



TÄYTEAINEEN VAIKUTUS PAPERIN LUJUUTEEN

Jani Mäkelä

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Paperi-, tekstiili- ja
kemiantekniikka
Paperiteknikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Paperitekniikka

JANI MÄKELÄ:

Täyteaineen vaikutus paperin lujuteen

Opinnäytetyö 92 sivua, joista liitteitä 21 sivua
Toukokuu 2014

Täyteaineita käytetään useissa eri paperi- ja kartonkilajeissa. Täyteaineilla parannetaan paperin optisia ominaisuuksia sekä painettavuutta. Täyteaineet ovat kuitua halvempia, ja niiden käyttöä pyritään lisäämään. Liiallinen täyteaineen käyttö huonontaa paperin lujuusominaisuuksia sekä jäykkyyttä. Käytetyimmät täyteaineet ovat kaoliini, talkki sekä kalsiumkarbonaatti.

Paperin kalanteroinnilla parannetaan paperin kiiltoa ja sileyttä. Paperin painatusominaisuudet paranevat, kun paperiin lisätään täyteainetta ja paperi kalanteroidaan. Paperin huokoisuus pienenee ja tiheys kasvaa, koska paperin rakenne painuu kasaan.

Tämän opinnäytetyön kokeellinen osa on luottamuksellinen.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Paper, textile and chemical technology
Paper technology

JANI MÄKELÄ:

The Effect of the Filler on Paper Strength Properties

Bachelor's thesis 92 pages, appendices 21 pages
May 2014

Fillers are used in different kind of paper and board grades. Fillers increase the optical properties and printability of paper. Fillers are cheaper than fibers and the use of fillers should be increased. If the filler content is too high, however the paper strength properties and stiffness decreases. The most used fillers are kaolin, talc and calcium carbonate.

Paper gloss and smoothness is increased by calendering the paper. The printability of the paper increases when fillers are added and the paper is calendered. Porosity decreases and the density of the paper increases because of the structure of the paper is compressed.

This experimental part of the thesis is confidential.

Key words: calcium carbonate, kaolin and talc

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TÄYTEAINEET PAPERINVALMISTUKSESSA	7
2.1	Kalsiumkarbonaatti	10
2.1.1	Jauhettu kalsiumkarbonaatti, GCC.....	11
2.1.2	Saostettu kalsiumkarbonaatti, PCC.....	12
2.2	Kaoliini	13
2.3	Talkki	14
2.4	Muut täyteaineet	14
3	TÄYTEAINEEN KÄYTTÖÖN SOVELTUVAT PAPERIT JA KARTONGIT.....	18
3.1	Sanomalehtipaperi	18
3.2	Puupitoiset päällystämättömät paperit	19
3.2.1	SC-paperi	19
3.3	Puupitoiset päällystetyt paperit	20
3.3.1	LWC.....	20
3.3.2	MWC.....	21
3.3.3	HWC	21
3.3.4	MFC	22
3.3.5	FCO.....	22
3.4	Puuvapaat päällystämättömät paperit	22
3.4.1	Offsetpaperit.....	22
3.5	Puuvapaat päällystetyt paperit	22
3.6	Erikoispaperit ja kartongit	23
3.6.1	Tapetti	23
3.6.2	Valkopintainen laineri.....	23
3.6.3	Tarra- ja irrokepaperi	23
3.6.4	Pakkauspaperi	23
4	UUSIMMAT INNOVAATIOT	24
5	TÄYTEAINEEN VAIKUTUS PAPERIN LUJUUTEEN JA OPTISIIN OMINAISUUKSIIN	25
5.1	Täyteaineen vaikutus paperin lujuuksiin	27
5.2	Täyteaineen vaikutus paperin optisiin ominaisuuksiin.....	30
6	KALANTEROINNIN VAIKUTUS.....	32
6.1	Kalanterointimenetelmät.....	33
6.2	Kalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin	34
	LÄHTEET.....	36

LYHENTEET JA TERMIT

GCC	Ground calcium carbonate, jauhettu kalsiumkarbonaatti
PCC	Precipitated calcium carbonate, saostettu kalsiumkarbonaatti
LWC	Light-weight-coated, kevyesti päällystetty puupitoinen paperi
MWC	Medium-weight-coated, kaksoispäällystetty puupitoinen painopaperi
SC	Supercalendered, päällystämätön ja superkalanteroitu puupitoinen aikakausilehtipaperi
HWC	High-weight-coated, raskaasti päällystetty puupitoinen paperi
FCO	Film coated offset, filmipäällystetty offsetpaperi
MFC	Machine finished coated, konekiillotettu, mekaaninen offsetpaperi
PP-laitos	Pyörrepuhdistuslaitos

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää täyteaineen vaikutusta paperin lujuteen. Kirjallinen osio painottuu eri täyteaineisiin, sekä siihen miten täyteaine vaikuttaa paperin eri ominaisuuksiin. Lisäksi käsitellään kalanteroinnin vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Työ tehtiin Nordkalk Oy:lle.

Täyteaineilla pyritään parantamaan paperin painettavuusominaisuuksia. Täyteaine on kuitua halvempaa, joten raaka-ainekustannukset laskevat täyteainepitoisuuden noustessa. Täyteaineita käytetään monissa eri paperi- ja kartonkilajeissa ja ne vaikuttavat paperin ominaisuuksiin eri tavalla. Täyteaineiden käyttöä rajoittaa paperin lujuuksien ja jäykkyyden heikkeneminen sekä pölyäminen jatkojalostuslaitteissa.

Täyteainepartikkelit ovat huomattavasti kuitua pienempiä ja yksi suuri haaste on saada täyteaine jäämään paperin rakenteeseen. Ongelmaan käytetään retentioaineita, joilla täyteainepartikkelit saadaan kiinnittymään toisiinsa ja flokkautumaan kuituverkostoon. Täyteaineretentio kertoo sen, kuinka paljon täyteainetta kiinnittyy paperirainaan viiraosalla ja kuinka paljon sitä poistuu veden mukana läpi viirasta. Osa täyteaineesta menee viiran läpi viirakaivoon ja se kierrätetään lyhyen kierron kautta uudelleen käyttöön. Lyhyen kierron puhdistusjärjestelmät, kuten pyörrepuhdistimet vähentävät täyteainetta ja täyteaine poistuu prosessista rejektinä.

Paperin painettavuutta pystytään parantamaan kalanteroimalla paperi, joko konelinjassa tai erillisellä kalanterilla. Paperin pinta silittyy kahden telan muodostamassa nipissä, ja paperin kiilto ja sileys paranevat. Kalanterointi heikentää kuitenkin paperin opasiteettia, lujuuksia ja nostaa paperin tiheyttä.

2 TÄYTEAINEET PAPERINVALMISTUKSESSA

Paperin valmistuksessa täyteaineilla pyritään parantamaan paperin painettavuusominaisuuksia. Täyteaineet ovat halvempia kuin kuituraaka-aine, joten täyteainetta käytettäessä valmistuskustannukset laskevat. Täyteaine on hienojakoista pigmenttijauhetta, joka täyttää kuitujen välisiä huokosia paperissa. Täyteaine on valmistettu luonnon mineraaleista. Täyteainetta valittaessa tulee ottaa huomioon täyteaineen optiset ominaisuudet (vaaleus, valonsironta ja valonabsorptio), hiukkaskoko ja sen jakauma, hiukkasten muoto, tiheys, kovuus, lietteen pH, viskositeetti ja kuiva-ainepitoisuus. (Knowpap 2013, Häggblom-Ahnger & Komulainen, 37) (Taulukko 1)

Taulukko 1 Täyteaineet ja niiden ISO-vaaleus, partikkelikoko ja muoto, tiheys sekä taitekerroin. (Knowpap, Thorn, 124, muokattu 20.01.2014)

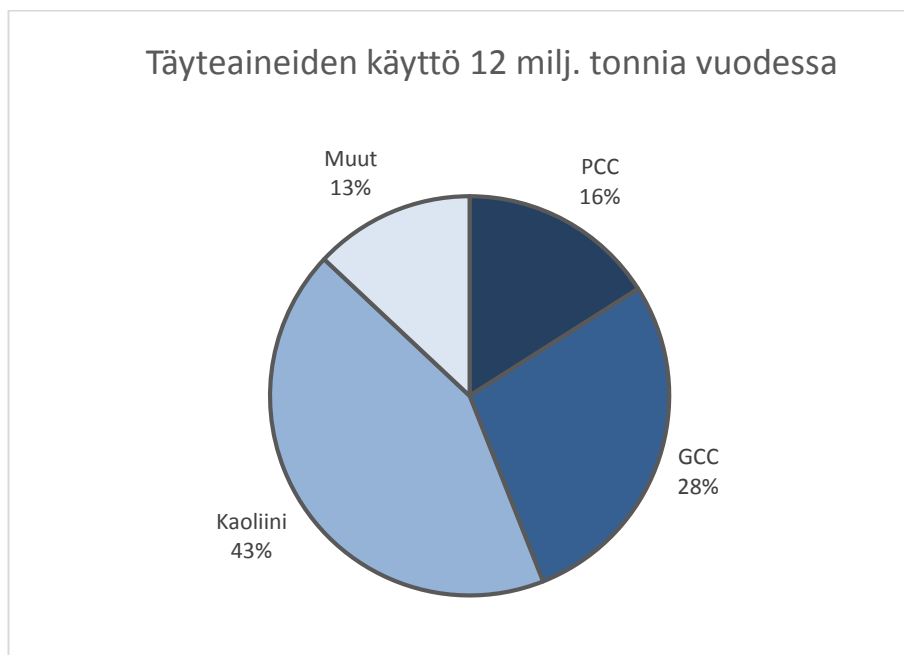
Mineraali	ISO-vaaleus %	Partikkelikoko μ	Partikkelin muoto	Tiheys kg/m ³	Taitekerroin
Kaoliini	78-90	0,3-2,5	levymäinen	2600	1,56
Kalsinoitu kaoliini	90-93	0,4-0,7	jyrkkä/kapea (aggregoitunut)	2600	1,57
GCC	94-97	0,7-2,0	pyöreähkö	2650	1,6
PCC	95-98	1-3,5	neulasmainen/sauvamainen	2650	1,56
Talkki	80-85	1,0-8	levymäinen	2700	1,57
Titaanidioksidi	>97	0,2-0,4	pyöreähkö	3900	2,55

Täyteaineella pyritään parantamaan paperin vaaleutta, opasiteettia ja sileyttä. Sileyttä saadaan paremmaksi kalanteroimalla täyteainepitoinen paperi. Paperin formaatio paranee, koska täyteainepartikkelit täyttävät kuitujen välisiä huokosia. Pienemmät huokokset paperin rakenteessa antavat tasaisemman absorption. Paperin mittapysyvyys on parempi, koska paperin kastuessa täyteaine ei turpoa tai muuta mittojaan kuten kuitu. Täyteainepitoisuuden kasvaessa paperin ljuudet kuitenkin laskevat ja se rajoittaa täyteaineiden käyttöä. Täyteaineella on huono sitoutumiskyky. Kuidut muodostavat vetysidoksia, mutta täyteaineet eivät pysty samaan ja nostettaessa täyteainepitoisuutta kuitujen välisten sidosten määrä laskee ja paperin ljuudet heikkenevät. Täyteainepartikkelit aiheuttavat paperin jatkojalostuksessa pölyämistä ja sitä kautta erilaisia ongelmia. (Knowpap, Holik, 33)

Veden poistaminen paperirainasta paperikoneen viira- ja puristinosalla helpottuu, kun käytetään täyteaineita. Täyteaineeseen ei sitoudu vettä samalla tavalla kuin kuituihin. Käytettäessä karkeitä täyteainepartikkeleita, vesi poistuu helpommin verrattuna hienojakoiseen täyteaineeseen. Mitä enemmän vettä saadaan poistettua paperikoneen

viira- ja puristinosalla sitä enemmän säästetään kallista kuivatusenergiaa kuivatusosalla. Täyteainepartikkelit kuluttavat viiroja ja huopia, koska poistuessaan rainasta niitä jää viiran ja vedenpoistoelimien väliin ja ne alkavat kuluttaa viiran rakennetta. Kulumiseen vaikuttaa täyteaineretentio viiralla ja käytettävän täyteaineen kovuus, särmikkyys ja partikkelikoko. (Knowpap 2013, Hägglom-Ahnger & Komulainen, 38)

Yleisimmät paperin valmistuksessa käytettävät täyteaineet ovat kalsiumkarbonaatti (GCC ja PCC), kaoliini ja talkki. Kuvassa 1 on esiteltynä eri täyteaineiden kulutusmäärät paperinvalmistuksessa. Kokonaiskulutus on noin 12 miljoonaa tonnia vuodessa (2006). Muita täyteaineita ovat kipsi, kalsinoitu kaoliini, titaanidioksidi, silikaatit, muovipigmentit sekä alumiinihydroksidi. Lisäksi on olemassa erikoisempia täyteaineita, jotka on valmistettu muokkaamalla tärkkelystä tai ne sisältävät esimerkiksi bariumsulfaattia, sinkkisulfaattia tai piimaata. (Holik, 44-54, Hägglom-Ahnger & Komulainen, 39-41)

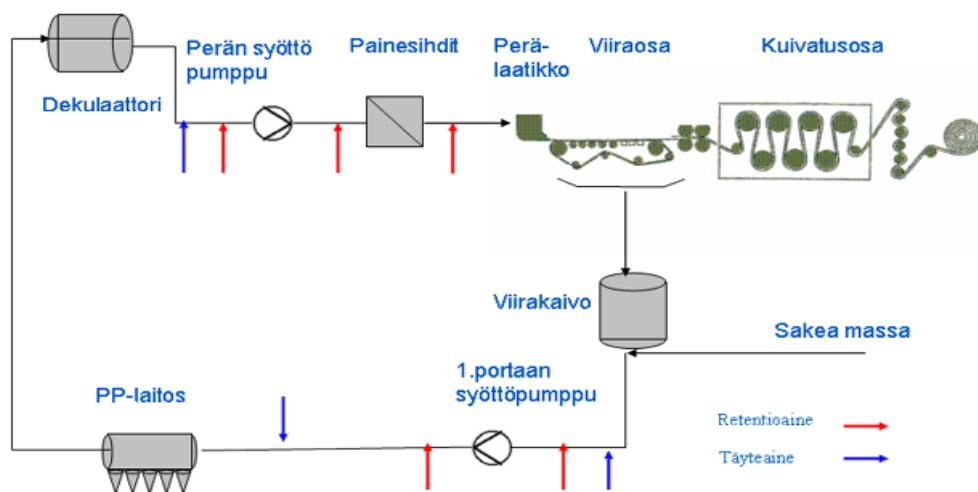


Kuva 1 Täyteaineiden käyttö ja niiden jakauma vuonna 2006, kokonaiskulutus 12 miljoonaa tonnia. (Holik, 45, Wilson, 2006. Muokattu 21.1.2014)

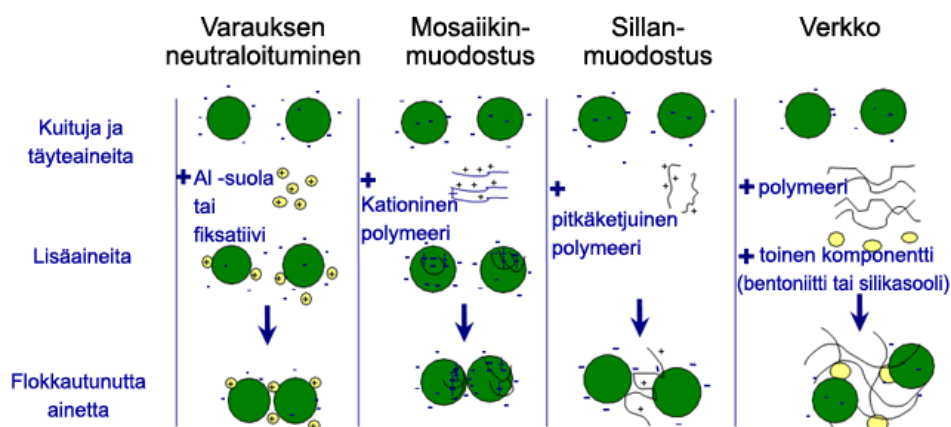
Täyteaineet lisätään paperinvalmistusprosessissa paperikoneen määräsäpäässä ennen perälaatikkoa. Täyteaineet pyritään lisäämään tasaisena virtana massan joukkoon esimerkiksi ennen perälaatikon syöttöpumppua. (Kuva 2) Osa täyteaineesta menee viiran läpi ja palaa lyhyen kierron kautta takaisin perälaatikkoon, osa poistuu lyhyen kierron puhdistuslaitteiden rejektin mukana pois prosessista. Täyteaineretentio kertoo kuinka

suuri osa täyteaineesta jää paperiin ja kuinka suuri osa poistuu lyhyeen kiertoon viiran läpi. Täyteaineretenttiota parannetaan erilaisilla retentioaineilla. Retentioaineiden tehtävä on koota täyteainepartikkeleita kasautumiksi, jotka tarttuvat helpommin kuituverkostoon. Kemiallisia flokkautumismekanismeja on erilaisia, ja ne on esitettyinä kuvassa 3. Retentioaineita ovat kationinen tärkkelys, polyakryyliamidi, polyetyleenioksidi, polyetyleenimiini, polyamiini ja polyamidoamiini sekä näiden erilaiset yhdistelmät. (Knowpap, 2013)

Retentio- ja täyteaineiden syöttökohtia



Kuva 2 Täyteaineen ja retentioaineen lisäyskohdat paperikoneella. (Knowpap, 2013)



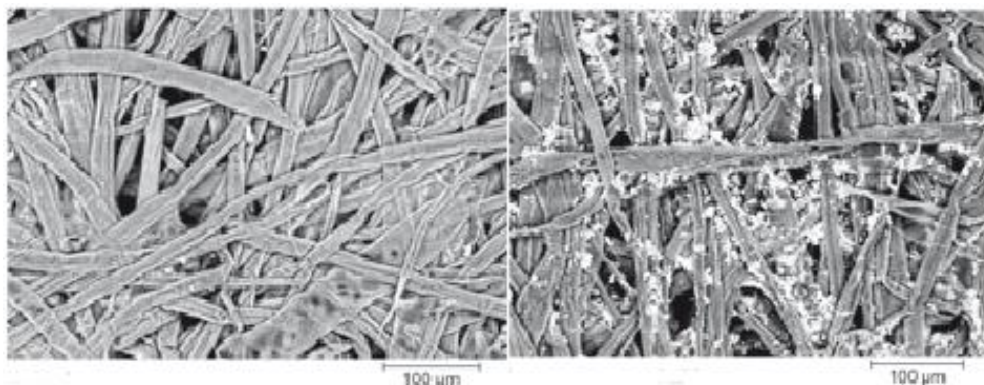
Kuva 3 Kemiallisen retention flokkautumismekanismeja. Täyteainepartikkelit pyritään kiinnittämään kuitujen pinnalle lisäaineiden avulla. (Knowpap, 2013)

2.1 Kalsiumkarbonaatti

Kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) on eniten käytetty täyteaine. Kalsiumkarbonaattia on kahta tyyppiä, jauhettua (GCC) ja saostettua (PCC). Jauhettu kalsiumkarbonaatti valmistetaan joko liidusta, marmorista tai kalkkikivestä. Liidusta valmistetulla kalsiumkarbonaatilla on alhainen vaaleus (ISO-vaaleus 80-85 %), joten se on korvattu korkeamman vaaleuden marmorilla ja kalkkikivellä. Jauhettu kalsiumkarbonaatti on särmikkään pyöreä, kun taas saostettu synteettisesti valmistettu kalsiumkarbonaatti on sauvamainen tai neulasmainen. (Kuva 5 ja 6) (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 39-40, Holik, 47-49)

Kalsiumkarbonaatti hajoaa, jos prosessin pH laskee alle 6,8 ja aiheuttaa erilaisia ongelmia johtuen kaasuuntumisesta. Prosessin pitää olla joko neutraali tai alkalinen. Neutraali tai alkalinen prosessi edistää kuitujen turpoamista ja kuidut muodostavat enemmän sidoksia. Tämä mahdollistaa korkeamman täyteainepitoisuuden lopputuotteelle. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 39-40, Knowpap)

Kalsiumkarbonaatilla saavutetaan paperin parempi kitka, joka edesauttaa esimerkiksi arkkien käsittelyä jatkojalostuksessa. Paperin pinnan mikrohuokoisuus kasvaa ja painettavuus paranee coldset-offsetissa ja mustesuihkutulostuksessa. Karbonaatilla saadaan paperin pinnasta tarvittaessa matta- tai silkipintainen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 39-40) (Kuva 4)



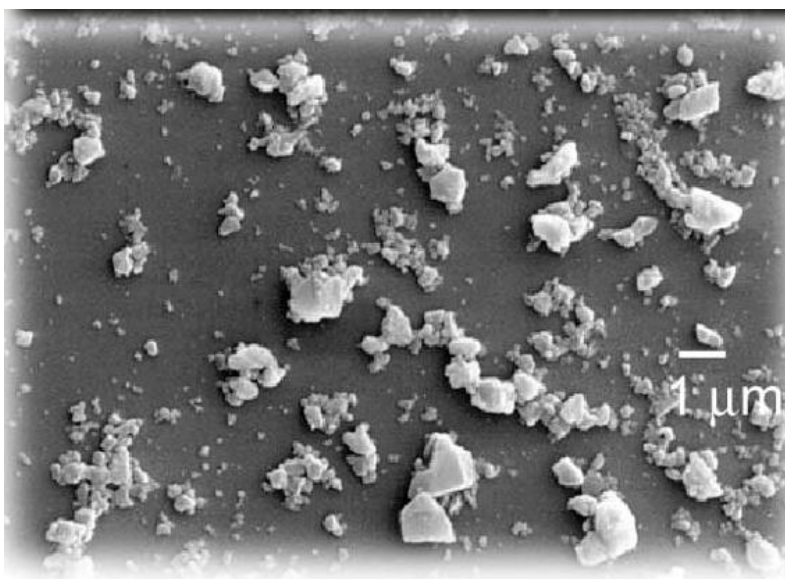
Kuva 4 Kalsiumkarbonaatti täyteaineena, täyteainepitoisuus 20 %. (Omya, muokattu 16.01.2014)

2.1.1 Jauhettu kalsiumkarbonaatti, GCC

Jauhettua kalsiumkarbonaattia (Kuva 5) käytetään päätäyteaineena puuvapaissa päällystämättömissä ja mekaanisesta massasta valmistetuissa päällystämättömissä papereissa. Lisäksi sitä käytetään sanomalehtipaperissa, päällystetyissä peruspapereissa (LWC ja MWC) ja vaaleapintaisessa lainerissa. Vuonna 2006 jauhettua kalsiumkarbonaattia käytettiin täyteaineena noin 2,1 miljoonaa tonnia. (Holik, 47-48, Thorn & Au, 118)

Jauhettua kalsiumkarbonaattia valmistetaan kalkkikivestä, liidusta ja marmorista. Liidusta valmistettu GCC on pehmeää ja huokoista ja väri vaihtelee vaaleasta harmaaseen. Sitä käytetään tuotteisiin, joissa lopputuotteen vaaleus ei ole korkea esimerkiksi sanomalehtipaperiin. Partikkelikoko on 0,5-4 μm . Kalkkikivi on kovempaa ja vähemmän huokoisempaa kuin liitu. Marmorista valmistetulla GCC:llä on korkea vaaleus ja puhtaus. (Krogerus, 58-59)

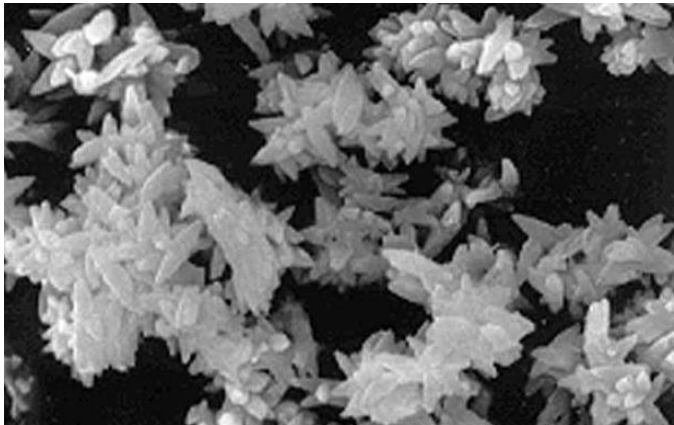
Jauhetun kalsiumkarbonaatin muoto ja ominaisuudet voidaan muunnella siten, että syntyy modifioitu GCC. Sen ominaispinta-ala on erittäin korkea. Se parantaa perinteiseen GCC:en verrattuna paperin vaaleutta, kiiltoa ja painettavuutta offset- ja syväpainossa. Sitä käytetään SC-paperissa. (Holik, 49)



Kuva 5 Jauhettu kalsiumkarbonaatti (GCC). (Knowpap, muokattu 20.01.2014)

2.1.2 Saostettu kalsiumkarbonaatti, PCC

Saostettua kalsiumkarbonaattia käytetään samoissa paperilajeissa kuin jauhettuakin. Lisäksi sitä käytetään puuvapaissa päällystetyissä papereissa, luettelopapereissa sekä savukepapereissa. PCC:tä käytetään vuosittain noin 2,4 miljoonaa tonnia (2006). (Kuva 6) (Holik, 49, Thorn & Au, 120)



Kuva 6 Saostettu kalsiumkarbonaatti (PCC). (Knowpap 2013)

PCC valmistetaan normaalisti murskatusta kalkkikivestä. Kalkkikivi poltetaan uunissa noin 1000 °C lämpötilassa. Uunissa kalkkikivestä muodostuu kalsiumoksidia. Kalsiumoksidi sammutetaan vedellä ja syntyy kalsiumhydroksidia. Kalsiumhydroksidi karbonoidaan hiilidioksidilla. Lopulta syntyy kalsiumkarbonaattia ja vettä. Kalsiumkarbonaatti jauhetaan halutuksi lopputuotteeksi. Saostettu kalsiumkarbonaatti on neulasmainen täyteaine. PCC:llä on erilaisia kidemuotoja, yleisimmät näistä ovat skalenoedraalinen kalsiitti (ruusukkeellinen), romboedrinen kalsiitti (vinoneliömäinen) ja neulasmainen aragoniitti (kuva 7). Kidemuotoon vaikuttavat valmistusprosessin lämpötila, paine, lisäaineet, kalsiumhydroksidin kuiva-aine, hiilidioksidin syöttö ja reaktioaika. Ruusukkeellinen PCC nostaa paperin paksuutta ja bulkkia, mutta heikentää paperin lujuuksia. (Krogerus, 59-60, Häggblom-Ahnger & Komulainen, 40, Holik, 50)

Saostetulla kalsiumkarbonaatilla on korkea vaaleus, hiukkaskokojakauma on kapea ja valonsirontakerroin on tarvittaessa korkea. PCC:n korkea valonsironta mahdollistaa vaaleuden noston ilman opasiteetin heikkenemistä verrattuna jauhettuun kalsiumkarbonaattiin. (Häggblom-Ahnger & Komulainen, 40)

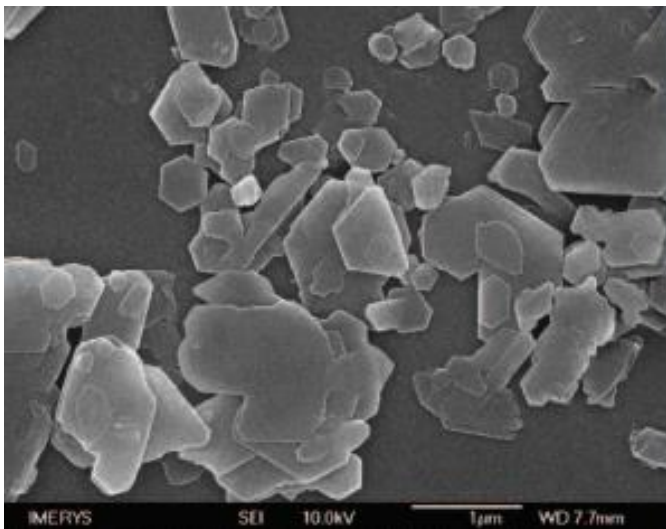


Kuva 7 Ruusukkeellinen, neulasmainen ja romboedrinen saostettu kalsiumkarbonaatti (McLain & Ingle, 119-120, muokattu 23.1.2014)

2.2 Kaoliini

Kaoliini on levymäinen luonnon mineraalista valmistettu täyteaine (kuva 8), jonka hyviä puolia ovat hyvä viiraretentio, paperin korkea kiilto, huokoisten peittäminen ja alhainen väriabsorptio. Se on helppo liettää ja käsitellä, eikä se vaahtoa. Kaoliinia käytetään eniten syväpainopapereissa, kuten SC-paperissa. Kaoliinia voidaan käyttää sekä happamassa että alkaalisessa prosessissa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 39, Holik, 45-46)

Kaoliinin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat partikkelikoko ja vaaleus. Kaoliinin ISO-vaaleus vaihtelee 78-90 % riippuen valmistusprosessista. Suurimmat kaoliini esiintymät löytyvät Englannista, Yhdysvalloista, Brasiliasta ja Keski-Euroopasta. (Krogerus, 58)

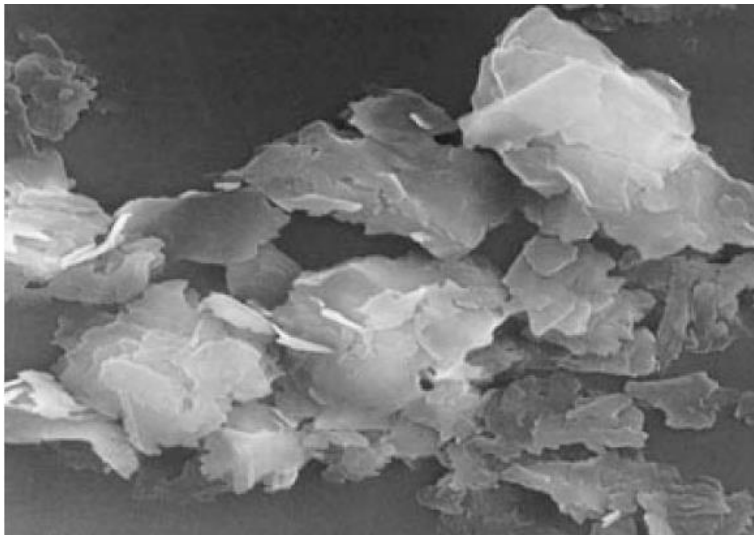


Kuva 8 Mikroskooppikuva kaoliinin levymäisestä rakenteesta. (Imerys-paper, muokattu 16.01.2014)

2.3 Talkki

Talkki on kaoliinia levymäisempi täyteaine. Sitä käytetään Aasiassa puuvapaisiin päällystämättömiin papereihin ja Euroopassa puupitoisiin päällystettyihin ja päällystämättömiin papereihin yhdessä kaoliinin kanssa. (Kuva 9) (Holik, 51, Häggblom-Ahnger & Komulainen, 39)

Talkki antaa kalanteroidulle paperille hyvän sileyden ja kiillon. Talkki on pehmein täyteaine. Talkki on hydrofobista ja sen yhtenä hyvänä puolena, se auttaa poistamaan prosessista tummaa pihkaa. Tämä vähentää reikiä ja epäpuhtauksista johtuvia katkoja paperikoneella. Offset-painatuksessa talkki aiheuttaa pölyämistä ja tämä rajoittaa sen käyttöä. Talkki vaahtoa helposti ja sen liettäminen on vaikeaa verrattuna kaoliiniin. (Häggblom-Ahnger & Komulainen, 39)



Kuva 9 Levymäinen talkki (Knowpap)

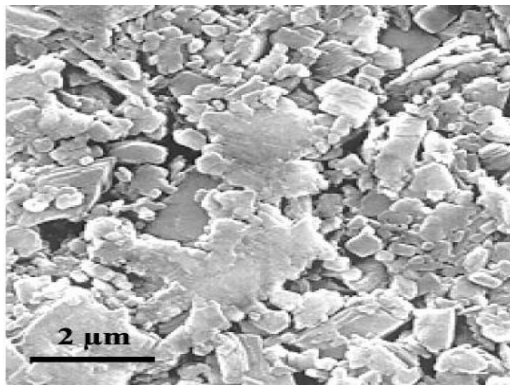
2.4 Muut täyteaineet

Edellä mainittujen täyteaineiden lisäksi voidaan käyttää kipsiä ja erikoispigmenttejä. Erikoispigmenttejä ovat kalsinoitu kaoliini, titaanidioksidi, satiinivalkoinen, alumiinihydroksidi, barium- ja sinkkisulfaatti, ureaformaldehydi ja amorfinen silikaatti. (Taulukko 2) Erikoispigmenttien käyttöä rajoittaa kalliimpi hinta. Erikoispigmenttien kulutus määrät ovat noin 5-10 %, riippuen lopputuotteesta. (Alen, 57;62-65)

Taulukko 2 Erikoistäyteaineiden vaaleus, partikkelikoko ja tiheys. (Knowpap, Alen, 62)

Erikoistäyteaine	ISO-vaaleus %	Partikkelikoko μ	Tiheys kg/m ³
Titaanidioksidi	>97	0,2-0,4	3900
Kalsinoitu kaoliini	90-93	0,4-0,7	2600
Satiinivalkoinen	94	0,1-0,3	1500
Alumiinihydroksidi	98-100	0,5-1	2400
Bariumsulfaatti	95-98	0,5-2	4400
Synteettinen silikaatti	98	0,1-0,5	2100
Urea-formaldehydi	96	0,4-0,5	1050

Kipsiä käytetään pieniä määriä täyteaineena tulostus ja kirjoituspapereissa. Kipsillä on korkea vaaleus, mutta se hajoaa jonkin verran veteen ja aiheuttaa ongelmia prosessivesissä. Sen merkittävin käyttökohte paperin valmistuksen ulkopuolelta on kipsilevy, jota käytetään rakennusmateriaalina. (Holik, 51-52, Alen, 63)

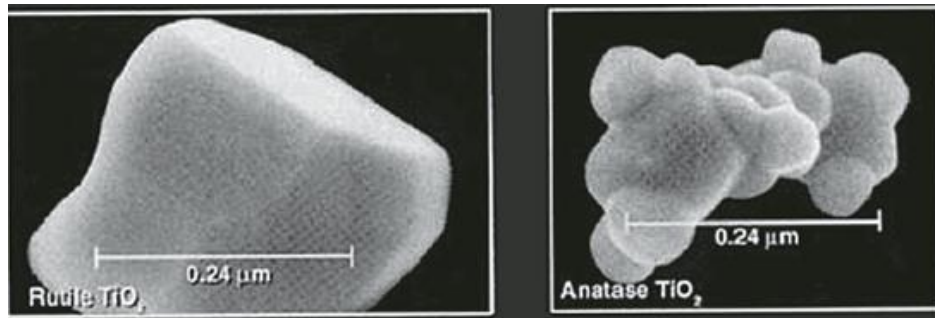


Kuva 10 Kipsi täyteaineena (Knowpap)

Kalsinoitu kaoliini parantaa paperin painettavuutta ja vähentää läpipainatusta ohuilla paperilajeilla. Kalsinoidulla kaoliinilla on pieni hiukkaskoko, ominaispinta-ala on suuri ja valonsirontakerroin tätä kautta korkea. Sitä käytetään puupitoisissa päällystämättömissä papereissa, esimerkiksi puhelinluettelopaperissa sekä alhaisen neliöpainon sanomalehti- ja SC-paperissa. (Holik, 52, Häggblom-Ahnger & Komulainen, 41)

Titaanidioksidi on synteettinen erikoispigmentti, jonka optiset ominaisuudet ovat erinomaiset. Vaaleus on 97-99 %. Huonoina puolina ovat kallis hinta, korkea tiheys ja pieni partikkelikoko, joka huonontaa viiraretentiota. Titaanidioksidia käytetään 1-2 % sanomalehtipaperissa Pohjois-Amerikassa ja jonkin verran SC-paperissa, ohuissa ns. raamattupapereissa, askartelu papereissa ja erilaisissa tarrapapereissa. Anataasi ja rutiili ovat titaanidioksidin kaksi muotoa, joita käytetään paperin valmistuksessa. (Kuva 11)

Rutiili on parempi laatuista ja kalliimpaa kuin anataasi. Titaanidioksidilla on erinomainen kyky taittaa valoa pigmentin rajapinnoista, tämä antaa paperille hyvän opasiteetin myös märkänä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 41, Krogerus, 63, Holik, 53)



Kuva 11 Titaanidioksidin kaksi eri muotoa, rutiili ja anataasi. Suurennus 250 000x. (McLain & Ingle, 121, muokattu 23.1.2014)

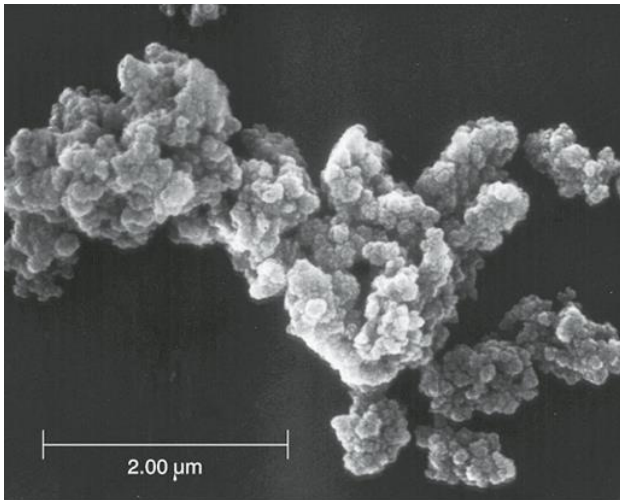
Satiinivalkoinen on synteettinen pigmentti, sen vaaleus on hyvä ja sillä on matala tiheys. Sitä käytetään pääasiassa päällystyksessä erikoispigmenttinä. Se parantaa painoväriin absorptiota ja paperin kiiltoa. (Holik, 60)

Alumiinihydroksidilla on korkea vaaleus, painoväriin absorptio paranee ja sen käyttö nostaa paperin leimahduspistettä. Alumiinihydroksidin partikkelikoko on pieni. Sitä käytetään, kun halutaan paperille korkea leimahduspiste ja lämmönkesto. (Holik, 54)

Barium- ja sinkkisulfaatilla on korkea tiheys ja melko korkea taitekerroin. Bariumsulfaattia käytetään valokuvapapereissa, koska se on kemiallisesti puhdasta ja liukenematonta. (Krogerus, 64, knowpap)

Ureaformaldehydillä (UF) on matala tiheys ja huokoinen rakenne. Sen käyttö parantaa paperin opasiteettia ja kilpailee titaanidioksidin kanssa. Täyteaineretentio viiraosalla on korkea. Sen käyttöä rajoittaa korkea hinta. (Krogerus, 64)

Amorfisia silikaatteja käytetään matalan neliöpainon sanomalehtipaperissa ja luettelopaperissa. (Kuva 12) Ne parantavat paperin vaaleutta, opasiteettia, nostavat bulkkia ja parantavat absorptio-ominaisuuksia. (Holik, 53-54)



Kuva 12 Amorfinen silikaatti (McLain & Ingle, 123)

3 TÄYTEAINEEN KÄYTTÖÖN SOVELTUVAT PAPERIT JA KARTONGIT

Täyteaineita käytetään monissa erilaisissa paperi- ja kartonkilajeissa. Täyteainepitoisuus vaihtelee aina 0-38 % riippuen lopputuotteesta ja halutuista ominaisuuksista. Kuvassa 13 on esitettyä yleisimmät täyteainepitoisuudet eri paperi- ja kartonkilajeilla.

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 13 Paperituotteiden täyteainepitoisuudet % (Knowpap).

Täyteainetta valittaessa tulee ottaa huomioon koko paperinvalmistusprosessi, täyteaineen hinta, logistiikka ja saatavuus. Lisäksi on tiedettävä kuinka eri täyteaineet reagoivat keskenään. (Holik, 35)

3.1 Sanomalehtipaperi

Sanomalehtipaperin neliöpaino on 45 tai 42,5 g/m². Sanomalehtipaperi valmistetaan nykyään suurimmaksi osaksi kiertokuidusta. Kiertokuidun mukana tulee aina myös täyteaineita. Tämän lisäksi täyteainetta voidaan lisätä 0-15 % riippuen kiertokuitumassan tuhkapitoisuudesta ja halutuista lopputuotteen ominaisuuksista. (Hägglom-Ahnger, 41-42, Knowpap)

Täyteaineena käytetään kaoliinia, PCC:tä, kalsinoitua kaoliinia ja synteettistä silikaattia. Täyteainepitoisuuden nostoa rajoittaa paperin jäykkyys ja pölyäminen painossa. PCC:tä käytetään pääasiassa Pohjois-Amerikassa ja Aasiassa. Kalsinoidulla kaoliinilla ja synteettisellä silikaatilla parannetaan ohuempien sanomalehti- ja luettelopapereiden opasiteettia ja pystytään vaikuttamaan paperin kitkaan ja läpipainatukseen. Täyteainetta

lisätään, koska paperin läpipainatus vähenee ja halutaan parantaa vaaleutta ja opasiteettia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 41-42, Imerys-paper.com)

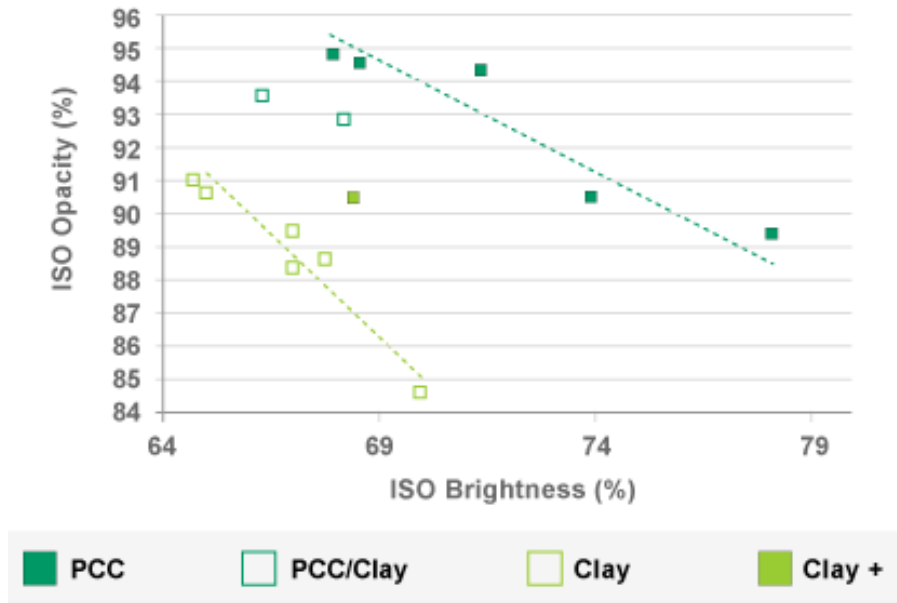
Luettelopaperi (TD=telephone directory) valmistetaan lähes samalla tavalla kuin sanomalehtipaperikin, mutta se neliömassa on luokkaa 30-42 g/m². Täyteainepitoisuus on 5-20 %. Täyteainepitoisuuden nostoa rajoittaa lujuudet ja pölyäminen. Yleisin käytettävä täyteaine on kaoliini sekä kalsinoitu kaoliini ja harvoin titaanidioksidi. Täyteaineilla pyritään parantamaan paperin opasiteettia ja rajoittamaan läpipainatusta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 41-42, Holik, 36)

3.2 Puupitoiset päällystämättömät paperit

Puupitoiset päällystämättömät paperit valmistetaan pääasiassa mekaanisesta massasta ja niihin lisätään täyteaineita, koska mekaanisen massan optiset ominaisuudet eivät ole tarpeeksi hyvät lopputuotteen kannalta.

3.2.1 SC-paperi

SC-paperin eli superkalanteroidun paperin neliömassa on 40-80 g/m². SC-paperia valmistetaan kolmeen eri käyttötarkoitukseen. Syväpainettava SC-paperi on taloudellisesti valmistettua ja sen vaaleus on 68-70 % (ISO). SC-luettelopaperilla on parempi vaaleus kuin syväpainettavalla paperilla. SC-offset paperilta vaaditaan pintalujuutta ja sen vaaleus on 75 % (ISO). SC-paperin raaka-aineena käytetään mekaanista massaa 70-85 % ja 15-30 % sellua antamaan lujuuksia. Täyteainepitoisuus on korkea eli noin 20-38 %. Yleisimmin käytetty täyteaine on kaoliini. Muita käytettyjä täyteaineita ovat talkki, PCC ja jotkin erikoispigmentit riippuen valmistusprosessista. Kaoliinin ja talkin levymäinen rakenne antavat hyvän kiillon superkalanteroinnissa. SC-paperin tärkeimmät ominaisuudet ovat sileys, painettu kiilto, vaaleus ja opasiteetti. Karbonaattien käyttöä rajoittaa huokoisuuden lisääntyminen ja huonommat painettavuusominaisuudet varsinkin syväpainetussa SC-paperissa. PCC:n käyttö on kuitenkin lisääntynyt SC-paperin valmistuksessa, korkeampien vaaleuden ja opasiteetin takia verrattuna kaoliiniin. PCC:tä käytettäessä voidaan paperin vaaleutta nostaa ilman merkittävää vaikutusta opasiteettiin. (Kuva 14) (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 41-42, Holik, 36, Paulapuro, 28-30)



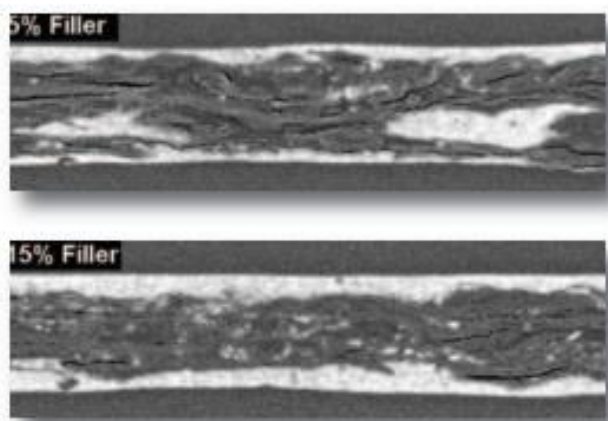
Kuva 14 PCC:n ja kaoliinin vaikutus SC-paperin vaaleuteen ja opasiteettiin. (Specialty Minerals, PCC 2012)

3.3 Puupitoiset päällystetyt paperit

Puupitoiset päällystetyt paperit ovat 1–3 kertaa päällystettyjä mekaanisesta ja kemiallisesta massasta valmistettuja painopapereita.

3.3.1 LWC

LWC (Light Weight Coated) on kevyesti päällystetty puupitoinen painopaperi. Verrattuna SC-paperiin, sillä on parempi kiilto, vaaleus ja painojälki. LWC neliöpaino on 35-70 g/m². Raaka-aineena käytetään mekaanista massaa 50-60 % ja kemiallista massaa 15-30 %. Päällystekerroksen neliöpaino molemmin puolin paperia on 7-15 g/m². Täyteainepitoisuus vaihtelee 4-10 %. Tyypillisimmät täyteainepigmentit ovat kaoliini, talkki ja neutraaleissa prosesseissa kalsiumkarbonaatti. Täyteaineilla parannetaan optisia ominaisuuksia ja parannetaan päällystekerroksen imeytymistä paperin pintarakenteeseen. (Kuva 15) Lisäksi täyteainepitoisuuden nostolla säästetään kuituraaka-aine kustannuksia. (Paulapuro, 31-33, Knowpap, Häggblom-Ahnger & Komulainen, 65 & Holik, 36)



Kuva 15 LWC-paperin täyteainepitoisuuden muutos 6 % - 15 %. Rakenne tiivistyy ja päällystekerroksesta tulee tasaisempi. (Imerys-paper, muokattu 24.1.2014)

Kaoliini täyteaineena parantaa paperin sileyttä, kiiltoa ja konesuuntainen vetolujuus on parempi kuin vastaavasti PCC:llä. PCC etuna on kuitenkin paremmat optiset ominaisuudet (vaaleus ja opasiteetti). Kaoliini alentaa painovärin absorptiota päällystetyllä LWC-paperilla verrattuna PCC:en, ja painojäljestä tulee epätasaisempi (mottling). (Imerys-paper)

3.3.2 MWC

MWC (Medium Weight Coated) on kaksoispäällystetty puupitoinen painopaperi. Se on raaka-aine koostumukseltaan lähellä LWC-paperia. Päällystemäärä on kuitenkin korkeampi 12-25 g/m² molemmin puolin paperia. MWC:n neliöpaino on 70-130 g/m². Käyttökohteina ovat korkealuokkaiset aikakauslehdet, katalogit ja mainokset. Tärkeimmät ominaisuudet ovat hyvä opasiteetti ja kiilto, korkea vaaleus, sileä pinta ja sopiva jäykkyys. Lopputuote voi olla kiiltävä tai mattapintainen. Täyteaineilla pyritään parantamaan paperin optisia ominaisuuksia sekä auttamaan päällystekerroksen imeytymistä paperin pintarakenteeseen. Käytettävät täyteaineet ovat kaoliini ja kalsiumkarbonaatti (PCC ja GCC). (Paulapuro, 34, Knowpap)

3.3.3 HWC

HWC (High Weight Coated) on raskaasti päällystetty puupitoinen painopaperi. HWC neliöpaino on 100-135 g/m² ja se on joko kaksi tai kolme kertaa päällystetty molemmin puolin. Sitä käytetään korkealuokkaisissa aikakauslehdissä ja lehtien kansina sekä erilaisissa mainoksissa. (Paulapuro, 34, Holik, 34)

3.3.4 MFC

MFC (Machine Finished Coated) on päällystetty molemmin puolin. Päällysteen määrä on 2-10 g/m² ja paperin neliöpaino on 48-80 g/m². MFC on korkeabulkkinen ja jäykkä painopaperi, joka on usein himmeäpintainen. Sen käyttökohteita ovat kirjat, aikakauslehdet ja mainokset. (Paulapuro, 34-35, Knowpap)

3.3.5 FCO

FCO (Film Coated Offset) on filmipäällystetty offsetpaperi, jolla on korkea bulkki ja hyvä pintalujuus. Vaaleus on parempi kuin LWC:llä. Neliöpaino on 45-65 g/m² ja se on päällystetty 1-2 kertaa filmi-päällystyksellä. Käyttökohteena on aikakauslehdet. Pohjapaperin tuhkapitoisuuden nostaminen parantaa paperin pintaominaisuuksia. (Paulapuro, 35, Knowpap)

3.4 Puuvapaat päällystämättömät paperit

Puuvapaat päällystämättömät paperit valmistetaan täysin kemiallisesta massasta. Niiden raaka-aineena käytetään havu- ja lehtipuusellua.

3.4.1 Offsetpaperit

Offsetpaperi on sellupohjainen päällystämätön painopaperi. Lehtipuusellun osuus on 20-80 % ja havupuusellun osuus on 20-80 %. Täyteainepitoisuus on 5-25 %. Neliöpainot vaihtelevat 40-300 g/m² ja vaaleus on >80 % (ISO). Käyttökohteena ovat lehdet, kirjat, esitteet, luettelot ja kirjekuoret. Täyteaineena käytetään PCC, GCC, amorfista silikaattia ja kalsinoitua kaoliinia. Aasiassa käytetään talkkia. Täyteaineilla pyritään parantamaan optisia ominaisuuksia ja painettavuutta. (Paulapuro, 37, Holik, 36, Knowpap)

3.5 Puuvapaat päällystetyt paperit

Puuvapaat päällystetyt paperit on valmistettu kemiallisesta massasta ja päällystetty 1–3 kertaa. Neliöpaino on 90-170 g/m². Päällystemäärä voi nousta jopa 40 g/m² asti. Käyttökohteina ovat aikakauslehdet, esitteet, kirjat, luettelot, mainosjulisteet ja kartat. Raaka-aineena käytetään lehti- ja havupuusellua. Täyteaineena käytetään kaoliinia, GCC ja PCC. (Paulapuro, 38, Knowpap)

3.6 Erikoispaperit ja kartongit

3.6.1 Tapetti

Tapettipaperi- ja kartonki valmistetaan mekaanisesta ja kemiallisesta massasta. Siinä voi olla 1–3 kerrosta. Runkokerros on usein mekaanista massaa, tavoitteena hyvä bulkki lopputuotteelle. Pintakerrokseen laitetaan kemiallista massaa, koska sen vaaleus on parempi ja lopputuotteen lujuudet paranevat. Parempien painettavuusominaisuuksien vuoksi, pintakerrokseen lisätään täyteainetta. Pintakerros voidaan myös päällystää. Neliöpaino voi olla 90-200 g/m². (Paulapuro, 70, Knowpap)

3.6.2 Valkopintainen laineri

Valkopintaisen lainerin pintakerros on valkaistua havu- ja lehtipuusellua ja taustakerros valkaiseamatonta havupuusellua. Lainerien neliöpainot vaihtelevat 125-300 g/m². Laineri voidaan myös päällystää parempien painatusominaisuuksien takia. Lainerin pintakerrokseen lisätään myös täyteaineita (2-10 %) parantamaan opasiteettia, pinnan sileyttä ja huokoisuutta. Tyypillisiä täyteaineita lainerin pintakerroksessa ovat kaoliini, GCC, PCC titaanidioksidi ja silikaatti. PCC:n käyttö lisää lainerin huokoisuutta ja painoväri imeytyy paremmin lainerin pintakerrokseen. Lisäksi lainerin vaaleus paranee. (Knowpap 2013, Specialty-minerals)

3.6.3 Tarra- ja irrokepaperi

Tarrapaperi on kemiallisesta massasta valmistettu päällystetty tai päällystämätön tarralaminaatin raaka-aine. Siihen painetaan tarraan tuleva kuva tai teksti. Täyteaineena käytetään usein titaanidioksidia, koska sillä saadaan hyvä vaaleus ja opasiteetti myös märkänä. (Holik, 53, Knowpap, 2013)

Irrokepaperi valmistetaan kemiallisesta massasta ja sen pintaan laitetaan ohut silikonipinnoite. Paperissa pitää olla sopiva huokoisuus ja sileys, jotta silikonin ei imeydy liikaa paperin rakenteeseen. (Paulapuro, 117-118)

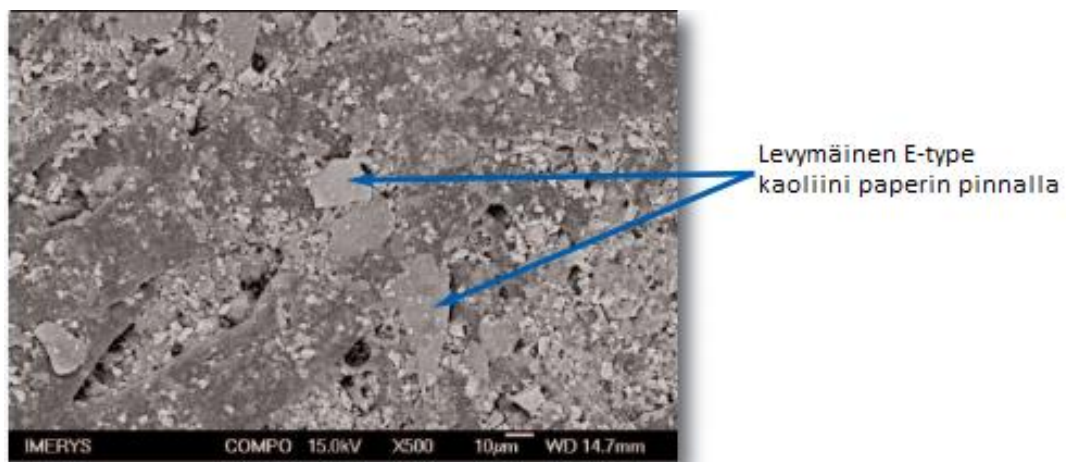
3.6.4 Pakkauspaperi

Pakkauspapereita ovat säkki-, pussi-, kääre- ja joustopakkauspaperit. Pakkauspapereissa käytetään täyteainetta 5-20 %. (Kuva 13). Säkkipaperi valmistetaan kemiallisesta massasta. Neliöpaino on 40-120 g/m². Pussi- ja käärepapereiden neliöpainot ovat 25-150 g/m². Joustopakkauspapereina käytetään päällystettyä tai päällystämätöntä voimapaperia, joka on valmistettu kemiallisesta massasta. (Knowpap 2013)

4 UUSIMMAT INNOVAATIOT

Täyteaineita pyritään kehittämään korkeampien laatutavoitteiden saavuttamiseksi ja täyteaineilla yritetään korvata kalliimpaa kuitua, ilman paperin lujuuksien merkittävää heikkenemistä.

Imerys-paper on kehittänyt uuden E-type kaoliinin, joka perustuu isompiin levymäisiin partikkeleihin. (Kuva 16) Levymäisempi rakenne nostaa paperin bulkkia, parantaa päällysteen imeytymistä ja huokosjakauma on tasaisempi. LWC-paperissa E-type kaoliinin käyttö vähentää päällysteen määrää ja parantaa opasiteettia, sileyttä ja kiiltoa. (Imerys-paper, 2010)



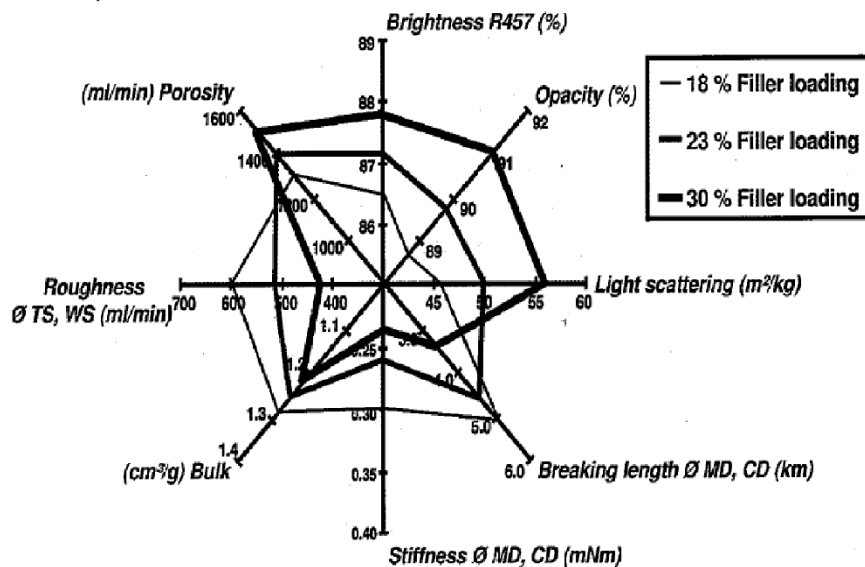
Kuva 16 Levymäinen E-type kaoliini paperin pinnalla. (Imerys-paper, 2010, muokattu 28.1.2014)

Specialty minerals on kehittänyt saostetusta kalsiumkarbonaatista nanotekniikalla erittäin pienistä partikkeleista koostuvan nano PCC:n. Partikkelikoko on 0,06-0,15 µm. Täyteaineena kyseistä tuotetta ei vielä ole käytetty huonon täyteaineretention takia, mutta sitä käytetään esimerkiksi offset-värien joukossa. (Specialty Minerals, 2012)

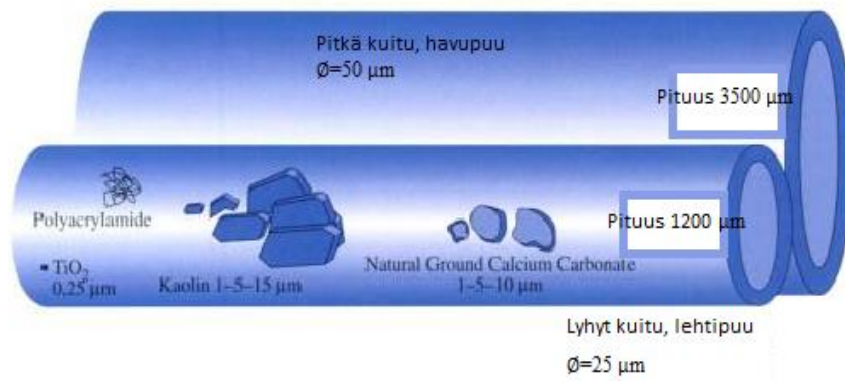
Kaoliinin tai PCC:n pintaan voidaan keittämällä lisätä tärkkelyspinnoite, joka parantaa paperikoneen ajettavuutta ja kuivatuskustannukset laskevat. Tärkkelyspinnoite auttaa partikkeleita kiinnittymään helpommin toisiinsa ja kuituverkoston. Paperin lujuudet paranevat verrattuna perinteiseen menetelmään, jossa täyteaine ja tärkkelys lisätään erikseen prosessiin. Tuotetta käytetään esimerkiksi lainerin täyteaineena, ilman lujuuksien huononemista. (Delong & Chunxu 2009, Imerys-paper 2010)

5 TÄYTEAINEEN VAIKUTUS PAPERIN LUJUUTEEN JA OPTISIIN OMINAISUUKSIIN

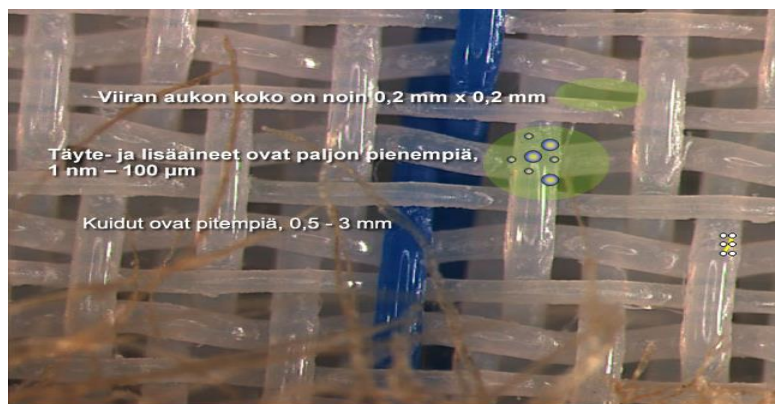
Täyteaineilla pyritään parantamaan paperin painettavuusominaisuuksia ja puukuiduilla saadaan paperille lujuus ja jäykkyys, jotka vaikuttavat oleellisesti paperin ajettavuuteen sekä paperikoneella että painokoneella. Kuvasta 17 nähdään täyteaineen vaikutus paperin eri ominaisuuksiin täyteainepitoisuuden noustessa. Optiset ominaisuudet paranevat, kun taas jäykkyys ja paperin katkeamispituus heikkenevät täyteainepitoisuuden noustessa. Paperin pinnan karheus paranee ja paperin rakenteen huokoisuus kasvaa. Paperin bulkki laskee, koska täyteaine nostaa paperin tiheyttä. Täyteainepartikkelit ovat huomattavasti kuituja pienempiä. (Kuva 18) Täyteaineet asettuvat kuitujen välisiin rakoihin ja tasoittavat paperin rakennetta. Täyteaineiden pysyminen kuituverkostossa on haasteena paperikoneen viiraosalla märässäpäässä, koska täyteainepartikkelit menevät helposti läpi viirasta. Kuitujen viirarentio on lähellä 90 %, kun taas täyteaineilla se on noin 20-30 %. (Kuva 19) (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 37, Knowpap, 2013)



Kuva 17 Täyteaineen vaikutus paperin vaaleuteen, huokoisuuteen, karheuteen, opasiteettiin, valonsirontaan, katkeamispiteuteen, jäykkyyteen ja bulkkiin. Täyteaineena on GCC ja paperina puuvapaa 80 g/m². (Holik, 34)

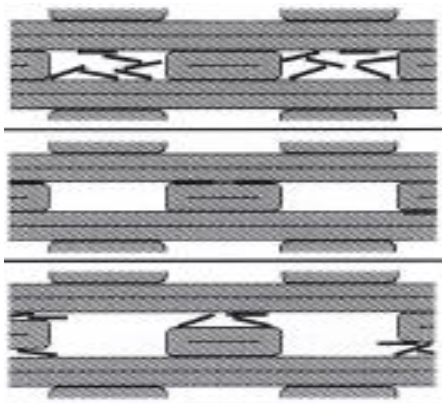


Kuva 18 Paperin valmistuksessa käytettävien kuitujen ja täyteaineiden mittasuhteet toisiinsa nähden. (Geysant, 202, muokattu 28.1.2014)



Kuva 19 Kuitujen ja täyteaineiden mittasuhteet viiralla. (Knowpap, 2013)

Täyteainepartikkelit sijoittuvat paperin rakenteessa kuitujen välisiin koloihin ja kuitujen pinnoille. (Kuva 20) Täyteaineen koko ja muoto vaikuttavat täyteaineen sijoittumiseen paperin rakenteessa. Täyteainepartikkeleiden flokkaaminen parantaa rakenteen lujuutta ja kuitujen välisten sidoksien määrä kasvaa, koska hienojakoinen täyteaine kasautuu flokeiksi. (Krogerus, 65)

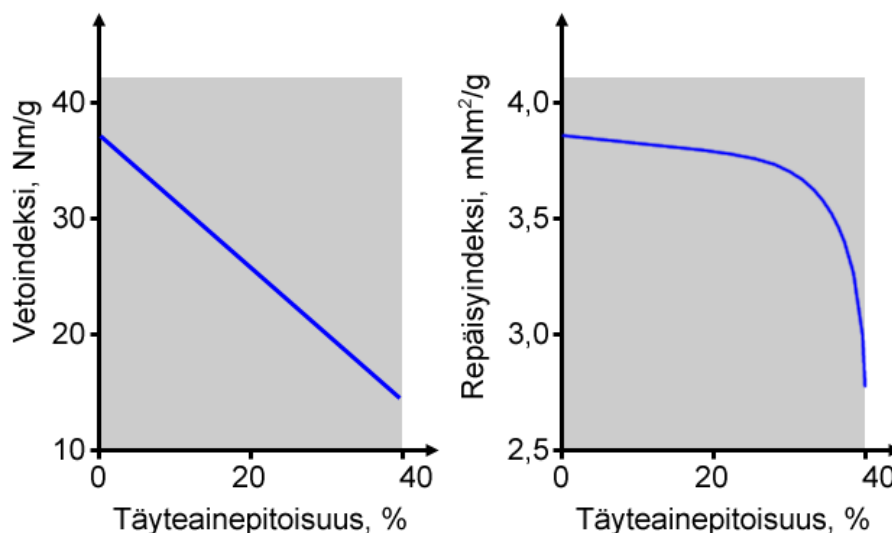


Kuva 20 Täyteainepartikkeleiden sijoittuminen paperin rakenteeseen. (Krogerus, 65)

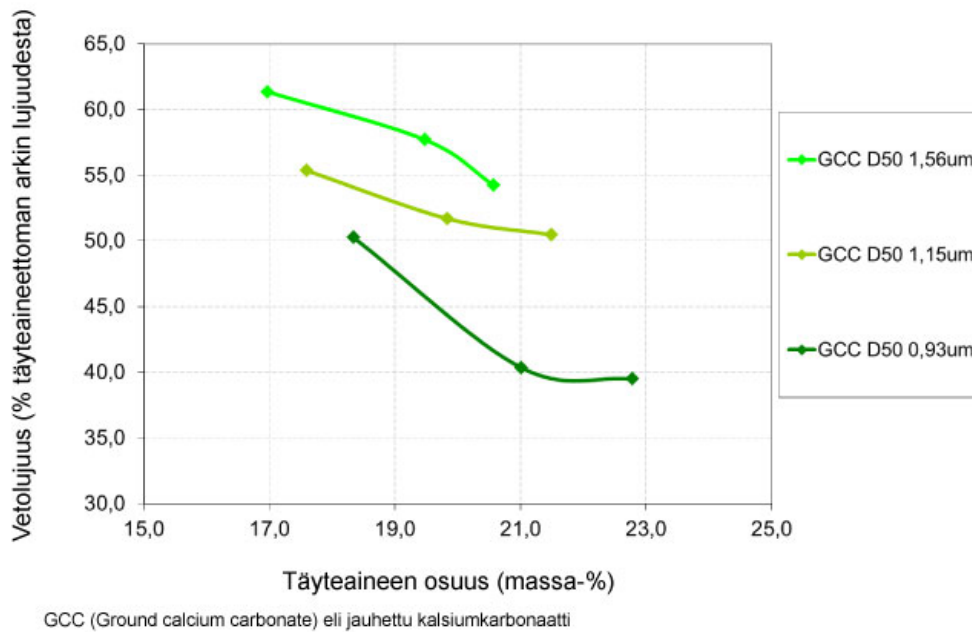
5.1 Täyteaineen vaikutus paperin lujuuksiin

Vetolujuus kertoo paperin tai kartongin suurimman kuormituksen, jonka se kestää vedettäessä kapeaa koeliuskaa pinnan suuntaisesti. Hyvä vetolujuus vähentää katkoja paperikoneella tai painokoneilla. Repäisyjujuus kertoo paperin repeämiseen tarvittavan työn. Poikkisuuntainen repäisyjujuus auttaa selvittämään paperin viansietokykyä. Ratakatkot tapahtuvat usein reunarisan aiheuttamasta viasta tai reiästä, josta paperirata repeää poikkisuunnassa ja katkeaa. Paperin ja kartongin pintalujuus on tärkeä tekijä, joka vaikuttaa painettavuuteen painokoneella. Huonosti sitoutunut täyteaine irtoutuu paperin pinnasta ja aiheuttaa ongelmia offsetpainamisessa. (Knowpap, 2013)

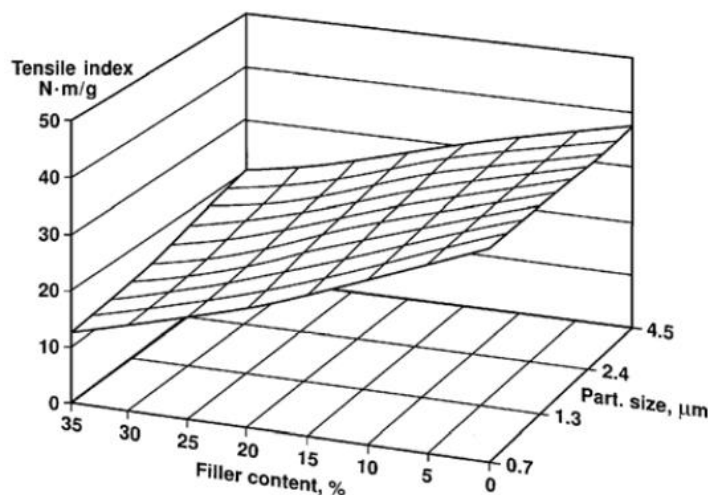
Täyteainepitoisuuden nostaminen huonontaa paperin lujuuksia, koska täyteaineet eivät muodosta sidoksia kuten kuidut. (Kuva 21) Täyteaineet eivät tunkeudu pelkästään kuitujen väliin koloihin vaan myös kuitujen pinnoille estäen kuitujen välisten sidoksen syntymisen. Täyteaine kiinnittyy rainaan heikolla van der Waalsin voimalla. Pieni täyteainemäärä ei vaikuta oleellisesti kuituverkoston lujuuteen. Hienojakoinen täyteaine huonontaa paperin vetolujuutta enemmän kuin karkeajakoinen (kuva 22 ja 23), koska hienojakoiset partikkelit tunkeutuvat kuitujen pinnoille estäen kuitusidosten syntymisen. (Knowpap, 2013, Häggblom-Ahnger & Komulainen, 38)



Kuva 21 Täyteainepitoisuuden vaikutus paperin veto- ja repäisyjujuuteen. (Knowpap, 2013)



Kuva 22 Jauhetun kalsiumkarbonaatin (GCC) partikkelikoon vaikutus paperin vetolujuuteen eri täyteainepitoisuuksilla. (Knowpap, 2013)



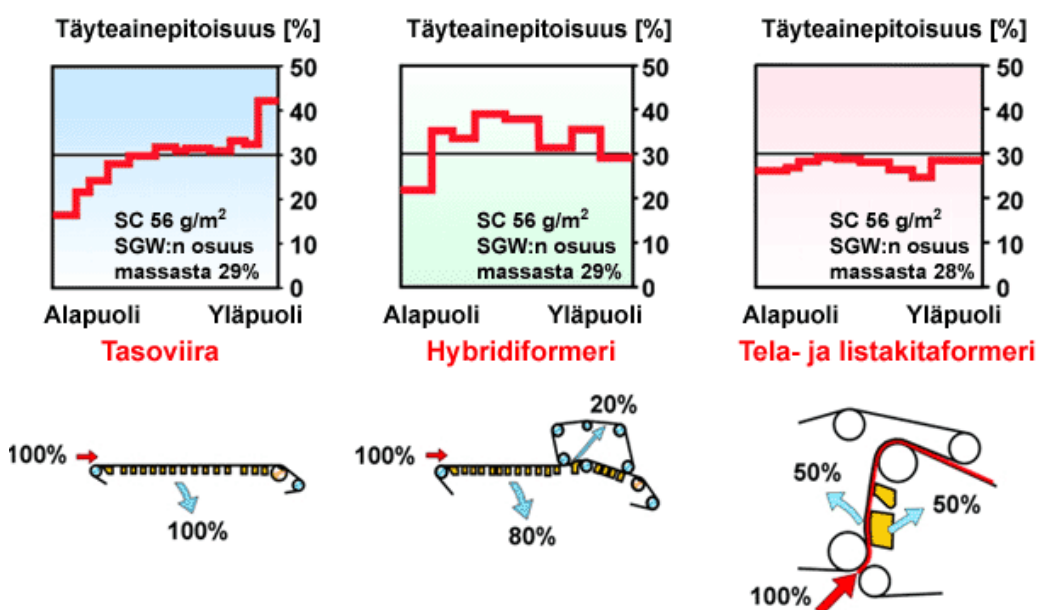
Kuva 23 Kalsiumkarbonaatin partikkelikoon ja täyteainepitoisuuden vaikutus hienopaperin vetolujuusindeksiin. (Krogerus, 66)

Repäisylujuuteen täyteaine ei vaikuta merkittävästi pienillä pitoisuuksilla, mutta suurilla pitoisuuksilla (n. 30 %) repäisylujuus heikkenee nopeasti. (Kuva 21) Pitkiä hyvin sitoutuvia kuituja käytettäessä, täyteainepitoisuuden nostaminen ei vaikuta merkittävästi repäisylujuuteen. Kuitujen väliset sidokset ovat niin voimakkaita, että niiden ulos vetäminen ehjänä kuituverkostosta vaatii enemmän voimaa kuin lyhyillä kuiduilla valmistetussa paperissa. Osa kuiduista katkeaa. Tähän ei pienet täyteainepitoisuudet vaikuta, suurempi merkitys on siis käytettävällä massalla ja sen jauhatuksella. Puhkaisulujuus on tärkeä ominaisuus pakkauspaperille, mutta paino- ja

kirjoituspapereista se mitataan harvoin. Puhkaisulujuus huononee täyteainepitoisuuden noustessa samasta syystä kuin vetolujuuskin. (Krogerus, 66, knowpap 2013)

Paperin jäykkyys alenee hienoja täyteaineita käytettäessä enemmän kuin karkeilla täyteaineilla ja levymäisellä täyteaineella jäykkyys laskee enemmän kuin pyöreällä, koska niillä on erilainen vaikutus paperin paksuuteen ja bulkkiin. Pyöreä täyteaine nostaa paperin paksuutta enemmän kuin levymäinen. Täyteainepitoisuuden nostaminen laskee paperin paksuutta, joka huonontaa paperin jäykkyyttä. Paperin pintaosien sidokset vähenevät ja jäykkyys huononee. (Krogerus, 66)

Paperin rakenteen toispuoleisuuteen vaikuttaa täyte- ja hienoaineen sijoittuminen kuituverkostossa. Tähän vaikuttaa paperikoneen viiraosa ja sen vedenpoistoelimet. Täyte- ja hienoaines poistuvat siihen suuntaan mihin vesikin, joten tasoviirakoneella paperin alapinnalla on vähemmän täyte- ja hienoainesta kuin yläpinnalla. (Kuva 24) Huonosti sitoutunut karkea täyteaine jää paperin pinnalle ja aiheuttaa pölyämistä. Tahmea painoväri irrottaa paperin pinnasta huonosti sitoutuneita kuituja ja täyteaineita. Irtautunut materiaali tarttuu painosylintereihin ja aiheuttaa ongelmia. Levymäinen talkki sitoutuu huonosti paperin rakenteeseen ja aiheuttaa pölyämistä. Pintalujuutta pystytään parantamaan pintaliimauksella. Paperin toispuoleisuus vaikuttaa ylä- ja alapinnan eroavaisuuksiin esimerkiksi vaaleudessa, värissä, sileydessä ja kiillossa. (Knowpap, 2013)



Kuva 24 Viiraosan vaikutus täyteainejakaumaan SC-paperin pinta- ja taustapuolella. (Knowpap, 2013)

5.2 Täyteaineen vaikutus paperin optisiin ominaisuuksiin

Paperin opasiteetilla tarkoitetaan paperin läpinäkymättömyyttä, eli mitä korkeampi opasiteetti sitä vähemmän siitä näkee läpi. Vaaleus on tärkeää lopputuotteen ulkonäön ja painatustuloksen kannalta. Mitä vaaleampaa paperi on, sitä parempi painoväriin densiteetti saavutetaan. Paperin korkea kiilto parantaa painettujen kuvien ulkonäköä, mutta vaikeuttaa usein tekstin luettavuutta. (Knowpap, 2013)

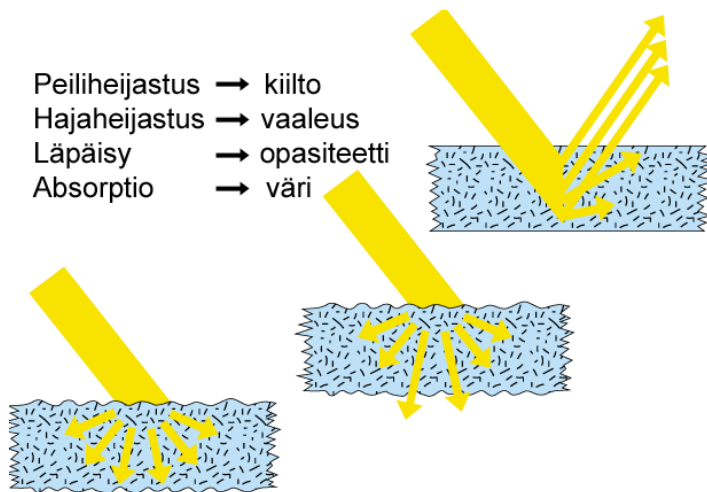
Optisiin ominaisuuksiin vaikuttaa täyteaineen valontaitekerroin, hiukkaskokojakauma, valonsironta- ja absorptiokerroin sekä vaaleus. Täyteaineilla on kuituihin verrattuna korkea valonsirontakyky (Taulukko 3) ja alhainen absorptiokerroin. Täyteaineen sijoittuminen paperin rakenteen paksuussuuntaan vaikuttaa paperin valonsirontakertoimeen. (Knowpap, 2013)

Taulukko 3 Eri täyteaineiden valonsirontakertoimet. (Holik, 42. Muokattu 6.2.2014)

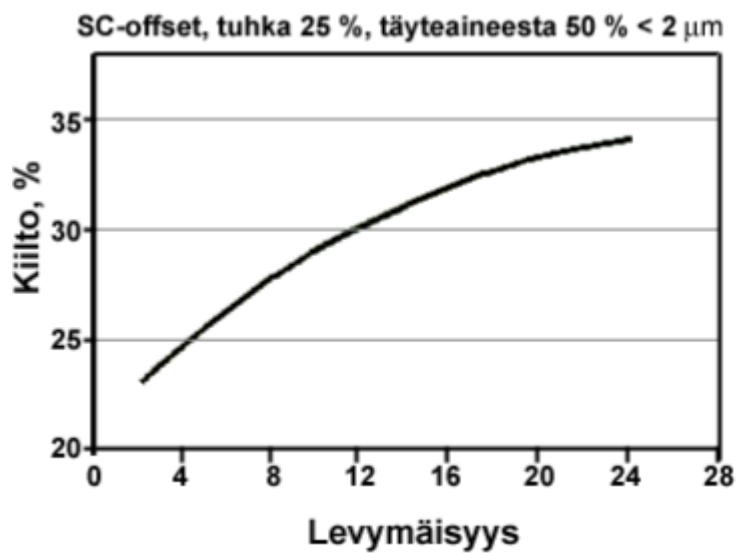
Täyteaine	Valonsironta (m ² kg)
Kaoliini	70-120
GCC	140-190
PCC	210-270
Kalsinoitu kaoliini	200-300
Titaanidioksidi	450-650
Silikaatti	280-340
Kemiallinen massa	20-45
Mekaaninen massa	50-70

Täyteaineilla pyritään parantamaan paperin optisia ominaisuuksia. (Kuva 25) Opasiteetti paranee, koska täyteaineilla on kuitua suurempi hajaheijastusteho ja vähäinen sitoutumiskyky. Levymäinen ja pieni täyteaine parantaa opasiteettia. Vaaleus nousee, koska valonsironta kasvaa ja absorptiokerroin pienenee. Vaaleuteen vaikuttaa käytettävän massan ja täyteaineen vaaleuksien suhde. (Knowpap, 2013)

Kiilto paranee täyteainepitoisuuden noustessa. Levymäinen ja partikkelikooltaan pienempi täyteaine parantaa paperin kiiltoa, koska paperin rakenteen kolot täyttyvät ja valo heijastuu takaisin tehokkaammin. (Kuva 26) (McLain & Ingle, 133)



Kuva 25 Valon käyttäytyminen paperin rakenteessa, osa heijastuu takaisin, osa menee läpi ja osa absorboituu. (Knowpap, 2013)



Kuva 26 Levymäisen täyteaineen vaikutus SC-paperin kiiltoon. (Knowpap, 2013)

6 KALANTEROINNIN VAIKUTUS

Kalanteroinnissa paperi tai kartonkirata menee kahden tai useamman telanipin läpi ja paperin rakenne muuttuu muotoaan etenkin paksuussuunnassa, mutta myös tasonsuunnassa. Kalanteroinnin tehtäviä ovat paperin kiillon ja sileyden parantaminen ja paperin paksuuden säätäminen sekä paksuusprofilointi. Kalanteroinnilla voidaan lisäksi tehdä jokin kuvio paperin pintaan. (Knowpap, 2013)

Kalanteroinnin vaikutus paperin kiillon ja sileyden parantumiseen perustuu neljään eri mekanismiin. (Kuva 27) Kalanterointimekanismeja ovat paperin rakenteen puristuminen paksuussuunnassa, materiaalin siirtyminen paperin huokosiin ja koloihin, levymäisten partikkeleiden suuntautuminen pinnan mukaiseksi ja telan pintakuvion jäljentyminen paperin pintaan.

Puristuminen

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

Siirtyminen ja hioutuminen

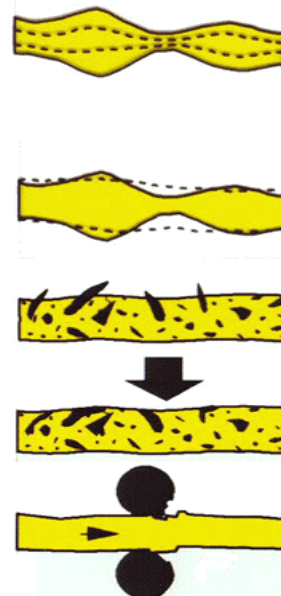
Ainetta siirtyy "kukkuloilta" "laaksoihin" (pinnan suuntaiset voimat ja pinnan plastisuus vaikuttavat). "Kukkulat" voivat myös hioutua.

Suuntautuminen

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

Jäljentyminen

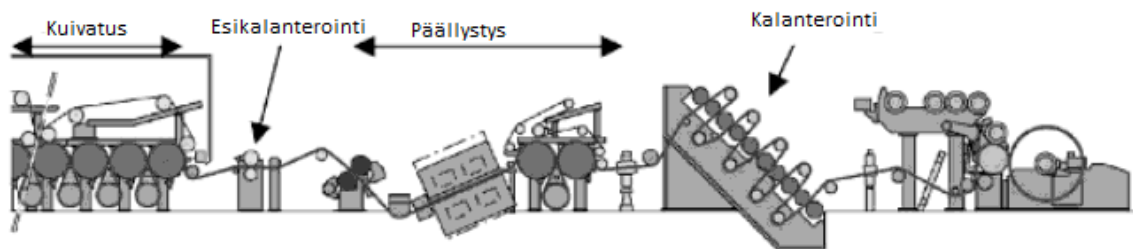
Paperi toistaa pintakuvion (kohtisuorat voimat ja pinnan plastisuus)



Kuva 27 Kalanterointimekanismit, jotka vaikuttavat paperin sileyteen ja kiiltoon. (Knowpap, 2013)

6.1 Kalanterointimenetelmät

Paperin kalanterointiin on tarjolla erilaisia menetelmiä. Kuvassa 28 on esiteltyä LWC-paperin kalanterointiin suunniteltu konelinja. Usein paperi tai kartonki välikalanteroidaan kovanippikalanterilla ennen päällystystä, jossa käytettävät telat ovat metallisia. Nippejä on yleensä yksi. Joillakin lajeilla kovanippikalanteria käytetään loppukalanterina. Kovanippikalanterilla parannetaan paperin paksuusprofiilia ja pyritään sopivaan karheustasoon. (Knowpap, 2013)



Kuva 28 Esimerkki LWC-paperin kalanteroinnista paperikonelinjassa. Ennen päällystystä on esikalanterointi ja päällystysten jälkeen moninippinen soft-kalanterointi. (Wikström, 320. Muokattu 4.2.2014)

Uusin kalanterityyppi on metallihihnakalanterointi, joka on ns. pitkänippikalanterointi. Siinä on noin metrin mittainen lämmitettävä metallihihna ja termotela. Rainaan saadaan tasainen lämpötila, joka edesauttaa kalanterointitulosta. Metallihihnakalanteroinnilla voidaan korvata kartonkikoneen jenkkisyylinteri ja saadaan nostettua tuotantonopeutta. Paperin tai kartongin painettavuusominaisuudet ja jäykkyys paranevat. (Knowpap, 2013)

Softkalanteroinnissa ainakin toinen tela on pehmeäpintainen. Konekalanterointiin verrattuna softkalanteroinnilla saadaan sileämpi ja tasaisempi painopinta ja pystytään hallitsemaan toispuoleisuutta. Paperin lujuudet ovat myös paremmat kuin kovanippikalanteroinnissa, eikä paperi pölyä niin paljoa. (Knowpap, 2013)

Kenkäkalanteroinnissa eli ns. pitkänippikalanteroinnissa toinen tela on kenkätela, jolloin nipistä tulee pitempi ja paperin bulkki säilyy parempana. Korkeampi bulkki antaa paperille paremman jäykkyyden. (Knowpap, 2013)

Superkalanteroinnissa paperi kalanteroidaan usean nipin läpi. Superkalanteroinnissa on 9-17 telaa. Superkalanterointi suoritetaan paperikoneen jälkeen erillisenä käsittelynä. Superkalanterin ylin ja alin tela ovat taipumakompensoituja teloja ja viivapaine kasvaa

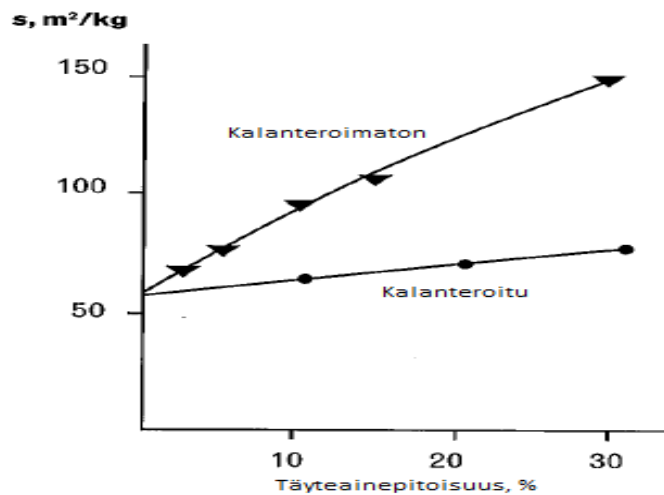
ylänpistä alanippiin. Superkalanterin telat ovat metalli- ja kuituteloja. Paperin pinnasta tulee kiiltävä, tasainen ja tiivis, joka on eduksi ainakin irrokepaperissa. Kuitutelat ovat korvattu nykyään polymeeriteloilla, koska ne kestävät pidempään, ja lämpötilaa ja ajonopeutta voidaan nostaa. (Knowpap, 2013)

6.2 Kalanteroinnin vaikutus paperin ominaisuuksiin

Kalanterointi vaikuttaa positiivisesti paperin painettavuusominaisuuksiin, mutta samalla menetetään ajettavuus ja käytettävyys ominaisuuksia. (Taulukko 4) Sopivissa olosuhteissa kuitujen välille syntyy lisää sidoksia, mutta yleensä lujuudet huononevat kalanteroinnissa. Täyteainevalinnoilla voidaan vaikuttaa paperin kiiltoon ja sileyteen kalanteroinnissa. Kaoliini ja talkki ovat levymäisiä täyteaineita ja niillä saavutetaan korkea kiilto, koska ne tasoittuvat paperin pintaan paremmin kuin karkea kalsiumkarbonaatti, joka soveltuu paremmin mattapintaisiin tuotteisiin. Paperin valonsironta laskee kalanteroinnissa, koska paperin tiheys kasvaa ja huokoisuus pienenee. (Kuva 29) Valo heijastuu eri tavalla tiheästä ja sileästä paperista. Täyteainepitoisuuden nostaminen kasvattaa valonsirontaa, koska joidenkin täyteaineiden taitekerroin on korkeampi kuin kuitujen ja täyteaine on hienojakoisempaa. (Taulukko 1 ja 3) Valonsirontaan vaikuttaa myös täyteaineen sijoittuminen paperin rakenteessa. Pienillä täyteainepitoisuuksilla kalanterointi ei vaikuta merkittävästi valonsirontaan. (Kuva 29) (Knowpap 2013, Pauler, 81)

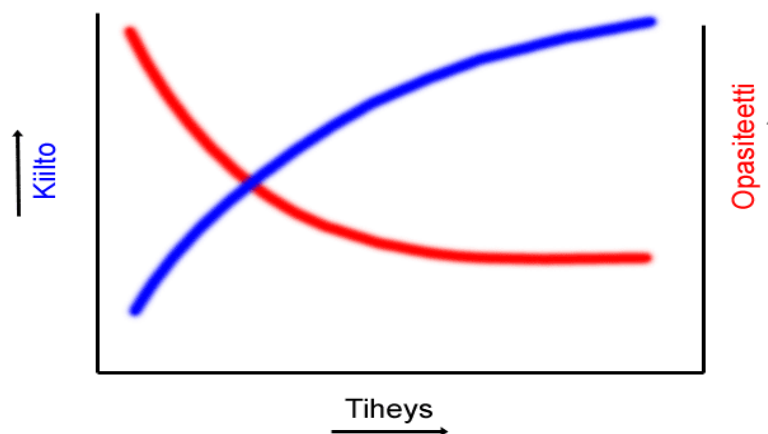
Taulukko 4 Kalanteroinnin vaikutukset paperin ominaisuuksiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 204, muokattu 30.1.2014)

Suotuisat muutokset	Epäsuotuisat muutokset
Sileys +++	Tiheys +++
Kiilto +++	Paksuus ---
Ilmanläpäisevyys ---	Jäykkyys ---
Öljynabsorptio ---	Kokoonpuristuvuus ---
Toispuolisuus -	Opasiteetti --
	Vaaleus -
	Repäisylujuus --
	Vetoluujus -



Kuva 29 Kalanteroinnin vaikutus paperin valonsirontaan eri täyteainepitoisuuksilla. (Pauler, 81, muokattu 6.2.2014)

Kalanteroinnin vaikutusta opasiteettiin ja kiiltoon voidaan optimoida tiheyden funktiolla. Tiheyden noustessa opasiteetti laskee ja kiilto kasvaa. Täyteaine on kuitua tiheämpää, joten täyteainepitoisuuden noustessa paperin tiheys kasvaa ja rakenteesta tulee tiiviimpi kalanteroinnissa. (Kuva 30) Liian raju kalanterointi aiheuttaa kalanterointimustumaa. Kuidut kiillottuvat liikaa paperin paksuimmissa kohdissa ja näyttävät tummemmilta paperinrakenteessa. Täyteainepitoisuuden noustessa paperin kuidut joutuvat rajumpaan käsittelyyn, koska täyteainepigmenttiin nipin puristusvoima ei juurikaan vaikuta. (Knowpap 2013)



Kuva 30 Kalanteroinnin vaikutus paperin kiiltoon ja opasiteettiin tiheyden noustessa. (Knowpap 2013)

LÄHTEET

Alen, R., Krogerus, B. 2007 Papermaking science and technology, papermaking chemistry (totally updated). Papermaking additives. Gummerus Oy, Jyväskylä.

Delong, S., Chunxu, D. Filler engineering for energy savings and improved paper properties. 2009. Tappi. Luettu 4.2.2014.
http://www.ipst.gatech.edu/faculty/ragauskas_art/technical_reviews/Filler%20Engineering.pdf

Geysant, J. 2001. Calcium carbonate, from the cretaceous period into the 21st century, geology of calcium carbonate. Luettu 28.1.2014.
http://books.google.fi/books?id=pbkKGa19k5QC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Gill, L., Haskins, W. Paperboard filling experience with precipitated calcium carbonate for the new millennium. Specialty Minerals. Luettu 24.1.2014.
http://www.specialtyminerals.com/fileadmin/user_upload/smi/Publications/S-PA-AT-PB-58.pdf

Haarla, A-M. 2000. Printing and writing papers. Teoksessa Paulapuro, H. (toim.) Papermaking science and technology, Paper and board grades. Gummerus printing, Jyväskylä, 14-52.

Holik, H. 2006. Handbook of paper and board. Saksa: Druckhaus Diesbach GmbH, Weinheim.

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

Imerys-paper. Capim kaolin, technical guide. Luettu 16.01.2014.
http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_Capim_Kaolin_Applications.pdf

Imerys-paper. E-type - plates in the extreme, technical guide. Luettu 28.1.2014.
http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_EType_Clays.pdf

Imerys-paper. Effect of fillers on LWC, technical guide. Luettu 24.1.2014.
http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_Effect_of_Fillers_on_LWC.pdf

Imerys-paper. Filler concepts for linerboard, technical guides. Luettu 6.2.2014.
http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_LinerMax.pdf

Imerys-paper. Fillers for newsprint, technical guide. Luettu 23.1.2014.
http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_Fillers_for_Newsprint.pdf

Imerys-paper. Fillers for uncoated woodfree papers, technical guide. Luettu 24.1.2014.
http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_Fillers_for_Uncoated_Wood_Free_A4.pdf

McLain, L., Ingle, D. 2009. Application of wet-end paper chemistry. Fillers. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.

Omya. Paper fillers. Luettu 16.01.2014.

<http://www.omya.com/C125728900639D06/vwWebPagesByID/D5790C7680F96739C1257363005A71EF>

Pauler, N. 2002. Paper optics. Surface treatment. Elanders Tofters, Östervalä, Sweden. Specialty Minerals. The Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Advantage for Super-calendered Paper. Luettu 4.2.2014. <http://www.specialtyminerals.com/paper/products-and-applications-for-paper/supercalendered-papers/>

Thorn, I., Au, C.O. 2009. Application of wet-end paper chemistry. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.

VTT. Täyteaineet yleistä. 2013. KnowPap Versio 15.0. VTT, täyteaineet yleistä. [online]. Luettu 18.01.2014

http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/raw_materials/4_fillers/0_common/frame.htm

Wakaolin. Wilson, I. Filler and coating pigments for papermakers. Luettu 16.01.2014.

<http://www.wakaolin.com/Website%20pdfs/IRW%20PAPER%20PIGMENTS%20%20SME%202006.pdf>

Wikström, M. 2009. Pulp and paper chemistry and technology, calendering. Luettu 4.2.2014.

<http://books.google.fi/books?id=YpL8evdBTFkC&pg=PA335&dq=calendering&hl=fi&sa=X&ei=HDvvUpf1FsnD4gSvnoGoDQ&ved=0CFcQ6AEwBjgK#v=onepage&q=calendering&f=false>