



IRROKEPAPERIN PINTALIIMAUS JA KALANTEROINTI

Ville Mäkitalo

Irrokepaperin pintaliimaus ja
kalanterointi
Toukokuu 2013
Paperi-, tekstiili- ja kemian-
tekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikan suuntautuminen

VILLE MÄKITALO:

Irrokepaperin pintaliimaus ja kalanterointi

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2013

Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle tutkivana kirjallisuuskatsauksena. Tarkoituksena oli tutkia irrokepaperin valmistuksessa tehtävää pintaliimausta ja kalanterointia. Työn tavoitteena oli tehdä selvitys kyseisten prosessien taustoista sekä toteutuksista.

Pintaliimauksen tarkoituksena on tuoda paperille halutut pinta- ja lujuusominaisuudet. Se toteutetaan tyypillisesti filmiliimapuristimella. Paperin yläpinnalle (tarrapinta) applikoidaan pigmentistä (kaoliini) ja sideaineista (CMC & PVA) koostuva pintaliima, joka tuo yläpinnalle vaadittavan huokoisuuden sekä öljyn absorption. Taustapuoli paperista käsitellään tärkkelyksellä, jolla saadaan paperiin haluttu läpikuultavuus ja käyristymisenhallinta.

Kalanteroinnilla viimeistellään pintaliimattu paperi siten, että sille saavutetaan ominaisuudet, joita siltä vaaditaan jatkojalostuksen ja loppukäytön suhteen. Irrokepaperin kalanterointiin käytetään tyypillisesti superkalanteria (moninippikalanteri). Kalanterointi suoritetaan suuria linjapaineita käyttäen toispuoleisesti eli tarrapinta kalanteroituu jokaisessa nipissä kromipinnoitettuja terästeloja vasten ja taustapuoli polymeeriteloja vasten. Täten paperille saadaan haluttu tiiveys, kiilto ja sileys.

Pintaliimauksen ja kalanteroinnin avulla irrokepaperin ominaisuudet viimeistellään vaaditulle tasolle, jolloin siitä voidaan jalostaa hyvät irrotusominaisuudet omaavaa tarran taustapaperia. Heikko pintaliimaus aiheuttaa jatkojalostuksessa ongelmia sekä heikentää irrotusominaisuuksia. Kalanterointi siis viimeistelee paperin, eikä se yleensä vaikuta heikentävästi irrokepaperin ominaisuuksiin ilman ajo- tai tela-ongelmia. Pintaliimaus sekä kalanterointi ovat omalla tavallaan optimointiprosesseja. Pintaliimauksessa pyritään käyttämään mahdollisimman vähän pintaliimaa, sen kalliin hinnan vuoksi. Kalanteroinnissa taas pyritään haluttuihin ominaisuuksiin mahdollisimman vähäisillä negatiivisilla vaikutuksilla paperiin. Molempien prosessien mahdollisimman hyvällä optimoinnilla päästään lopputulokseen, jossa säästetään raaka-ainekustannuksissa sekä saadaan aikaiseksi paperia, jolla on parhaat mahdolliset ominaisuudet.

Asiasanat: irrokepaperi, pintaliimaus, kalanterointi

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Paper Technology

VILLE MÄKITALO:
Surface Sizing and Calendering of Release Paper

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 0 pages
May 2013

This thesis was done to Tampere University of Applied Sciences as an examining literary research. The purpose was to study the surface sizing and calendering which is done in the making of the release paper. The aim of the thesis was to make the report on the backgrounds and processes in question.

The purpose of the surface sizing is to bring a good surface– and strength properties. It is typically carried out with film size press. To the upper surface is applied glue which contains pigments like kaoline and binders such as CMC and PVA. The glue for the upper surface brings the required porosity and absorption of oil to it. The background of the paper is glued with starch which brings the desired translucence and bending control.

With the calendering the surface sized paper is finished so that reaches the properties which are required of it in converting and in regard to the end use. A supercalender is typically used for the calendering of the release paper. The calendering is performed using big line pressures one–sided which means that the upper surface is calendered in every roll nip against the chrome faced steel rollers and the background of the paper is calendered against the polymer faced rollers. With these process properties can be reached desired density, gloss and smoothness to the paper.

With the help of surface sizing and calendering the properties of the release paper are reached which are necessary in converting to get good releasing properties out of the background paper. The weak surface sizing causes problems in the converting and weakens the releasing properties. Calendering finishes the paper and typically do not cause any problems to the properties of the paper if there are not problems in calendar driving or roller surfaces. The surface sizing and the calendering are optimization processes in their own way. In the surface sizing an attempt is to use glue as little as possible, because of its high price. In the calendering, however, the desired properties are striven for with as minor negative effects as possible on the paper. With as good optimization as possible of both processes can be reached the result where have been saved costs of raw materials and got out the best properties as possible of the paper.

Key words: release paper, surface sizing, calendering,

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	IRROKEPAPERI	7
3	PINTALIIMAUS.....	8
3.1	Pintaliimauksessa muuttuvat paperin ominaisuudet	8
3.2	Pintaliimaukseen vaikuttavat tekijät	9
3.3	Pintaliimauslaitteet.....	10
3.3.1	Lammikkoliimapuristin.....	10
3.3.2	Filmiliimapuristin.....	11
3.4	Pintaliiman konekierto	14
3.5	Pintaliiman pick-upin muodostuminen	15
3.6	Pintaliiman kuivatus	16
3.7	Pintaliimausaineet	16
3.7.1	Tärkkelys.....	17
3.7.2	Karboksyylimetyyliselluloosa.....	17
3.7.3	Polyvinyylialkoholi	18
3.7.4	Muut pintakäsittelyaineet ja pigmentit.....	18
3.8	Pintaliiman ominaisuuksien vaikutus pintaliimausprosessissa.....	20
3.8.1	Kuiva-ainepitoisuus	20
3.8.2	Viskositeetti	21
3.8.3	Pintavaraus, partikkelikoko ja stabiilius	21
3.9	Irrokepaperin pintaliimaresepti.....	21
3.10	Liimausasteen määrittämiseen käytettävät menetelmät.....	22
4	KALANTEROINTI.....	24
4.1	Kalanteroitumismekanismit	25
4.1.1	Puristuminen paksuussuunnassa	26
4.1.2	Partikkelien siirtyminen	26
4.1.3	Partikkelien suuntautuminen.....	26
4.1.4	Jäljentyminen	27
4.2	Kalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin	27
4.3	Kalanterointimenetelmät.....	30
4.3.1	Esikalanterit.....	30
4.3.2	Viimeistelykalanterit.....	30
4.4	Superkalanterointi	34
4.4.1	Puristumiseen vaikuttavat tekijät	34
4.4.2	Siirtymiseen, suuntautumiseen ja hioutumiseen vaikuttavat tekijät	37
4.4.3	Jäljentymiseen vaikuttavat tekijät	37

4.5 Irrokepaperin kalanterointi	38
5 POHDINTA.....	40
LÄHTEET.....	42

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua irrokepaperin pintaliimauksen ja kalanteroinnin teoriaan. Työssä perehdytään pintaliimauksessa käytettäviin menetelmiin, pintaliimausaineisiin ja niiden ominaisuuksiin sekä kalanteroinnin vaikutusmenetelmiin ja ajoparametreihin. Pintaliimauksen ja kalanteroinnin seurauksena irrokepaperi saa ne ominaisuudet, joita siltä vaaditaan jalostuksen sekä käytön suhteen.

Työn tavoitteena on syventyä juuri irrokepaperin valmistuksessa tehtävään pintaliimaukseen ja kalanterointiin. Tavoitteina on ymmärtää pintaliimaustapahtuma siinä käytettävine laitteineen sekä tutustua käytettävien pintaliimausaineiden ominaisuuksiin ja vaikutuksiin. Lisäksi tavoitteena on ymmärtää kalanteroinnin ja erityisesti superkalanterin vaikutukset pintaliimattuun paperiin sekä perehtyä käytettäviin ajoparametreihin.

Pintaliimaus voidaan prosessina suorittaa erilaisilla laitteistoilla. Siinä voidaan käyttää monenlaisia aineita kuten sideaineita ja pigmenttejä riippuen halutuista ominaisuuksista. Kalanterointi on myös prosessi, joka voidaan suorittaa monenlaisia eri laitteistoja käyttämällä ja joilla on jokaisella omat rakenteensa ja tarkoituksensa. Työ on rajattu siten, että syvennyttiin irrokepaperilla käytettäviin menetelmiin ja ajo-ominaisuuksiin niin pintaliimauksessa kuin kalanteroinnissakin.

Työn alussa esitellään irrokepaperi ja sen ominaisuudet lyhyesti. Tämän jälkeen työn ensimmäisessä laajassa osiossa perehdytään pintaliimaukseen, josta ensin käydään läpi sen vaikutukset paperiin ja esitellään pintaliimauslaitteet. Sitä seuraa pintaliimausprosessin vaiheet, pintaliimausaineet sekä yleisesti irrokepaperin pintaliimaukseen käytettävät reseptit. Lisäksi kerrotaan vielä pintaliimauksen määrittämiseen käytettävistä testausmenetelmistä lyhyesti. Työn toisessa laajassa osiossa perehdytään aluksi kalanterointimekanismeihin sekä kalanteroinnin vaikutusmenetelmiin paperissa. Sen jälkeen syvennyttään superkalanterointitapahtumaan ja sen ajoparametreihin irrokepaperilla. Lopuksi vedetään nämä kaksi prosessia yhteen ja pohditaan niiden toimintaa, vaikutuksia ja mahdollisia parannettavia asioita.

2 IRROKEPAPERI

Tarralaminaatin taustapaperia eli irrokepaperia käytetään suojaamaan tarrapaperin liimapintaa. Sen tulee irrota helposti tarrapaperista. Jotta irrotus tapahtuisi helposti, päällystetään taustapaperi ohuella silikonikerroksella joko ennen laminointia erillisessä päällystysyksikössä tai laminoinnin yhteydessä. Irrokepapereina käytetään kahden tyyppisiä papereita, pigmenttipäällystettyä voimapaperia tai Glassine–tyyppistä superkalanteroitua voimapaperia. Neliömassaltaan taustapaperi on tyypillisesti välillä 50–90 g/m². (VTT 2010)

Irrokepaperi valmistetaan tyypillisesti kemiallisesta massasta. Pitkäkuitusulfaattia käytetään normaalisti 30–60 % ja loppuosa voi olla lyhytkuitusulfaattia, osin CTMP:tä tai erikoismassaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 69)

Pigmenttipäällystetty voimapaperi on superkalanteroitua paperia, jolla on kiiltävä, sileä ja tiivis pinta sekä hyvä mittapysyvyys. Lujuusominaisuudet sillä ovat Glassine–tyyppiseen voimapaperiin verrattuna huonot. Glassine–tyyppinen voimapaperi on taas läpinäkyvää ja erittäin tiivistä paperia, jolla on korkea tiheys ja kiilto sekä hyvät lujuusominaisuudet. Sen valmistuksessa käytetään voimakasta jauhatusta ja kalanterointia. Läpinäkyvyytensä takia Glassine–tyyppistä voimapaperia käytetään paljon etiketointikoneissa, missä etikettien kulkua ohjataan valokennoilla. (KnowPap 2010; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 69)

Yksi tärkeimmistä irrokepaperin ominaisuuksista on sen pinnan sileys tarrapuolelta. Liika pinnan karheus aiheuttaa sen, ettei silikoni kykene täysin peittämään paperin pintaa, mikä heikentää irrotusominaisuuksia. Toinen tärkeä ominaisuus on irrokepaperin pinnan huokoisuus, jonka tulee olla mahdollisimman pieni, jotta silikoni ei tunkeutuisi paperin sisäosiin. Jos paperin pinnalla on liian suuria huokosia, pääsee laminaatin liima-aine kosketuksiin kuitujen kanssa, mikä aiheuttaa myös huonontavasti irrotusominaisuuksiin. Tasainen silikonifilmi saadaan sitä pienemmällä silikonin määrällä aikaiseksi, mitä pienemmät ovat paperin pintahuokokset. Taustapaperin tulee olla myös kemiallisesti sopivaa silikonipäällysteelle sekä omata riittävä lujuus ja hyvä mittapysyvyys, jotta paperi kestää kuivatuksen ja kostutuksen vaikutukset. Koska silikoni on kallis aine, pyritään sen käyttö minimoimaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 69; VTT 2010)

3 PINTALIIMAUS

Pintaliimauksen tarkoituksena on kasvattaa paperin lujuusominaisuuksia, kuten pintalujuutta, pienentää pinnan huokoisuutta ja muokata pintakemiallisia ominaisuuksia haluttuun suuntaan. Lisäksi sillä on jäykkyyttä lisäävä vaikutus. Pintaliimausta käytetään yleisesti myös esikäsitteilynä ennen varsinaista pigmenttipäällystystä. Tyypillisesti pintaliimausyksikkö on sijoitettuna paperikoneen kuivatusosan siihen kohtaan, missä kuivatuskapasiteetista on vielä noin kolmasosa jäljellä (rainan kosteus on 4–15 %), sillä pintaliima tarvitsee kuivatusta jähmettyäkseen radan pintaan. (Aarni Paper Making Science Volume 11 Pigment Coating and Surface Sizing of Paper 2009, 18)

Kuitujen välisiä sidoksia lisäämään ja lujuusominaisuuksia parantamaan pintaliima sisältää tyypillisesti vesiliukoisia polymeerejä kuten tärkkelystä, selluloosajohdannaisista (CMC) ja polyvinyylialkoholia (PVA). Polymeerien lisäksi pintaliimassa käytetään lisäaineita parantamaan itse pintaliiman ominaisuuksia sekä täyteaineita, joiden määrä on välillä 2–15 % koko pintaliiman määrästä. (Aarni Paper Making Science Volume 11 Pigment Coating and Surface Sizing of Paper 2009, 18)

3.1 Pintaliimauksessa muuttuvat paperin ominaisuudet

Pintaliimauksella voidaan vaikuttaa moniin paperin ominaisuuksiin. Se muuttaa seuraavia paperin ominaisuuksia:

- Pintalujuus paranee, jolloin paperin pölyävyys vähenee ja pinnan kulutuskestävyys lisääntyy.
- Sisäiset lujuudet paranevat, mikä vaikuttaa veto-, puhkaisu- ja palstautumislujuuksien parantumiseen. Lisäksi paperin jäykkyys sekä taittoluku paranevat.
- Pinnan ominaisuudet paranevat ja täten öljyn, veden ja musteen kesto parantuvat. Lisäksi myös paperin sileys paranee ja huokoisuus alenee.
- Vaaleus ja opasiteetti alenevat.
- Tiheys kasvaa.

Ensisijaisesti pintaliimauksen laatuun vaikuttavat liiman määrä ja sen jakauma paksuus-suunnassa. Paperiin tunkeutuva liima parantaa sen sisäisiä lujuuksia, kun taas pintaa jäävä liima parantaa erityisesti jäykkyyttä ja pinalujuutta. Mitä enemmän liimaa jää paperin pintaa, sitä vähemmän paperin optiset ominaisuudet huononevat. (VTT 2010)

3.2 Pintaliimaukseen vaikuttavat tekijät

Pintaliimaukseen vaikuttavat pohjapaperin laatu, pintaliimauslaite sekä pintaliiman ominaisuudet. Pohjapaperin laadun vaikutus rajoittuu lähinnä liiman tunkeutumiseen paperin sisälle. Sitä enemmän liimaa tunkeutuu paperin sisälle, mitä huokoisempaa ja karkeampaa paperi on. Jauhatuksen määrää lisäämällä voidaan vaikuttaa huokoisuuteen pienentävästi, jolloin pintaliiman määrä paperissa pienenee. Myös neliömassalla on kasvattava vaikutus pintaliiman määrään paperissa aina 100 g/m²:iin asti, minkä jälkeen sillä ei ole enää vaikutusta. Pohjapaperin kosteudella voidaan vaikuttaa pintaliiman imeytymiseen. Kuiva paperi imee pintaliimaa kosteampaa heikommin. Imeytymisen yläraja saavutetaan kuitenkin kosteusalueella 5–12 %. (Annala Päällysteen reologiaan vaikuttavat tekijät 2006, 11)

Pintaliiman määrä vaikuttaa paperin palstautumislujuuteen, jäykkyyteen ja ensisijaisesti sen pinalujuuteen. Liiman tunkeutumiseen paperin sisälle voidaan vaikuttaa liiman kuiva-ainepitoisuudella. Sitä enemmän liimaa jää paperin pintaan, mitä korkeampi on liiman kuiva-ainepitoisuus. Myös pintaliiman viskositeetilla voidaan vaikuttaa liiman imeytymiseen. Sitä enemmän liimaa jää paperiin, mitä viskoottisempaa liimaa käytetään. (Annala Päällysteen reologiaan vaikuttavat tekijät 2006, 11)

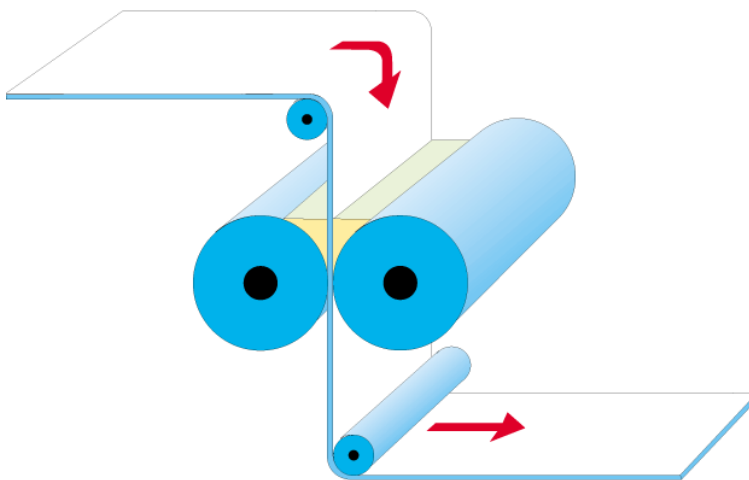
Pintaliimauslaitteella voidaan vaikuttaa yleensä vain pintaliiman määrään paperissa. Esimerkiksi käytettäessä filmiliimapuristinta pintaliiman määrää voidaan kasvattaa paperissa lisäämällä applikointitelan pinnalla olevan pintaliiman määrää. Applikointitelan pinnalla olevan pintaliiman määrään voidaan vaikuttaa käytettävän sauvan koolla sekä osittain myös paineella. Karkeaa sauvaa ja korkeaa liiman kuiva-ainepitoisuutta käyttämällä saadaan pintaliimaa enemmän rainan sisään. (Annala Päällysteen reologiaan vaikuttavat tekijät 2006, 11)

3.3 Pintaliimauslaitteet

Pintaliimaukseen käytetään kahta eri liimapuristintyyppiä. Perinteinen liimapuristin on lammikkoliimapuristin, jota käytetään nykyään lähinnä kartongin valmistuksessa. Toinen käytössä oleva liimapuristintyyppi on filmiliimapuristin, joka on pääsääntöisesti käytössä paperinvalmistuksessa. (VTT 2010)

3.3.1 Lammikkoliimapuristin

Lammikkoliimapuristin (kuva 1) on kahden pyörivän telan muodostama yksikkö, joiden väliin applikoidaan liima-ainelammikko. Yksikössä telat voivat olla horisontaalisessa, kaltevassa tai vertikaalisessa asennossa. Liima puristetaan rataan ohjaamalla paperirata lammikon läpi nippiin, missä liimaseos applikoituu rataan telojen ja radan välisessä lammikossa. Tärkein lammikkoliimauksen ominaisuus on sillä saavutettava tärkkelyksen hyvä tunkeuma, joka on tavoitteena lisättäessä sisäistä lujuutta. Ongelmana lammikkoliimapuristuksessa on applikointilammikon epästabiilius korkeilla ajonopeuksilla, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että sillä ei päästä ajonopeuksiin yli 1000 m/min:ssa. (VTT 2010)



KUVA 1. Lammikkoliimapuristinyksikkö. (VTT 2010)

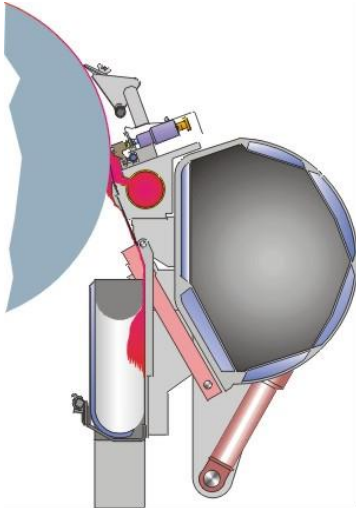
3.3.2 Filmiliimapuristin

Irrokepaperin valmistuksessa käytettävässä filmiliimapuristuksessa (kuva 2) urasauvalla aplikoidaan pintaliima nippitelan pinnalle, mistä se siirretään telojen välisessä nipissä paperiin. Nipissä vallitseva viivakuorma on noin 20–40 kN/m. Paineen vaikutuksesta liimassa oleva vesi alkaa siirtyä paperirataan, jolloin samanaikaisesti telapinnan ja paperin välissä oleva märkäfilmiin kuiva-aine alkaa nousta ja muodostuu jähmettynyt vyöhyke. Nipin jälkeen liimafilmi halkeaa, milloin tyypillisesti paperin pinnalle pintaliimasta siirtyy 70–90 % ja 10–30 % siitä jää telan pinnalle. Liimafilmin määrään vaikuttaa lähinnä telan pinnoitteen ja urasauvan profiilin muodostama avoimen poikkipinnan suuruus, mihin taas vaikuttaa eniten sauvan kuormitus, uraprofiilin muoto sekä telapinnoitteen kovuus. Lopullinen liiman tunkeuma paperiin määräytyy pääosin liiman ominaisuuksien ja pohjapaperin huokoisuuden mukaan. (VTT 2010)



KUVA 2. Filmiliimapuristinyksikkö, PK 5 irrokepaperilinja, UPM-Kymmene Oyj Tervasaaren paperitehdas. (Kunnas Online – kuituorientaatiomittarin hyödyntäminen tarra-paperin taustan käyrityksen hallinnassa, 2005)

Filmiliimauksessa liimafilmin applikointi telalle (kuva 3) tapahtuu joko sileän sauvan, urasauvan tai joissain tapauksissa pienkulmaterän avulla. Applikointilaitteina filminmuodostuksessa telalle käytetään tyypillisesti erilaisia lyhytviipymä- ja rei'itetty patoteräperiaatteella toimivia laitteistoja. (VTT 2010)



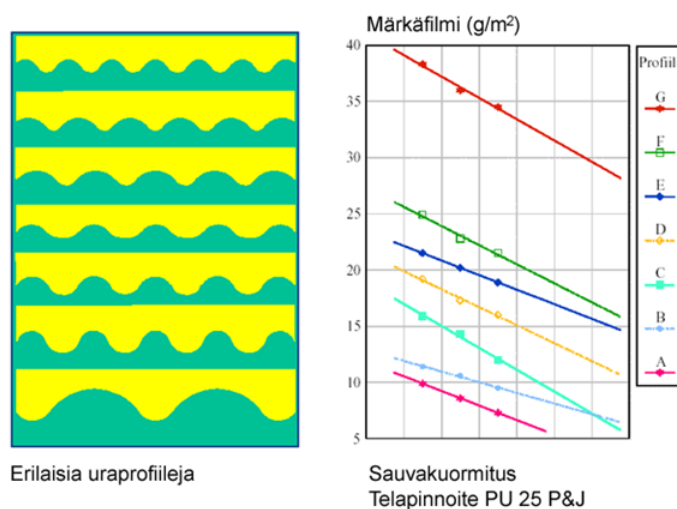
KUVA 3. Filminsiirtopäällystimen applikointipalkki. (VTT 2010)

Telojen pinnoitusmateriaalina pintaliimauksessa käytetään useimmiten polyuretaania tai kumia. Nipissä telojen pinnoitteen puristuminen tuottaa lämpöä, minkä johdosta teloissa saatetaan käyttää vesijäähdytystä. Pinnoite pintaliimauksessa (10–25 P&J) käytettävissä teloissa on verrattaessa kovempi kuin päällystyksessä (yli 35 P&J). Pintamateriaali on kovempaa muun muassa siksi, että urasauva kuluttaa pinnoitetta. Lisäksi filminsiirtolaitteiston telapinnoite bombeerataan (hiotaan päistä ohuemmaksi kuin keskeltä), jotta saavutettaisiin tasainen viivakuorma- ja paperin nopeusprofiili, millä voidaan välttää rainan vekkaantuminen. (VTT 2010)

Urasauva

Tyypillisesti pintaliimauksessa käytetään urasauvaa. Applikointiperiaate urasauvalla on volumetrinen eli filmimäärä määräytyy lähinnä telapinnoitteen ja urasauvan profiilin muodostaman avoimen poikkipinnan mukaisesti. Eniten siihen vaikuttavat telapinnoitteen kovuus, uraprofiilin muoto sekä sauvan kuormitus. (VTT 2010)

Uraprofiilin valinta tehdään paperiin tavoiteltavan tärkkelysmäärän mukaan, samalla huomioiden myös liiman kuiva-ainepitoisuus. Filmipuristimen nipissä paperin vastaanottama liiman maksimifilmimäärä per puoli on 30 g/m^2 :n luokkaa paperilajista riippuen. Mikä tulee ottaa huomioon valittaessa sekä tärkkelyksen kuiva-ainepitoisuutta että urasauvaa. Liiman kuiva-ainepitoisuudella on vaikutus tärkkelyksen tunkeumaan, jolla taas on huomattava vaikutus useisiin paperin ominaisuuksiin. Kuvassa 4 on esitettyä erilaiset uraprofiilit sekä niillä saatavat märkäfilmimäärät. (VTT 2010)



KUVA 4. Erilaiset uraprofiilit sekä niillä saavutettavat filmimäärät. (VTT 2010)

Käytettävät urasauvat ovat halkaisijaltaan 10–25 mm. Sauvan halkaisijalla on vaikutus filminpaksuuden herkkyteen sauvakuormasta, sillä pienemmän halkaisijan omaava sauva painautuu samalla sauvakuormalla syvemälle telapinnoitteeseen, kuin suuremman halkaisijan omaava sauva. Käytettävissä olevista urasauvahalkaisijoista yleisimmin käytetty on 10 mm. (VTT 2010)

Suurempihalkaisijaisella urasauvalla on pidempi käyttöikä verrattaessa pienempihalkaisijaiseen sauvaan, mikä onkin vaikuttava tekijä valittaessa käyttöön suurempihalkaisijaista sauvaa. Tavallinen käyttöikä urasauvalla on noin parin viikon luokkaa. Lisäksi urasauvan halkaisijan kasvaessa hydrodynaamisilla tekijöillä on suurempi vaikutus filmimäärän muodostumiseen. (VTT 2010)

Sileä sauva

Halkaisijaltaan 14–60 mm sileitä sauvoja käytetään märkäfilmin muodostamiseen urasauvan tavoin. Etuna, sileällä sauvalla on urasauvaan nähden sen hitaampi kuluminen. Märkäfilmin siirtyminen applikointitelan pinnalle tapahtuu telan pintaan kohdistuvan hydrodynaamisen voiman avulla. Tavoitepintaliimamäärän saavuttaminen ajon aikana voidaan varmistaa säädön avulla. Märkäfilmin paksuuteen vaikuttavat tietyssä määrin liiman viskositeetti suuren leikkausnopeuden alaisena sekä koneen nopeus. Pintaliimamäärä kasvaa nopeuden kasvaessa varsinkin, kun liiman viskositeetti on suuren leikkausnopeuden alaisena. Liiman viskositeetin tai koneen nopeuden ollessa pieni, tulee kasvattaa sauvan halkaisijaa, jotta tietty pintaliimamäärä saavutettaisiin. (Annala Päällysteen reologiaan vaikuttavat tekijät 2006, 14)

Superkalanteroitua irrokepaperia valmistettaessa PVA/CMC-pintaliimattuna yli 600 m/min konenopeuksilla, on sileä sauva ainoa vaihtoehto pintaliiman annosteluun. Suurena etuna korkean kuiva-ainepitoisuuden ja korkean nopeuden lisäksi on paperin valmistukseen käytettävän kalliin liiman alentunut määrä, mihin vaikuttaa suuri liiman viskositeetti, joka pitää liiman paperin pinnassa. Toinen puoli paperista käsitellään tyyppillisesti tärkkelyksellä, millä saavutetaan haluttu läpikuultavuus ja käyrityksen kontrollointi sekä säästetään lisää kemikaaleja. (Annala Päällysteen reologiaan vaikuttavat tekijät 2006, 15)

3.4 Pintaliiman konekierto

Pintaliimauksen syöttöprosessi on applikointitavasta riippumatta pääpiirteittäin samanlainen. Keitetty tärkkelys johdetaan paperikoneelle 10–20 % kuiva-ainepitoisuudessa, missä se laimennetaan suhdesäädöllä lämpimällä vedellä 4–12 %:iin ennen liiman konesäiliötä. Lämpötila liimalla tulee olla luokkaa 55–60 °C. Konesäiliöön tulevaa tärkkelysvirtaa ohjaa konesäiliön pinnansäätö. Pintaliima pumpataan konesäiliöstä sihtien kautta kahdella linjalla liimapuristimelle, mistä toinen applikoi rainan alapinnalle ja toinen rainan yläpinnalle.

Pintaliiman epäpuhtaudet poistetaan hienojakoisella sihdillä. Kummallakin syöttölinjalta on oma pumpunsa. Applikointipäistä tai nipistä tuleva paluukierrot ohjataan konesäiliöön tärysihdin kautta. Tärysihdin tehtävänä on kerätä mm. katkojen yhteydessä liimakiertoon joutuva paperi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 182)

3.5 Pintaliiman pick-upin muodostuminen

Liimapuristuksessa pick-upilla tarkoitetaan liiman märkää määrää, joka siirtyy applikointitelalta rainaan puristinnipissä. Pintaliiman pick-up muodostuu kolmesta osatekiestä, jotka ovat:

- rainan pintakarheustilavuudesta eli pohjapaperitermistä
- kapillaari- ja paineabsorptiosta pintaliimakammiossa eli absorptiotermistä
- rainan pinnalle jäävästä vapaasta liimafilmistä eli hydrodynaamisesta termistä.

Pohjapaperitermi tarkoittaa sitä pintakarheustilavuutta, joka täyttyy pintaliimasta hyvin pienessä ajassa rainan jouduttua kosketuksiin liiman kanssa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 182)

Absorptio- ja hydrodynaamisessa termissä tärkeimmät pick-upin hallintasuureet, pintaliiman viskositeetti ja kontaktiaika vaikuttavat käänteisesti. Kasvavan viskositeetin ja konenopeuden (kontaktiaika lyhyempi) funktiona absorptiotermin osuus pienenee, kun taas vastaavasti samanlaisessa tilanteessa hydrodynaamisen termin osuus suurenee. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 182)

Ajettaessa liimapuristinta suurilla konenopeuksilla hydrodynaamisen termin osuus koko pick-upista on ratkaiseva, kun taas erittäin pienillä konenopeuksilla absorptiotermin osuus on huomattavassa roolissa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 182)

3.6 Pintaliiman kuivatus

Paperin kuivatusta on jatkettava pintaliimauksen jälkeen, sillä sen yhteydessä paperiin tuodaan vettä. Pintaliimauksen yhteydessä paperin välitön kuivaaminen on mahdollista kontaktikuivatuksella eli kuivatussylintereiden avulla, mutta kuivatus voidaan aloittaa myös kontaktittomasti joko infrapuna- tai ilmakeivaimella (kuva 5) (ts. leijukuivain). Irrokepaperin valmistuksessa käytetään tyypillisesti kontaktitonta kuivatusta heti pintaliimauksen jälkeen. Kontaktittomalla kuivatuksella voidaan tällöin ehkäistä märän paperin aiheuttamat sylinterien likaantumisongelmat. (VTT 2010)



KUVA 5. Valmetin valmistama TurnDry ilmakeivain (VTT 2010)

3.7 Pintaliimausaineet

Käytetyin pintaliimausaine on ylivoimaisesti tärkkelys. Muita sideaineita kuten CMC:tä tai PVA:ta käytetään pääasiassa vain erikoistuotteissa kuten irrokepaperin pintaliimauksessa. Muut pintaliimat ovat tärkkelystä kalliimpia aineita, mutta niillä saadaan aikaan erilaiset pintaominaisuudet verrattuna tärkkelykseen. Sideaineiden lisäksi pintaliimauksessa käytetään pigmenttejä, joista yleisimmin käytetty on kaoliini. Pääkomponenttien ohella pintaliimassa käytetään lisäaineita kuten hydrofobisia polymeerejä ja suolaa. Tärkein pintaliiman ajettavuuteen vaikuttava ominaisuus on viskositeetti. (VTT 2010)

Kuten edellä on mainittu, voidaan tyypillisten pintaliimausaineiden lisänä pintaliimauksessa käyttää pigmenttejä. Tällöin on kyse pigmentoinnista. Sen avulla vaikutetaan paperin huokoisuuteen täyttämällä päällystyspastalla paperihuokosia. Tyypillisesti juuri irrokepaperin pintaliimauksessa käytetään tarrapuolella pigmentointia. Yleensä pigmentointipasta koostuu puoliksi pigmentistä kuten kaoliinista ja puoliksi sideaineesta kuten CMC:stä. Normaalisti pigmentointipäällysteen kuiva-ainepitoisuus on 15–20 % välillä. Päällystemääränä käytetään tyypillisesti noin 1,0–2,0 g/m²/puoli. (VTT 2010)

3.7.1 Tärkkelys

Tärkkelys on yleisin lujuuden lisäämiseen käytetty pintaliima. Sitä voidaan valmistaa mm. maissista, vehnästä, perunasta ja riisistä. Irrokepaperin pintaliimauksessa tärkkelystä käytetään vain toisella puolella paperia (ei tarrapuolella). (VTT 2010)

Raakatärkkelyksellä on korkea viskositeetti, minkä vuoksi tärkkelys on aina konvertoitava. Tärkkelyksen konvertointi eli sen viskositeetin alennus ja lämpötilapysyvyyden parannus tapahtuu pilkkomalla tärkkelysmolekyylit esimerkiksi entsyymeillä tai hapettamalla. Konvertointi suoritetaan joko paperitehtaalla tärkkelyksen keiton yhteydessä tai tärkkelystehtaassa. Myös konvertoidut tärkkelykset on kuumennettava, jotta tärkkelys gelatinoituisi eli muuttuisi kiinteästä geelimäiseksi massaksi. (VTT 2010)

Varaus tärkkelyksellä on joko heikosti negatiivinen tai neutraali. Tällöin luonnontärkkelys sitoutuu ainoastaan vetysidosten avulla kuituihin. Tämä tosin saattaa aiheuttaa ongelmia, kun hylyn mukana paperikoneen lyhyeen kierto on joutuu pintaliimattua paperia, mikä voi aiheuttaa märänpään kemiaan ja tehtaan jätevesipäästöihin ongelmia. Tärkkelystä on mahdollista modifioida muuttamalla sen viskositeettia, kuiva-ainepitoisuutta, varaustasoa sekä hydrofobisuutta tai –fiilisyyttä. (VTT 2010)

3.7.2 Karboksyyliimetyyliselluloosa

Karboksyyliimetyyliselluloosa eli CMC on synteettisesti valmistettu aine. Sitä käytetään sideaineena ja paksuntajana. CMC valmistetaan alkaaliselluloosan ja monokloorietikkahapon tai sen natriumsuolan välisellä reaktiolla. Reagenssin eri olosuhteilla kuten läm-

pötilalla saadaan aikaan eroja eri CMC-laatuojen välillä mm. substituutioasteessa ja viskositeetissa. CMC on mahdollista dispergoida kylmään veteen, mutta lämpimään veteen dispergoituna sen dispergointiaika lyhenee huomattavasti. CMC:n kasvava viskositeetti rajoittaa sen konsentraatiota. (VTT 2010)

Pääasiallisena tehtävänä CMC:llä on käyttökohteissa viskositeetin säätö, koska sillä on hyvä filminmuodostuskyky. Pintaliimauksessa CMC:llä voidaan vaikuttaa myös öljynabsorptioon ja vesiretentioon. Lisäksi CMC parantaa pinnan elastisuutta ja täten hankauskestävyyttä. (VTT 2010)

3.7.3 Polyvinyylialkoholi

Polyvinyylialkoholi eli PVA muodostaa paperin pinnalle kalvon, millä on hyvin korkea öljyn pidätyskyky, joustavuus ja vetolujuus. Vedenpidätyskykykin on kohtalaisen hyvä ja sitä on mahdollista parantaa alkalistabiloidulla kolloidisella silikaatilla tai hartsilla. PVA:ta voidaan käyttää joko yhdessä tärkkelyksen kanssa tai aivan pelkästään. Jos aineita käytetään yhdessä saattaa ongelmaksi tulla liuksen leikkauspaksuneva käyttäytyminen, mikä aiheuttaa ajettavuusongelmia. (VTT 2010)

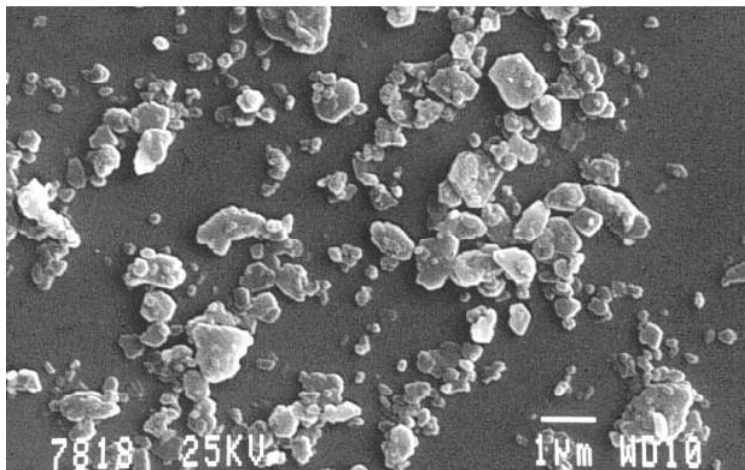
3.7.4 Muut pintakäsittelyaineet ja pigmentit

Liimapuristimella voidaan lisätä laaja ryhmä erilaisia muun tyyppisiä paperin pintakäsittelyn lisäaineita. Lisäyskomponenttina liimapuristin on siksi erittäin sopiva, että sillä saavutetaan paperiin 100 % retentio. Tällöin mm. vesien mukana tapahtuva materiaalihävikki sekä lisäaineiden aiheuttama kiertovesien likaantuminen vähenee. Liimapuristimella saadaan kohdistettua lisäaine juuri paperin pintaan ja jopa vain toiselle puolelle paperin pintaa. (VTT 2010)

Kaoliini

Päällystyspigmenttinä kaoliini on runsaasti käytetty aine. Sen tuottajamaita ovat muun muassa Englanti ja Yhdysvallat. Päällystyskaoliinit valmistetaan puhdistetusta raakakaoliinista erottamalla hienoin hiukkajae päällystyslaaduksi. Tyypillisesti Päällystyskaoliinissa on alle kahden mikrometrin kokoisia hiukkasia 75-p-% ja hienoimmassa laadussa jopa 99-p-%. ISO-vaaleus on luokkaa 80–90 %. (VTT 2010)

Päällystyskaoliini kasvattaa paperin vaaleutta puupitoisilla laaduilla, mutta valkaistujen puuvapaiden vaaleuteen sillä ei ole juuri vaikutusta. Levymäisen hiukkasmuotonsa ja pienen hiukkaskokonsa (kuva 5) ansioista kaoliini antaa superkalanteroitaessa hyvän sileyden ja korkean kiillon. Kaoliinin levymäisyyttä voidaan vielä edelleen hieman lisätä delaminointiprosessilla, joka edelleen parantaa edellä mainittuja ominaisuuksia. (VTT 2010)



KUVA 5. Pintapäällystyksessä käytettäviä pieniä ja levymäisiä kaoliinipartikkeleita. (VTT 2010)

Hydrofobiset polymeerit

Liimausta tehostavia hydrofobisia polymeerejä voidaan lisätä tärkkelykseen painatustuloksen parantamiseksi. Karkeasti nämä polymeerit voidaankin jakaa ei-filminmuodostajiin ja filminmuodostajiin. (VTT 2010)

Styreenimaleiiniinhybridit (SMA) muodostavat vesiliukoisina yhdisteinä yhtenäisen filmin paperin pinnalle. Vesiliukoisina dispersioina polyuretaanit ja styreeniakrylaati ovat hajaantuneina pieniksi palleroiksi. Ne muodostavat pisteiden ja hydrofobisten pisteiden väliin jäävän tärkkelyksen hydrofiilisten alueiden matriisin paperin pinnalle. (VTT 2010)

Tärkkelyksen seassa hydrofobinen polymeeridispersio vähentää musteen penetroitumista, parantaa painoväriin ankkuroitumista paperin pintaan ja nostaa filmin vedenvastustuskkyä. Tällöin värin kuivumisaika samalla nousee. (VTT 2010)

Suola

Pintaliimaan lisätään jonkin verran suolaa paperinvalmistuksessa. Tarkoituksena sillä on nostaa sähkönjohtokykyä paperissa. Paperin liian alhainen sähkönjohtokyky lisää esimerkiksi arkkimuotoon leikatuissa toimistopapereissa arkkien tarttumista sähköstaattisilla voimilla toisiinsa. Pintaliimaan noin 0.2–0,5 % suolanlisäyksellä saadaan aikaan riittävä paperin johtokyvyn nousu. (VTT 2010)

3.8 Pintaliiman ominaisuuksien vaikutus pintaliimausprosessissa

Pintaliiman ominaisuuksista pintaliimauksen eri tavoin vaikuttavat kuiva–ainepitoisuus, viskositeetti, pintavarausta, partikkelikoko ja stabiilius. Kyseisten ominaisuuksien vaikutukset on kuvattu tarkemmin seuraavassa.

3.8.1 Kuiva–ainepitoisuus

Kuiva–ainepitoisuudella on selkeä vaikutus tärkkelyksen penetraatioon. Korkea kuiva–aine alentaa kuivatusenergian tarvetta, mutta samanaikaisesti nostaa pintaliiman viskositeettia. Kun taas alhaisella kuiva–aineella nesteen määrä rajoittaa pintaliiman määrää, jonka rainaan voidaan saavuttaa.

Korkea kuiva-ainepitoisuus ja paksu filmikerros voivat aiheuttaa erillisten tärkkelyskerrostien muodostumisen radan pinnalle. Se taas voi johtaa heikosti kiinnittyneen tärkkelyksen irtoamisen jälkikäsitelyssä tai tärkkelyksen kiinnittymiseen sylinterien pinnalle pintaliimayksikön jälkeen. (Aarni Paper Making Science Volume 11 Pigment Coating and Surface Sizing of Paper 2009, 313)

3.8.2 Viskositeetti

Korkea viskositeetti tuottaa korkeamman pintaliiman määrän paperin pintaan. Viskositeetti riippuu lämpötilasta, pintajännityksestä ja leikkausvoimasta. Tärkkelyksen penetraatiota paperiin voidaan säätää viskositeetin kontrolloinnin avulla. Jotta voitaisiin saavuttaa merkittävä vaikutus penetraatioon, tulee viskositeetin vaikuttavien sovitettujen reologisten ominaisuuksien tai tärkkelyksen käyttölämpötilan tai tärkkelyksen kuiva-ainepitoisuuden olla merkittäviä. (Aarni Paper Making Science Volume 11 Pigment Coating and Surface Sizing of Paper 2009, 313)

3.8.3 Pintavaraus, partikkelikoko ja stabiilius

Paperin tai kartongin pintavaraukset tulee ottaa huomioon määritettäessä pintaliiman varausta. Optimaalinen varaustaso on välttämätön hyvän vuorovaikutuksen aikaansaamiseksi paperin pinnan ja pintaliiman välille. Vahva partikkeleiden elektrostaattinen stabiilius lisää penetraatiota ja voi johtaa pienentyneeseen peittoon. Lisäksi pienempi partikkelien koko vaikuttaa pintaliiman tasaisempaan jakautumiseen paperin pinnalle. (Aarni Paper Making Science Volume 11 Pigment Coating and Surface Sizing of Paper 2009, 313)

3.9 Irrokepaperin pintaliimaresepti

Irrokepaperin taustan pintaliimauksessa käytetään lähinnä tärkkelystä, sillä taustapuolelta vaadittavat ominaisuudet eivät ole yhtä kriittiset kuin tarrapuolelta. Tärkkelyksen käytöllä saavutetaan paperille haluttu läpikuultavuus ja käyristymisen hallinta sekä säädetään kemikaaleja. (Annala Päällysteen reologiaan vaikuttavat tekijät 2006, 15)

Tarrapuoli irrokepaperista käsitellään pigmenttiä kuten kaoliinia sisältävällä pintaliimalla. Pigmentin tehtävänä on täyttää paperin huokosia sekä superkalanteroitessa antaa sileyttä ja korkeaa kiiltoa. Pääaineina tarrapuolen pintaliimassa ovat PVA ja CMC. PVA muodostaa paperin pinnalle kalvon, jolla on hyvin korkea öljyn pidätyskyky, joustavuus sekä vetolujuus. CMC:llä taas vaikutetaan paperin öljyn absorptioon ja vesiretention lisäksi pintaliiman viskositeetin säätöön, sen hyvän filminmuodostuskyvyn ansiosta. Pintaliimassa voidaan myös käyttää erilaisia apuaineita liiman hallinnan ja toimivuuden parantamiseksi. (VTT 2010)

Esimerkki irrokepaperin tarrapuolen pintaliimareseptistä:

- Kaoliini, levymäinen
- PVA
- CMC
- Apuaineet.

Pintaliiman kuiva-aine välillä 15–30 % ja Brookfield viskositeetti S4, 100 rpm välillä 100–300 mPas. (Nikkilä Joustopakkausten ja etiketti- ja tarrapapereiden valmistus 2012)

3.10 Liimausasteen määrittämiseen käytettävät menetelmät

Liimausasteen määrittäminen voidaan toteuttaa useilla eri menetelmillä. Tyypillisesti liimausaste määritetään käyttäen hyväksi paperin veden absorptiota. Näitä menetelmiä ovat mm. Cobbin menetelmä, kontaktikulman mittaus, Klemmin menetelmä, drop-testi sekä curl-testi. Yleisimmin käytetty edellä mainituista on Cobbin menetelmä, jossa paperin vesiabsorptio määritetään vesimääränä, minkä paperin pinta tietyssä ajassa absorboi (yleensä 60 sekuntia) sitä tasaisesti peittävästä 1 cm:n korkuisesta vesipatsaasta. (Poutala Paperin liimausasteen määrittäminen 2005, 25)

Irrokepaperin liimausasteen määrittämiseen käytettävä menetelmä on tyypillisesti Cobb-Unger menetelmä, millä mitataan paperin öljyn absorboivuutta tietyssä ajassa. Sen avulla pyritään ennustamaan silikonointituloksen laatua, sillä öljynabsorptiokyky kuvaa silikonipolymeerin imeytymistä paperiin sekä osittain paperin pintakerroksien huokosrakennetta ja paperin pinnan tasaisuutta. Kuvassa 6 on esitettyä Cobb-Unger menetelmän testauksessa käytettävä laite. (Heinonen Laboratoriopäällystimen käyttö tuotteen laadunvalvonnassa 2011, 13)



KUVA 6. Cobb-Unger-testauslaite. (<http://www.tendringpacific.com> 3.5.2013)

4 KALANTEROINTI

Kalanterointi on prosessi, missä paperia puristetaan kahden tai useamman telan tai belt-ti-tela-yhdistelmän välissä. Tämän seurauksena paperi muuttuu muotoaan sekä tason että paksuussuunnassa puristuspaineen, kitka- ja leikkausvoimien vaikutuksista. Muodonmuutoksen seurauksena paperin pintaominaisuudet kehittyvät parempaan suuntaan. Paperin plastisoituminen edistää muodonmuutosta kosteutta tai lämpöä lisättäessä. Kalanterointi voidaan suorittaa on-machine kalanterilla paperikoneella tai off-machine kalanterilla erikseen jälkikäsitellyssä (VTT 2010; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2005, 204)

Paperiraina puristetaan mekaanisen voiman avulla nipissä. Kokoonpuristumista kuvataan yleensä nipipaineen ja -pituuden tai nipissäviipymääajan avulla. Tyypillisesti paperin plastisoitumista ilmaistaan kalanterointimuuttujilla kuten telojen lämpötilalla, paperin tai kartongin kosteudella ennen nippiä tai kostutuksen määrällä kalanteroinnin aikana. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 14)

Tyypillinen lähestymistapa on jakaa kalanterit kahteen ryhmään, esikalantereihin ja viimeistelykalantereihin. Esikalanteroinnin tarkoituksena on muokata paperia myöhempää paperin jälkikäsitelyä kuten päällystystä varten, kun taas viimeistelykalanteroinnilla tuodaan esiin paperin optimaaliset ominaisuudet painettavuuteen tai jatkojalostukseen kuten esimerkiksi tarralaminaatin valmistukseen. Kalanterointiprosessi on suunniteltu siten, että sillä saavutettaisiin tasapaino toivottujen ominaisuuksien kuten pintaominaisuuksien parantumisen ja ei-toivottujen ominaisuuksien kuten tiheyden kasvusta johtuvien opasiteetin ja vaaleuden laskun sekä lisääntyneen kalanterointimustumisen välillä. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 15)

Kalanterilla on myös tärkeä rooli hyvän ajettavuuden takaamisessa paperinvalmistuslinjalla. Esikalanterointia voidaan käyttää paperin poikkiprofiilin korjaukseen edistääkseen siten ajettavuutta seuraavissa paperivalmistusprosesseissa. Viimeistelykalanterointi vaikuttaa paperin poikkiprofiiliin kuten poikkisuuntaiseen paksuusprofiiliin sekä poikkisuuntaiseen kireysprofiiliin, joilla molemmilla on suuri vaikutus paperin kiinnirulausprosessissa. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 15)

Kalanterointiin itsessään vaikuttaa suuresti kalanteroitavan paperin ominaisuudet, kuten reunarisat, isot reiät, kosteuden taso sekä paperin profiili, joka saattaa aiheuttaa rypistymistä ja johtaa ratakatkoihin. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 15)

4.1 Kalanteroitumismekanismit

Kalanteroinnin vaikutuksista paperin ominaisuuksiin käytetään termiä kalanteroitumismekanismit (kuva 7). Ne voidaan jakaa vaikutustavoiltaan neljään osa-alueeseen:

- paksuussuunnassa tapahtuvaan rainan ja partikkelien puristumiseen
- materiaalin siirtymiseen paperin pinnan huokosiin ja kuoppiin
- pitkulaisten ja levymäisten partikkelien rainan pinnan suuntaiseen asettumiseen
- kopioitumiseen eli telojen pintakuvion jäljentymiseen paperin pintaan. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2005, 205)

Puristuminen

"Kukkulat" puristuvat enemmän kokoon kuin "laaksot" (kohtisuora puristusvoima ja koko rainan plastisuus vaikuttavana tekijänä)



Siirtyminen ja hioutuminen

Ainetta siirtyy "kukkuloilta" "laaksoihin" (pinnan suuntaiset voimat ja pinnan plastisuus vaikuttavat). "Kukkulat" voivat myös hioutua.



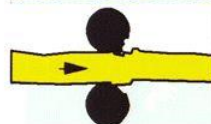
Suuntautuminen

Pitkulaiset ja levymäiset osaset asettuvat pinnan suuntaisiksi (pinnan suuntaiset voimat ja pinnan plastisuus)



Jäljentyminen

Paperi toistaa pintakuvion (kohtisuorat voimat ja pinnan plastisuus)



KUVA 7. Paperin kalanteroitumismekanismit (VTT 2010)

4.1.1 Puristuminen paksuussuunnassa

Raina puristuu paksuussuunnassa kokoon nipissä vaikuttavien, rainaa vastaan kohtisuorien voimien vaikutuksesta. Kokoonpuristuvuuden pysyvyyteen vaikuttaa suurelta osin se, kuinka plastinen raina on. Sileyden paranee juuri kokoonpuristuvuuden ansiosta osittain pintahuokoisten pienentymisen vuoksi ja osittain huippujen puristuessa kasaan laaksoja enemmän. Laajempien huippujen tasaamisen edellytyksenä on koko rainan tiivistäminen. Sen sijaan pintahuokoisten tiivistyminen saadaan aikaiseksi jo pelkällä pinnan tiivistymisellä. Pintaominaisuudet saadaan paranemaan partikkelitasolla pyöreiden tai sylinterimäisten partikkelien muuttuessa enemmän tasomaisiksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 205)

4.1.2 Partikkelien siirtyminen

Paperin pinnan tasoittuminen voi myös tapahtua siten, että ainetta siirtyy harjanteilta pintahuokosiin. Kyseinen siirtyminen voi olla joko partikkelien irtoamista tai plastista muodonmuutosta eli virtaamista. On myös mahdollista, että irronnut päällystepartikkeli voi poistua paperin pinnalta kokonaan, jolloin puhutaan päällysteen hioutumisesta. Olikin suotavaa, että aine siirtyisi mieluummin virtaamisen kuin irtoamisen avulla, milloin vältettäisiin mahdollinen pölyäminen. Aineen pölyttömään siirtymiseen on mahdollista vaikuttaa kuumien metallitelojen sekä termoplastisen sideaineen avulla. (VTT 2010; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 206)

4.1.3 Partikkelien suuntautuminen

Paperin pinnan kiillon ja sileyden kehittyminen riippuvat siitä, kuinka pinnan suuntaisia pitkulaiset ja levymäiset partikkelit ovat. Pieniä ja levymäisiä kaoliinilevyjä paperin pinnalla voidaan verrata epäjärjestyksessä oleviin mikropeileihin, jotka ennen superkalanterointia heijastavat valoa diffuusisti. Levyt saadaan kääntymään pinnan suuntaisiksi kiillotuksessa vaikuttavien pinnan suuntaisten ja kohtisuorien voimien vaikutuksesta. Kyseistä tapahtumaa edesauttavat päällysteessä tai pintaliimassa olevien sideaineiden plastisoituminen ja pehmeneminen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 205)

4.1.4 Jäljentyminen

Kalanterointitelojen pinnan epätasaisuudet on osoitettu jäljentyvän paperiin. Kuitu- ja polymeeritelan pinta on yleensä kokillitelan pintaa epätasaisempi, mistä johtuen kokillitelan puolella saadaan paremmat paperin ominaisuudet kuin pehmeän telan puolella. Paperin pinnan plastisuus edistää jäljentymistä. Termoplastisiin, onttoihin muovipigmentteihin jäljentyminen tapahtuu helpoimmin. Kiillon muodostumisen kannalta jäljentyminen on tärkeää. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 205)

Erityisesti jäljentymisefektiä tarvitaan polymeeriteloja käytettäessä, sillä polymeeriteiloilla muodostuu pinnan suuntaisia voimia vähemmän, eivätkä polymeeritelat myöskään tuota pyöriessään hystereesilämpöä, vaan lämpö on tuotava metallitelojen kautta prosessiin. Kyseisessä tapauksessa lämpö tulee paperin muokattavalle eli ”oikealle” puolelle, jolloin jäljentymistä edistää paperin pinnan plastisuus. (VTT 2010)

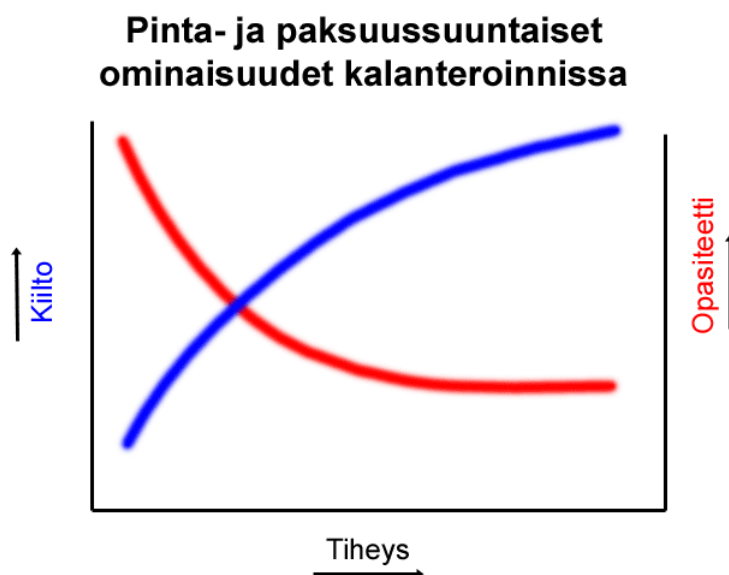
On erittäin tärkeää, että telat ovat sileät, koska paperi toistaa telojen pintakuvion. Alatelat ovat tärkeimmässä asemassa kyseisessä asiassa. Esimerkiksi kiiltävä paperi saadaan muuttumaan mattapintaiseksi hiekkapuhalletulla alatelalla. Kromattuja ja karbidipinnoitettuja teloja taas käytetään suurta kiiltoa vaativissa tapauksissa, jolloin jäljentävä pinta on sileä ja myös säilyy sileänä pitkään. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 205)

4.2 Kalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin

Kalanteroinnin avulla saadaan monet painettavuuteen vaikuttavat paperitekniset ominaisuudet paranemaan, mutta samaan aikaan useat ajettavuuteen ja käytettävyyteen liittyvät paperin ominaisuudet huononevat. Voidaankin todeta, että tiivistettäessä (sileys) ja silitettäessä (kiilto) paperia, kalanterointi huonontaa muita optisia ominaisuuksia sekä käytettävyyteen ja ajettavuuteen vaikuttavia jäykkyyttä ja repäisylujuutta. Toivotuista ominaisuuksista sileys on vaikeammin saavutettavissa, sillä sen kehittymiseen tarvitaan useampi nippi, kun taas kiilto kehittyy hyvin nopeasti käyttämällä korkeita lämpötiloja. (VTT 2010)

Kalanteroitessa riittävän suurella paperin kosteudella ja joustavilla teloilla saadaan kuitujen välille syntymään lisää sidoksia, jolloin sitoutuneisuus kasvaa ja täten myös lujuudet kehittyvät. Esimerkkinä tällaisista papereista ovat jauhatuksen ja kalanteroinnin omaavat release- ja Glassiini-paperit. Toisaalta taas kalanteroitessa alhaisella kosteudella metalliteloilla, sidokset aukeavat ja kaikki lujuusominaisuudet alenevat sekä paperin pölyävyys lisääntyy. (VTT 2010)

Kalanterointi on erittäin tyypillinen optimointiprosessi. Yksinkertaisesti optimointi voidaan toteuttaa piirtämällä toivotut muutokset tiheyden funktiona (kuva 8). Käyrän avulla voidaan havaita, että vaikka tiheys kasvaisikin kalanterointia lisääessä, eivät toivotut ominaisuudet enää paranekaan, jolloin voidaan todeta kalanterointioptimi ohitetuksi. (VTT 2010)



KUVA 8. Opasiteetin ja kiillon muutokset tiheyden kasvaessa (VTT 2010)

Tavoitteena kalanteroinnilla on kontrolloida paperin sileyttä ja tiheyttä ominaisuuksia samalla alentamatta lujuusominaisuuksia. Hallintasuureiden avulla kalanteroinnissa voidaan vaikuttaa paperin ominaisuuksiin (kuva 9), vaikkakin paperin kalanteroitavuus muodostetaan jo paperikoneella. Kalanteroinnin pääasialliset hallintasuureet ovat ajonopeus, kosteus, lämpötila ja linjapaine. Lisäksi joillain paperilajeilla voidaan käyttää höyrytystä. (Heikkilä Kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutus paperin ominaisuuksiin 2012, 17)

Kuten kuvasta 9 seuraavassa voidaan todeta, on linjapaineella merkittävä vaikutus tiheyden, sileyden ja kiillon kasvuun sekä öljynabsorption ja ilmanläpäisyn alenemiseen. Lämpötilalla suurin vaikutus on tiheyteen, mutta sillä voidaan vaikuttaa positiivisesti myös kiiltoon ja sileyteen. Lämpötilalla on hienoinen negatiivinen vaikutus ilmanläpäisyyn, öljynabsorptioon opasiteettiin ja vaaleuteen. Kosteudella on samat vaikutukset samoihin ominaisuuksiin kuin lämpötilallakin, tosin ei yhtä suurta vaikutusta tiheyteen. Ajonopeudella on lähinnä negatiiviset vaikutukset paperin ominaisuuksiin, vaikka vain hienoiset vaikutukset tiheyteen, sileyteen sekä kiiltoon. Tämä siksi, että ajonopeuden kasvaessa nipissäviipymäaika pienenee.

	tiheys	sileyys	ilmanläpäisy	öljynabsorptio	vetolujuus	repäisylujuus	kiilto	opasiteetti	vaaleus
linjapaine	++	++	-	-	-	-	++	-	-
lämpötila	++	+	-	-			+	-	-
kosteus	+	+	-	-			+	-	-
ajonopeus	-	-					-		

KUVA 9. Kalanterointimuuttujien vaikutukset paperin ominaisuuksiin (VTT 2010)

Korkealla linjapaineella on opasiteettiin ja vaaleuteen alentavasti vaikuttava vaikutus. Kalanteroitaessa liian suurella nipipaineella voi paperiin tulla kalanterointimustumaa, mikä näkyy tummina läikkinä paperissa. Läikät syntyvät, kun paperia puristetaan niin suurella paineella, että kuidut muuttuvat läpinäkyviksi. (Heikkilä Kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutus paperin ominaisuuksiin 2012, 18)

4.3 Kalanterointimenetelmät

Kalanterointimenetelmiä on useita, riippuen paperin jälkikäsittelystä ja loppukäytöstä valikoituu kalanterointimenetelmä sen mukaan. Täten voidaankin kalanterityypit jakaa kahteen ryhmään, esikalantereihin ja viimeistelykalantereihin. Tyypillisesti esikalanterit ovat on-machine kalantereita eli ne ovat paperikoneella, kun taas viimeistelykalanterit ovat tyypillisesti off-machine kalantereita eli ne ovat erillään paperikoneesta, sijoitettuina paperinvalmistuslinjan jälkikäsittelyyn. Tosin tekniikan ja kalanterointitekniikoiden kehityksen ansiosta voi viimeistelykalanteri olla myös paperikoneella on-machine kalanterina, sillä niillä voidaan nykyään saavuttaa samat ajonopeudet kuin paperikoneellakin. (VTT 2010)

4.3.1 Esikalanterit

Esikalantereita eli tyypillisiä on-machine kalantereita ovat muun muassa konekalanteri, välikalanteri ja softkalanteri. Konekalanteroinniksi kutsutaan paperikoneella heti kuivatusosan jälkeen tapahtuvaa kalanterointia, missä rata johdetaan yhden tai useamman kovapintaisen nipin läpi. Välikalanteri on taas konekalanterin lisäksi käytettävä, usein erityisesti sanomalehtikoneilla käytössä oleva yhden kovan nipin omaava kalanteri, joka sijaitsee yleensä kuivatusosalla ennen viimeistä kuivatusryhmää. Konekalanterista ja välikalanterista poiketen softkalanteri on nimensä mukaisesti laite, jossa ainakin toinen nipin muodostavista teloista on joustava, polymeeripinnoitteinen tela. Nippiluku softkalanterissa vaihtelee yhdestä neljään. (VTT 2010)

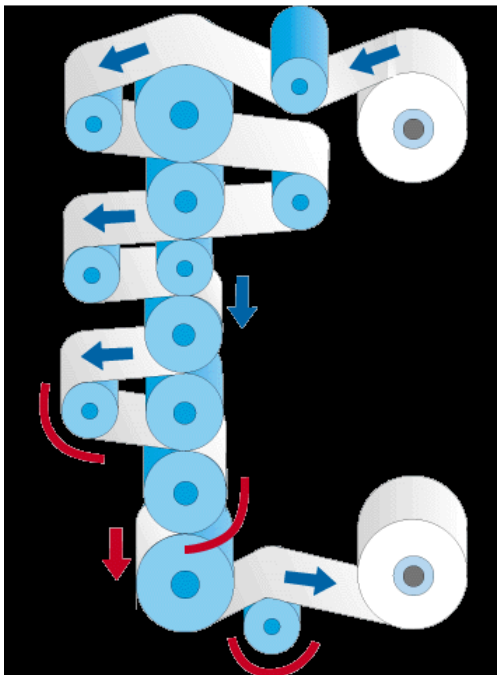
4.3.2 Viimeistelykalanterit

Viimeistelykalantereina eli off-machine kalantereina käytetään tyypillisesti monitelakalantereita. Pitkään superkalanterointi oli ainoa monitelakalanterointimenetelmä, kunnes softkalanteroinnin kehittymisen myötä polymeeripinnoitteet kehittyivät entisestään ja vähitellen polymeeripinnoitteiset telat yleistyivät myös superkalantereissa.

Monitelakalanterit ovat siis pehmeänippikalantereita, joissa telojen lukumäärä on yleisimmin 6–12. Polymeeriteloihin perustuvasta kalanterointimenetelmästä käytetään yleisesti termiä polymeerisuperointi. Tähän perustuvia kalantereita ovat muun muassa Valmetin OptiLoad- ja Voithin Janus-kalanterit. (VTT 2010)

Superkalanteri

Superkalanteri on monitelakalanteri, joka koostuu vuoroin kasatuista kovista ja pehmeistä teloista. Pehmeiden telojen ansiosta voidaan käyttää suuria linjapaineita, jonka seurauksena saadaan aikaan hyvä sileys ilman suurempia määriä kalanterointimustumia tai epätasaisuutta rainassa. Superkalanterin ajoarvoja ovat alimman nipin linjapaine, lämmitettävien telojen pintalämpötila, kuitutelojen kovuus ja materiaali, nopeus, höyrytys sekä kääntönipin paikka. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 48)



KUVA 10. Periaatekuva superkalanterista. (VTT 2010)

Perinteisissä superkalantereissa käytetään pehmeinä teloina paperiteloja, jotka ovat siis erikoispaperilla päällystettyjä teräsrunkoisia sylintereitä. Ne kehittävät joka kerta voimakkaasti lämpöä nipin läpi mennessään. Tämän lisäksi niiden lämmönkesto on huoonoa, jolloin ne rajoittavat kalanterin ajonopeutta.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että superkalantereita tarvitaan kolme tai jopa neljä yhtä nopeakulkuista paperikonetta kohden. Huonon lämmönkeston lisäksi paperitelat ovat myös herkästi merkkautuvia, jolloin niiden vaihtovälit ovat lyhyitä. Nykyään paperitelallisia superkalantereita ei juurikaan valmisteta, sillä polymeeritelat ovat syrjäyttäneet paperitelat paremman toimivuutensa ansiosta. (VTT 2010)

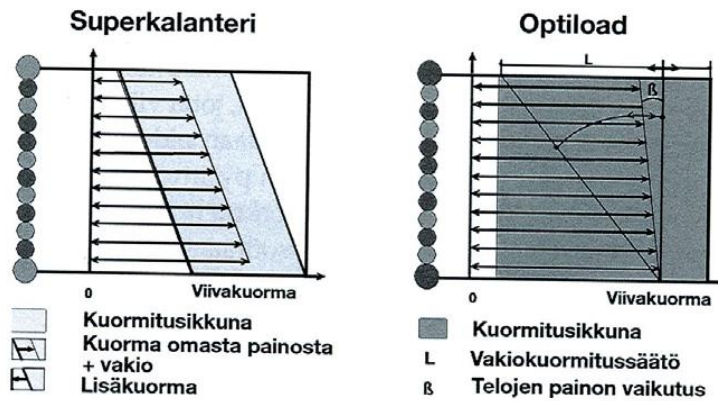
Polymeerisuperointi

Polymeerisuperkalanterit ovat mekaaniselta rakenteeltaan kuin tavalliset modernit superkalanterit. Polymeeritelohin perustuvan kalanteroinnin kalanterointimekanismeina voidaan pitää kopioitumista ja puristumista. Kalanterointitulokseen pinnoitteen ohuudesta johtuen ei tasonsuuntaisilla voimilla ole vaikutusta. Polymeeritelojen käyttö alkoi vähitellen lisääntyä, koska rajoitteena superkalanteroinnilla olivat olleet paperitelat sekä nopeuden, kapasiteetin että lämpötilojen suhteen. Polymeeritelojen myötä suuremmat ajonopeudet ja korkeammat lämpötilat tulivat mahdollisiksi, sillä ne eivät kehittä siinä määrin lämpöä kuin paperitelat. Toisaalta polymeeriteloilla ajettaessa samoilla ajonopeuksilla kuin paperiteloilla saatiin aikaan huonompi laatu. Tällöin siis paperitelat polymeeriteloilla korvattaessa on joko lisättävä viivapainetta tai lämpötilaa tai laskettava ajonopeutta, jotta laatu pysyisi samana. (VTT 2010)

OptiLoad

OptiLoad–kalanterissa on käytössä polymeeritelat. Sen erikoisuutena on kuormitusjärjestelmä, missä kaikilla väliteloilla on sama ominaistaipuma, joka sallii niiden kevennyksen täysimääräisesti ilman, että viivapaineprofiili kärsisi poikkisuunnassa. Tämä telojen painon täydellinen kompensointi tarkoittaa sitä, että samaa viivapainetta voidaan käyttää kaikissa nipeissä.

Tällöin voidaan vaikuttaa kevennyksen määrällä ylä- ja alanipin väliseen viivapaineeroon, jolla on vaikutusta muun muassa paperin toispuoleisuuteen. Kuten kuvasta 11 voidaan todeta, kuormitusjärjestelmä mahdollistaa laajemman kalanterointi-ikkunan verrattaessa muihin superkalanterointimenetelmiin. (VTT 2010)



KUVA 11. Monikalanterin ja superkalanterin viivakuormien vertailu. (Heikkilä Kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutus paperin ominaisuuksiin 2012, 15)

OptiLoadin etuina voidaan pitää jokaisen nipin saman viivapaineen ansiosta saavutettavaa alanipin 100–200 kN/m alemmaa viivapainetta, jolla saadaan aikaan polymeeritelojen pidempi hiontaväli, parempi kesto sekä paperin bulkin säästö. Toinen OptiLoadin etu on se, että telojen kokonaismassojen kevennyksen ansiosta, ei telojen mitoituksen kanssa tarvitse tehdä kompromisseja, jolla on muun muassa suuri vaikutus siihen, ettei laatutaso laske nopeuden noustessa lähellekään niin kuin superkalanteroinnissa. (VTT 2010)



KUVA 12. OptiLoad-kalanteri (VTT 2010)

4.4 Superkalanterointi

Pääasiallinen käyttökohde superkalanterilla on painopapereiden kalanterointi, missä pyritään aikaansaamaan paperille halutut painettavuusominaisuudet paperia silti liikaa tiivistämättä. Toisena käyttöalueena superkalantereilla on erikoispapereiden kuten irrokepaperin kalanterointi. Erikoispapereilla pyritään superkalanteroinnin avulla tiivistämään paperiraina, erityisesti pinnasta, jotta saavutettaisiin loppukäyttöä vastaavat ominaisuudet. (VTT 2010)

Superkalanteri on siis tyypillisesti pystysuuntaisesti asennettu telapino, jossa on vuoroitellen metalli- ja kuitupintaisia teloja. Nykyään kuitupintaiset telat ovat pitkälti korvattu polymeeripintaisilla teloilla. Metalliteloja vasten paperi kalanteroituu paremmin kuin kuitu- tai polymeeriteloja vasten, mistä johtuen normaalisti superkalanterissa on kääntönippi, jolla vaihdetaan metallitela vasten kalanteroituva paperin pinta, jotta paperin kalanterointi olisi tasaista molemmilta puolilta. Irrokepaperin valmistukseen käytettävästä superkalanterista tällainen kääntönippi puuttuu, koska sen ei tarvitse olla molemmin puolin tasaisesti kalanteroitunut, vaan riittää, että tarralaminaattia vasten tuleva puoli on kalanteroitunut hyvin. Tavallisesti painopaperin valmistukseen käytettävässä superkalanterissa on 10 tai 12 telaa, kun taas erikoispaperin valmistukseen käytettävässä kalanterissa voi olla jopa 16 telaa. (VTT 2010)

Superkalanteroinnissa vaikutussuureista puhuttaessa tarkoitetaan sitä, millä tavoin kalanterointi suoritetaan. Toisin sanoen, mitkä kalanterointiolosuhteet ovat. Vaikutustekijöitä superkalanteroitaessa ovat samat kuin aiemmin mainitut kalanteroitumismekanismit. (VTT 2010)

4.4.1 Puristumiseen vaikuttavat tekijät

Pysyvän muodonmuutoksen aikaansaamiseksi on paperiin kohdistettava puristusvoimia. Tavoitteena puristuksessa voidaan kuitenkin pitää mahdollisimman alhaisia puristuspaineita, jolloin olisi mahdollista säästää bulkkia. Vaatimuksena mahdolliselle bulkin säästämiseksi on kalanterointimuuttujien, erityisesti kosteuden ja lämmön parempi tunteminen ja hallinta. (VTT 2010)

Tasaiseen puristusprofiiliin poikkisuunnassa on mahdollista vaikuttaa vyöhykesäädettäville teloilla sekä tappikuorman kevennyslaitteilla. Tarkempiin yksityiskohtiin profiilien säätöihin menemättä voidaan joka tapauksessa todeta, että puristusprofiileihin vaikuttavilla laitteilla ei ole tavoitteena tehdä nipeistä geometrisen suoraa, vaan saavuttaa tasainen summaviivapaineprofiili. Lisäksi kitkaton yksinivelöity telasto ilman hankaavia osia on huomattava parantava tekijä viivakuormaprofiilivirheiden eliminoinnissa. (VTT 2010)

Puristustapahtuma itse nipissä riippuu kahdesta osatekijästä, jotka ovat maksimipuristusaine (voima/nipin pinta-ala) sekä puristusaika nipissä (nipin pituus/ajonopeus). Nippitapahtuma voidaan yksinkertaisesti selittää edellisten osatekijöiden avulla, mutta ongelmaksi muodostuu se, ettei kumpaakaan voida vielä mitata tai hallita aktiivisesti. On mahdollista säätää vain ajonopeutta ja viivapainetta, mutta todellisuudessa ei tällöinkään voida tietää nipin dimensioita, emmekä siis myöskään viipymäaikaa ja maksimipainetta. Nipin pituuteen ja maksimipuristusaineeseen vaikuttavat telahalkaisijat ja joustavan telan kovuus sekä käytettävä puristusvoima. (VTT 2010)

Telahalkaisijat

Samalla viivapaineella tarkasteltuna, sitä alhaisempi vaikuttava maksimipaine nipissä on, mitä suurempi on telan halkaisija. Telahalkaisijoiden merkitystä voidaan selvittää seuraavien Hertzin kaavojen avulla:

$$p_1/p_2 = v_1/v_2 = d_1/d_2 \quad (1)$$

p = viivapaine (kN/m)

v = ajonopeus (m/min)

d = keskimääräinen telahalkaisija (mm)

$$d = 2 \times (d_j \times d_t) / (d_j + d_t) \quad (2)$$

j = joustava tela

t = kova tela

Haluttaessa samat puristusolosuhteet nippiin erihalkaisijaisilla joustavatelaisilla kalante-reilla tulee ajonopeuksien ja viivapaineiden olla keskimääräisten telahalkaisijoiden suhteessa, jolloin viipymääjat ja maksimipaineet ovat yhtäläiset. Hertzin kaavoja suositel-laankin käytettäväksi vain yhden nipin tapauksessa kalanteroinnin kuvaamiseen, koska laatuun on vaikutusta myös puristusjakauman jäykkyydellä. Täten tilanne ei ole aivan yhtä selkeä koko superkalanterin osalta. Kuitenkin karkeana approksimaationa voidaan käyttää summapuristusajan ja –maksimipaineen asettamista yhtä suureksi, vaikkakin näin ei saadakaan täysin todenmukaista kuvaa. (VTT 2010)

Tutkittaessa telahalkaisijoiden vaikutusta paperin laatuun on todettu, että samalla va-kioviivapaineella ja nopeudella ajettaessa pienempihalkaisijaisella telalla saadaan ai-kaan sileämpi pinta paperiin. Tällöin tavoitteena onkin kalantereita suunniteltaessa pyr-kimyksenä käyttää mahdollisimman pieniä teloja, sillä kalanteroitessa maksimipaineen merkitys on viipymäaika suurempi. Voidaankin siis todeta, että pinempihalkaisijaiset telat tekevät parempilaatuista paperia, mutta bulkin kustannuksella. (VTT 2010)

Joustavan telan kovuus

Se, kuinka syvälle terästela uppoaa nipissä joustavaan telaan määräytyy joustavan telan kovuuden eli kimmokertoimen mukaan. Täten myös määräytyy pinta–ala nipissä, jolle puristusvoima jakaantuu. Sitä vähemmän pehmeämpi tela puristuu, mitä pehmeämpi se on eli mitä suurempi on telan kimmokerroin, sitä suurempi on maksimipaine nipissä. (VTT 2010)

Superkalanterilla käytettävien pehmeiden telojen (paperitelat) kovuudet vaihtelevat vä-lillä 80–90 Shore D. Tosin paperiteloilla on juuri se ongelma, että niiden kovuus laskee voimakkaasti lämpötilojen kohotessa, millä on negatiiviset vaikutukset lopputulokseen. Nykyään ei sitä ongelmaa juurikaan ole, sillä paperitelat ovat pääasiassa korvautuneet polymeeriteloilla. Niiden alhaisemman merkkautumisherkkyyden sekä erittäin sileän pinnan vuoksi. Lisäksi polymeeriteloilla on paperiteloja pidempi käyttöaika kalanterilla. Kovimpia teloja käytetään tyypillisesti erikoispapereiden kuten irrokepaperin kalante-roinnissa, missä viivakuormat saattavat olla jopa luokkaa 450 kN/m. (VTT 2010)

Paperin kiilto, tiheys ja sileys määräytyvät telakovuuden eli maksimipaineen mukaisesti. Telakovuudella on kuitenkin omat rajansa, sillä sen lisääntyminen tuo bulkin menetyksen mukanaan. Pehmeämmillä teloilla voidaankin saavuttaa tietyt pintaominaisuudet, kuten sileys ja kiilto suuremmassa bulkissa. Voidaan siis todeta, että yleensä telakovuuden lisääntyessä laadun epätasaisuus lisääntyy, sillä superkalanteri lähestyy tällöin ominaisuuksiltaan yhä enemmän konekalanteria. Laadun kannalta katsottuna tulisi käyttää telakovuudeltaan niin pehmeitä teloja kuin mahdollista, joilla päästään kuitenkin vaadittavaan laatuun. (VTT 2010)

4.4.2 Siirtymiseen, suuntautumiseen ja hioutumiseen vaikuttavat tekijät

Tasonsuuntaisilla voimilla on vaikutus siirtymiseen, suuntautumiseen ja hioutumiseen. Ne syntyvät, kun terästelan ja joustavan telan erilaiset kimmo-ominaisuudet aiheuttavat kitkaa sekä nopeuseroja nipissä. Pehmeämpi tela puristuu kasaan sisäänmenopuolella nippiä ja alueella, missä leikkausvoimat ylittävät kitkavoimat. Tällöin tapahtuu mikroliukumaa sekä telan ja paperin välillä tapahtuvaa hankausta. Myös nipin ulostulopuolella tapahtuu samoin. Leikkausvoimat vääntävät paperia mikroliukuma-alueiden välisellä alueella, mutta pintojen välillä ei tapahdu liikettä. (VTT 2010)

Ajateltaessa kalanterointia vain pintaa käsittelevänä prosessina, olisi leikkausvoimien vaikutusta lisättävä, jolloin puristusvoimia ei olisi tarvetta käyttää nykyisessä määrin ja samanaikaisesti säästettäisiin bulkkia. Leikkausvoimilla on siis huomattava merkitys paperin laatuun. Lisättäessä suhteellista liikettä nolasta 0,7 mm:iin saadaan kiilto kasvamaan selvästi ja sitä voimakkaammin, mitä plastisempi paperi on kyseessä. Paperin korkea kosteus ja lämpötila (ts. plastisuus) ovat siis edellytyksinä leikkausvoimien mahdollisimman suurelle hyödyntämiselle kalanteroitaessa. (VTT 2010)

4.4.3 Jäljentymiseen vaikuttavat tekijät

Paperin sileyden saavuttamiseen kalanteroitaessa vaikuttaa voimakkaasti telojen pintojen sileys. Vertailtaessa erikovuisia ja –sileyksisiä polymeeripinnoitteita on todettu, että sileys riippuu telan pinnan karheudesta, kun taas tiheys on riippuvainen telan kovuudes-

ta. Telan pintojen ja erityisesti terästelojen kunto on myös olennainen tekijä. Esimerkiksi kokillitelat kuluvat herkästi hiontakarheudesta, minkä johdosta tietyillä paperilajeilla käytetään niiden sijaan kovakromipintaisia teloja, jotka eivät karhene käytössä. Kovatelanpinnoitteista voidaankin todeta, että mitä kovempi pinnoite on, sitä enemmän se kestää kulutusta. (VTT 2010)

4.5 Irrokepaperin kalanterointi

Kalanteroinnilla vaikutettavat irrokepaperin kriittiset ominaisuudet ovat korkea tiheys, sileys sekä poikkisuuntainen paksuusprofiili. Myös tietyillä irrokepaperilaaduilla valonläpäisevyys on yksi ominaisuus, johon vaikutetaan kalanteroinnilla. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä kalanteroidun irrokepaperin ominaisuuksia. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 83)

TAULUKKO 1. Tyypillisiä superkalanteroidun irrokepaperin ominaisuuksia. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 83)

Paperin ominaisuudet	Eurooppa 60–65 g/m ²	Eurooppa 80–90 g/m ²
Paksuus (µm)	55–57	71–79
Tiheys (kg/m ³)	1 080–1 200	1 150–1 250
IGT cm	12–14	13–15
Cobb Unger (g/m ²)		
Tarrapuoli	0.9–1.4	1.0–1.6
Taustapuoli	1.2–2.5	1.8–2.2
Valonläpäisevyys	45–55	40–45

Tyypillisesti irrokepaperi kalanteroidaan off-machine superkalanterilla, joissa nippien lukumäärä vaihtelee 11 ja 17 välillä. Muilla superkalanteroiduilla paperilaaduilla puoli- en tasaisen kalanteroinnin takaamiseksi käytettävä kääntönippi puuttuu irrokepaperia käsittelevästä superkalanterista, sillä vain tarrapuolen ominaisuuksilla on merkitystä, sen silikonoitavuuden takia. Pehmeinä teloina käytetään joko paperi- tai polymeeriteloja, nykyään pääsääntöisesti polymeeriteloja, niiden parempien ominaisuuksien takia. Lämmitettävien telojen pintalämpötilat vaihtelevat 90 °C ja 140 °C välillä. Alimman nipin linjapaine on suuruusluokkaa 450–500 kN/m. Paperi kostutetaan paperikoneella ennen kiinnirullausta vielä kuivatuksen jälkeen kosteuteen 15–20 %, mikä on tarpeellista, jotta voidaan saavuttaa korkea tiheys sekä alhainen huokoisuus. Koska paperi on

kostutettua tullessaan kalanteroitavaksi, tulee se kuivattaa vielä kalanteroinnin jälkeen ennen kiinnirullausta. Tyypillisesti käytetään ilmakuivainta, jotta saavutettaisiin 5–7 % loppukosteus paperille. Ajonopeudet vaihtelevat tyypillisesti 300–500 m/min. Yhtä irrokepaperikonetta kohden tarvitaan kaksi superkalanteria. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 83)

Myös moninippikalanterointi on tullut mahdolliseksi kalanterointimuodoksi irrokepaperille, sillä polymeeritelat kestävät nykypäivänä irrokepaperin kalanteroinnissa vaadittavat korkean viivapaineen sekä käytön. Modernit terästermotelat tuovat lisäksi korkean lämpöenergian prosessiin. Tyypillisesti moninippikalanterissa on 11 nippiä ja ajonopeudet vaihtelevat 700–1 100 m/min. Yhtä irrokepaperikonetta kohden tarvitaan, joko yksi tai kaksi moninippikalanteria. (Ahlstedt Paper Making Science Volume 10 Papermaking Part 3, Finishing, 84)

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli ymmärtää irrokepaperin valmistuksen pintaliimaus- ja kalanterointiprosessit sekä tarkastella kyseisten prosessien vaikutusmenetelmiä paperiin. Tavoitteen mukaisesti laadittiin teoreettinen raportti, joka sisältää laajasti kaikki irrokepaperin pintaliimauksen ja kalanteroinnin ymmärtämiseen tarvittavat asiat. Työ oli teoretiedon tutkimista ja läpikäyntiä. Erityisesti perehdyttiin erikoispapereiden valmistuksessa käytettäviin menetelmiin.

Tavoite saavutettiin ja irrokepaperin pintaliimauksesta ja kalanteroinnista saatiin muodostettua yhtenäinen kokonaisuus, josta käy ilmi prosessien tapahtumat sekä niiden muuttujat ja tarkoitus.

Irrokepaperin pintaliimaus toteutetaan filmiliimapuristimella. Tarkoituksena on saavuttaa paperilta vaadittavat ominaisuudet, kuten mahdollisimman pieni huokoisuus sekä öljyn absorptio. Paperin yläpinnalle (tarrapinta) applikoidaan kaoliinia sisältävää pintaliimaa, joka koostuu sideaineista kuten CMC:stä ja PVA:sta. Taustapuoli käsitellään tärkkelyksellä, jonka avulla saadaan paperille haluttu käyrityshallinta ja läpikuultavuus.

Kalanterointi toteutetaan moninippikalanteria kuten superkalanterilla käyttämällä. Kalanterointiprosessissa käytetään suuria linjapaineita, jotta irrokepaperille saataisiin sille halutut ominaisuudet, kuten tiiveys, kiilto ja sileys. Lisäksi paperi kalanteroituu toispuoleisesti eli sen yläpuoli kalanteroidaan kromattuja metalliteloja vasten ja taustapuoli polymeeriteloja vasten, sillä vain yläpuolen (tarrapuoli) ominaisuudet ovat kriittiset jatkojalostuksen ja loppukäytön suhteen.

Pintaliimauksen haasteena on erityisesti yläpinnan liimauksessa käytettävien raaka-aineiden hinta, jolloin pyritään käyttämään niin vähän pintaliimaa kuin mahdollista päästääkseen tavoiteltuihin ominaisuuksiin. Tämä tarkoittaa aika-ajoin ongelmia pintaliimauksessa, jolloin tavoitteet eivät täyty erilaisista ongelmista johtuen. Suosituksena olisi tutkimusten aloittaminen halvempien nykyisiä vastaavat ominaisuudet antavien pintaliima-aineiden löytämiseen tai kehittämiseen. Täten voitaisiin säästää raaka-ainekustannuksissa eikä muuttujien vaikutukset pintaliimauksen ongelmiin olisi niin

suuret, koska ei tarvitsisi toteuttaa pintaliimausta pintaliiman minimimäärällä. Pintaliimauksen pienetkin ongelmat voivat aiheuttaa hylkyprosentin nousua, jolla on taloudellisia vaikutuksia.

Kalanteroinnin kehitys on menossa oikeaan suuntaan, missä pyritään mahdollisimman pienillä viivakuormilla saavuttamaan samat ominaisuudet paperiin, mitä aiemmin on saavutettu suuremmilla viivakuormilla. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii OptiLoad. Jatkossa myös kaikelle muulle kehitykselle on tarvetta, jotta voitaisiin saada mahdollisimman taloudellisesti ja energiatehokkaasti tuotettua paperia tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Ahlstedt, J., Almi, J., Hakola, J., Ilomäki, J., Jaakkola, M., Kautto, M., Kohonen, J., Kettunen, H., Kojo, T., Kuosa, H., Laitio, J., Linja, J., Linnonmaa, P., Nukarinen, K., Paasonen, J., Pihola, P., Rautiainen, P., Remmi, S., Sipi, K., Suomi, E., Söderholm, T., Talonen, M., Top-pila, M., Vaittinen, H & Ärölä, P, 2010. Papermaking Science and Technology, Volume 10. Papermaking Part 3, Finishing. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Aarni, E., Ahlgren, J., Beivi, E., Brown, J., Bruun, S., Engels, T., Forsström, U., Forstén, E., Gane, P., Gantenbain, D., Grön, J., Hanciogullari, H., Hansen, U., Heikkilä, P., Husband, J., Imppola, O., Kangas, J., Kermis, T., Kesti, E., Kettunen, H., Knudsen, E., Kokko, T., Kröner, H., Lawrenz, D., Lehtinen, E., Linnonmaa, J., Lipponen, J., Mäkinen, J., Mäntylä, M., Paloviita, P., Paltakari, J., Rajala, P., Rasinmäki, P., Ridgway, C., Salminen, P., Schmidt-Thümmes, J., Tiez, M., Toivakka, M., Turkki, T & Vähä-Nissi, M, 2009. Papermaking Science and Technology, Volume 11. Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Hägglom-Ahnger, U & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Heikkilä, T. 2012. Kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutus paperin ominaisuuksiin. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Poutala, J. 2005. Paperin liimausasteen määrittäminen. Paperitekniiikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Annala, M. 2006. Päälysteen reologiaan vaikuttavat tekijät. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kunnas, E. 2005. Online – Kuituorientaatiomittarin hyödyntäminen tarrapaperin taustan käyristymisen hallinnassa. Prosessitekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Nikkilä, A. 2012. Joustopakkauspaperien ja etiketti- ja tarrapaperien valmistus. Tampereen ammattikorkeakoulu. Luentomateriaali.

VTT / Proledge Oy 2010. KnowPap versio 12.0 (12/2010)

Tendring pacific. Internetsivut. Luettu 3.5.2013.

<http://www.tendringpacific.com/>