



# **KALANTEROINNIN JA TÄYTEAI- NEIDEN VAIKUTUS PAPERIN OMI- NAISUUKSIIN**

Taru Heikkilä

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2012  
Paperitekniiikan koulutusoh-  
jelma  
Paperitekniiikan suuntautu-  
misvaihtoehto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperitekniikan koulutusohjelma  
Paperitekniikan suuntautumisvaihtoehto

TARU HEIKKILÄ:

Kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutus paperin ominaisuuksiin

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 8 sivua  
Joulukuu 2012

---

Työn tarkoituksena oli tutkia kalanteroinnin ja tiettyjen täyteaineiden vaikutusta laboratoriossa valmistettujen arkkien ominaisuuksiin. Teoria osan kirjoittaminen oli melko haasteellista, koska kalanteroinnin vaikutusta täyteainetta sisältäviin papereihin ei ole tutkittu kovinkaan paljoa. Kokeellisessa osassa haasteelliseksi koitui arkkien saaminen samoihin neliömassoihin. Työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa.

Tämä opinnäytetyö sisältää luottamuksellista tausta-aineistoa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Paper Technology  
Option of Paper Technology

**TARU HEIKKILÄ:**

The Effect of Calendering and Fillers on Paper Properties

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 8 pages

Joulukuu 2012

---

The target of this thesis work was to study the calendering and the impact of certain fillers laboratory-produced sheets properties. The theory part of the writing was quite challenging, because the effect of the calendering on the sheets which contain the filling has not been studied much. In the experimental part the challenge was conferring sheets to obtain the same basis weight. The work was done at Tampere University of Technology in the paper laboratory.

The thesis contains confidential background material.

---

Key words: calendering, filler

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TÄYTEAINEET .....	6
2.1	Täyteaineiden vaikutus paperinvalmistusprosessiin.....	7
2.2	Täyteaineiden vaikutukset paperin ominaisuuksiin.....	8
3	KALANTEROINTI.....	10
3.1	Kalanteroitumismekanismit.....	10
3.1.1	Puristuminen .....	11
3.1.2	Siirtyminen ja hioutuminen.....	11
3.1.3	Suuntautuminen .....	12
3.1.4	Kopioituminen .....	12
3.2	Kalanterointimenetelmät.....	12
3.2.1	Konekalanteri .....	13
3.2.2	Softkalanteri .....	14
3.2.3	Superkalanteri ja monitelakalanteri.....	14
3.3	Kalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin .....	15
	LÄHTEET.....	19

## 1 JOHDANTO

Kalanterointi on paperinvalmistuksen viimeinen osa, jolla voidaan vaikuttaa etenkin paperin pinnan ominaisuuksiin, kuten sileyteen ja kiiltoon. Täyteaineita käytetään paperinvalmistuksessa täyttämään kuitujen välisiä aukkoja ja niillä voidaan vaikuttaa paperin ominaisuuksiin kuten formaatioon ja painettavuuteen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Lisäksi työn alussa tehtiin lyhyt koeajo, jonka tarkoituksena oli löytää optimaaliset ajoparametrit kalanterointiin.

Työn tavoitteena oli tutkia täyteainepitoisuuden lisäämisen aiheuttamia muutoksia sellu arkeissa ennen ja jälkeen kalanteroinnin. Kokeellisessa osassa verrataan neljän eri täyteaineen vaikutuksia mänty-koivusellu arkkiin ominaisuuksiin kahdessa eri täyteainepitoisuudessa. Arkeista mitattiin tärkeimmät paperitekniset ominaisuudet ennen ja jälkeen kalanteroinnin.

Työ jakautuu teoriaosaan ja kokeelliseen osaan. Teoriaosan alussa perehdytään täyteaineiden käyttötarkoitukseen ja kalanterointiprosessiin. Tämän jälkeen käsitellään täyteaineiden ja kalanteroinnin vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Kokeellisessa osassa valmistettiin laboratorioarkit, kalanteroitiin ja tehtiin tarvittavat mittaukset. Kokeellinen osa antaa tietoja kalanteroinnin ja täyteaineiden vaikutuksista paperiin. Aluksi kuvataan työn suoritusta, jonka jälkeen tuloksia analysoidaan ja havainnollistetaan taulukoiden ja kuvien avulla.

## 2 TÄYTEAINEET

Täyteaineet ovat hienoja, pääasiassa valkoisia pigmenttipartikkeleita, jotka on valmistettu luonnon raaka-aineista tai synteettisesti useista eri materiaaleista. Yleisimpiä täyteaineita ovat kaoliini, talkki, kalsiumkarbonaatti (GCC), saostettu kalsiumkarbonaatti (PCC), titaanioksidi ja synteettiset silikaatit. Täyteaineiden käyttö on lisääntynyt paperinvalmistuksessa. Useat paperilajit sisältävät täyteaineita ja niiden määrä vaihtelee eri paperilajeilla (kuva 1). Paino- ja kirjoituspaperissa käytetään eniten täyteaineita. (KnowPap 2010 Raaka-aineet; Krogerus Björn 2007, 56-57)

Sanomalehti	0-15 %
SC syväpainopaperi	20-32 %
LWC-pohjapaperi	6-10 %
Tapettipaperi	8-15 %
Mekaaninen luettelopaperi	5-10 %
Pakkauspaperi	5-20 %
Sellupohjainen painopaperi	10-25 %
Sellupohjainen kirjoituspaperi	10-25 %
Aaltopahvi	2-10 %
Tapettikartonki	2-10 %

KUVA 1. Täyteainemäärien vaihteluita eri paperilajeilla (KnowPap 2010, Raaka-aineet, muokattu)

Täyteaineiden käyttötarkoituksia ovat kuitujen välisten aukkojen täydentäminen, paperin pinnan tasoittaminen ja paperin ominaisuuksien, kuten formaation, painettavuuden, opasiteetin, mittapysyvyyden ja kiillon parantaminen. Lisäksi täyteaineita käytetään paperin valmistuskustannuksien alentamiseksi, koska puukuidut ovat kalliimpia kuin täyteaineet. Poikkeuksena ovat erikoispigmentit, jotka ovat kalliita ja niitä käytetään vain tiettyjen ominaisuuksien parantamiseksi. (Krogerus 2007, 56-57)

Täyteaineiden ominaisuudet ovat erilaiset kuin kuidulla, jolloin ne voivat aiheuttaa paperin laatuun edullisia tai epäedullisia muutoksia. Täyteaineiden ominaisuudet vaihtelevat täyteaineesta riippuen. Tärkeimpinä ominaisuuksina pidetään partikkelikokoa ja muotoa, kuituainesta suurempaa tiheyttä, huonoa sitoutumiskykyä, pintakemiallisia

ominaisuuksia ja optisia ominaisuuksia, kuten vaaleus, valonsironta ja valonabsorptio. (KnowPap 2010, Raaka-aineet; Häggblom-Ahnger Ulla & Komulainen Pekka 2006, 37)

Paperilajeille haetaan optimaalinen täyteainepitoisuus, joka määritetään vertailemalla kustannusetua ja vaikutuksia paperin ominaisuuksiin. Se kuinka paljon täyteaineet vaikuttavat paperiin, riippuu paperilajista ja siihen kohdistuvista vaatimuksista. Täyteaineille asetettuja vaatimuksia ovat sopiva hiukkaskoko paperin kuituverkostoon nähden, neutraali valkoinen väri ja sopiva heijastuskyky, liukenemattomuus, alhainen viirojen kuluttavuus, hyvä käsiteltävyys ja lietettävyys, hyvä retentoituminen, pihkan ja muiden epäpuhtauksien sitominen, tasainen painoväriadsorptio ja edullinen hinta. (KnowPap 2010, raaka-aineet)

## **2.1 Täyteaineiden vaikutus paperinvalmistusprosessiin**

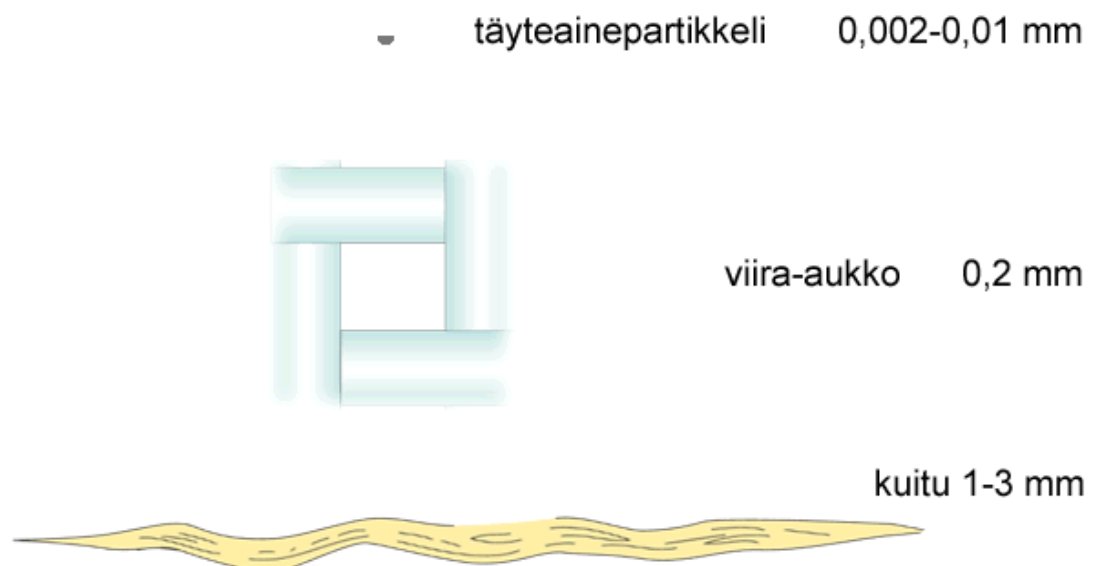
Täyteaineet käyttäytyvät paperinvalmistusprosessissa eri tavalla kuin kuituraaka-aineet, koska niillä on erilaiset koostumukset. Paperinvalmistusprosessissa täyteaineita pyritään käyttämään ainoastaan tiettyjen ominaisuuksien parantamiseen lopputuotteessa, itse valmistusprosessissa ne aiheuttavat useimmiten ongelmia. Täyteaineet eroavat kuituraaka-aineesta suuremmalla tiheydellä ja kovuudella, pienemmällä hiukkaskoolla sekä sitoutumiskyvyn puutteella. Lisäksi täyteaineet sitovat huonosti vettä. (KnowPap 2010, raaka-aineet)

Kuituraaka-aineen viirarentio voi olla jopa 90 %, kun taas täyteaineiden retentio on noin 20 - 30 %. Huono retentoituminen voidaan selittää pienellä hiukkaskoolla viiraaukkoon ja kuituverkkoon nähden, jolloin suurin osa täyteaineista menee paperikoneen massa- ja kiertovesisysteemiin. Huono retentio ja täyteaineiden kovuus aiheuttavat myös viirojen nopeaa kulumista. Täyteaineet laskeutuvat kuitua helpommin kiertovesijärjestelmässä, mikä aiheuttaa ongelmia putkistojen pinnoille ja aiheuttaa tukoksia. Tukosten estämiseksi on käytettävä riittävän suuria virtauksia ja sekoittamista. Täyteaineiden retention parantamiseen käytetään retentioaineita (KnowPap 2010, raaka-aineet).

## 2.2 Täyteaineiden vaikutukset paperin ominaisuuksiin

Täyteaineiden kuidusta poikkeavat ominaisuudet voivat aiheuttaa ei toivottuja vaikutuksia paperiin, esimerkiksi kuitujen välisten sidosten heikkenemiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa alhaista vetolujuutta, jäykkyyttä ja paperin pölyämistä, jotka ovat haitaksi painossa. Täyteaineilla on suurempi tiheys kuin kuituaineksella, mikä aiheuttaa bulkin alenemisen, jos neliömassa pidetään vakiona. Kalanteroinnissa tapahtuva palautumaton muodonmuutos lisääntyy, kun joustavampi kuitu korvataan kovalla joustamattomalla täyteaineella. Täyteaineiden huono retentio voi aiheuttaa kaksipuoleisuutta paperiin. (Krogerus 2007, 57)

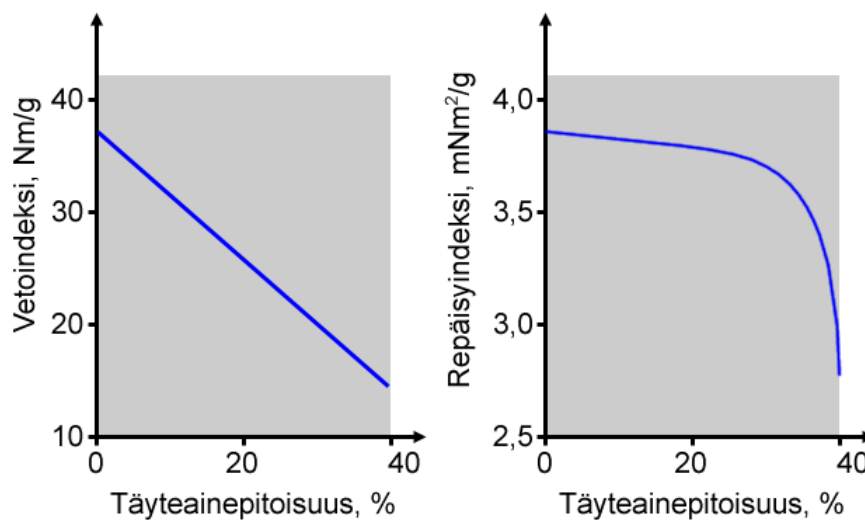
Täyteaineiden vaikutus paperiin riippuu partikkelien koosta ja muodosta ja siitä kuinka ne sijoittuvat rainaan. Kuitujen välille muodostuu veden avulla sidoksia. Kun kuituja korvataan täyteaineilla, niin paperin lujuus laskee. Tämä johtuu siitä, että täyteaineet eivät pysty muodostamaan sidoksia. Täyteaineiden tulisi jäädä kuitujen ja hienoaineksen muodostamaan verkostorakenteeseen, mutta pienen kokonsa takia (kuva 2) ne menevät kuituverkosta läpi. Retentioaineiden avulla täyteaineet kiinnittyvät toisiinsa, syntyy flokkautumista, jolloin saadaan täyteaineet kiinnittymään rainaan. (KnowPap 2010, Raaka-aineet)



KUVA 2. Viira-aukon, kuidun ja täyteainepartikkelin kokovertailu (KnowPap 2010, Raaka-aineet)



Täyteaineet heikentävät kuitujen sitoutumisesta riippuvaa vetolujuutta ja repäisyjuuutta (kuva 3). Vetolujuuteen vaikuttaa heikentävästi erityisesti täyteaineiden hienojakoisuus, kun taas repäisyjuuteen vaikuttaa täyteaineiden määrä. Vähäinen määrä täyteaineita ei vaikuta merkittävästi repäisyjuuteen, kun taas suuret määrät heikentävät sitä. Täyteaineiden määrällä on vaikutusta myös kalanteroitavuuteen. Täyteaineiden lisääntyessä viskoelastisen kuituaineksen paikalle, kokoonpuristuvuus, bulkki ja murtovenymä pienenevät, jolloin palautumaton muodonmuutos lisääntyy. Täyteaineet parantavat paperin pinnan sileyttä, vaaleutta, opasiteettia, painovärin absorboitumista ja lisäävät paperin tiheyttä. (KnowPap 2011 raaka-aineet, Abbot, Scott & Trosset 1995, 16)



KUVA 3. Täyteaineen vaikutus veto- ja repäisyjuuteen (KnowPap 2011, Raaka-aineet)

Kuvasta 3 huomataan, että täyteainepitoisuuden kasvaessa paperin vetolujuus laskee voimakkaasti. Vetolujuuden heikkeneminen selittyy täyteaineen huonolla sitoutumiskyvyllä verrattuna kuituihin. Repäisyjuuus säilyy pienillä täyteainemäärillä, mutta laskee voimakkaasti, kun täyteainemäärä nousee yli kolmannekseen paperissa.

### 3 KALANTEROINTI

Kalanteri on kone, jonka avulla paperin pinnasta tehdään sileä ja/tai kiiltävä. Kalanterissa on vähintään kaksi telaa, joiden välistä paperi puristetaan. Kalanterin telojen pintamateriaali valitaan lopputuotteen haluttujen ominaisuuksien perusteella. Kalanterointi on prosessi, jossa muutetaan paperin pintarakennetta ja paksuutta puristuspaheen, leikkaus- ja kitkavoimien vaikutuksesta. Tarvittaessa paperin pintaan voidaan lisätä myös kuviointi telakuvioinnin avulla. (Hägglom-Anger & Komulainen 2006, 204; Sanasto: Teknisiä ja toimialan termejä koskeva sanasto 2012)

#### 3.1 Kalanteroitumismekanismit

Kalanteroinnin tärkeimmät tehtävät ovat paperin pintaominaisuuksien muokkaaminen, paksuusprofiilin hallinta sekä tiheyden ja paksuuden säätäminen. Pintaominaisuudet muokataan ja paksuusvaihtelut minimoidaan kalanteroinnin avulla seuraavaa prosessivaihetta varten, joka on päällystys ja/tai painatus. Kalanterointi vaikuttaa positiivisesti painettavuutta edistävien pintaominaisuuksien muutoksiin, mutta samalla tapahtuu haitallisia muutoksia paperin jäykkyydessä, lujuuksissa ja optisissa ominaisuuksissa. (Knowpap 2010, Tuotantoprosessit)

Kalanteroinnin vaikutuksia paperin ominaisuuksiin kutsutaan kalanteroitumismekanismeiksi. Kalanteroitumismekanismia (kuva 3) ovat: Puristuminen (paksumpien kohtien puristuminen enemmän kuin matalien), siirtyminen (materiaalin siirtyminen korkeimmista kohdista matalampiin), suuntautuminen (partikkelien suuntautuminen pinnan suuntaan) ja kopioituminen (telapinnan jäljentymisen paperin pintaan). (Hägglom-Ahngner & Komulainen 2006, 204-205)

### 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)



### Jäljentuminen

Paperi toistaa pintakuvion (kohtisuorat voimat ja pinnan plastisuus)



KUVA 3. Paperin kalanteroitumismekanismit (KnowPap 2010, tuotantoprosessi)

#### 3.1.1 Puristuminen

Raina puristuu paksuussuunnassa kokoon siihen vaikuttavien kohtisuorien voimien ansiosta. Puristuminen vaikuttaa paperin sileyteen parantamalla tätä, koska pintahuokokset pienentyvät ja toisaalta kukkulat puristuvat kasaan enemmän kuin laaksot. Kokoonpuristuvuuden muodonmuutoksen pysyvyys riippuu rainan plastisuudesta. Pintahuokosten pienentyminen saadaan aikaiseksi tiivistämällä paperin pintaa, kun taas laajempien kukkuloiden tasaaminen vaatii koko rainan tiivistämistä. Paperia voidaan tarkastella myös partikkelitasolla, jolloin pintaominaisuudet saadaan parantumaan sylinterimäisten tai pyöreiden partikkelien muuttuessa tasomaisemmiksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 205)

#### 3.1.2 Siirtyminen ja hioutuminen

Paperin pinnan tasoittuminen voi tapahtua plastisen muodonmuutoksen seurauksena (ainetta siirtyy kukkuloilta laaksoihin) tai partikkelin irtoamisena. Ironnut päällystepartikkeli saattaa aiheuttaa pölyämistä, joten pinnan tasoittuminen pitäisi tapahtua plastisena muodonmuutoksena. Plastiseen muodonmuutokseen voidaan vaikuttaa käyttämällä kuumia metalliteloja sekä termoplastisia sideaineita. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 206; KnowPap 2011, Tuotantoprosessit)

### 3.1.3 Suuntautuminen

Levymäisten ja pitkulaisten partikkelien suuntautuminen paperin pinnassa vaikuttavat oleellisesti sileyden ja erityisesti kiillon kehittymiseen. Päällysteessä olevien sideaineiden pehmeneminen ja plastisoituminen edistävät kiillotuksessa vaikuttavien kohtisuorien ja pinnansuuntaisten voimien vaikutusta. Näiden voimien avulla saadaan paperin pinnassa olevat kaoliinilevyt kääntymään pinnan suuntaisiksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 205-206; KnowPap 2011, Tuotantoprosessit)

### 3.1.4 Kopioituminen

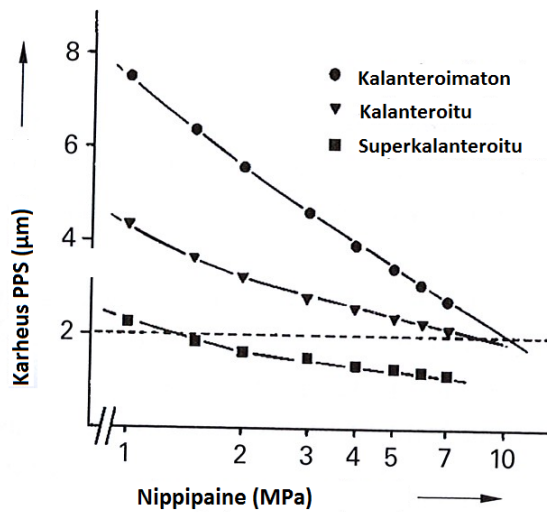
Kopioituminen eli jäljentyminen tarkoittaa, että paperin pinta toistaa telan pinnan kuviointia. Jäljentyminen on tärkeää kiillon kannalta, jolloin telan pinta tulee olla sileä. Paperin pintaominaisuuksia muokatessa jäljentymisefektiä voidaan käyttää myös hyväksi. Esimerkiksi jos alatela on hiekkapuhallettu, niin kiiltävä paperi saadaan muuttumaan mattapintaiseksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 205; KnowPap 2011, tuotantoprosessit)

## 3.2 Kalanterointimenetelmät

Kalantereita on kahta eri tyyppiä: on-machine kalanteri eli konekalanteri ja off-machine eli kalanteri, joka sijaitsee jälkikäsitelyssä. Kalanterointitulokseen ja kalanteroitavuuteen voidaan vaikuttaa muillakin tavoin kuin itse kalanteroimalla. Tuloksiin vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kalanteroinnin hallintasuureisiin (viivakuorma, lämpötila, paperin kosteus, ajonopeus, höyrytys), paperin ja päällysteen ominaisuuksiin sekä kalanterin rakenneparametreihin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 206)

Kalanteroitessa paperin paksuudelle tapahtuu suuri muutos, jonka seurauksena paperin tiheys ja leveys kasvavat. Paperin leveyssuunnassa tapahtuviin muutoksiin vaikuttavat huokostilavuus (pieni huokostilavuus aiheuttaa suurempaa levenemistä), kokoonpuristuvuus (leveys kasvaa) ja konesuuntainen veto (paperi pyrkii kapenemaan). Paperilaji määrää kalanterityypin, jota käytetään paperin viimeistelyyn. Mitä kiiltävämpää ja si-

leämpää paperista halutaan, sitä enemmän teloja, painetta ja lämpöä tarvitaan (kuva 4). (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 209-210)



KUVA 7. Kalanteroinnin ja nippipaineen vaikutus paperin sileyteen (Ek, M 2009, 215, muokattu)

### 3.2.1 Konekalanteri

Konekalanteri on usein sijoitettu paperi- tai kartonkikoneen perään ennen kiinnirullaus- ta. Konekalanteri voi olla sijoitettuna myös ennen päällystystä, jolloin se toimii niin sanottuna välikalanterina. Konekalanterissa on 2-8 metalli telaa, joista alin tela on suurempi kuin muut ja ainoastaan sillä on käyttömoottori. Alatela on taipumakompensoitu tela ja ylätela on kokillivalurautainen vesikierrolla lämmitettävä lämpötela. Konekalanterin tarkoitus on rainan karheuden säätö, jota voidaan säätää viivakuorman avulla sekä paksuusprofiilin muokkaaminen, jota säädetään alatelassa olevan vyöhykesäädön avulla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 211)

Kovanippisellä konekalanterilla voidaan vaikuttaa rainan toispuoleisuuteen. Raina muokkautuu parhaiten korkeassa lämpötilassa (vesilämmitys korvattu öljylämmityksellä), jolloin puristinosan aiheuttama karheus saadaan tasoittumaan ja toispuoleisuus pienemään. Konekalanterin merkittävät heikkoudet ovat paperin lujuuksien lasku sekä opasiteetin ja bulkin heikkeneminen. Kuitujen väliset sidokset hajoavat kovassa nipissä, etenkin kun lämpötila ja kosteus ovat alhaiset ja paperin formaatio huono. Kova nippi aiheuttaa tiheämpien kohtien tiivistymistä ja kiillottumista, joka voi aiheuttaa näiden

kohtien tulemisen läpinäkyviksi. (Ahlstedt ym 2010, 38; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 212)

Konekalanterointi on usein korvattu muilla kalanterointimenetelmillä, koska sillä on paperin laatuun heikentävästi vaikuttavia tekijöitä, kuten heikko sileys, epätasainen pinta, lujuuksien heikkeneminen ja pölyäminen. Lisäksi konekalanteri ei sovellu paljon täyteainetta sisältäville ja päällystetyille papereille sen kovan nipin vuoksi. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 211)

### **3.2.2 Softkalanteri**

Softkalanterissa on yhdestä neljään nippiä, riippuen paperilajista, jota tuotetaan. Toinen nipin teloista on lämmitetty kovapintainen tela ja toinen polymeeripinnoitteinen (pehmeäpintainen) ja joustava tela. Mattapintaisilla paperilaaduilla molemmat nipin teloista ovat pehmeäpintaisia. Softkalanteri on useimmiten on-line paperi- tai päällystyskoneessa ja sen jokainen nippi on kuormitettava. Softkalanteri voi olla myös off-line koneena, jolloin se voi olla vaihtoehto superkalanterille. Softkalanteri on korvannut konekalanterin lähes kokonaan ja sillä voidaan käyttää korkeita lämpötiloja. (Ahlstedt ym 2010, 42; Häggblom & Komulainen 2006, 212)

Softkalanterin telat aiheuttavat vähemmän kuitujen välisten sidoksien rikkoutumista kuin konekalanteri ja näin ollen säilyttää paremmin paperin lujuuden. Pari prosenttia korkeampi kosteus voidaan sallia paperissa ilman kalanteroimismustumista, mutta tiheys väistämättä kasvaa, kun kosteus kasvaa. Konekalanteriin verrattuna softkalanterilla voidaan säästää bulkkia, jäykkyyttä ja optisia ominaisuuksia. Superkalanteroituun paperiin verrattuna softkalanteroidulla paperilla on parempi opasiteetti, korkeampi vaaleus/kirkkaus ja parempi jäykkyys, mutta sileys ja kiilto ovat alhaisemmat. (Gavelin Gunnar 1998, 209; KnowPap 2010, Tuotantoprosessi)

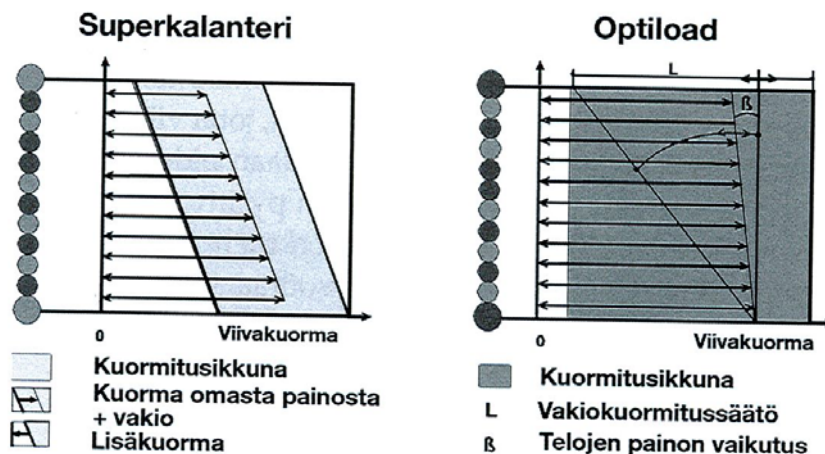
### **3.2.3 Superkalanteri ja monitelakalanteri**

Superkalanteri on off-line kone, jossa on tavallisesti 10-12 telaa. Alin ja ylin tela ovat taipumakompensoituja kokilliteloja. Välitelosta joka toinen on polymeeritela ja joka

toinen on vesilämmitteinen metallitela. Telojen lukumäärän ollessa parillinen tarvitaan kääntönippi, jotta kiillottuminen ei olisi toispuoleista. Paperi kiillottuu metallista telaa vasten paremmin, joten kääntönippi auttaa paperia kiillottumaan tasaisesti molemmilta puolilta. Superkalanterissa voidaan käyttää höyrysuihkuja päällystämättömillä paperilaaduilla niiden toispuoleisuuden kontrolloimiseen ja poikkisuuntaisen kiillon parantamiseen. (Ahlstedt ym 2010, 49-54; KnowPap 2011, Tuotantoprosessi)

Superkalanteroitaessa rainan paksuus voi pudota jopa puoleen, jolloin tiheys kasvaa kaksinkertaiseksi. Paperin puristuessa kokoon leveys kasvaa. Leveydessä tapahtuvat muutokset riippuvat paperin huokostilavuudesta. Pieni huokostilavuus kasvattaa paperin leveyttä, mutta kuivuminen kaventaa rainaa. (KnowPap 2011, Tuotantoprosessit)

Monitelakalanterissa on yleensä 6-12 telaa. Monitelakalanteri eroaa softkalanterista sen nippiluvulla. Monitelakalanteri on rakenteeltaan lähes samanlainen kuin superkalanteri. Monitelakalanteroinnissa jokaiseen nippiin saadaan sama viivakuorma (kuva 5), jonka ansiosta bulkki ja optiset ominaisuudet säilyvät paremmin kuin superkalanteroitaessa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 214-215)

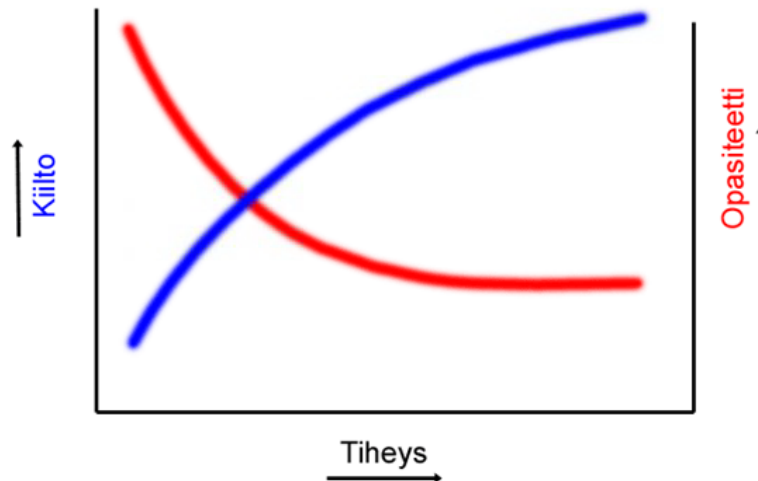


KUVA 5. Superkalanterin ja monitelakalanterin viivakuormien vertailu. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 216)

### 3.3 Kalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin

Pölyäminen ei ole toivottu ominaisuus, etenkin offset papereilla. Superkalanterointi korkeassa kosteudessa auttaa mekaanisen massan kuituja sitoutumaan paperin pinnalla,

jolloin pölyävyys vähenee. Toisaalta kalanterointi metalliteloilla korkeassa kuiva-ainepitoisuudessa aiheuttaa sidoksien aukeamista, jolloin lujuusominaisuudet huononevat ja paperin pölyäminen lisääntyy. Kalanterointi tasoittaa ja tiivistää paperia, mutta samalla se huonontaa optisia ominaisuuksia sekä repäisyjuuutta ja jäykkyyttä. Toivottuja ominaisuuksia ovat sileys ja kiilto. (KnowPap 2011, Tuotantoprosessit.) Kuvassa 5 on kuvattu pinnan ominaisuuksien muutokset tiheyden kasvaessa ja taulukossa 1 on kalanteroinnin aiheuttamat suotuisat ja epäsuotuisat muutokset paperin ominaisuuksiin.



KUVA 5. Kiillon ja opasiteetin muutokset tiheyden kasvaessa (KnowPap 2011, Tuotantoprosessit)

TAULUKKO 1. Kalanteroinnin vaikutukset paperin ominaisuuksiin (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204, muokattu)

Hyödylliset muutokset		Epäedulliset muutokset	
Sileys	+++	Tiheys	+++
Kiilto	+++	Paksuus	---
Ilmanläpäisevyys	---	Jäykkyys	---
Öljynabsorptio	---	Kokoonpuristuvuus	---
Toispuolisuus	-	Opasiteetti	--
		Vaaleus	-
		Repäisyjuuus	--
		Vetohjuus	-

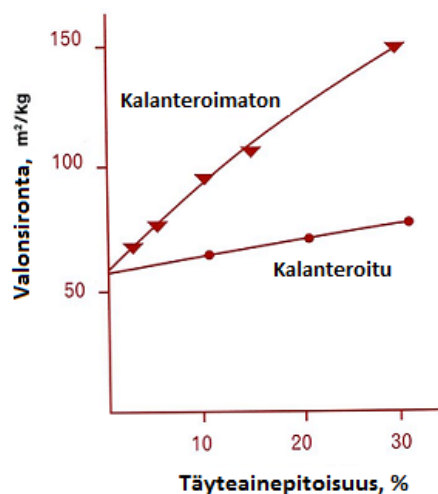
Taulukon 1 mukaan kalanteroinnin aiheuttamia hyödyllisiä muutoksia ovat sileyden ja kiillon korkea nousu, ilmanläpäisevyyden ja öljynabsorption huomattava lasku sekä toispuoleisuuden tasoittuminen. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä painettaessa paperia, etenkin syväpainossa. Kalanteroinnilla saavutetaan paperin ominaisuuksien parantamista, mutta samalla tapahtuu epäedullisia muutoksia kuten opasiteetin, vaaleuden, repäisy-



ja vetolujuuden laskua sekä tiheyden nousua, joka pienentää bulkkia, paksuutta, jäykkyyttä ja kokoonpuristuvuutta.

Painettaessa paperia syväpainomenetelmällä, vaaditaan paperilta tiettyjä ominaisuuksia. Pieni öljynabsorptio ja ilmanläpäisevyys edesauttavat vähäistä painoväriin absorpoitumista paperiin. Sileys ja kiilto ovat visuaalisesti merkittäviä, sillä alhainen sileys aiheuttaa puuttuvia pisteitä painojäljessä ja korkea kiilto antaa hyvän painojäljen kiillon. (KnowPap 2011, Tuotteet ja ominaisuudet)

Kalanterointi aiheuttaa huokostilavuuden pienenemistä ja tiheyden kasvua. Näiden ominaisuuksien muutokset alentavat paperin valonsirontaa. Kalanterointi ei kuitenkaan aina alenna valonsirontaa. Valonsironta voi kasvaa, jos paperin rakenne sisältää suhteellisen suuria huokosia. Tällöin paperia voidaan puristaa ilman, että vaikutetaan huokosten rakenteeseen, jolloin valonsironta voi kasvaa hieman. Valonsironta voi kasvaa kalanteroituilla papereilla, jos ne sisältävät täyteaineita (kuva 6). (Pauler Nils 2002, 81)



KUVA 6. Kalanteroinnin ja täyteainepitoisuuden vaikutus valonsirontaan (Pauler 2002, 81, muokattu)

Kalanteroinnin tavoite on kontrolloida paperin tiheys ja sileys ominaisuuksia pyrkimättä alentamaan lujuusominaisuuksia. Kalanteroinnin hallintasuureilla voidaan vaikuttaa paperin ominaisuuksiin (kuva 7), mutta itse paperin kalanteroituvuus muodostetaan jo paperikoneella. Kalanteroinnin hallintasuureita ovat linjapaine, lämpötila, kosteus ja ajonopeus. Joillakin paperilajeilla voidaan käyttää myös höyrytystä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 206)

	tiheys	sileyys	ilmanläpäisy	öljynabsorptio	vetolujuus	repäisyjujuus	kiilto	opasiteetti	vaaleus
<b>linjapaine</b>	++	++	--	--	-	-	++	-	-
<b>lämpötila</b>	++	+	-	-			+	-	-
<b>kosteus</b>	+	+	-	-			+	-	-
<b>ajonopeus</b>	-	-					-		

KUVA 7. Kalanterointimuuttujien vaikutukset paperin ominaisuuksiin (KnowPap 2011, prosessimuuttujat)

Kuvan 7 mukaan kalanterin linjapaineella voidaan vaikuttaa merkittävästi tiheyden sileyden ja kiillon kasvuun sekä ilmanläpäisevyyden ja öljynabsorptio laskuun. Lämpötilalla saadaan vaikutettua merkittävästi tiheyteen (lämpötilan nosto aiheuttaa tiheyden kasvua) sekä hieman sileyteen ja kiiltoon. Lisäksi lämpötila alentaa opasiteettia ja vaaleutta. Kosteus vaikuttaa hieman paperin tiivistymiseen, sileyteen ja kiiltoon. sekä alentaa ilmanläpäisevyyttä, öljynabsorptiota, opasiteettia ja vaaleutta. Ajonopeudella ei juuri ole vaikutusta paperin ominaisuuksiin, mutta sen avulla voidaan hieman pienentää tiheyttä (mitä suurempi ajonopeus, sitä pienempi viipymäaika nipissä).

Korkea linjapaine aiheuttaa opasiteetin ja vaaleuden alentumista. Kalanteroitaessa liian kovalla nippipaineella paperiin voi tulla kalanteroitumismustumaa, joka nimensä mukaisesti aiheuttaa tummia läikkiä paperissa. Läikät syntyvät paperiin, kun paperia puristetaan niin kovalla paineella, että kuidut muuttuvat läpinäkyviksi. (Pauler 2002, 81)

## LÄHTEET

Abbott, J & Scott, W. 1995. Properties of Paper: An Introduction. 2. painos. U.S.A: TAPPI PRESS.

Ahlstedt, J., Almi, J., Hakola, J., Ilomäki, J., Jaakkola, M., Kautto, M., Kohnen, J., Kettunen, H., Kojo, T., Kuosa, H., Laitio, J., Linja, J., Linnonmaa, P., Nukarinen, K., Paasonen, J., Pihola, P., Remmi, S., Sipi, K., Suomi, E., Söderholm, T., Talonen, M., Toppila, M., Vaittinen, H & Ärölä, P, 2010. Calendering. Rautiainen, P. 2010. Papermaking Science and Technology, Book 10. Papermaking Part 3, Finishing. Porvoo: WS Bookwell Oy, 18-55.

Ek, M., Gellerstedt, G & Henriksson, G. 2009. Pulp and paper chemistry and technology. vol. 4, Paper products physics and technology,

Häggbloom-Ahnger, U & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. 2. tarkistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 215.

Krogerus Björn, 2007. Papermaking additives. Alén, R. 2007. Papermaking Science and Technology, Book 4. Papermaking Chemistry. Finland: Fapet Oy, 56-61.

Pauler, N. 2002. Paper optics. Sweden: Elanders Tofters, 81.

Ahlstrom Corporation. 2012. Sanasto. Teknisiä ja toimialan termejä koskeva sanasto. Luettu 30.1.2012. <http://www.ahlstrom.com/fi/ahlstrom/Sanasto/Pages/default.aspx>

VTT / Proledge Oy 2010. KnowPap Versio 12.0 (12/2010) [Online]

VTT / Proledge Oy 2011. KnowPap Versio 13.0 (2011) [Online]