

Opinnäytetyö

Anne-Mari Niemi

KARTONGIN PINNANKARHEUDEN VAIKUTUS PAINETTAVUUTEEN

Työn Ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

TkL Päivi Viitaharju
Metso Paper, Ohjaajana FM Markku Markkanen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniiikan koulutusohjelma

Paperitekniiikka

Niemi, Anne-Mari

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Maaliskuu 2008

Hakusanat

Kartongin pinnankarheuden vaikutus painettavuuteen

50 sivua + 2 liitesivua

TkL Päivi Viitaharju

Metso Paper Rautpohja, ohjaajana FM Markku Markkanen

painettavuus, topografia, Heliotest, puuttuvat pisteet

TIIVISTELMÄ

Pakkauskartonkien laatuvaatimukset kasvavat jatkuvasti. Kehittyvät jalostus- ja painomenetelmät vaativat kartongilta yhä enemmän, mikä on johtanut myös kartonkikoneuudistusten kasvaneeseen kysyntään. Raaka-aineena käytetään yhä enemmän kierrätyskuitua ja tuotettavat lajit ovat entistä ohuempia ja kevyempiä. Kartongin erittäin hyvä pinnan sileys on yksi tärkeimpiä ominaisuuksia erityisesti syväpainossa. Nykyiset trendit luovat tarpeen luotettavalle, painettavuutta ennustavalle mittalaitteelle. Perinteiset menetelmät mittaavat pinnankarheutta ilman avulla, mutta varsinainen korrelaatio painettavuuden kanssa ei yleensä ole riittävä.

Tässä työssä on pyritty selvittämään, voidaanko kartongin pinnan topografiavaihteluilla ennustaa kartongin painettavuutta syväpainatuksessa.

Kartonkilajien pinnan topografia-mittauksissa käytettiin fotometriseen stereoon perustuvaa OptiTopo-mittalaitetta. Painettavuus mitattiin Heliotest-laboratoriokoepainolaitteella. Koepainatuksista laskettiin perinteisellä menetelmällä etäisyys painatuksen alusta 20. puuttuvaan pisteeseen.

Työssä selvitettiin syväpainomenetelmässä eniten vaikuttavat kartongin pinnankarheuden aallonpituusalueet. Voimakkain korrelaatio löytyi Heliotest-painettavuuden ja pinnankarheuden välille aallonpituusalueella 0,15 – 1,60 mm. Voimakas korrelaatio oli myös kartongin pinnan syvimpien kuoppien ja Heliotest-painettavuuden välillä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Paper engineering
Papertechnology
Niemi, Anne-Mari
Engineering thesis
Thesis supervisor
Comissionin company
March 2008
Keywords

The effect of surface roughness on the printability of paper board
50 pages + 2 appendices
Lic. Tech. Päivi Viitaharju
Metso Paper Rautpohja, supervisor M.Sc. Markku Markkanen
Printability, topography, Heliotest, missing dots

ABSTRACT

The quality properties of commercially produced packaging paper boards are increasing constantly. Finishing and printing methods require better and better quality of paper board properties. The development has also lead to the increased demand of the board machines' rebuilding. The use of recycled fiber as a raw material is still growing and paper board products produced are thinner and lighter than before. The smoothness of paper board is one of the most important qualities especially in rotogravure. Current trends are providing a need for a reliable method for measuring and characterizing the board surface. Traditional methods measuring roughness are based on air leaking out between paper or board surface and pressurized cylinder, even though, the correlation between printability and the traditional method is not as good as is needed.

In this paper the aim was to clarify if there is a good correlation between a certain topography measuring device and rotogravure printability of paper board.

The topography measuring device used in this work was OptiTopo, which is based on a photometric stereo method. The printability of paper board grades was measured with the Heliotest-measurement system. The evaluation of the printed image was done visually by using a standard value of 20. missing dot.

This paper defines the wavelength classes that mostly effect on printability in rotogravure printing method. The correlation between topography and Heliotest-printability was significant in the wavelength class 0,15 mm – 1,60 mm. A good correlation was also found between the Heliotest-printability and the deepest valleys of the paper board surface.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Metso Paper Oy Rautpohjan toimeksiannosta ja opinnäytetyöksi Tampereen ammattikorkeakouluun. Työ on tehty joulukuun 2007 ja maaliskuun 2008 välisenä aikana.

Haluan kiittää lämpimästi opinnäytetyöni ohjaajia FM Markku Markkasta Metso Paper Oy Rautpohjasta ja TkL Päivi Viitaharjua Tampereen ammattikorkeakoulusta.

Suuri kiitos tuesta, ymmärryksestä ja kannustuksesta koko opiskeluaikana kuuluu myös perheelleni ja ystäväilleni.

Ylöjärvellä helmikuussa 2008

Anne-Mari Niemi

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	7
2	KARTONKILAJIT	7
2.1	Taivekartonki (FBB).....	8
2.2	Valkopintainen laineri (WTL)	9
2.3	Nestepakkauskartonki (LPB).....	10
2.4	Sellukartonki (SBS)	11
2.5	Valkopintainen laatikkokartonki (WLC)	12
3	MONIKERROSKARTONGIN TUOTEANALYYSI.....	13
4	SYVÄPAINOTEKNIikka PAKKAUSTUOTTEILLA	14
4.1	Syväpainon periaate.....	14
4.1.1	Sylinterin valmistus.....	15
4.1.2	Painoväri syväpainomenetelmässä	16
4.2	Pakkaussyväpainokone.....	17
4.2.1	Arkkisyväpainokone.....	17
4.2.2	Rullasyväpainokone	17
5	PAINETTAVUUS SYVÄPAINOMENETELMÄSSÄ.....	17
5.1	Puuttuvat pisteet painojäljessä.....	19
5.2	Kartongin pinnankarheus	19
5.2.1	Pinnankarheuden komponentit.....	19
5.2.2	Kartongin karheuteen vaikuttavat tekijät	20
6	MITTAUSMENETELMÄT.....	20
6.1	Karheuden mittausmenetelmät	20
6.1.1	PPS-karheus.....	21
6.1.2	Bendtsen-karheus	21
6.2	OptiTopo-topografiamittalaite	22
6.2.1	Topografian laskennassa käytetyt tunnusluvut	24
6.2	Heliotest	25
6.3	Tulosten vertailu	28
7	KOKEELLINEN OSA	29
7.1	Mittaustulokset	30
7.1.1	Kartonkilajien topografia-mittausten tulokset.....	31
7.1.2	Kartonkilajien painettavuus-mittaustulokset	31
7.2	Tulosten tarkastelu	33
7.2.1	Kartongin topografisten vaihteluiden ja Heliotest-painettavuuden välinen korrelaatio	33
7.2.2	Topografian eri aallonpituusalueiden vaikutus painettavuuteen	37
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	45
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	50

1 OptiTopo-mittaustulokset, aallonpituusalueet

2 Heliotest-mittaustulokset

1 JOHDANTO

Kartonkien kysynnän kasvun pakkausmateriaalina odotetaan pysyvän lähivuosina kohtalaisena. Maailmanlaajuisen kasvun ennuste perustuu väestönkasvuun, lisääntyvään kauneus- ja terveystietoisuuteen, elintason nousuun ja ostovoiman kasvuun. Kuluttajien laadutietoisuuden paranemisen, kovan kilpailun sekä jalostus- ja painomenetelmien kehityksen myötä myös kartonkeihin kohdistetaan entistä suurempia laatuvaatimuksia. Kehitys näkyy etenkin Euroopassa kartonkikoneuudistusten kysynnän kasvuna. /16/

Tutkimusten mukaan pakkauksen ulkonäkö vaikuttaa selkeästi tuotteen ostopäätökseen. Tärkein osa laadukkaan pakkauksen ulkonäköä on sen materiaalina käytetyn kartongin pinta ja sen ominaisuudet, jotka muodostavat pohjan laadukkaalle painojäljelle. /19/

Erityisesti syväpainossa kartongin sileyden on painatuksen laadun kannalta kriittinen ominaisuus. Perinteisillä sileyden ja karheuden mittausmenetelmillä ei kuitenkaan saada tarkempia tietoja karheudesta eri mittakaavoissa. /1; 12/

Tässä työssä on pinnan topografian vaihtelujen eli pinnankarheuden mittaamisessa käytetty fotometriseen stereoon eli optiseen kuvantamiseen perustuvaa menetelmää. Menetelmä perustuu neljästä suunnasta näytteen pintaan kohdistettujen valojen muodostamiin varjoihin, joiden avulla lasketaan pinnan topografiakartakuva. Topografiakartasta voidaan laskea pinnan topografiaa esimerkiksi eri aallonpituuksilla. Saatua tulosta on tässä työssä verrattu koepainatuksen painojälkeen. Työn tarkoituksena oli selvittää fotometriseen stereoon perustuvan mittausmenetelmän antamien tulosten ja kartongin Heliotest-painettavuuden välinen korrelaatio. /22; 24/

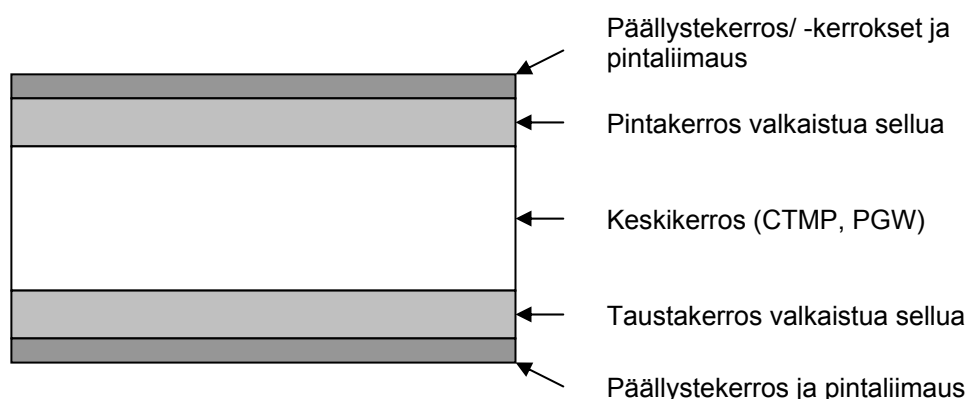
2 KARTONKILAJIT

Kartonkilajit jaetaan karkeasti kolmeen ryhmään: sisäpakkaukskartongit, ulkopakkaukskartongit ja erikoiskartongit. Kartonkien neliömassa on tavallisesti yli 150 g/m². Poikkeuksena ovat esimerkiksi tietyt lainerit, joiden neliömassa saattaa olla jopa alle 100 g/m². Useimmilla kartonkilajeilla on monikerroksinen rakenne. Eri kerroksien tarkoituksena on antaa kartongille kaikki sen loppukäytön vaatimat ominaisuudet. Pinnat antavat hyvän painettavuuden ja keskikerros hyvät lujuudet ja bulkin. Lähes kaikki kartongeista valmistettavat tuotteet ovat painettavia pakkaustuotteita. Hyvien painettavuusominaisuuksien saavuttamiseksi useisiin kartonkilajeihin ajetaan kaksi päällystekerrosta. Vaativimpien, kuten kosmetiikkapakkausten raaka-aineena käytettävien kartonkien pintaan, ajetaan jopa kolme päällystekerrosta. Syväpainettavilla pakkauspainotuotteilla sileyden on yksi pinnan tärkeimpiä ominaisuuksia. /2; 7/

Kartonkeja käytetään pääasiassa kuluttajatuotepakkauksissa, kuten elintarvike-, tupakka-, elektroniikka- ja lääkepakkauksissa. Kartongin tarkoituksena on suojata pakkauksen sisältämää tuotetta ympäristöltä ja myös ympäristöä tuotteelta. Vaatimukset kartonkien laadulle kasvavat jatkuvasti, sillä kartonki kilpailee pakkaustuotemarkkinoilla muiden pakkausmateriaalien, kuten muovin rinnalla. Kartonkien etuna markkinoilla on niiden kierrätettävyys ja käyttöön nähden hyvä kestävyys. /7 s. 55–56/

2.1 Taivekartonki (FBB)

Taivekartonkien (folding boxboard) neliömassa-alue on 160–450 g/m². Taivekartongeilla on tyypillisesti kolmikerroksinen rakenne. Kuten kuvasta 1 nähdään, keskikerroksessa käytetään raaka-aineena mekaanista massaa ja pinta- ja taustakerroksissa valkaistua kemiallista massaa. Mekaanista massaa käytetään keskikerroksessa antamaan kartongille mahdollisimman korkea bulkki. Pinta- ja taustakerrosten neliömassa pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena bulkin säilyttämiseksi ja raaka-ainekustannusten minimoimiseksi. Pintakerroksen neliömassa on yleensä noin 45–60 g/m² ja taustakerroksen noin 25–30 g/m². Pinta- ja taustakerroksen neliömassat pysyvät normaalisti vakioina. Kokonaisneliömassaltaan erilaisia tuotteita valmistetaan muuttamalla keskikerroksen neliömassaa. Useat loppukäytöt vaativat taivekartonkien pintaan pintaliimausta. Myös päällystys riippuu loppukäytöstä: taivekartonki voidaan päällystää pintapuolelta tai sekä pinta- että taustapuoliilta. Pintakerrokseen voidaan ajaa kaksi päällystekerrosta. /2; 7/



Kuva 1. Taivekartongin rakenne

Taivekartonkia käytetään hyvin erilaisissa loppukäyttökohteissa. Tyypillisimpiä ovat tupakka-, kosmetiikka-, lääke-, suklaa- ja elintarvikepakkaukset. Joitain taivekartonkilajeja käytetään postikorteissa tai jopa kirjojen kansissa. Vaativat loppukäyttöalueet asettavat korkeat

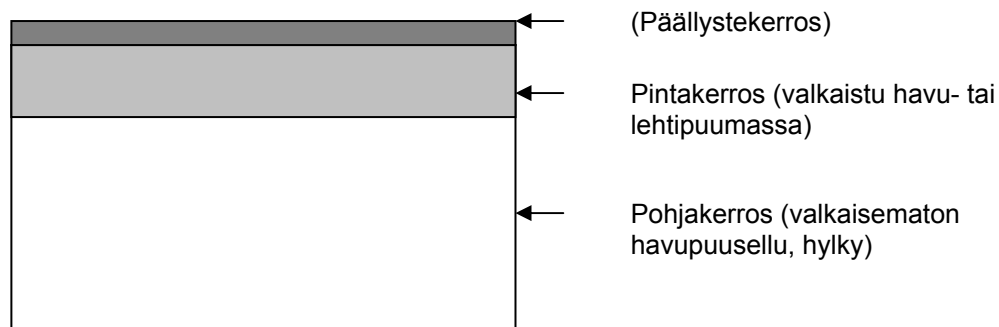
vaatimukset taivekartongin pintakerrokselle, erityisesti painettavuus on yksi lajin tärkeimpiä ominaisuuksia. Syväpainatuksessa taivekartongin pinnan tulee olla erittäin sileä. /7/

Taivekartongin tärkeimmät mekaaniset ominaisuudet ovat paksuus, taivutusjäykkyys ja z-suuntainen lujuus. Koska taivekartongilta vaaditaan erinomaista sileyttä ja samanaikaisesti korkeaa bulkkia, ei pinnan muokkaamisessa voida käyttää kalanterointia. Taivekartonkikoneilla käytetäänkin yleensä kuivatuksessa jenkkisyylinteriä, jonka avulla saadaan sileä pinta. Jenkkisyylinteri myös sulkee tehokkaasti kartongin pintarakenteen päällystystä varten. /2; 7/

Taivekartonkikoneen viiraosa koostuu erillisistä formereista, jokaiselle kerrokselle on oma perälaatikko ja viiraosa. Keskikerroksen viiraosalla käytetään tavallisesti yläpuolista vedenpoistoyksikköä formaation parantamiseksi ja kuivatuskapasiteetin lisäämiseksi. Puristinosalla on yleensä kolme puristinta, joista 1-2 on kenkäpuristimia ja kolmas on huovaton tasauspuristin. /2; 7/

2.2 Valkopintainen laineri (WTL)

Valkopintaisella lainerilla (white top linerboard) on kaksikerroksinen rakenne, joka koostuu pintakerroksesta ja pohjakerroksesta. Kuten kuvasta 2 nähdään, sen pintakerroksessa käytetään valkaistua tai valkaisematonta havu- ja lehtipuusellua. Pohjakerroksen raaka-aineena on yleensä valkaisematon havupuusellu ja oma hylky. Raaka-aineena voidaan käyttää myös kiertokuitua. Lainerit myös pintaliimataan hartsilla, jolloin pakkausmateriaalille saavutetaan parempi kosteuden kestävyys. Jos raaka-aineena käytetään kiertokuitua, pintaliimauksella saadaan parannettua myös lujuusominaisuuksia. /2; 7/



Kuva 2. Valkopintaisen lainerin rakenne

Valkopintainen laineri luetaan ulkopakkauskartonkien ryhmään. Lainereita käytetään aaltopahvin pintakerroksessa. Valkopintaiset lainerit on suunniteltu vaativampiin pakkauspainotuotteisiin, joten pinnan sileys ja ulkonäkö ovat tuotteen tärkeimpiä

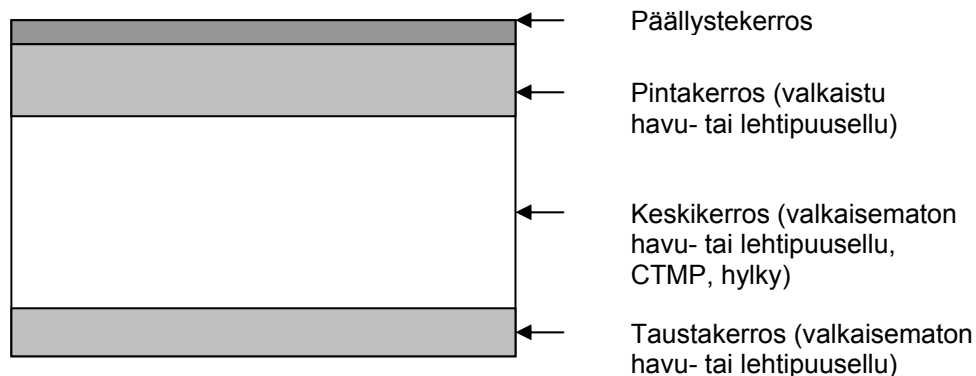
ominaisuuksia. Lainereita valmistetaan neliömassa-alueella 100–350 g/m². Valkopintaisella lainerilla pintakerroksen neliömassa on yleensä noin 70–80 g/m². Koska tavoiteltuna ominaisuutena on hyvä formaatio, käytetään pintakerroksen raaka-aineena enimmäkseen lyhytkuituista sellua. Opasiteetin ja tuotteen ulkonäön parantamiseksi pintakerroksessa käytetään myös täyteaineita. Valkopintainen laineri voidaan myös päällystää. Tyypillisin ratkaisu on yksi päällystekerros teräpäällystys yksiköllä. /2; 7/

Päällystetty valkopintainen laineri on laineri-tuoteperheen laadukkain ja vaativin pakkauspainotuote. Sitä käytetään tuotepakkauksissa, jotka myydään suoraan kaupan hyllyltä kuluttajalle, kun tavalliset lainerit päätyvät lähinnä tuotteiden kuljetuspakkauksiin. /2; 7/

2.3 Nestepakkauskartonki (LPB)

Nestepakkauskartongeilla (liquid packaging board) voi olla yksi- tai monikerroksinen rakenne. LPB-kartonkien raaka-aineena käytetään valkaistua tai valkaisematonta lehti- ja havupuusellua. Keskikerroksessa voidaan käyttää myös CTMP-massaa (kuva 3). Kemitermomekaanisen massan käyttö keskikerroksessa mahdollistaa sen, että tuotteen neliömassaa voidaan laskea. LBP-kartonkien valmistuksessa käytetään puhtauden vuoksi lähes poikkeuksetta neitseellistä kuitua. Nestepakkauskartongeissa käytetään massaliimana neutraaliliimoja ja tuote myös pintaliimataan molemmin puolin. /1; 7/

Nestepakkauksia valmistetaan tiiliskiven muotoisina ja harjallisina pakkauksina esimerkiksi maidon ja mehun säilytykseen. Tiiliskiven muotoiset pakkaukset ovat useimmiten aseptisia. Harjallisissa tuotteissa käytetään korkeampia neliömassoja kuin tiiliskiven muotoisissa pakkauksissa. Erityisesti tiiliskivipakkauksia painetaan paljon syväpainossa, jolloin yksi tuotteen tärkeimpiä ominaisuuksia on myös pinnan sileys, eli perinteisesti karheus PPS-karheutena mitattuna. /7, s.62–64/



Kuva 3. Kolmikerroksisen nestepakkauskartongin rakenne

Nestepakkauksetonkin tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus- ja barrier-ominaisuudet. Kartonkipakkauksen tulee suojata tuotetta aromeilta, kaasuilta, kosteudelta ja nesteiltä. Riittävä suoja saavutetaan jatkojalostuksessa kartongin pintaan ajettulla muovikalvolla, kuten PE-filmillä, joka estää nestepakkauksen vuotamisen. Esimerkiksi pastöroitujen maitotuotteiden tölkeissä käytetään molemmin puolin LDPE-päällystettyä nestepakkauksetonkia. /1/

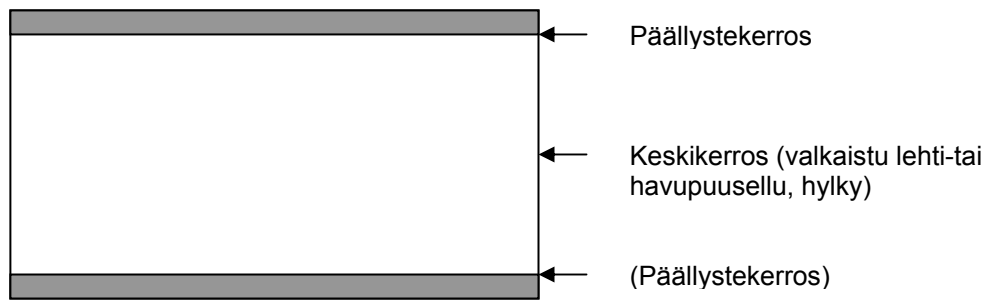
Myös nestepakkauksetonkien ulkopintaan ajetaan muovikalvo, sillä kylmässä säilytettävät tuotteet saattavat huoneenlämmössä kastua kauttaaltaan kondenssivedestä ja kosteussuoja tarvitaan estämään kartonkia pehmenemästä. LDPE antaa pinnalle myös kiiltoa ja parantaa tuotteen ulkonäköä. Painatusta varten ulkopinnalle tehdään koronakäsittely. Barrier-ominaisuuksia voidaan parantaa jatkojalostuksessa myös lisäämällä pintaan esimerkiksi laminoitu alumiinifolio, erikoislakkaus tai vahakäsittely. Pakkausmateriaalista ei saa siirtyä sen sisältämään tuotteeseen makua, hajua eikä väriä. Mikrobiologinen puhtaus taataan käyttämällä vain ensikuitua. Samoista syistä nestepakkauksetonkien valmistuksessa kemikaalien käyttö on minimoitu. /1/

Nestepakkauksetonkien lisääntynyt käyttö syväpainatuksessa asettaa yhä korkeampia vaatimuksia myös LPB-kartonkien pintaominaisuuksille. /1; 2/

2.4 Sellukartonki (SBS)

Valkaistun sellukartongin (solid bleached sulphate) loppukäyttöalueet ovat pitkälti samat kuin taivekartongilla. Tietyillä ympäristön kanssa herkästi reagoivilla tuotteilla, kuten suklaa- ja tupakkatuotteilla valkaistu sellukartonki saattaa olla parempi valinta, sillä siitä ei tartu tuotteeseen hajua tai makuja. SBS-kartonkia käytetään lisäksi myös nestepakkauksissa sekä juomakuppien ja lautasten valmistuksessa. /2; 7/

Sellukartongituotteiden neliömassa-alue on noin 150–350 g/m². SBS-kartonkia valmistetaan sekä yksi- että monikerroksisena. Monikerroksisen SBS-kartongin valmistustapa ja rakenne ovat hyvin samanlaiset kuin taivekartongilla (kuva 1). Yksikerroksisen SBS-kartongin rakenne nähdään kuvasta 4. Valkaistun sellukartongin raaka-aineena käytetään valkaistua havu- ja lehtipuusulfaattisellua. Lyhytkuituisella lehtipuumassalla saavutetaan parempi formaatio ja paremmat painettavuusominaisuudet kuin pitkäkuituisesta sellusta käyttämällä. Valkaistu sellukartonki on yleensä päällystettyä. /2; 7/



Kuva 4. Yksikerroksisen valkaistun sellukartongin rakenne

SBS-kartonkikoneen rakenne riippuu valmistettavien kerrosten lukumäärästä. Yksikerroksista SBS-kartonkia valmistavalla koneella käytetään viiraosalla yleensä hybridiformeria.

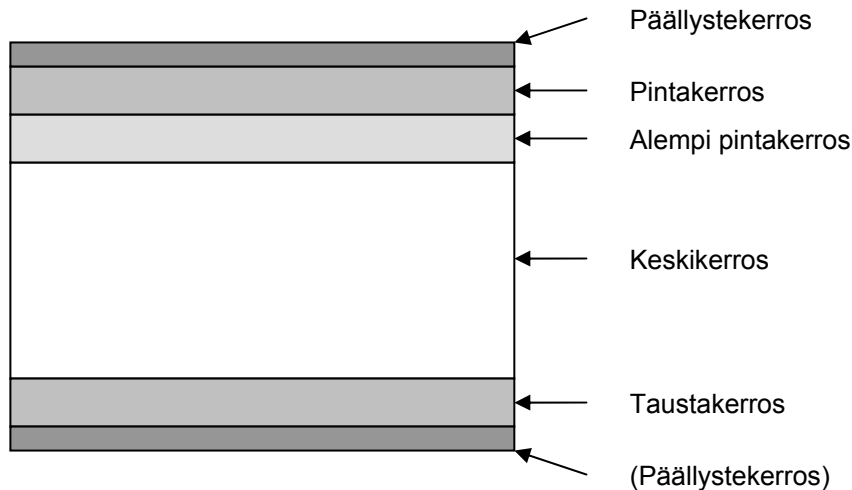
Monikerrosrakennetta valmistavan koneen viiraosa rakentuu kolmesta formeriosasta, jolloin jokainen kerros voidaan muodostaa sen vaatimien ominaisuuksien mukaan. Keskikerroksen formeriosalla käytetään yleensä myös yläpuolista vedenpoistoyksikköä.

Ennen päällystystä SBS-kartonki kalanteroidaan kostuttavalla konekalanterilla. Tarkoituksena on pehmentää pintakerroksen kuituja ja siten parantaa sileyttä. /2; 7/

2.5 Valkopintainen laatikkokartonki (WLC)

Monikerroksisen WLC-kartongin (white lined chipboard) käyttökohteet ovat pitkälti samat kuin taivekartongilla. Sisältämänsä keräyskuidun vuoksi se ei kuitenkaan sovellu kaikkein vaativimpiin pakkauksiin, kuten suklaarasioihin. Valkopintaista laatikkokartonkia käytetään elintarvikepakkauksissa kuitenkin esimerkiksi muropakkauksissa, joissa mikrobiologista puhtautta lisäämässä on kartonkipakkauksen sisässä vielä muovinen pussi.

Raaka-aineena WLC-kartongin pintakerroksessa on yleisimmin valkaistu sellu, mutta myös siistattua toimistokeräyspaperia voidaan käyttää. Sisäosien raaka-aineena käytetään kiertokuitua, joka voi koostua kierrätetystä aaltopahvista, sanomalehdistä ja muusta sekalaisesta keräyskuidusta. Keskikerroksen raaka-ainekoostumus riippuu tehtaasta ja sen saatavilla olevasta kuidusta kyseisellä alueella. Pinta- ja keskikerrosten välissä on usein alempi keskikerros, jonka tarkoituksena on minimoida kalliin pintakerroksen sellun käyttöä ja parantaa vaaleutta. Alemman pintakerroksen raaka-aineena käytetään siistausmassaa tai mekaanista massaa. Taustakerroksessa taas käytetään siistausmassaa tai valkaistua kemiallista massaa. WLC-kartongin rakenne nähdään kuvasta 5.



Kuva 5. Valkopintaisen laatikkokartongin rakenne

Korkeiden laatuvaatimusten vuoksi pinta on päällystetty. WLC-kartongilla on sen raaka-aineena käytettävän kiertokuidun vuoksi heikompi jäykkyys ja bulkki kuin neliömassaltaan vastaavalla taivekartongilla. Valkopintaista laatikkokartontia valmistetaan neliömassa-alueella 200–450 g/m². Vaatimukset ja kartonkikoneet WLC- ja FBB-kartongeilla ovat hyvin samanlaiset lukuun ottamatta laijen erilaista massanvalmistusta. /2; 7/

3 MONIKERROSKARTONGIN TUOTEANALYYSI

Monikerroskartonkien ensisijainen tarkoitus niiden tyypillisimmissä loppukäyttökohteissa on suojata kartongin sisään pakattua tuotetta eri ympäristötekijöiltä. Pakkauksen tulee säilyttää muotonsa ja ulkonäkönsä varastoinnissa, pinoamisissa, kuljetuksissa, myynnissä ja kulutuksessa käyttäjällä. Nämä eri tehtävät vaativat kartongilta pinoamiskestävyyttä, taivutusjäykkyyttä, repäisylujuutta ja puhkaisulujuutta. Pakkauksen ryhdin ja lujuuksien säilyttämiseksi on tärkeää, että myös kartongin paksuus ja bulkki pystytään säilyttämään koko jalostusketjun läpi. Kartonkikotelolta vaaditaan jäykkyyttä erityisesti radan poikkisuunnassa, sillä poikkisuuntainen jäykkyys on vain noin puolet kartongin konesuuntaisesta jäykkyydestä. Korkea jäykkyys takaa hyvän ajettavuuden koteloiden pakkauslinjoilla ja hyvän puristuslujuuden valmiilla koteloilla. /1; 28/

Mekaanisen kuormituksen lisäksi taivekartongilta vaaditaan kykyä eristää tuote ympäristön kosteudelta, aromeilta, kaasuilta, nesteiltä ja mikrobeilta. Kartongilta vaaditaan siis läpäisemättömyyttä eli hyviä barrier-ominaisuuksia. Läpäisemättömyys on erityisen kriittinen ominaisuus herkästi ympäristön kanssa reagoivien tuotteiden, kuten suklaan ja tupakan pakkauksissa. Aina yksin kartonki ei huokoisuutensa vuoksi pysty tarjoamaan riittäviä barrier-

ominaisuuksia, joten ominaisuuksia parannetaan käsittelemällä kartonki jo valmistuksen aikana pintaliimalla tai erikoiskemikaaleilla. Jalostuskoneessa kartonki voidaan pinnoittaa vielä läpäisemättömyyttä parantavalla muovikalvolla, laminoidulla alumiinifoliolla tai vahalla. Pakkausmateriaalina kartongilta vaaditaan myös ensiluokkaista mikrobiologista puhtautta, minkä vuoksi se valmistetaan joitain poikkeuksia lukuun ottamatta ensiökuidusta. /1; 28/

Tuotteen suojaamisen ohella pakkauksen tärkeimpiä ominaisuuksia on sen ulkonäkö. Pakkauksen tehtävänä on kertoa sen sisällä olevasta tuotteesta, markkinoida tuotteen valmistanutta yritystä ja edistää tuotteen myyntiä. Ulkonäköön kohdistuvat laatuvaatimukset saavutetaan vain päällystämällä kartongin pinta tai sekä pinta että tausta. Kartongin pinnalta vaaditaan riittävää tasalaatuisuutta, sileyttä, kiiltoa ja vaaleutta. Vaadittavat pinnan ominaisuuksien arvot ja rakenneominaisuudet riippuvat sekä loppukäytöstä että painatusmenetelmästä. /1; 28/

Eri painatusmenetelmät asettavat taivekartongille vielä omat vaatimuksensa. Jokaisella menetelmällä on silti myös yhteisiä paperin pinnan ominaisuuksiin liittyviä vaatimuksia, joita ovat esimerkiksi painojäljen tasaisuus ja kiilto, painetun kuvan terävyys, painetun kuvan kontrasti ja painojäljen tasaisuus. /1; 28/

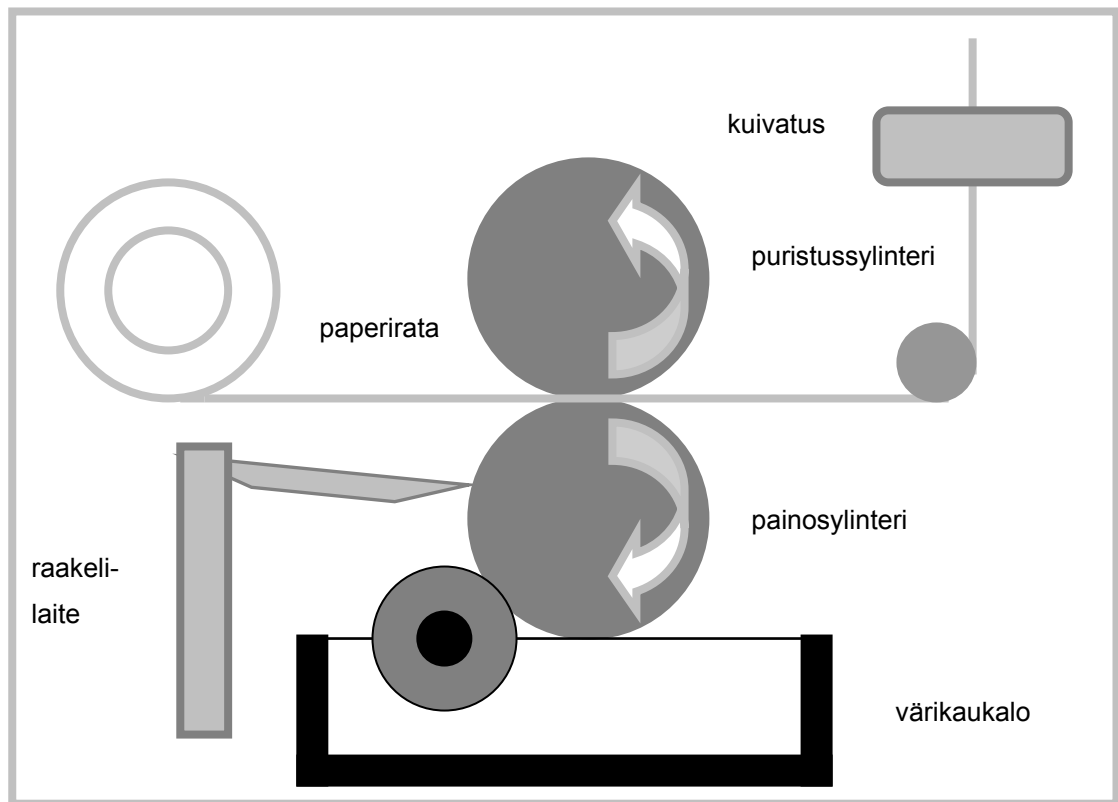
Syväpaino vaatii taivekartongilta todella hyvää sileyttä, tasaista painoväriin absorptiota, hyviä lujuusominaisuuksia ja pisteenkasvun hallittavuutta. Puuttuvia pisteitä ei painatustuloksessa sallita. /28/

4 SYVÄPAINOTEKNIikka PAKKAUSTUOTTEILLA

Syväpainomenetelmällä on pakkausten painatuksessa teknisiä etuja, kuten painosylinterin muunnettava halkaisija ja painatuksen saumattomuus. Syväpainon korkeita investointi- ja sylinterinvalmistuskustannuksia kompensoivat myös painatuksen korkea laatu, painokoneiden korkeat nopeudet, painosylinterin erinomainen kestävyys ja pieni paperin tai kartongin hukkaprocentti. Syväpainomenetelmässä värijärjestys on yleensä YMCK. /1, s. 97–98/

4.1 Syväpainon periaate

Syväpainon etuna on menetelmän yksinkertaisuus. Koska muuttujia on vähän, on prosessin jatkuvuus helppo taata ajon alusta loppuun asti. Syväpainatuksessa jokainen painoyksikkö koostuu neljästä osasta: painosylinteristä, värikaukalosta, raakelilaitteesta ja puristussylinteristä. Syväpainomenetelmän periaate on kuvassa 6. /23/



Kuva 6. Rotaatiosyväpainoyksikön periaate

Syväpainossa painosylinterinä on kuparipinnoitettu teräsrunko. Painatusaihe on kaiverrettu kupariin rasterikuppeiksi ja valmis pinta on yleensä kromattu. Painatuksessa painosylinteri pyörii värikaukalossa, josta painoaiheeseen kaiverretut kupit nostavat väriä sylinterin pintaan ylimäärin. Värlaitteen tehtävänä on myös poistaa painoväristä mahdollisia epäpuhtauksia ja ylläpitää värin oikea viskositeetti. Ylimääräinen väri kaavataan pois raakelin avulla ennen painatusnippiä, jolloin väri jää vain rasterikuppeihin. Raakeli on varustettu oskilloinnilla, joka auttaa poistamaan terän alle kertyviä epäpuhtauksia. Väri siirtyy painomateriaaliin painosylinterin ja puristussylinterin välisessä nipissä kovassa paineessa. /6; 1/

Vaaleat ja tummat sävyt saadaan syväpainomenetelmässä aikaan muuttamalla rasterikuppien syvyyttä ja pinta-alaa.

4.1.1 Sylinterin valmistus

Syväpainosylinterin valmistus tapahtuu kaivertamalla. Sylinteri on valmistetaan teräksestä ja se on pinnoitettu kuparilla. Kuparipinnoitetun sylinterin pintaan tehdään kaivertamalla tai syövyttämällä syvyydeltään ja pinta-alaltaan erikokoisia syvennyksiä, jotka muodostavat painoaiheen. Mitä suurempi syvennyksen eli rasterikupin tilavuus on, sitä enemmän painoväriä

siirtyy painettavalle kartongille. Rasterikuppien kaiverrus voi tapahtua kolmella eri tavalla. Perinteisessä tavassa rasterikuppien aukon halkaisija on aina sama ja tilavuutta muutetaan muuttamalla kuppien syvyyttä. Toinen tapa on kaivertaa rasterikupit siten, että sekä aukon halkaisija että syvyys muuttuvat. Tämän kaiverrustavan etuna on vaaleiden sävyjen muodostuksen parempi hallinta ja terävämpi kuvan laatu. Kolmas tapa valmistaa painoaihe on kaivertaa syvyydeltään samankorkuisia kuppeja ja muuttaa aukon kokoa. Rasterikuppien välistä aluetta kutsutaan sillaksi. Silta-alueen tehtävänä on kuljettaa ylimääräisen värin kaavaavaa raakeliterää. /1; 23/

Kaiverretun tai syövytetyn sylinterin pinnan kestoa voidaan parantaa pinnoittamalla sylinteri elektrolyyttisellä kromipinnoitteella. Kromi suojaa painoaihetta kantavaa kuparia raakeliterän ja painomateriaalin aiheuttamalta kitkalta. Kromipinnoite lisää sylinterin käyttöikä, jolloin sitä voidaan käyttää myös hyvin pitkissä ajoissa ilman laatuvariaatioita. /1; 23/

4.1.2 Painoväri syväpainomenetelmässä

Syväpainomenetelmässä käytetyt painovärit ovat matalaviskootisia. Juoksevuus takaa, että painoväri levittyy tasaisesti sylinterin pinnan rasterikuppeihin ja siirtyy syvennyksistä helposti painettavan kartongin pintaan. Syväpainossa käytetyt painovärit ovat yleensä liuotinpohjaisia, ja niiden lopullinen valmistus tapahtuu painolaitoksessa, jossa liuotinta lisätään, kunnes oikea viskositeetti on saavutettu. Syväpainovärin viskositeetti on yleensä n. 5–25 mPas. Painatusprosessin aikana värin viskositeetti ja lämpötila pyritään säilyttämään vakiona.

Syväpainon painovärien kuivatus perustuu liuottimen haihtumiseen. Painoväri kuivatetaan erikseen jokaisen painoyksikön jälkeen puhaltamalla painetun kartongin pintaan ilmaa. Haihtunut liuotin otetaan talteen aktiivihiihiabsorbereiden avulla, sillä ympäristöön joutuessaan se aiheuttaa haittaa terveydelle ja turvallisuudelle. /18; 28/

Eryteisesti pakkauskartongeilla syväpainossa voidaan käyttää myös vesipohjaisia painovärejä. Vesipohjaisen painovärin kuivatus vaatii korkeampia lämpötiloja ja pidemmän kuivatusajan.

Painoväri koostuu pigmenteistä, sideaineista, liuottimesta ja lisäaineista. Pigmenttejä eli väriä on noin 10–15 % painoväristä. Sideaineen osuus on 20–30 %, ja sen tarkoituksena on kiillon muodostus ja pigmentin sitominen paperin tai kartongin pintaan. Suurimman osan painovärin koostumuksesta (50–70 %) muodostaa liuotin, joka toimii kantofaasina ja sideaineen liuottajana. Pakkauspainossa liuottimena on yleensä asetaatti, ketoni tai vesi. /18; 28; 32/

4.2 Pakkaussyväpainokone

Pakkaussyväpainokoneiden leveydet ovat yleensä noin 50–150 cm, ja koneiden nopeus 8–12 m/s. Painokone koostuu 7–8 painoyksiköstä, jotka painavat tuotteesta yhden puolen. Syväpainokoneet voivat olla rakenteeltaan joko arkki- tai rullakäyttöisiä. /1; 3, s. 136/

Painovärin kuivatus tapahtuu haihduttamalla painovärin sisältämä liuotin pois. Jokaisessa painoyksikössä on oma kuivauslaite, joka puhaltaa rainaan ilmaa turbulentsisesti. Kuivatusilman lämpötila pakkaussyväpainossa on tavallisesti noin 60–110 °C. Haihtunut liuotin otetaan talteen aktiivihiliadsorbereiden avulla. /1; 32/

4.2.1 Arkkisyväpainokone

Syväpainomenetelmän arkkikoneet ovat yleensä melko vaatimattomia. Koneissa on usein vain yksi painoyksikkö, jolloin yhdellä painokerralla voidaan painaa vain yksi väri arkin toiselle puolelle. Painomateriaaliksi soveltuvat kaikki kartonkilajit 400 g/m²:iin asti. Painokoneiden arkkikoot ovat koosta A3 (420 x 297) kokoon B1 (1000 x 707) asti. Arkkisyväpainokoneita käytetään pakkausteollisuudessa lähinnä suurten väripintojen ja erikoisvärien painamiseen. /3, s. 136, 139/

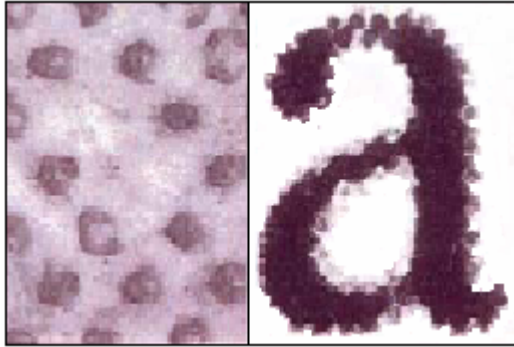
4.2.2 Rullasyväpainokone

Rullapainokoneissa eli rotaatiokoneissa painoyksiköiden määrät vaihtelevat kahden ja kymmenen peräkkäisen yksikön välillä. Rullasyväpainokoneita voidaan valmistaa myös molemmille puolille painavina. Pakkausteollisuudessa käytettävät rotaatiokoneet ovat kuitenkin tyypillisesti yhdelle puolelle painavia. /3, s. 136–137/

5 PAINETTAVUUS SYVÄPAINOMENETELMÄSSÄ

Painettavuus on kartongin ominaisuus, joka kertoo, miten kartonki käyttäytyy painoprosessissa. Painettavuus riippuu kartongin ja painovärin välisestä vuorovaikutuksesta sekä prosessin eri muuttujista. Hyvä painettavuus tarkoittaa, että painettava materiaali ei ole liian herkkä eri prosessimuuttujien vaihteluille. Kartongin hyvä painettavuus takaa hyvän painojäljen laadun.

Paperin tai kartongin sileys (karheus) on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista syväpainatuksessa. Hyvä sileys edistää paperin ja painoväriä välillä kontaktia ja vaikuttaa siten painojäljen tasaisuuteen ja puuttuvien pisteiden määrään. Puuttuvat pisteet painojäljessä ovat kriittisiä, koska syväpainomenetelmässä myös kompaktipinnat, kuten viivat ja kirjaimet ovat rasteroituja. Kirjaimen reunan rasteroitu muoto on kuvassa 7.



Kuva 7. Rasteripisteet kirjaimen reunassa /32/

Sävy muodostus syväpainotekniikassa tapahtuu muuttamalla rasterikuppien syvyyttä ja halkaisijaa. Sävy määrää siis painoväriä kuljettavan kupin tilavuus. Kaiverrettujen rasterikuppien koko on halkaisijaltaan 10–143 µm ja syvyydeltään 5–33 µm. Käytetystä painoväristä riippuva linjatiheys on 50–70 l/cm. Kaiverrettujen rasterikuppien periaate ja painoväriin levittyminen kuppeihin on esitetty kuvassa 8. /1, s. 98/



Kuva 8. Painoväri syväpainosylinterin eri kokoisissa rasterikupeissa.

Muita kartongin tärkeitä ominaisuuksia syväpainossa ovat tasainen painoväriin absorptio, kokoonpuristuvuus, riittävät lujuusominaisuudet ja hyvä kiilto. Painetulta kartongilta vaaditaan myös hyvää painojäljen tasaisuutta, jotta täyspeitteiset pinnat toistuvat täydellisinä ja rasterikuvat terävinä. Kontrastin ja pisteenkasvun täytyy pysyä hallinnassa. Valmis tuote ei saa myöskään tahrata. Valmiin tuotteen liuotinjäämän täytyy saavuttaa hyväksytty taso. /1, 9, 28/

5.1 Puuttuvat pisteet painojäljessä

Puuttuva piste tarkoittaa aluetta, josta yli puolet rasteripisteen pinta-alasta puuttuu. Puuttuva piste on siis kohta, jossa painoväri ei ole siirtynyt yksittäisestä rasterikupista kartongin pintaan. /23/

Syväpainossa kartongin pinnan sileys ja materiaalin kokoonpuristuvuus ovat edellytys hyvälle painojäljelle. Menetelmässä paperin karheus, huokoisuus ja muut topografiset vaihtelut saattavat aiheuttaa puuttuvia pisteitä painojälkeen. Puuttuvat pisteet ovat syväpainomenetelmän pahin ongelma erityisesti vaaleilla sävyillä. Puuttuvia pisteitä syntyy, kun pienet rasterikupit eivät saa riittävää kosketusta painettavaan materiaaliin. Pienet rasterikupit saattavat myös kulua ajan edetessä pois, kun samalla sylinterillä ajettavien kopioiden määrä on suuri. Puuttuvien pisteiden syntyminen on väistämätöntä silloin, kun värin peitto on 5 % painetusta pinnasta. Erittäin kriittistä puuttuvien pisteiden syntyminen on, kun peitto on 20–30 %, jolloin puuttuvat pisteet näkyvät selvästi jo visuaalisessa arvioinnissa. Kartongin ja painavan pinnan välistä kontaktia voidaan parantaa esimerkiksi nostamalla nippipainetta. /4; 5/

Värinsiirtoa rasterikupeista painettavan materiaalin pintaan voidaan tehostaa myös sähköavusteisesti. Värin siirron tehostamisessa käytetty ESA eli electrostatic assist edistää kontaktin muodostumista. ESA:n avulla myös nippipainetta voidaan pienentää, jolloin sylinterin kuluminen vähenee. Käytännössä ESA:n käyttö perustuu puristustelaan ladattavaan sähkövaraukseen, joka nostaa väriä ylös rasterikupeista. ESA:n käyttö vaatii kartongilta hyviä sähköisiä ominaisuuksia, kuten resistiivisyyttä ja hyvää varautumiskykyä. /1; 32/

5.2 Kartongin pinnankarheus

Karheudella voidaan kuvata paperin tai kartongin pinnan rakennetta. Pinnan karheus on yksi merkittävimpiä tekijöitä painojäljen muodostumisessa.

5.2.1 Pinnankarheuden komponentit

Karheus jaetaan sen mittakaavan mukaan mikrokärkeuteen, makrokärkeuteen ja optiseen kärkeuteen. Mikro- ja makrokärkeudella on merkittävä osa hyvän painojäljen saavuttamisessa. Optinen karheus on valon aallonpituuden luokkaa ja se vaikuttaa voimakkaasti paperin tai kartongin kiiltoon. Makrokärkeuden mittauksessa käytetään perinteisiä ilmavuotoon perustuvia

mittausmenetelmiä ja mikrokärheuden mittauksessa esimerkiksi profilometrisiä menetelmiä.
/28/

5.2.2 Kartongin kärheuteen vaikuttavat tekijät

Tärkeimmät kartongin pinnankärheuteen vaikuttavat tekijät ovat kalanterointi ja päällystys. Muita kärheuteen vaikuttavia tekijöitä ovat jauhatus, formaatio, viiran pinnan tasaisuus ja märkäpuristustapahtuma. /28/

Kalanteroinnin tarkoituksena on muokata kartongin pintaa siten, että saavutetaan tavoitellut painatusominaisuudet menettämättä kuitenkaan liikaa bulkkia. Halutut ominaisuudet ovat pinnankärheuden pienentäminen ja huokosrakenteen tiivistäminen. Kalanteroinnilla vaikutetaan pääasiassa kartongin mikrokärheuteen. Makrokärheutta ja kalanterointitulosta parannetaan päällystämällä kartonki ennen kalanterointia. /28/

Massan jauhatus alentaa paperin ja kartongin kärheutta eli parantaa sileyttä. Pidemmälle jauhetut kuidut muokkaantuvat taipuisammiksi ja siten tiivistävät ja tasoittavat paperin pintaa. Märkäpuristustapahtumassa kartongin pinnankärheuteen voidaan vaikuttaa vedenpoistosuunnalla ja huopien kärheudella, eli puristavan pinnan tasaisuudella. Mitä sileämpi huovan pinta on, sitä sileämpi on paperi tai kartonki huovan puolelta. /28/

6 MITTAUSMENETELMÄT

Kärheuden mittaaminen on tärkeää kaikilla painettavilla paperi- ja kartonkituotteilla. Erityisen tärkeää kärheuden (sileyden) mittaaminen on syväpainettavilla tuotteilla, joilla painovärin ja paperin välinen kontakti on kriittinen tekijä hyvän painojäljen saavuttamiseksi. Tässä työssä kartongin kärheuden mittaamisessa käytettiin OptiTopo-topografiamittalaitetta. Painatus tehtiin Heliotest-laboratoriokoepainolaitteella ja painotulosta verrattiin saatuihin pinnankärheuden vaihtelujen arvoihin.

6.1 Kärheuden mittausmenetelmät

Kartongin pinnankärheuden kuvaamisessa käytetyt perinteiset menetelmät antavat yleensä pinnasta vain yhden ominaisuutta kuvaavan luvun. On selvää, että yksi luku antaa melko rajallisen kuvan kolmiulotteisen pinnan korkeussuhteista. Useimmat kärheuden mittausmenetelmät perustuvat paperin pinnan ja sitä vasten painetun tasan referenssipinnan välisen kontaktin mittaamiseen. /28/

Perinteinen tapa mitata paperin sileyttä perustuu ilman virtaukseen paperin tai kartongin ja sileäksi hiotun pinnan välisistä raoista. Mitattava pinta painetaan tietyllä paineella hiottua rengasta vasten, minkä jälkeen mitataan menetelmän mukaan renkaan ja paperin tai kartongin välistä virtaavan ilman nopeus tai määrä. /28/

Karheuden eli sileyden mittaamiseksi on olemassa myös optisia menetelmiä. Optiset menetelmät mittaavat paperin tai kartongin pinnasta heijastusluvun hiotun lasiprisman avulla. Profilometrimittaukset taas mittaavat sensorin ja tutkittavan materiaalin välistä etäisyyttä esimerkiksi lasersäteen avulla. Profilometrillä on mahdollista saada yksityiskohtaisempia tietoja paperin tai kartongin pinnan muodoista. /28/

6.1.1 PPS-karheus

Parker-Print-Surf menetelmässä testattava näyte painetaan pyöreää mittauspintaa vasten. Mittauspintaa leveämmät ulko- ja sisämittauspinnat puristuvat näytettä vasten ilmatiiviisti ja estävät siten lateraalisen ilmavuodon. Ilmavirtaus mitataan ilman virratessa määrättyllä paineella mittauspinnan alla olevan rengasmaisen alueen halki tai vertaamalla mittauspinnan ja tunnetun vastuksen välistä paine-eroa. Pinnan karheus lasketaan ilman virtausnopeudesta ja ilmaistaan mikrometreissä. Mittauspaine PPS-menetelmässä on noin 490–1960 kPa, joka vastaa nippipainetta painokoneilla. Menetelmä soveltuu kaikille papereille ja kartongeille, jotka voidaan asettaa ilmatiiviisti mittapään pintoja vasten. PPS-karheus soveltuu erityisesti mikrokarheuden mittaamiseen. /1; 10; 31/

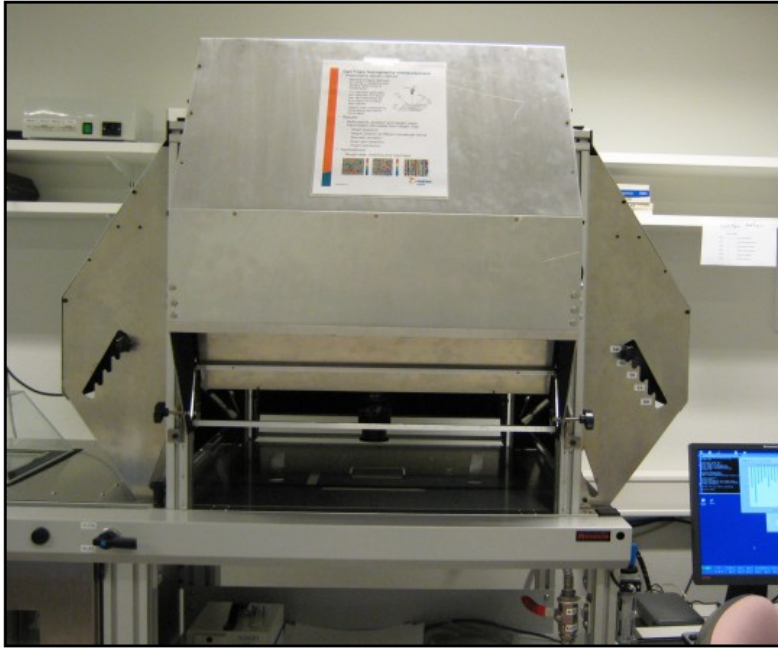
6.1.2 Bendtsen-karheus

Bendtsen-karheuden mittalaite soveltuu erityisesti paperin ja kartongin makrokarheuden mittaamiseen. Mittaustilanteessa näyte asetetaan kumisen tiivisteeseen ja rengasmaisen, sileän pinnan väliin. Näytteeseen kohdistuva paine on 98 kPa. Mitattava arvo on mittapään ja näytepinnan välistä virtaavan ilman määrä (ml/min). Kuten myös PPS-karheuden mittauksissa, Bendtsen-karheuden mittauksessa kartonki tai paperi on sitä sileämpi, mitä pienempi mitattu arvo on. /10; 30/

Muita ilman virtaamiseen perustuvia mittaamenetelmiä ovat mm. Bekk-, Sheffield- ja Stylus-karheus. /10/

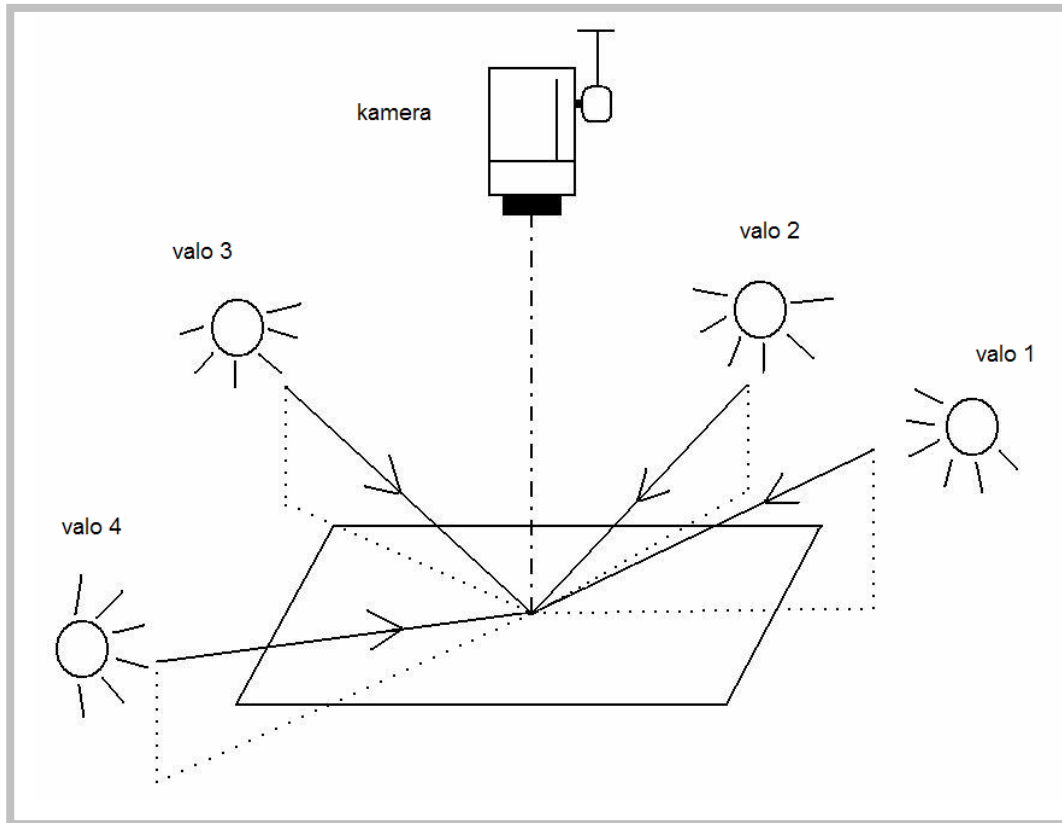
6.2 OptiTopo-topografiamittalaite

OptiTopo-topografiamittalaitten avulla voidaan mitata paperin ja kartongin pinnankarheutta. Laitteen toiminta pohjautuu fotometrinen stereo-menetelmään. Fotometrinen stereo on viistovalokuvausta, joka perustuu viistosti materiaalin pintaan suunnattujen valojen muodostamiin varjoihin. OptiTopo-mittalaite on kuvassa 9.



Kuva 9. OptiTopo-topografiamittalaite

Kuten kuvasta 10 nähdään, OptiTopo-menetelmässä valonlähteet on suunnattu vuorotellen paperin pintaa kohden neljästä eri suunnasta. Heijastuvan valon ja varjojen avulla voidaan kuvata ja laskea näytteestä pinnan muoto.



Kuva 10. OptiTopo-topografiamittalaitteen periaate /29/

Pinnan topografian laskennan vaiheet ovat gradientin laskenta ja gradientin integrointi. Gradientti lasketaan viistovalokuvista kaavalla:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{\tan \gamma} \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}, \quad (1)$$

jossa γ on valaistuskulma, E_1 on vasemmalta valaistulla valolla muodostettu kuva ja E_2 on oikealta valaistettu kuva.

Pinnanmuotojen laskeminen tapahtuu integroimalla gradientti.

Oikea valaistuskulma määräytyy mitattavan kartongin karheuden perusteella. Tässä työssä käytetty valaistuskulma pinnan normaalin suhteen on 60° . Valojen asemoinnin mukaan valo jakautuu mitattavalle pinnalle epätasaisesti. Valotasapainon korjaus tapahtuu kalibroimalla mittalaite valkoisella mattalasilevyllä. Muut käytetyt mittaasetukset ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Optitopo-topografiamittalaitteen mittaussasetukset. /24; 29/

Objektiivi, mm	60
Aukon koko	8
Fokus	0,219
Peilien kulma, °	60
Valotusaika, ms	1100
Kuvan koko, mm	15

OpitiTopolla tuloksena saadaan heijastus-, gradientti- ja korkeuskarttakuvat.

Korkeuskarttakuvista lasketut parametrit ovat korkeusvaihtelun keskihajonta, syvimpien kuoppien laskenta ja korkeusvaihtelu eri aallonpituuskaistoilla. /29/

6.1.1 Topografian laskennassa käytetyt tunnusluvut

Topografiavaihteluita kuvataan vaihtelujen keskihajonnan avulla. Keskihajonta on käytetyin hajonnan mitta, ja se kuvaa havaintoarvojen ryhmittymistä keskiarvonsa ympärille.

Keskihajontaa merkitään s-kirjaimella ja sen laskukaava on:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (2)$$

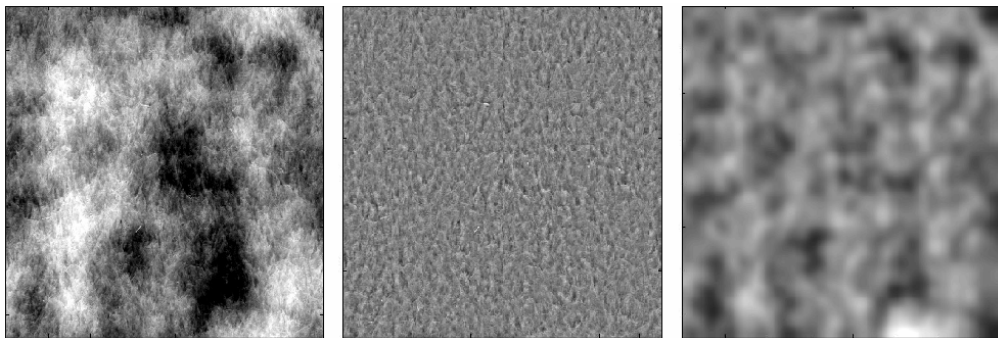
jossa s on keskihajonta, \bar{x} on keskiarvo ja n on havaintoarvojen lukumäärä. /17/

Topografian mittaustulosten virherajat on laskettu 95 %:n luottamusvälillä. Tämä tarkoittaa, että perusjoukon tunnusluku on 95 %:n varmuudella ilmoitetulla luottamusvälillä. Virherajat on laskettu tuloksena saadusta datasta kaavalla:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{2\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (3)$$

jossa N on mittauspisteiden lukumäärä ja σ on tunnusluvun keskihajonta N mittauksessa. Tässä työssä mittausten lukumäärä N arkilta oli viisi. /29/

Topografian vaihtelut voidaan jakaa vaihtelun koon mukaan karheuden eri aallonpituuksiin. Aallonpituuskaistoihin jakamalla datasta voidaan selvittää, miten suuruusluokaltaan eri tyyppiset pinnankarheuden vaihtelut vaikuttavat painettavuuteen. Eri aallonpituusvaihtelut saadaan periaatteessa laskemalla keskihajonta korkeuskarttakuvasta, josta on suodatettu muiden aallonpituusalueiden vaihtelut pois. Käytännössä kaistat lasketaan kuitenkin suoraan korkeuskartan spektristä Fourier-muunnoksella (FFT, Fast Fourier Transform). /29/



Kuva 11. Korkeuskarttakuvat eri aallonpituuskaistoilta laskettuna /29/

Kuvassa 11 on vasemmalla alkuperäinen korkeuskarttakuva, jossa näkyvät aallonpituusvaihtelut kaikilla mitatuilla alueilla. Keskimmäisessä kuvassa on jäljellä aallonpituusvaihtelut välillä 0...1 mm, muut kaistat on kuvasta suodatettu pois. Oikeanpuoleisessa kuvassa pienin valittu aallonpituuskaista on suodatettu pois, ja siinä näkyvät aallonpituusvaihtelut alueella 1...5 mm. Kuvassa 11 yhden kuvan koko on 15 x 15 mm. /29/

Koska puuttuvien pisteiden oletetaan korreloivan erityisesti kartongin pinnassa olevien syvimpien kuoppien kanssa, on tärkeää tarkastella tarkemmin juuri näitä alueita. Tässä työssä on tulosten tarkastelussa käytetty kahta raja-arvoa: Heliotest-painettavuuden ja kartongin pinnan kuoppien korrelaatiota alueella, jossa on jäljellä 1 % tai 2 % pinnan syvimmistä kuopista. /29/

6.2 Heliotest

Paperin painettavuus syväpainossa riippuu useista paperin ominaisuuksista. Esimerkiksi pinnan laatu, veden absorptio, dynaaminen kokoonpuristuvuus ja huokoisuus vaikuttavat painettavuuteen. Yksittäisiä ominaisuuksia mittaamalla ei kuitenkaan vielä voida ennustaa paperin tai kartongin painettavuutta kokonaisuutena. Ranskassa CTP:n (Centre Technique de

l'Industrie des Papiers) kehittämä Heliotest-laboratoriokoepainolaite yhdistää edellä mainitut parametrit, jolloin sen avulla voidaan ennustaa syväpainopapereiden ja kartonkien painettavuutta. Menetelmä on standardoitu Ranskassa standardin NF Q 61-002 mukaisesti. Kuvassa 12 on tässä työssä käytetty IGT AIC2-5 koepainolaite. /26/



Kuva 12. IGT-AIC2-5 Heliotest-laboratoriokoepainolaite /14/

IGT Heliotest -laitteisto koostuu kaiverretusta painatussyylinteristä, kaavausterästä ja laitteelle tarkoitettu painoväristä. Heliotest-mittauksissa käytettiin kiekkoa (syylinteriä), jossa on säilyttään portaattomasti muuttuva rasteri. Käytetyn kiekon tyyppi (kuva x) oli A30, jossa visuaaliseen arviointiin tarkoitettu alue on 30 mm leveä. /25; 27/



Kuva 13. Heliotest-koepainolaitteen painosyylinteri A30

Tasasävyisen kentän peittävyys painosylinterissä on 100 % ja portaattomasti muuttuvan rasterialueen peittävyys alenee asteittain 50 %:sta 5 %:iin. Pisteiden koko tasasävyisellä alueella on 120 x 120 µm ja portaattomasti muuttuvalla alueella 100 x 100 µm. Kaiverretun kiekon tarkemmat ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on esitetty portaattomasti muuttuvan rasterialueen kuppien syvyydet alueen alusta loppuun. Kaiverretun rasterikupin aukon/syvyyden suhde on kiekossa vakio, joten myös värin irtoaminen on lähes vakio. /27/

Taulukko 2. Heliotest painatuskiekon ominaisuudet /25/

Kiekko	l / cm	l / inch	stylus- kulma, °	rasterikulma, °	kupin syvyys, µm
402.154.414	70	175	140	53	33/31/30/29/26/24/20/ 17/14/11+33-0

Painettavuus mitattiin painamalla testattava kartonki koepainolaitteella edellä mainittujen parametrien mukaisesti. Painatusnopeutena käytettiin tasaista nopeutta 1 m/s, ja painatuspaine oli 450 N. Painatusalustana käytettiin kumialustaa, jonka päällä oli kova Astralon-muovi. Painoväri oli standardi punainen Heliotest-väri. Koepainolaitteen tekniset tiedot ja parametrien muutosmahdollisuudet ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. Koepainolaitteen tekniset tiedot /25/

IGT-Heliotest AIC2-5 koepainolaitteen tekniset tiedot:	
Laitteen paino	100 kg
Mitat	485 x 465 x 580 mm ³
Painatuksen nopeus	tasainen 0,2-5,0 m/s, kiihtyvä 0,5-7,0 m/s
Painatuspaine	100-1000 N
Painatuksen leveys	50 mm
Painatuksen pituus	200 mm
Sähkö	110/220 V/10 AT/1000 W/50-60 Hz
Melutaso	< 70 dB

Kaavarointi tapahtuu IGT AIC2-5 -koepainolaitteella noin 60 °:n kulmassa, joka saattaa muuttua hiukan liikkeen vaikutuksen vuoksi. Terän painokiekolle kohdistama paine on noin 7 N. Pienetkin erot kaavarointipaineessa, -kulmassa tai värin viskositeetissa saattavat vaikuttaa tuloksiin, joten hyvin tarkkaa vertailua laitteella on vaikeaa tehdä. Raakeli- eli kaavarointilaitteisto on kuvassa 14. /27/



Kuva 14. Heliotest-koepainolaitteen kaavarointilaitteisto

Koska käytetyllä laitteella (taulukko 3) nopeus on sama painatuksen koko alueella, myös painettujen näytteiden keskinäinen vertailtavuus on yleensä hyvä.

6.3 Tulosten vertailu

Heliotest- ja OptiTopo-mittalaitteiden tulosten välistä korrelaatiota on tässä työssä kuvattu Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Pearsonin korrelaatiokerroin r soveltuu lineaarisille, välimatka-asteikollisille muuttujille, ja se lasketaan kaavalla:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})\sum(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4)$$

jossa \bar{x} on x-havaintoarvojen keskiarvo ja \bar{y} on y havaintoarvojen keskiarvo.

Korrelaatiokerroin voi saada arvoja -1:n ja 1:n välillä. Kun korrelaatiokerroin on $< 0,3$, muuttujien välillä ei ole juurikaan lineaarista riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen ollessa $0,3-0,7$ voidaan sanoa, että muuttujien välillä vallitsee kohtalainen korrelaatio. Kun kerroin on $> 0,7$, muuttujien välillä on voimakas lineaarinen riippuvuus. Selitysasteen $r^2 \cdot 100$ avulla voidaan

laskea, miten suuri osa selitettävän muuttujan y vaihtelusta voidaan selittää selittävän muuttujan x avulla. /15; 21/

7 KOKEELLINEN OSA

Työn kokeellinen osa oli kaksivaiheinen. Pinnankarheuden mittaukset tehtiin Metso Paper Rautpohjassa OptiTopo-topografiamittalaitteella ja kartonkinäytteiden painettavuuden tutkimukset tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulussa Heliotest-koepainolaitteella.

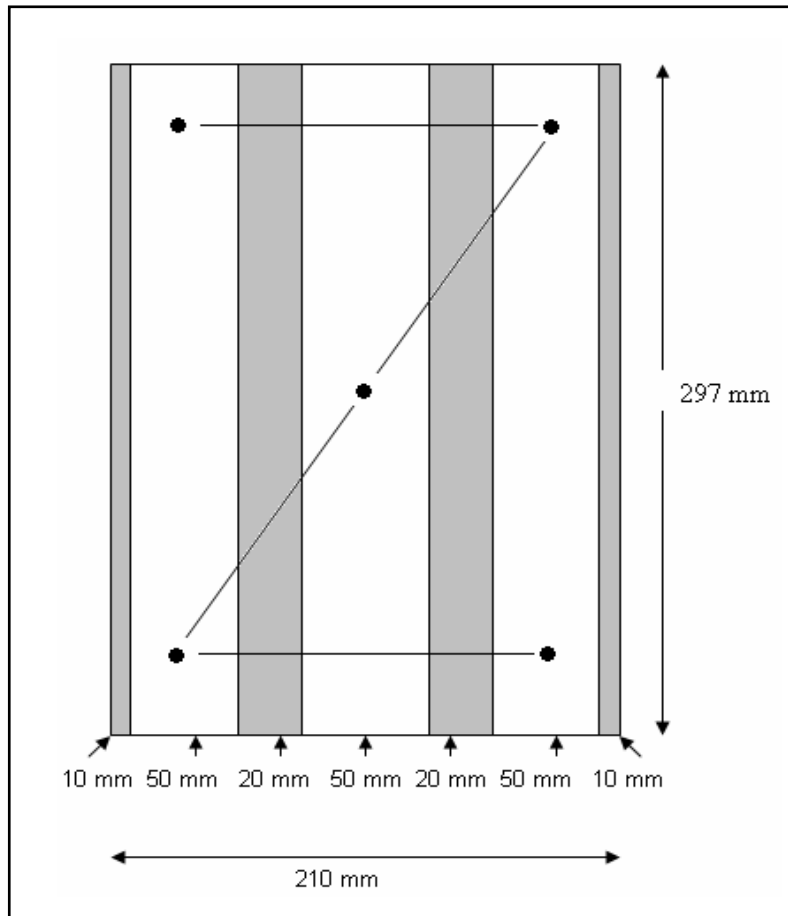
Heliotest-mittauksien tarkoituksena oli koepainaa OptiTopolla mitatut arkit ja verrata painojälkeä OptiTopon avulla mitattuun kartonkien pinnankarheuteen. Topografia-mittausten mittaustuloksia arvioitiin sekä visuaalisesti että numeerisen datan avulla.

Eri kartonkilajeja tutkimuksessa oli yhteensä 13. Kustakin lajista oli 3–5 näytettä. OptiTopo-topografiamittaukset tehtiin yhdestä näytearkista. Heliotest-koepainaukset tehtiin jokaisesta näytearkista, eli lajin mukaan kolmesta tai viidestä arkista, kustakin kolme koeliuskaa. Painetuista näytteistä laskettiin perinteisellä menetelmällä etäisyys painatuksen alusta 20. puuttuvaan pisteeseen. Työssä käytetyt kartonkinäytteet ovat taulukossa 4, josta nähdään päivämäärä, jolloin näyte on lähtenyt tehtaalta, kartongin laji, mitattu paksuus ja tehtaan ilmoittama neliömassa tuotteelle. Kaikista näytteistä ei tietoja ollut saatavilla.

Taulukko 4. Työssä käytetyt kartonkinäytteet

NÄYTE	PVM	LAJI	PAKSUUS μm	NELIÖM. g/m^2
A	23.11.2006	WLC	325	250
B	13.09.2006	Coated WTL	180	185
C	17.10.2006	FBB	425	275
D	04.10.2006	SBS	265	230
E	23.04.2007	FBB	300	200
F	11.10.2006	FBB	470	280
G	26.03.2007	FBB	290	215
H	26.03.2007	FBB	445	280
I	12.03.2007	LPB	425	275
J	24.05.2007	FBB	390	240
K	04.10.2006	SBS	260	220
L	20.07.2007	FBB	300	225
M	-	WLC	400	320

Kuvasta 15 nähdään OptiTopon koepisteiden ja Heliotest-koeliuskojen sijoittuminen A4-kokoisille näytearkeille. OptiTopo –mittauksissa yhdeltä arkilta mitattiin yhteensä viisi koepistettä. Koepisteet näkyvät kuvassa 15 mustina palloina Z-muodossa. Kuvassa 15 valkoiset alueet edustavat Heliotesteissä käytettyjä koeliuskoja. Yhdeltä arkilta tehtiin siis yhteensä 3 Heliotest-koepainatusta. Kuvassa olevat harmaat alueet poistettiin ennen Heliotestien tekemistä.



Kuva 15. OptiTopo- (mustat pallot) ja Heliotest-mittalaitteilla (valkoiset alueet) testattavat alueet A4-näytearkilla

7.1 Mittaustulokset

Kartonkinäytteiden pinnankarheuden mittaamisessa käytettiin OptiTopo-toografiamittalaitetta. Mittausasetukset, fokusointi, valotusajan etsintä ja tulosten analysointi tehtiin Metso Paperin laboratorion ohjeiden mukaisesti.

Koepainatuksissa käytettiin mittalaitteena Heliotest IGT AIC2-5 -koepainolaitetta. Analyysi koepainatuksen painojäljestä tehtiin standardimenetelmällä. Vertailtavuuden vuoksi standardimenetelmää käytettiin myös näytteillä, joilla 20. puuttuva piste oli alle 20 mm:n etäisyydellä painatuksen alusta. Tämän vuoksi karheimpien näytteiden välille ei tässä työssä saatu selvää eroa.

7.1.1 Kartonkilajien topografia-mittausten tulokset

Taulukoihin 5 ja 6 on koottu OptiTopo-mittausten tulokset. Taulukoista nähdään kartonkilajien topografioiden keskihajonnat, keskihajontojen virherajat sekä keskihajonnat virheineen 1 %:n ja 2 %:n alueilla pinnan syvimmistä kuopista.

Taulukko 5. Topografia-vaihteluiden keskihajonnat virherajoihin alkuperäisestä kuvasta laskettuna

Näyte	keskihaj., μm	virhe, \pm	keskihaj. 2%	2% virhe, \pm
A	2,8	0,3	-6,0	0,6
B	4,7	0,3	-9,6	0,8
C	3,6	0,2	-7,2	0,7
D	2,1	0,2	-4,6	0,6
E	2,7	0,4	-7,0	2,0
F	3,2	0,3	-6,9	0,7
G	1,9	0,3	-3,8	0,3
H	2,1	0,2	-4,5	0,5
I	4,7	0,5	-10	1,0
J	2,0	0,2	-4,5	0,5
K	2,2	0,2	-4,7	0,4
L	2,1	0,1	-4,5	0,4
M	5,7	0,7	-11	2,0

Taulukko 6. Topografia-vaihteluiden keskihajonnat virherajoihin suodatetusta kuvasta laskettuna

Näyte	keskihaj. μm	virhe, \pm	keskihaj. 1%	1% virhe, \pm
A	1,28	0,05	-3,0	0,2
B	2,09	0,07	-5,2	0,2
C	0,98	0,03	-2,5	0,1
D	0,82	0,06	-2,2	0,2
E	0,61	0,04	-1,6	0,2
F	1,09	0,04	-2,9	0,2
G	0,74	0,05	-1,9	0,2
H	0,66	0,04	-1,5	0,1
I	2,12	0,04	-5,0	0,1
J	0,79	0,02	-1,8	0,1
K	0,72	0,04	-1,9	0,2
L	0,80	0,03	-1,9	0,1
M	2,40	0,20	-2,3	0,3

7.1.2 Kartonkilajien painettavuus-mittaustulokset

Heliotest-koepainatukset tehtiin kaikista näytteistä, jolloin voitiin arvioida mahdolliset poikkeamat OptiTopolla mitatuista näytearkeista. Painamalla kaikki näytteet siis selvitetiin, miten hyvin OptiTopolla mitattu näytearkei edustaa kyseistä kartonkilaatua. Taulukoista 5 ja 6

nähdään, että näytearkkien väliltä löytyy vaihtelua, mutta varsinaisia poikkeamia näytteistä, jotka on mitattu OptiTopolla, ei ollut. Keskihajonnan avulla voidaan arvioida kunkin näytelajin tasalaatuisuutta. Taulukossa 7 on esitetty Heliotest-tulokset kaikista painetuista näytteistä.

Taulukko 7. 20. puuttuvan pisteen etäisyys (mm) kaikista painetuista näytteistä laskettuna

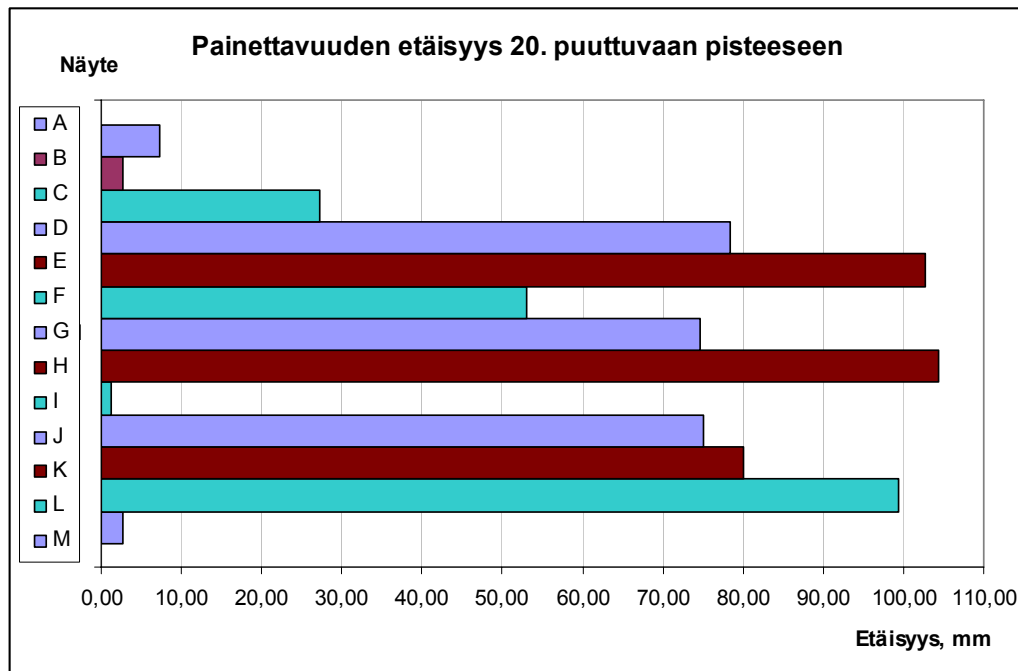
NÄYTE	LAJI	KESKIVARVO	KESKIHAJONTA
A	WLC	4,67	3,24
B	WTL	4,07	1,58
C	FBB	26,9	6,22
D	SBS	75,5	16,8
E	FBB	96,8	7,78
F	FBB	58,1	12,1
G	FBB	77,6	8,60
H	FBB	100,3	7,31
I	LPB	1,67	0,50
J	FBB	76,6	8,78
K	SBS	82,9	7,99
L	FBB	99,1	10,0
M	WLC	2,00	0,71

Arviot kartongin pinnankarheuden vaikutuksesta painettavuuteen tehtiin kuitenkin vain arkeista, joiden topografiset vaihtelut oli mitattu. OptiTopolla mitattujen näytearkkien painettavuus eli etäisyys painatuksen alusta 20. puuttuvaan pisteeseen on taulukossa 8.

Taulukko 8. 20. puuttuvan pisteen etäisyys (mm) OptiTopolla mitatuista näytteistä laskettuna

NÄYTE	LAJI	KESKIVARVO	KESKIHAJONTA
A	WLC	7,33	2,52
B	WTL	2,67	1,15
C	FBB	27,3	2,08
D	SBS	78,3	11,0
E	FBB	103	5,03
F	FBB	53,0	5,20
G	FBB	74,7	9,81
H	FBB	104	1,15
I	LPB	1,33	0,58
J	FBB	75,0	7,00
K	SBS	80,0	8,54
L	FBB	99,3	7,09
M	WLC	2,67	0,58

Kuvasta 16 nähdään OptiTopolla mitattujen ja Heliotest-koepainolaitteella painettujen näyteliuskosten etäisyydet painatuksen alusta 20. puuttuvaan pisteeseen. Mitä pidempi etäisyys on, sitä vähemmän näytteessä on puuttuvia pisteitä, eli sitä parempi on painettavuus Heliotestillä.



Kuva 16. Heliotest-koepainolaitteen mittaustulokset eri kartonkilajeilla (A-M)

Kuvan 16 mukaan voidaan sanoa, että vähiten puuttuvia pisteitä työssä oli näytearkeissa E, H ja L. Heikoimman painojäljen taas antoivat näytearkit A, B, I ja M. Heliotest-painettavuuden mittaustulokset ovat liitteessä 2.

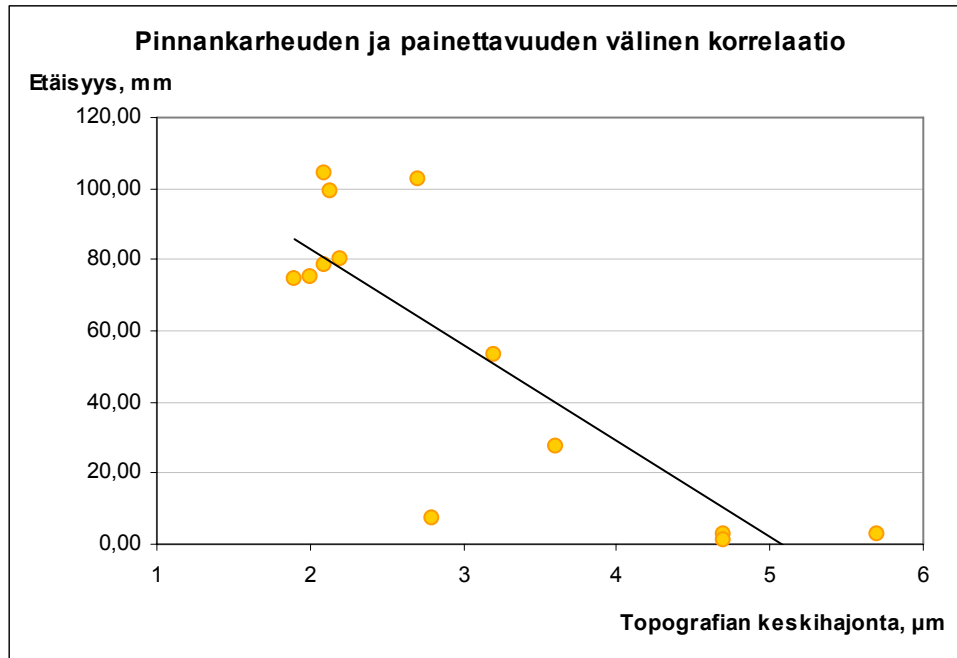
7.2 Tulosten tarkastelu

Tulosten tarkastelussa on arvioitu Heliotestillä painettujen näytteiden ja OptiTopo-mittalaitteella mitatun topografian välistä riippuvuutta. Tuloksia on tarkasteltu topografian keskihajonnan ja 20. puuttuvan pisteen välillä kaikista arvoista, sekä topografian osalta eri tavoin suodatettujen arvojen välillä. Tilastollista riippuvuutta on tarkasteltu myös vertaamalla Heliotest-painettavuutta eri aallonpituuksiin jaettuihin pinnankorkeuden arvoihin. Tulosten tarkastelussa on huomioitu niiden merkittävyys erityisesti syväpainomenetelmässä.

7.2.1 Kartongin topografisten vaihteluiden ja Heliotest-painettavuuden välinen korrelaatio

Tulosten tarkastelussa käytettiin muuttujien riippuvuuden arvioinnissa Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tarkastelluista arvoista suurin osa osoitti OptiTopo-mittalaitteella mitattujen kartongin pinnan vaihteluiden ja Heliotest-mittalaitteella mitatun painettavuuden

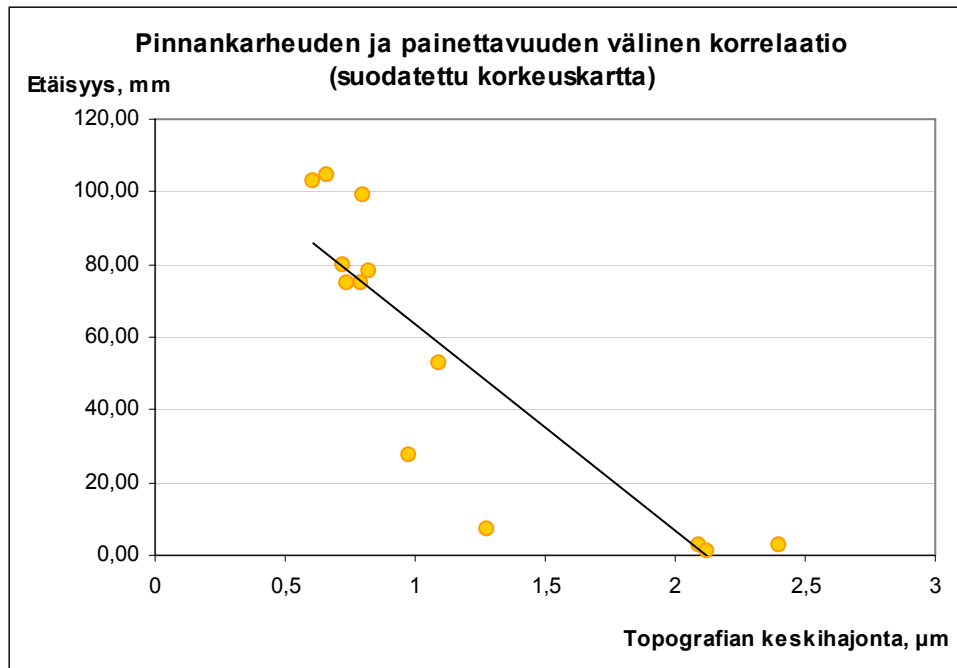
välille voimakasta korrelaatiota. Kuvaajissa x-akselilla on topografiavaihtelun keskihajonta ja y-akselilla Heliotest-painettavuuden etäisyys painatuksen alusta 20. puuttuvaan pisteeseen.



Kuva 17. Kartongin topografian vaihtelun ja puuttuvien pisteiden välinen korrelaatio

Kuten kuvasta 17 nähdään, kartongin pinnan topografisten vaihteluiden ja kartongin painettavuuden välillä on negatiivinen korrelaatio. Alkuperäisestä korkeuskartasta lasketun karheuden keskihajonnan ja Heliotestillä mitatun painettavuuden välinen riippuvuus $r = -0,83$, joka kuvaa voimakasta lineaarista korrelaatiota. Mitä korkeampi on topografisen vaihtelun arvo, sitä lyhyempi on koepainatuksessa etäisyys painatuksen alusta 20. puuttuvaan pisteeseen. Selitysaste $r^2 \approx 0,69$ eli pinnankarheuden muutokset selittävät 69 % selitettävänä olevan muuttujan, painettavuuden kokonaisvaihtelusta.

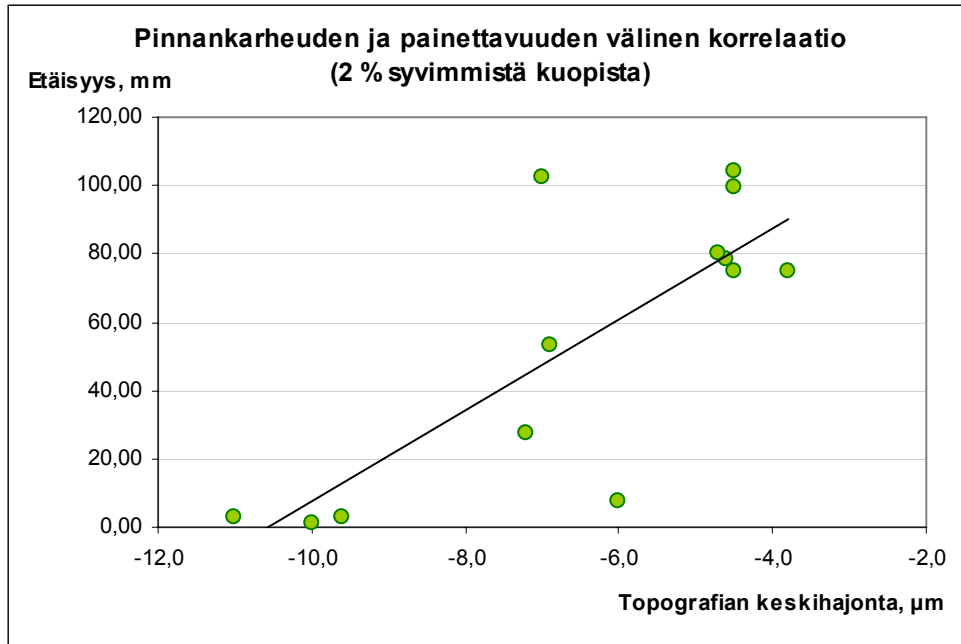
Topografiset vaihtelut jaetaan aallonpituusluokkiin. Syväpainatuksen kannalta tärkeimmäksi aallonpituusalueeksi on oletettu alue 0,125 mm–0,5 mm, joten on tarpeellista suodattaa saadusta datasta pois suuremmat topografiset vaihtelut. Pienemmän mittakaavan pinnankorkeusvaihteluja kuvaa paremmin tuloksena saatu korkeuskarttakuva ja sen arvot, joista on suodatettu pois yli 2 mm aallonpituudet. /20/



Kuva 18. Kartongin pinnankarheuden ja puuttuvien pisteiden välinen korrelaatio suodatetusta korkeuskartasta

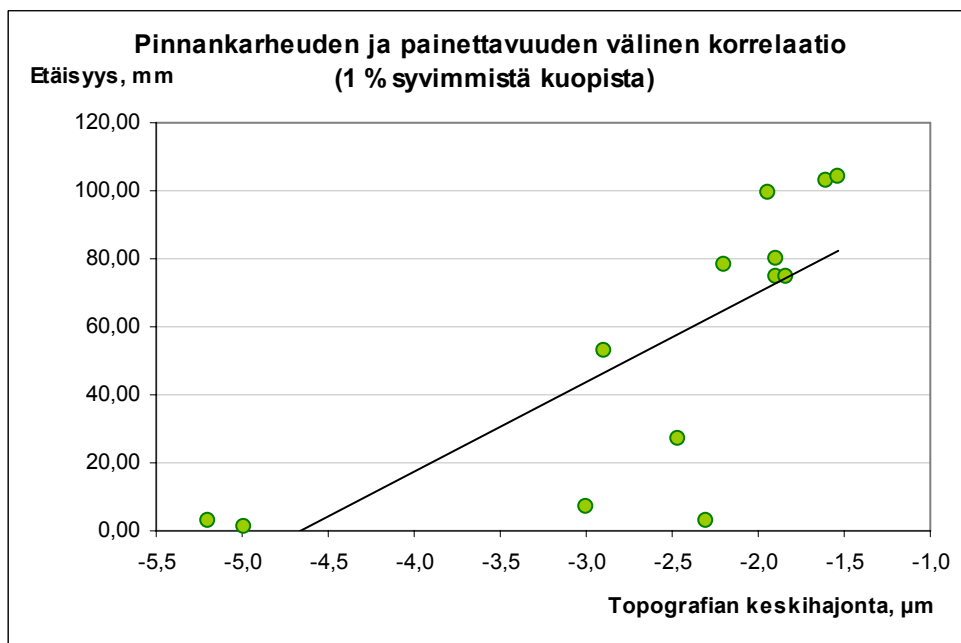
Kuvasta 18 nähdään, että kartongin pinnan vaihteluiden ja painettavuuden välinen riippuvuus on hiukan voimakkaampi suodatetuilla arvoilla. Pearsonin korrelaatiokerroin tälle aineistolle on $-0,87$, jolloin selitysaste $r^2 \approx 0,76$. Korrelaatio on siis suodatetulla aallonpituusalueella vielä voimakkaampi kuin kaikilla mitatuilla aallonpituusalueilla.

Painettavuuden arvioinnissa tärkeää on myös arvioida suurimmat korkeusvaihtelut. Korkeuskarttakuvasta saatu arvo kertoo, minkä arvon alapuolella on 2 % kartongin pinnan syvimmistä kuopista. Näihin kohtiin tyypillisimmin syväpainossa tulee puuttuva piste, kun painoväri ei saa kontaktia paperin pintaan. Tuloksissa on otettava huomioon myös se, että mittaustapahtumassa viistottain kartongin pintaan suunnattu valo ei saavuta syvimpien kuoppien pohjaa, jolloin arvo saattaa olla todellisuudessa pienempi.



Kuva 19. Syvyysvaihtelujen (suurimmat 2 % alueella) ja painettavuuden välinen korrelaatio

Kuten kuvasta 19 nähdään, painettavuuden ja syvimpien 2 %:n alueiden välinen riippuvuus on positiivinen. Mitä syvempiä kuopat kyseisessä kartonkilajissa ovat, sitä heikompi on painettavuus Heliotest-koepainolaitteella. Vähiten puuttuvia pisteitä oli kartonkilajeilla, joiden pinnan korkeuserot 2 %:n alueella olivat pienimpiä. Pearsonin korrelaatiokerroin käytetyillä parametreilla on $r = 0,79$, jolloin selitysaste $r^2 \approx 0,62$. Suurimmat vaihtelut 2 %:n alueella selittävät siis 62 % painettavuuden varianssista.



Kuva 20. Syvyysvaihtelujen (suurimmat 1%:n alueella) vaikutus painettavuuteen

Myös 2 mm:n aallonpituuteen suodatetusta korkeuskarttakuvasta saadaan osuus, joka kuvaa vain syvimpiä kohtia kartongin pinnassa. Kuvasta 20 nähdään, että pienemmän mittakaavan vaihteluista syvimät 1 %:n alueella olevat kuopat korreloivat painettavuuden kanssa myös positiivisesti. Pearsonin korrelaatiokerroin 0,77 kertoo voimakkaasta korrelaatiosta. Riippuvuus on kuitenkin hieman heikompi kuin esimerkiksi tarkasteltaessa täysin suodattamattomia arvoja tai suodatettuja arvoja kaikilla aallonpituuksilla.

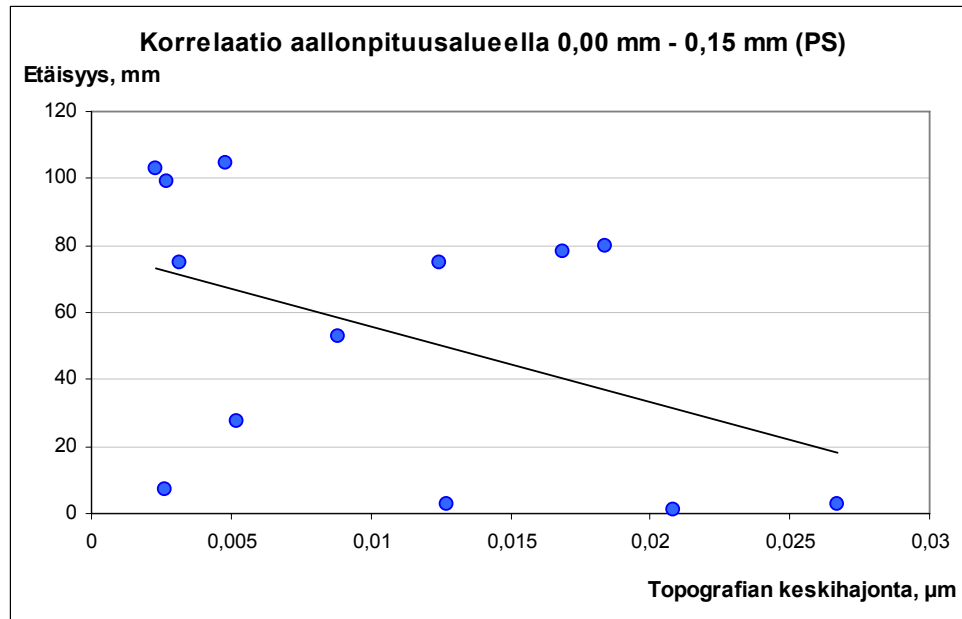
7.2.2 Topografian eri aallonpituusalueiden vaikutus painettavuuteen

Kaikki kartongin pinnan topografisten vaihteluiden aallonpituudet eivät vaikuta painettavuuteen ja puuttuvien pisteiden muodostumiseen samalla tavoin, minkä vuoksi spektriä on syytä tarkastella osissa. Taulukossa 9 on esitetty neljän eri aallonpituusalueen karheuksien vaikutus painettavuuteen. Tuloksia on tarkasteltu erikseen konesuunnassa (KS) ja poikkisuunnassa (PS). Mittaustulokset eri aallonpituusalueilla ovat liitteessä 1.

Taulukko 9. Heliotest-painettavuuden ja topografian vaihtelujen korrelaatio eri aallonpituusalueilla

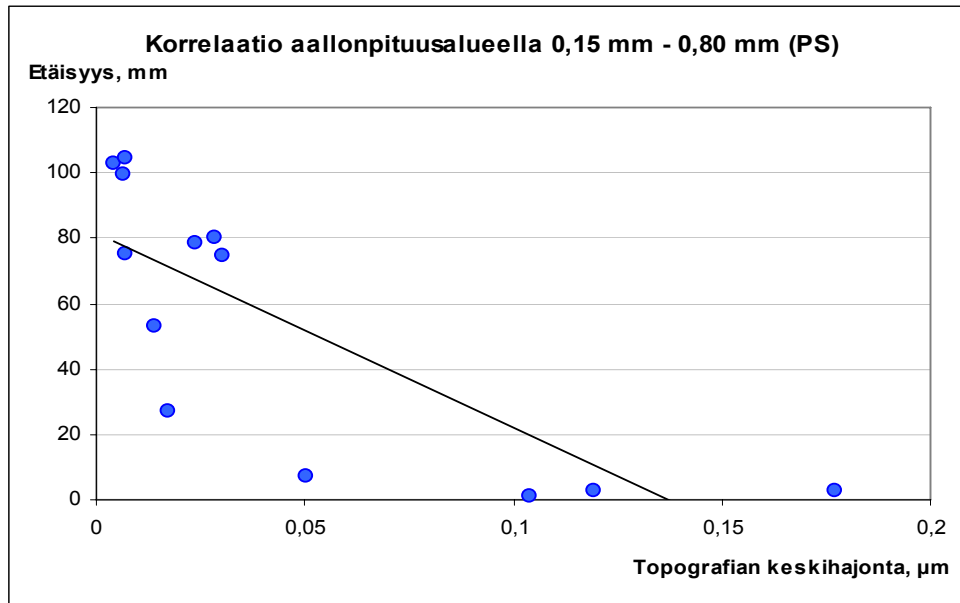
aallonpituusalue (PS)	korrelaatiokerroin
0,00 mm – 0,15 mm	-0,45
0,15 mm – 0,80 mm	-0,79
0,80 mm – 1,60 mm	-0,75
1,60 mm – 4,00 mm	-0,66
aallonpituusalue (KS)	korrelaatiokerroin
0,00 mm – 0,15 mm	-0,49
0,15 mm – 0,80 mm	-0,74
0,80 mm – 1,60 mm	-0,82
1,60 mm – 4,00 mm	-0,54

Taulukosta 9 nähdään, että heikoin korrelaatio on pienimmillä (0,00 mm–0,15 mm) ja suurimmilla (1,60 mm–4,00 mm) aallonpituuksilla sekä kone- että poikkisuunnassa. Voimakkain korrelaatio on aallonpituusalueella 0,15 mm–1,60 mm sekä kone- että poikkisuunnassa. Kaikissa aallonpituusluokissa pinnan topografisen hajonnan ja Heliotest-painettavuuden välillä oli vähintään kohtalainen negatiivinen korrelaatio.



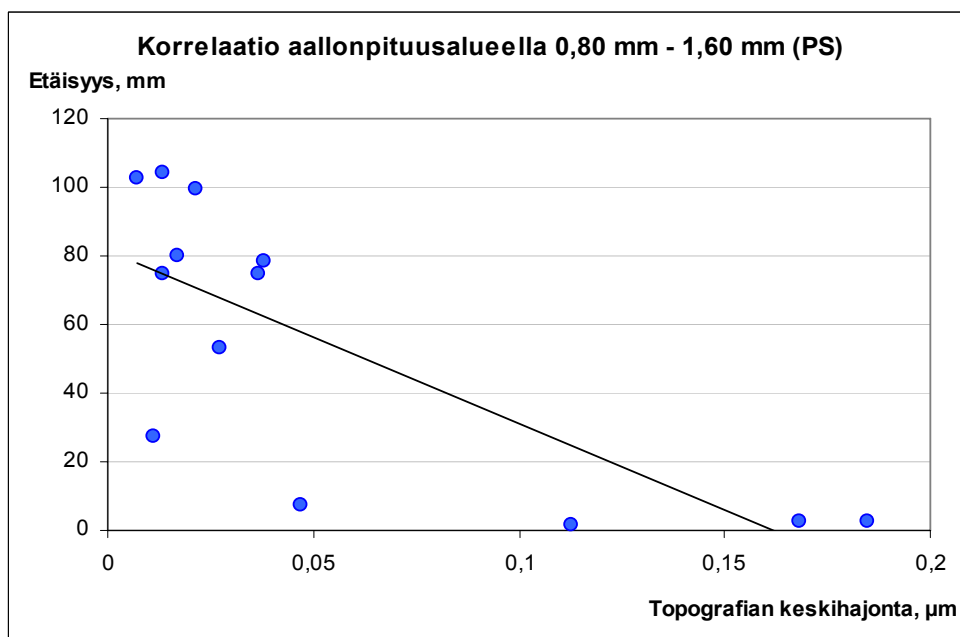
Kuva 21. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio poikkisuunnassa aallonpituusalueella 0,00 mm – 0,15 mm

Kuten kuvasta 21 nähdään, pienimmässä aallonpituusluokassa korrelaatio ei silmämääräisesti ollut merkittävä topografisten vaihteluiden ja painettavuuden etäisyyden 20. puuttuvaan pisteeseen välillä. Korrelaatiokerroin -0,45 kuitenkin kertoo, että tilastollinen riippuvuus muuttujien väliltä löytyy. Mitä suurempi kartongin pinnan vaihtelujen hajonta OptiTopo-mittauksessa on, sitä heikompi on myös kartongin painettavuus Heliotest-koepainolaitteella. Heikohko korrelaatio aallonpituusalueella 0,00–0,15 mm saattaa johtua myös siitä, että OptiTopo-mittalaitteen tarkkuus ei ole riittävä näin pienen mittakaavan vaihteluiden mittaamiseen.



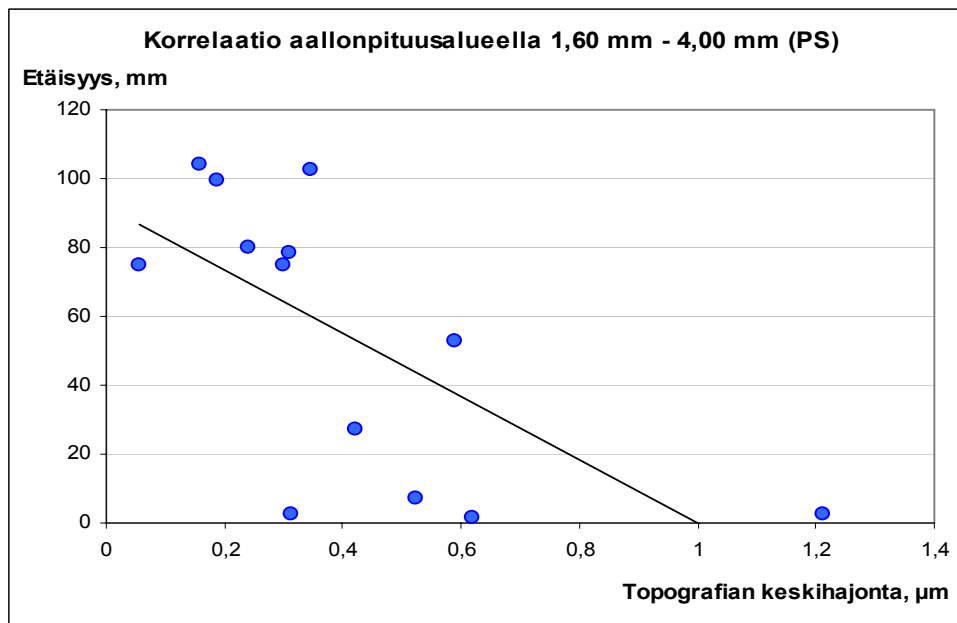
Kuva 22. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio poikkisuunnassa aallonpituusalueella 0,15 mm–0,80 mm

Kuten kuvasta 22 nähdään, 20. puuttuvan pisteen ja topografian vaihteluiden välinen korrelaatio aallonpituusalueella 0,15 mm–0,80 mm on poikkisuunnassa selvästi pienintä tarkasteltua luokkaa parempi. Myös korrelaatiokerroin $-0,79$ on merkittävä, se kuvaa voimakasta negatiivista korrelaatiota muuttujien välille.



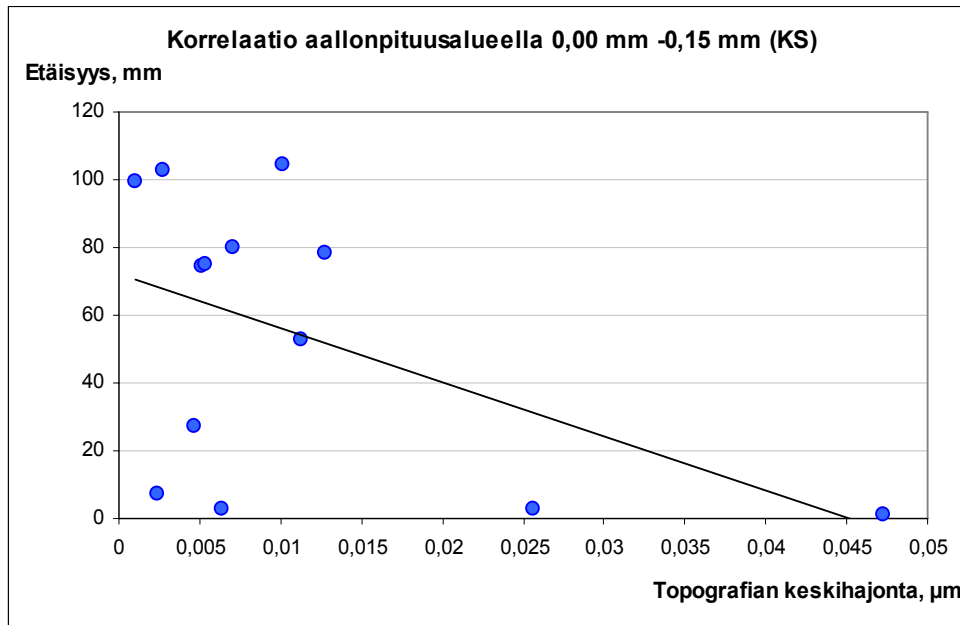
Kuva 23. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio poikkisuunnassa aallonpituusalueella 0,80 mm–1,60 mm

Myös aallonpituusalueella 0,80 mm–1,60 mm kartonkinäytteiden topografian keskihajonnan ja 20. puuttuvan pisteen välille löytyi poikkisuunnassa voimakas korrelaatio (kuva 23). Korrelaatiokerroin muuttujille on $-0,75$ ja selitysaste $r^2 \approx 0,56$. Kuvaajista nähdään, että aallonpituusalueella 0,15 mm–1,60 mm mitatut näytteet olivat pisteiden sijoittumisen perusteella joko todella hyvin tai todella huonosti syväpainatukseen soveltuvia. Ns. keskitason näytteitä ei tutkimuksessa ollut montaa.



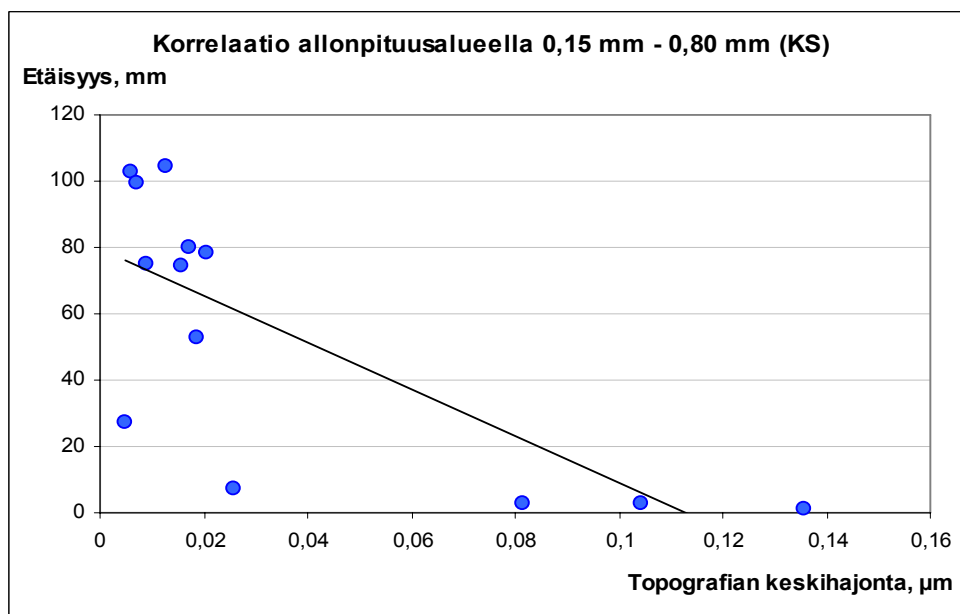
Kuva 24. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio poikkisuunnassa aallonpituusalueella 1,60 mm – 4,00 mm

Poikkisuunnassa suurimman mitatun aallonpituusluokan, 1,60 mm – 4,00 mm muuttujien välinen korrelaatiokerroin oli $-0,66$. Kuten myös kuvasta 24 nähdään, Heliotest-painettavuuden ja OptiTopolla mitatun topografiavaihtelun korrelaatio tällä kaistalla oli hieman heikompi kuin aallonpituusluokissa 0,15 mm–1,60 mm.



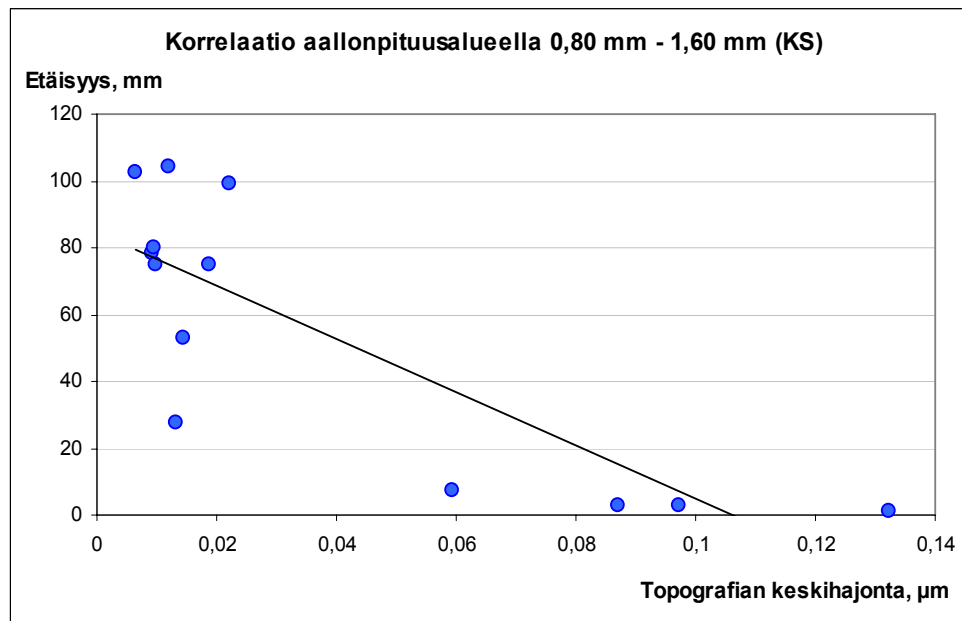
Kuva 25. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio konesuunnassa aallonpituusalueella 0,00 mm–0,15 mm

Kuvasta 25 nähdään, että konesuunnassa pisteiden sijoittuminen kuvaajaan poikkeaa poikkisuuntaisesta (kuva 21), mutta korrelaatio muuttujien välillä pienimmässä aallonpituusluokassa on myös konesuunnassa heikohko. Korrelaatiokerroin $-0,49$ kertoo, että tilastollinen riippuvuus löytyy, mutta sitä ei voida aallonpituuskaistalla 0,00 mm–0,15 mm myöskään konesuunnassa sanoa merkittäväksi.



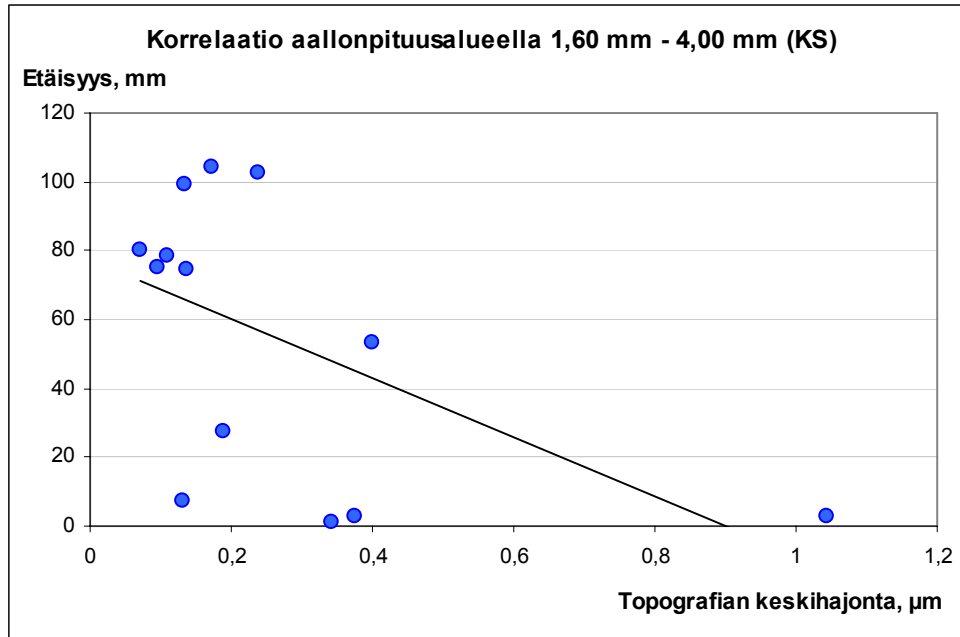
Kuva 26. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio konesuunnassa aallonpituusalueella 0,15 mm–0,80 mm

Aallonpituuskaistalla 0,15 mm–0,80 mm konesuunnassa Heliotest-painettavuuden ja pinnankarheuden välinen korrelaatio oli -0,74. Kuvasta 26 nähdään, että kartonkilajeja kuvaavat pisteet sijoittuvat kuvaajalla selvästi Heliotest-painettavuudeltaan hyvälaatuisiin ja huonolaatuisiin tuotteisiin. Koska on todettu, että Heliotest-koepainolaitteella ei heikkolaatuisten näytteiden välille saatu suurta eroa, on kuvaajaa syytä tarkastella kriittisesti. Pearsonin korrelaatiokerroin muuttujille kertoo kuitenkin voimakkaasta negatiivisesta korrelaatiosta.



Kuva 27. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio y-suunnassa aallonpituusalueella 0,80 mm–1,60 mm

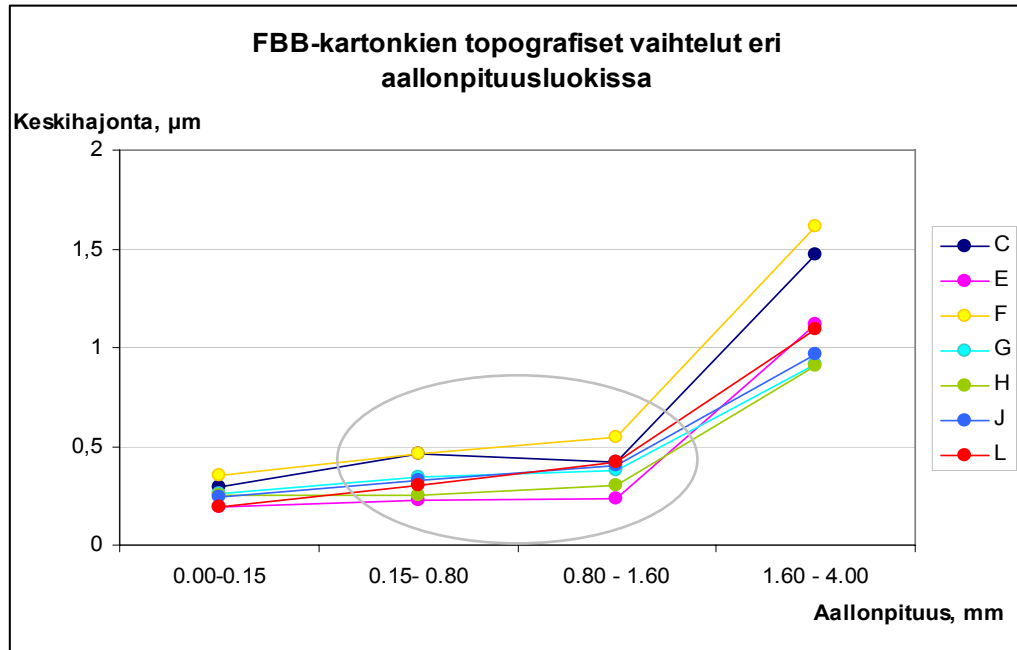
Kuten taulukosta 9 ja kuvasta 27 voidaan lukea, konesuunnassa voimakkain korrelaatio puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välillä oli aallonpituusluokassa 0,80 mm–1,60 mm. Yleisesti voidaan sanoa, että ennustettaessa kartongin painettavuutta syväpainossa suurin merkitys painettavuudelle on kone- ja poikkisuuntaisilla topografian vaihteluilla aallonpituusalueilla välillä 0,15 mm–1,60 mm.



Kuva 28. Puuttuvien pisteiden ja topografian keskihajonnan välinen korrelaatio y-suunnassa aallonpituusalueella 1,60 mm–4,00 mm

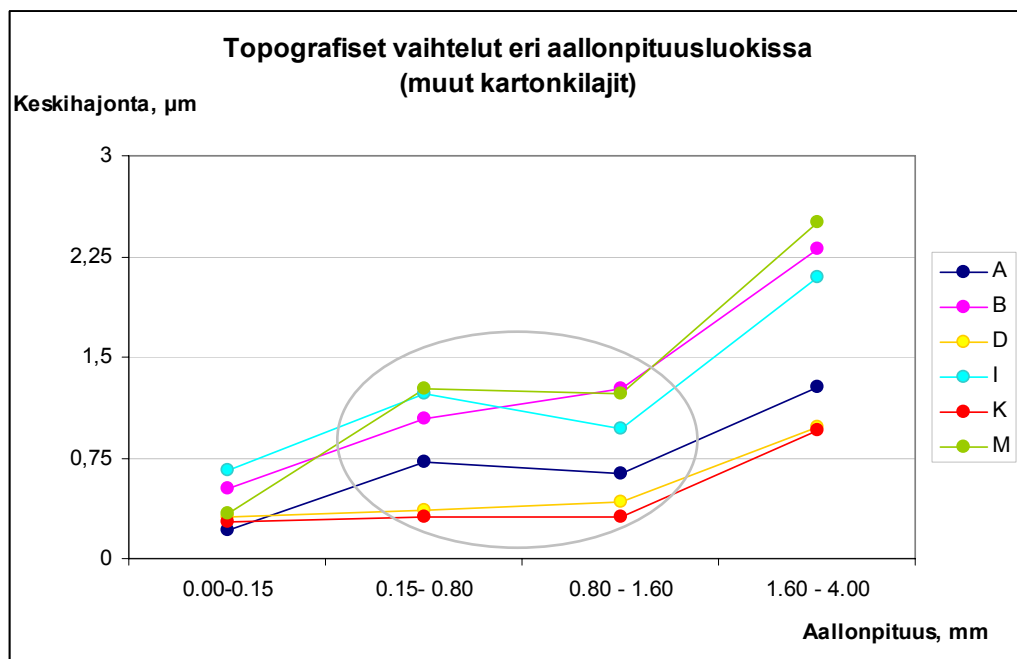
Konesuunnassa aallonpituusalueella 1,60 mm–4,00 mm muuttujien välinen korrelaatiokerroin on -0,54. Myös kuvasta 28 nähdään, että korrelaatio suurimmassa määritellyssä aallonpituusluokassa oli konesuunnassa heikompi kuin aallonpituusalueilla 0,15 mm–1,60 mm.

Koska kartongin painettavuuteen on todettu pääasiassa vaikuttavan aallonpituusalueen 0,15 mm–1,60 mm, tarkastellaan tätä aluetta tarkemmin eri kartonkilajien osalta. Kuvassa 29 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen seitsemän eri taivekartonkilajin topografian hajonta, jolloin voidaan arvioida kyseisen lajin soveltuvuutta syväpainatukseen. Kuvassa 29 x-akselilla ovat aallonpituuskaistat ja y-akselilla on topografiavaihtelun keskihajonta.



Kuva 29. Taivekartonkinäytteiden topografiset vaihtelut eri aallonpituusluokissa

Kuvan 29 perusteella voidaan arvioida, että syväpainatukselle merkittävimmillä aallonpituusalueilla vähiten puuttuvia pisteitä syntyy taivekartonkinäytteille E, H ja L. Taivekartongeilla heikoin Heliotest-painettavuus suurimman hajonnan vuoksi on kuvan 29 perusteella näytteillä C ja F.



Kuva 30. Muiden kartonkinäytteiden pinnan vaihtelut eri aallonpituusluokissa

Kuvassa 30 on esitetty muiden työssä käytettyjen kartonkilajien topografian keskihajonta eri aallonpituusluokkiin jaettuna. Kuvasta nähdään, että yleisesti ottaen painettavuus muilla kartonkilajeilla on taivekartonkeja heikompi suuremman vaihtelun vuoksi. Karkeasti voidaan sanoa, että taivekartonkilajien jälkeen paras painettavuus saavutettiin valkaistulla sellukartongilla; muilla kartongeilla hajonnan perusteella paras painettavuus on näytteillä K ja D, jotka molemmat ovat SBS-kartonkeja. Eniten puuttuvia pisteitä voidaan kuvan 30 perusteella arvioida syntyvän kartonkinäytteillä M (WLC), B (WTL) ja I (LPB).

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin eri kartonkilajinäytteiden topografian ja Heliotest-painettavuuden välistä riippuvuutta. Painettavuus arvioitiin koepainetuista kartonkinäytteistä laskemalla perinteisellä menetelmällä 20. puuttuvan pisteen etäisyys painatuksen alkukohdasta. Testattavana oli yhteensä 13 kartonkilaatua, näytearkkeja oli 3–5 jokaisesta laadusta. OptiTopo-topografiamittaukset pinnankarheuden määrittämiseksi tehtiin yhdestä arkista, Heliotest-painatus jokaiselle näytearkille. Painamalla kaikki näytearkit varmistuttiin, että OptiTopolla mitattu näyte edustaa laatuaan riittävän hyvin. Suuria poikkeamia ei löytynyt.

Vertailu kartongin pinnan topografian ja Heliotest-painettavuuden välillä tehtiin useilla tavoilla. Ensin Heliotest-painettavuuden ja pinnan topografian välistä riippuvuutta arvioitiin koko karheuden spektrin alueelta. Muuttujien välille löytyi voimakas tilastollinen riippuvuus Pearsonin korrelaatiokertoimen ollessa $-0,83$. Koska oletettiin, että kaikki karheuden aallonpituudet eivät vaikuta kartongin syväpainettavuuteen samalla tavoin, tarkasteltiin tuloksia myös datasta, josta oli poistettu yli 2 mm:n aallonpituudet. Korrelaatiokerroin muuttujille oli $-0,87$. Muuttujien välille kummassakin tapauksessa löytyi siis erittäin voimakas korrelaatio.

Työssä oletettiin myös, että syväpainomenetelmässä puuttuvat pisteet syntyvät kartongin pinnassa kohtiin, joissa pinnan korkeusvaihtelut ovat suurimmat. Heliotest-painettavuuden ja topografian välistä riippuvuutta tarkasteltiin siten arvoista, joissa oli jäljellä 2 % pinnan syvimmistä kuopista. Muuttujien välille löytyi voimakas positiivinen korrelaatio, $0,79$. Heliotest-painettavuus korreloi voimakkaasti myös pinnan 1 %:n syvimpien kuoppien kanssa, korrelaatiokertoimen ollessa $0,77$.

Työn kokeellisessa osassa selvitettiin lisäksi karheuden aallonpituusalueet, jotka OptiTopolla mitattuna korreloivat voimakkaimmin Heliotest-painettavuuden kanssa. Voimakkain riippuvuus löytyi sekä kone- että poikkisuunnassa aallonpituusalueella $0,15 \text{ mm} - 1,60 \text{ mm}$.

Kartonkilajeja verrattiin keskenään siten, että tarkastelussa oli erityisesti syväpainatuksen kannalta merkitevimmäksi todettu pinnan karheuden aallonpituusalue. Yleisesti voidaan

sanoa, että vähiten puuttuvia pisteitä Heliotest-painatukseessa on FBB-kartongeilla, joilla karheuden keskihajonta oli pääsääntöisesti alle 0,5 μm . Muista tässä työssä käytetyistä kartonkilajeista vain SBS-kartonkien sileys oli samaa luokkaa kuin FBB-kartongeilla. Muiden kartonkilajien pinnan karheuden keskihajonta oli yli 0,75 μm .

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Grönstrand, Joel – Karhuketo, Hannu – Seppälä, Markku J. – Törn, Tage, Paperin ja kartongin jalostus. Gummerus Kirjapaino Oy. Saarijärvi 2002.
- 2 Häggblom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka – Seppälä, Markku J., Paperin ja kartongin valmistus. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 2001.
- 3 Koskinen, Pertti, Hyvä painotuote. Karisto Oy. Hämeenlinna 2001
- 4 Lehtinen, Esa, Papermaking Science and Technology, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Gummerus. Jyväskylä 2000.
- 5 Levlin, Jan-Erik – Söderhjelm, Liva, Papermaking Science and Technology, Pulp and Paper Testing. Fapet Oy, Gummerus. Jyväskylä 1999.
- 6 Oittinen, Pirkko – Saarelma, Hannu, Papermaking Science and Technology, Printing. Fapet Oy, Gummerus. Jyväskylä 1998.
- 7 Paulapuro, Hannu, Papermaking Science and Technology, Paper and Board Grades. Fapet Oy, Gummerus. Jyväskylä 2000.
- 8 Savolainen, Antti, Papermaking Science and Technology, Paper and paperboard converting. Fapet Oy. Gummerus. Jyväskylä 1998.
- 9 Speirs, Hugh, Introduction to Printing and Finishing, 2nd edition. Pira International ltd 2003.

Sähköiset lähteet

- 10 AB Lorenzen & Wettre. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008] Saatavissa:
<http://www.lorentzen-wettre.com/qt/rmor.cfm?vol=81&file=8103.cfm&sx=501001219>

- 11 Barros, Gustavo Gil, Karlstads Universitet. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008]
Saatavissa: www.surftreat.kau.se/reports/summaries/RS_gustavo.pdf
- 12 Hansson, Peter. [www-sivu]. Uppsala 2003. [viitattu 20.1.2008] Saatavissa:
http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_uu_diva-3569-1_fulltext.pdf
- 13 Hansson, Peter – Johansson, Per-Åke. STFI, Swedish Pulp and Paper Research Institute. [www-sivu]. [viitattu 9.12.2008] Saatavissa:
http://www.teknik.uu.se/ftf/dissertation_ram/peter_hansson_art/Paper5_3909Hansson.pdf
- 14 IGT Testing Systems. [www-sivu]. [viitattu 1.2.2008] Saatavissa:
http://igt.arrowgraphics.nl/GB/product_details.asp?product=1
- 15 Mauranen, Kari. Kuopion yliopisto. [www-sivu]. [viitattu 23.1.2008] Saatavissa:
http://www.uku.fi/~mauranen/bis/bis4_doc.htm
- 16 Metso-konserni. [www-sivu]. [viitattu 1.2.2008] Saatavissa:
http://www.metso.com/corporation/home_fin.nsf/FR?ReadForm&ATL=/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-041101-2256F-76E28
- 17 Opetushallitus. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008] Saatavissa:
http://www.edu.fi/oppimateriaalit/tilastomatikka/haj_5.html
- 18 Printers' National Environmental Assistance center. [www-sivu]. [viitattu 3.1.2008]
Saatavissa: <http://www.pneac.org/printingprocesses/gravure>
- 19 Pyroll Group. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008] Saatavissa:
<http://www.pyroll.com/?page=4KWFQI9U&area=pakkaukset&lang=fi>
- 20 STFI-Packforsk AB. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008] Saatavissa:
www.stfi-packforsk.se/upload/2218/Optitopo.pdf
- 21 Taanila, Aki. [www-sivu]. [viitattu 23.1.2008] Saatavissa:
<http://myy.helia.fi/~taaak/k/korre.htm>
- 22 Tampereen teknillinen yliopisto. [www-sivu]. [viitattu 20.1.2008] Saatavissa:
http://www.mit.tut.fi/MIT-1010/Labraohjeet/MITPK_kuva.pdf

- 23 Western Michigan University. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008] Saatavissa:
<http://www.wmich.edu/ppse/gravure/>

Muut lähteet

- 24 Gröhn, Antti – Kovanen, Risto, Metso paper. Process Tecnology. Optitopo-käyttöohje. 2007
- 25 IGT Heliotest AIC2-5. Käyttöohje.
- 26 IGT information leaflet W41 1/1993.
- 27 IGT Testing Systems, IGT information 29 October 2001, IGT Heliotest Pääperiaatteita ja suunnittelunäkökohtia. Amsterdam 2001.
- 28 KnowPap 5.0, Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. VTT Tuotteet ja tuotanto. Prowledge Oy 1997-2003.
- 29 Metso paper. OptiTopo-materiaali. 2006.
- 30 SCAN-P 60:87. Paper and board. Air Permeance, Bendtsen method. Scandinavian Pulp, Paper and Board testing committee. 1987.
- 31 SCAN-P 76:95. Paperi ja kartonki. Pinnan karheus, Print-Surf-menetelmä. Scandinavian Pulp, Paper and Board testing committee. 1995.
- 32 Viitaharju, Päivi. Tampereen ammattikorkeakoulu. Luentomateriaali, Graafinen tekniikka. Tampere 2006

LIITTEET

- 1 OptiTopo-mittaustulokset, aallonpituusalueet
- 2 Heliotest-mittaustulokset

Näyte (X)	0.00 - 0.15mm	0.15 - 0.80mm	0.80 - 1.60mm	1.60 - 4.00mm	0.00 - 0.15mm STD	0.15 - 0.80mm STD	0.80 - 1.60mm STD	1.60 - 4.00mm STD
A	0,0470	0,5170	0,4056	1,6369	0,0026	0,0502	0,0468	0,5239
B	0,2729	1,0788	1,6117	5,3039	0,0267	0,1194	0,1848	0,3120
C	0,0865	0,2112	0,1740	2,1659	0,0052	0,0174	0,0111	0,4229
D	0,0975	0,1300	0,1801	0,9572	0,0169	0,0240	0,0382	0,3101
E	0,0385	0,0510	0,0546	1,2425	0,0023	0,0044	0,0071	0,3470
F	0,1275	0,2134	0,3026	2,5953	0,0088	0,0140	0,0271	0,5896
G	0,0669	0,1192	0,1454	0,8376	0,0125	0,0302	0,0366	0,2982
H	0,0619	0,0629	0,0892	0,8273	0,0048	0,0071	0,0134	0,1582
I	0,4241	1,5125	0,9249	4,3904	0,0208	0,1039	0,1129	0,6204
J	0,0604	0,1090	0,1597	0,9322	0,0032	0,0069	0,0136	0,0553
K	0,0770	0,0970	0,0984	0,9152	0,0184	0,0284	0,0169	0,2419
L	0,0377	0,0911	0,1801	1,1934	0,0027	0,0066	0,0213	0,1867
M	0,1147	1,5985	1,4995	6,2745	0,0128	0,1773	0,1682	1,2116
Näyte (Y)	0.00 - 0.15mm	0.15 - 0.80mm	0.80 - 1.60mm	1.60 - 4.00mm	0.00 - 0.15mm STD	0.15 - 0.80mm STD	0.80 - 1.60mm STD	1.60 - 4.00mm STD
A	0,0340	0,2952	0,5770	1,3023	0,0024	0,0259	0,0594	0,1307
B	0,1914	0,6923	0,6488	4,0502	0,0256	0,1042	0,0871	0,3764
C	0,0579	0,1111	0,1472	1,3562	0,0046	0,0048	0,0131	0,1878
D	0,0773	0,1193	0,0910	0,6648	0,0127	0,0205	0,0092	0,1101
E	0,0370	0,0479	0,0358	0,8625	0,0027	0,0058	0,0065	0,2374
F	0,1134	0,1350	0,1247	1,6261	0,0113	0,0186	0,0146	0,4007
G	0,0523	0,0884	0,0620	0,6115	0,0051	0,0156	0,0098	0,1367
H	0,0623	0,0569	0,0614	0,5170	0,0102	0,0127	0,0119	0,1727
I	0,3549	1,1700	0,9716	3,4587	0,0472	0,1356	0,1323	0,3420
J	0,0518	0,0958	0,1444	0,7041	0,0054	0,0091	0,0187	0,0972
K	0,0626	0,0906	0,0820	0,6198	0,0070	0,0172	0,0094	0,0723
L	0,0289	0,0657	0,1264	1,0265	0,0010	0,0070	0,0221	0,1351
M	0,0873	0,9353	1,6009	5,6925	0,0064	0,0814	0,0974	1,0451

NÄYTE A→M 1=vas, 2=keski, 3=oik	NÄYTEARKKI NRO/etäisyys 20. puuttuvaan pisteeseen, mm				
	1	2	3	4	5
A1	1,00	1,00	6,00	5,00	6,00
A2	1,00	2,00	4,00	10,0	10,00
A3	2,00	2,00	4,00	7,00	9,00
B1	3,00	2,00	5,00	6,00	4,00
B2	2,00	2,00	2,00	6,00	4,00
B3	4,00	4,00	5,00	6,00	6,00
C1	42,0	23,0	29,0	19,0	28,0
C2	32,0	29,0	28,0	31,0	21,0
C3	15,0	28,0	25,0	26,0	27,0
D1	79,0	99,0	80,0	84,0	29,0
D2	67,0	84,0	78,0	73,0	55,0
D3	89,0	94,0	78,0	75,0	69,0
E1	86,0	102	90,0	92,0	95,0
E2	109	108	86,0	103	90,0
E3	92,0	98,0	95,0	108	98,0
F1	36,0	50,0	66,0	71,0	80,0
F2	39,0	50,0	51,0	65,0	71,0
F3	51,0	59,0	59,0	62,0	61,0
G1	76,0	70,0	69,0	69,0	69,0
G2	82,0	86,0	74,0	86,0	66,0
G3	84,0	86,0	89,0	69,0	89,0
H1	83,0	103	107	108	96,0
H2	101	105	98,0	110/13 kpl	98,0
H3	93,0	105	108	95,0	95,0
I1	1,00	2,00	1,00	-	-
I2	1,00	2,00	2,00	-	-
I3	2,00	2,00	2,00	-	-
J1	84	82	89	86	62
J2	82	75	78	80	69
J3	65	68	82	83	64
K1	85,0	91,0	81,0	87,0	74,0
K2	95,0	83,0	88,0	95,0	80,0
K3	76,0	x	71,0	71,0	84,0
L1	70,0	108	93,0	92,0	105
L2	103	106	98,0	89,0	102
L3	98,0	103	107	106	107
M1	2,00	2,00	2,00	-	-
M2	3,00	2,00	1,00	-	-
M3	3,00	2,00	1,00	-	-