalla tai hiertämällä puuraaka-ainetta, josta saatua kuituraaka-ainetta kutsutaan joko hiokkeeksi tai hierteeksi. Nykypäivänä yleisimmät mekaanisten massojen valmistusmenetelmät ovat painehionta ja kuumahierto. Mekaanisen jauhamisen avulla kuiduista saadaan sitoutumiskykyisempiä, mikä on tärkeää mekaanisten massojen alhaisten lujuusominaisuuksien takia. Mekaanista jauhatusta voidaan tehdä paineen, veden ja korkean lämpötilan avulla. Jatkuvan fyysisen rasituksen johdosta puusta irtoaa kuituja. Erilaiset jauhatusmenetelmät saavat aikaan ominaisuuksiltaan erilaisia kuituraaka-aineita. Taulukossa 6 on esitetty mekaanisten massojen hyviä ja huonoja ominaisuuksia sekä vaikutuksia lopputuotteeseen. (Sundholm 1999, 17-18; Knowpap.)

Taulukko 6. Mekaanisten massojen ominaisuuksia ja vaikutuksia valmistusprosessiin sekä lopputuotteeseen. (Knowpap, muokattu 16.02.2015)

	Ominaisuus	Vaikutus
+	Pieni puun kulutus	Suuri massan saanto
+	Hyvä sileys	Hyvä painatustulos
+	Suuri hienoainepitoisuus	Hyvä opasiteetti
+	Hyvä bulkki & jäykkyys	
+	Hyvä palstautumislujuus	
+	Pienet päästöt ilmaan ja vesiin	
-	Suuri sähköenergian kulutus	
-	Ligniinipitoisuus	Arkistointikestävyys huono
-	Alhainen lujuus	Sellun tarve lajista riippuen

Painehiontaprosessissa puupöllit kuoritaan, jonka jälkeen ne hioutuvat paineen avulla hiontakiveä vasten. Tällä toimenpiteellä puun rakenne saadaan hajoamaan. Hiontaprosessin saanto on korkea, yleensä noin 92-95 % kuorinnan jälkeen, kun kaikkien mekaanisesti valmistettujen kuituraaka-aineiden saanto on noin 85-95 %. Kemikaalien käyttö mekaanisten massojen valmistuksessa saa saantoarvot pienenemään. Hiokkeen matalan vaaleustason johdosta se on etenkin parempia paperi- ja kartonkilajeja varten valkaistu. (Knowpap; Seppälä 2002, 53-54.)

Hierteet valmistetaan hakkeesta ja ne voidaan jakaa nykyään neljään luokkaan valmistusmenetelmän mukaan; kuumahierteeseen (TMP), kemi- ja kemikumahierteisiin

(CMP & CTMP) sekä valkaistuun kemikuumahierteseen (BCTMP). Yleisin puuraaka-aine hierteen valmistukseen on kuusi, mutta myös lehtipuiden käyttö on yleistynyt etenkin kemihierteen raaka-aineena. CTMP on hyvin yleinen kuituraaka-aine kartonkia ja pehmopaperia valmistaessa. Sen avulla voidaan parantaa tuotteen bulkkisuutta sekä etenkin monikerroksisen kartongin jäykkyyttä pienemmillä kustannuksilla kuin kemiallisia massoja käyttämällä. Kemimekaaniset massat valmistetaan mekaanisesti kemiallisen esikäsittelyn jälkeen. Kemikaaleilla tehtävän esikäsittelyn jälkeen puuta voidaan rasittaa varovaisemmin. Lisäksi kuidut eivät jauhaudu niin lyhyeksi kuin pelkkää mekaanista jauhatusta käyttämällä. (Seppälä 2002, 57-59, 73.)

## 6.2 Kemialliset massat

Kemiallista massaa valmistetaan lehti- ja havupuusta, Suomessa yleisimmin männystä, kuusesta ja koivusta. Valmistusprosessin nimi on sulfaattikeitto ja sen tarkoituksena on poistaa puuraaka-aineesta raakatärpättiä, raakasuopaa, muita lopputuotteelle haitallisia orgaanisia yhdisteitä sekä eritoten ligniiniä, joka sitoo puukuituja toisiinsa. Ligniini vaikuttaa lopputuotteeseen negatiivisesti edistämällä merkittävästi ajan kuluessa tapahtuvaa kellertymistä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 15; Seppälä 2002, 75.)

Kemialliset massat ovat sulfaattikeiton jälkeen väriltään ruskeita. Painettaviin paperi- ja kartonkilajeihin käytetyt massat yleensä valkaistaan. Valkaisuprosessissa kemiallisten massojen ligniini poistetaan lähes kokonaan. Nykystandardin mukainen ISO vaaleustaso voidaan kemiallisilla massoilla nostaa täysvalkaisun avulla 23-28%:n vaaleudesta noin 88-91 %:n vaaleuteen. (Seppälä 2002, 122.)

Kemiallisten massojen valmistusprosessissa saanto on paljon mekaanista jauhatusta pienempi, mikä lisää kustannuksia ja tästä syystä ne ovat merkittävästi kalliimpia kuin mekaaniset massat. Sellukuitujen käytölle on kuitenkin monia puoltavia syitä. Pitkäkuituisen puun kemiallinen käsittely mahdollistaa vahvat kuitusidokset, jotka parantavat lujuusominaisuuksien lisäksi ajettavuutta. Sellukuitujen puhtaus ja korkea vaaleus antavat lopputuotteelle hyvän pohjan painatusta varten ja haitallisten aineiden poiston jälkeen valmistusprosessin ongelmat vähenevät. Lopputuotteiden arkistointikestävyys paranee kemiallisesti käsiteltyjen kuitujen hyvän valon- ja lämmönkeston vuoksi. (Know-pap.)

### 6.3 Hylkymassa

Hylkymassa raaka-aineena on lajista riippuen taloudellisesti merkittävässä osassa ja sen käyttö on koko ajan kasvussa. Hylkymassa tarkoittaa jo kertaalleen valmistetun paperi- tai kartonkituotteen uudelleenkäyttöä. Se voi olla täysin loppuun valmistettua ja päällystettyä tuotetta tai esimerkiksi koneen ratakatkon aikana tulevaa päällystämätöntä hylkyä koneen ollessa käynnissä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 15; Knowpap.)

Kartonkiteollisuudessa käytetään hylkymassaa yleensä kerroksellisten tuotteiden sisäkerroksessa, jossa muuten käytettäisiin hylkyä kalliimpaa mekaanista massaa. Kartonkitehtaiden oma hylky käytetään uudelleen ja sitä muodostuu esimerkiksi lajinvaihtoista ja trimmausjäämistä. Myös konerullasta arkki- tai pituusleikatut kartonkituotteet pyritään aina käyttämään uudelleen jos niistä löytyy jälkikäteen laatuongelmia. Monikerroksisen kartongin pinta- ja taustakerroksien valkoisuudet peittävät uusiomassan mahdollisen huonon vaaleustason. (Knowpap; Seppälä 2002, 71.)

## LÄHTEET

Holik, H. 2013. Handbook of paper and board. Saksa, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.

Hägglom-Ahnger, U., Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy

KnowPap Versio 16.0. AEL / Proledge Oy 2015. Saatavilla rajoitetusti.  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/knowpap.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/knowpap.htm)

Krogerus, B. 1999a. Fillers and pigments. Teoksessa Neimo L. (toim.) Papermaking chemistry. Jyväskylä: Fapet Oy, 117-149.

Krogerus, B. 1999b. Laboratory testing of retention and drainage. Teoksessa Neimo L. (toim.) Papermaking chemistry. Jyväskylä: Fapet Oy, 83-93.

Norell, M., Johansson, K., Persson, M. 1999. Retention and drainage. Teoksessa Neimo L. (toim.) Papermaking chemistry. Jyväskylä: Fapet Oy, 43-81.

Ojala, T. 1999. Chemical bonds in papermaking. Teoksessa Neimo L. (toim.) Papermaking chemistry. Jyväskylä: Fapet Oy, 19-41.

Palonen, H. 1999. Influence of coated broke on wet end chemistry. Teoksessa Neimo L. (toim.) Papermaking chemistry. Jyväskylä: Fapet Oy, 241-251.

Seppälä, M. 2002. Paperimassan valmistus. Saarijärvi: Gummerrus Kirjapaino Oy

Sola, J. 2005. Kartongin irrotusluvun määrittäminen. Käyttöohje Metsä Board Tako 06.06.2005

Strengell, K. 2007. Retention vaatimukset paperikoneella. AEL/METSKO Insko seminaarit 6.2.2007

Sundholm, J. 1999. What is mechanical pulping?. Teoksessa Sundholm J. (toim.) Mechanical Pulping. Jyväskylä: Fapet Oy, 17-21.