



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto
Kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorio

Diplomityö

Online-topografiamittauksen hyödyntäminen LWC- paperikoneella

Oulussa 4.1.2013

Tekijä: _____
Juho Seppänen

Työn valvoja: _____
Jouko Niinimäki,
Professori

Työn ohjaaja: _____
Jukka Hautamäki,
DI

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty yhteistyössä Stora Enso Oyj:n sekä Metso Automation Oy:n kanssa Stora Enso Veitsiluodon PK5:lle vuoden 2012 aikana. Diplomityön valvojana on toiminut professori Jouko Niinimäki ja ohjaajana DI Jukka Hautamäki.

Diplomityön ohjauksesta haluan kiittää eritoten DI Jukka Hautamäkeä. Jukka on toiminut erittäin hyvänä tukena, tiedon lähteenä sekä kannustajana diplomityön aikana. Kiitokset myös Olli Hakkilalle etenkin syväpainoon perehdyttämisestä niin Veitsiluodossa kuin Mönchengladbachissa. Kiitos myös Diplomityön valvojalle Professori Jouko Niinimäelle.

Kiitokset yhteistyöstä myös Metso Automation Tampereen porukalle Markku Mäntylälle sekä Ismo Mäkelälle.

Suurimmat kiitokset tukemisestani opiskeluni aikana osoitan vanhemmilleni Aarno ja Pirkko Seppäselle. Kiitos!

UNIVERSITY OF OULU
Faculty of Technology

Thesis Abstract

Department Process and Environmental Engineering		Degree Programme (Master's thesis) or Major Subject Fibre and Particle Engineering Laboratory	
Author Seppänen, Juho Elias		Thesis Supervisor Niinimäki, Jouko, Process Engineering Professor	
Title of Thesis Utilizing Online Topography Measurement on LWC-papermachine			
Major Subject Industrial Management	Type of Thesis Master Thesis	Submission Date January 2013	Number of Pages 99
<p>Abstract</p> <p>The topic of this master thesis was to study the suitability of Metso IQ Surface measurement on a LWC-papermachine and also improve the smoothness of LWC-paper to more suitable for rotogravure printing. The main targets of the study were the smoothness and roughness indexes given by the Metso IQ Surface measuring. These indexes were compared to the laboratory values of bendtsen roughness and PPS smoothness.</p> <p>Metso IQ Surface measurement measures the surface quality of a moving paper sheet by using high-speed image capture and image analysis technology. The illumination of the measured area is done with several LED flash lights from different directions around the camera. Surface topography measurement is based on photometric stereo method. Photometric stereo method provides surface gradient fields using shading information. Surface topography is obtained by integrating the gradient fields. Using this topography information roughness and smoothness indexes can be calculated.</p> <p>The Topography Measurement proved good correlation with laboratory bendtsen roughness on base paper. Also correlation between the PPS smoothness and smoothness index given by the measurement was good, but with small number of measure points, the result can't be relevant. The Topography Measurement also showed good correlation to roughness variation which was caused by freeness of pulp dosage. The Measurement noticed change on a base paper which led up to better smoothness of the end product.</p> <p>This theory part of master thesis deals with main processes of making LWC-paper. Also some key elements that may affect the topography of paper surface during the process are drawn attention. The rotogravure printing process is demonstrated at the end of the theory part.</p> <p>In the experimental part following trial runs were produced on the papermachine: former roll vacuum trial, blade exchange of couter trial and driving speed trials of supercalander.</p> <p>Turning down the former roll's vacuum and exchange of the blade on the couter showed better smoothness of the end product. Also lowering the speed of the supercalander improved the smoothness. The better smoothness led up to better rotogravure printing result in all other cases but not in the blade exchange of couter trial.</p>			
Place of Storage Science library Tellus, University of Oulu			
Additional Information Keywords: Online topography measurement, paper surface topography, paper smoothness, paper roughness, online topography measurement correlation on bendtsen roughness/ PPS smoothness			

OULUN YLIOPISTO Tiivistelmä opinnäytetyöstä

Teknillinen tiedekunta

Osasto		Koulutusohjelma (diplomityö) tai Pääaineopintojen ala	
Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto		Kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorio	
Tekijä		Työn valvoja	
Seppänen, Juho Elias		Niinimäki, Jouko, Pros. tekn. Professori	
Työn nimi			
Online-topografiamittauksen hyödyntäminen LWC-paperikoneella			
Opintosuunta	Työn laji	Aika	Sivumäärä
Tuotantotalous	Diplomityö	Tammikuu 2013	99
Tiivistelmä			
<p>Tämän diplomityön aiheena oli tutkia Metso IQ Surface – mittausjärjestelmän soveltuvuutta LWC-paperikoneella sekä parantaa LWC-paperin sileyttä syväpainoon soveltuvammaksi. Pääkohteena mittauksessa olivat mittarin antamat karheus- sekä sileys-indeksit, joita verrattiin laboratorio arvoihin eli pohjapaperin bendtsen-karheuteen sekä lopputuotteen PPS-sileyteen.</p> <p>Metso IQ Surface – mittausjärjestelmä mittaa liikkuvan paperin laatua ottamalla 3D - kuvia paperin pinnasta ja analysoimalla niitä. Kuvattava pinta valaistaan usealla led-viistovalolla eri kulmista kameran ympäriltä. Kuvan varjostumien avulla fotometrinen stereo–menetelmä tuottaa paperin pinnan gradienttikentät. Pinnan topografia tuotetaan puolestaan integroimalla gradienttikenttiä. Pinnan topografian avulla paperille voidaan laskea joukko muita pinnan rakennetta kuvaavia piirteitä.</p> <p>Mittaus osoitti hyvää korrelaatiota bendtsen-karheuteen pohjapaperissa. Myös lopputuotteen osalta mittaus havaitsi oikein sileyden muutokset. Lopputuotteen sileyden osalta korrelaatio oli hyvä, mutta vähäisten mittauspisteiden vuoksi tulosta ei voida pitää yhtä merkittävänä. Mittaus korreloi myös hyvin hiokkeen annostelun freenes arvosta johtuvaan karheus vaihteluun noin kahden vuorokaudenkin ajanjaksoissa. Topografiamittaus havaitsi jo pohjapaperissa muutoksen, joka näkyi myös lopputuotteen sileyden paranemisena.</p> <p>Tämän diplomityön kirjallisuusosassa käsitellään LWC-paperintekoprosessia sen pääpiirteissään. Esille on tuotu asioita, jotka voivat vaikuttavat paperinpinnan topografiaan. Syväpainoprosessia on esitelty kirjallisen osuuden lopussa.</p> <p>Kokeellisessa osassa suoritettiin paperikoneella seuraavat koeajot: formeritelan alipainemuutos, teränvaihto päällystyskoneella sekä superkalanterin ajonopeus koeajot.</p> <p>Formeritelan alipainemuutos pienempään sekä päällystyskoneen teränvaihto koeajot tuottivat parempaa sileyttä lopputuotteelle. Myös superkalanterin ajonopeuden laskulla oli positiivinen vaikutus lopputuotteen sileyteen. Parempi sileys johti parempiin syväpainotuloksiin kaikissa muissa paitsi teränvaihtokoeajossa.</p>			
Säilytyspaikka			
Tiedekirjasto Tellus, Oulun yliopisto			
Muita tietoja			
Avainsanat: Online topografiamittaus, paperin pinnan topografia, paperin sileys, paperin karheus, online topografiamittauksen korrelaatio bendtsen karheuteen/ PPS sileyteen			

Alkusanat

Tiivistelmä

Sisällysluettelo

1 Johdanto	7
2 Veitsiluodon PK5	8
3 LWC – paperin valmistusprosessi	9
3.1 Mekaaninen massa	9
3.2 Jauhatus	11
3.3 Täyteaineet	12
3.4 Pohjapaperi	12
3.5 Päällystäminen	13
3.6 Superkalanterointi	14
4 Metson online – topografiamittauslaitteisto	15
4.1 Yleiskuvaus	15
4.2 Mittauksen toimintaperiaate	16
5 LWC-paperin sileys ja sen muodostuminen	19
5.1 Pohjapaperin merkitys LWC – paperin sileyteen	19
5.2 Paperin sileyttä kuvaavia parametrejä ja mittauslaitteita	20
5.2.1 Online –mittaus	20
5.2.2 Laboratoriomittaus	21
6 Paperin pinnan topografia	23
6.1 Mahdollisuudet vaikuttaa pohjapaperin pinnan topografiaan	23
6.1.1 Jauhatus	23
6.1.2 Täyteaineet	25
6.1.3 Rainan muodostus	27
6.1.4 Puristinosa	29
6.1.5 Kuivatusosa	30
6.1.6 Konekalanteri	31
6.2 Päällystämisen mahdollisuudet vaikuttaa paperin topografiaan	31
6.2.1 Teräpäällystys	32
6.2.2 Päällystereseptit	33
6.3 Superkalanteroinnin mahdollisuudet vaikuttaa lopputuotteen topografiaan	35
7 Syväpaino	37
7.1 Syväpaino prosessi	38
7.2 Sähköavusteinen värinsiirto (Electrostatic assist eli ESA) ja puuttuvat pisteet	42
8 Tiedonkeruu	44
9 Kokeellinen osa	45
10 Metso IQ Surface – mittausjärjestelmän antama data DNAwiew:n kautta	46
11 Topografiamittausdatan korrelaatiohaku prosessimuuttujiin pohjakoneella ...	50
12 Topografiamittauksen karheus-indeksin korrelaatio bendtsen-karheuteen lajeittain	55
12.1 Neliöpaino 60 gsm	56
12.2 Neliöpaino 65 gsm	58
12.3 Neliöpaino 70 gsm	61

12.4 Neliöpaino 75 gsm	63
13 Topografiamittauksen korrelaatiohakua pohjapaperista lopputuotteessa esiintyneeseen sileyden heikkenemiseen	65
14 Suoritetut koeajot PK5:llä	69
14.1 Päälystyskoneen teränvaihto	69
14.2 Superkalanterin ajonopeuden vaikutus lopputuotteen sileyteen	74
14.2.1 Superkalanterin ajonopeuskoe 2.	77
14.3 Formeritelan alipainemuutos koeajo – 7kPa:sta – 4kPa:iin.....	80
14.4 Reunarullan eroavuus keskirullasta	87
14.5 Lopputuotteen PPS korrelaatio topografiamittauksen tuottamaan sileysindeksiin.....	88
15 Tuloksien yhteenveto ja johtopäätökset	91
15.1 Topografiamittaus	91
15.2 Sileyden parantaminen PK5:n lopputuotteen osalta sekä syväpainotulos	93
16 Jatkotutkimus ehdotukset	95
17 Lähdeluettelo	96

1 Johdanto

Suurin osa Veitsiluodon PK5:n lopputuotteesta päätyy offset painatukseen. Viimeaikoina PK5:n lopputuotetta on myös myyty syväpainoon. Syväpaino vaatii kuitenkin paperilta enemmän, etenkin lopputuotteen sileyden puolesta. Tehtaalla on haluttu varmistaa etenkin syväpainotilausten osalta laadun riittävyys.

Metso Automation on kehittänyt Metso IQ Surface mittausjärjestelmän, jolla voidaan tuottaa suoraa online tietoa paperin pinnanmuodoista eli topografiasta. Tässä diplomityössä tutkitaan mittausjärjestelmän soveltuvuutta kyseisellä LWC-paperikoneella.

Työn aikana PK5:llä tehtiin koeajoja lopputuotteen sileyden parantamisen suhteen, sekä seurattiin Metson topografiamittauksen reagoimista niin pohjapaperin karheus kuin lopputuotteen sileyden muutoksiin.

2 Veitsiluodon PK5

Paperikone 5 Kemin Veitsiluodossa, aloitti toimintansa vuonna 1972. Myöhemmin linjastolle investoitiin myös Päälystyskone 5, joka otettiin käyttöön vuonna 1985. Paperikoneen trimmileveys on 7,45 metriä ja sen rakennenoisuus on 1300 m/s. Päälystyskone pystyy päälystämään paperia 1400 metrin minuuttinopeudella. Päälystettyä paperia (LWC) PK5-linjasto tuottaa 260 000 tonnia vuodessa tuotenimikkeillä Nova Press ja Nova Press Silk. Neliöpainot tuotteille vaihtelevat 65-80 g/m². (Veitsiluoto Insite PK5)

PK5:n toimittaja on Valmet Oy / Beloit Walmsley Ltd. Uudistuksia PK5:lle on tehty Valmet Oy:n toimesta vuosina 1985, 1995 ja 1996. Päälystyskoneen toimittaja on Wärtsilä Oy / Voith GmbH ja sitä on uusittu kerran vuonna 1996 Voith Sulzerin toimesta. (Veitsiluoto Insite PK5)

Linjaston yhteydestä löytyy myös hiomo, joka valmistaa kuusipuuhioketta 155 000 t/a. Hiomakoneina ovat Tampellan 1815 Great Northern, jossa hiomakiven halkaisija on 180 mm ja hiottavien puiden pituus on 1,5 metriä. Hiontana on perinteinen SGW-menetelmä (Stone Ground Wood). Hiomo valmistaa hioketta niin PK5:lle kuin PK1:lle. (Veitsiluoto Insite PK5)

PK5:lla tuotettu pohjapaperin hiokeosuus vaihtelee neliöpainosta riippuen 50-52 prosentissa, selluosuus taas 48-50 prosentin luokassa. Toisin kuin hiokkeen osalta, PK5:lla käytetty mäntysellukuitu hankitaan tehdasintegraatin ulkopuolelta. Tuhkapitoisuus pohjapaperilla on 10-12 prosenttia. (Veitsiluoto Insite PK5)

3 LWC – paperin valmistusprosessi

LWC (Light Weight Coated) – paperia käytetään aikakauslehtiin, katalogeihin, liitearkkeihin ja mainoslehtisiin, joilta odotetaan hyvää neliväripainojälkeä niin offset- kuin syväpainossakin. Neliöpainot LWC-paperille ovat 35-80 g/m². (Paulapuro 2007, 27)

LWC – paperinteko prosessiin kuuluu yleensä integroitu mekaanista massaa valmistava laitos paperikoneen kanssa. Tärkeimpinä yksittäisinä prosesseina LWC – paperin muodostamiselle linjastolla voidaan erotella pohjapaperin teko, päällystäminen ja superkalanterointi. (Paulapuro 2007, 27)

3.1 Mekaaninen massa

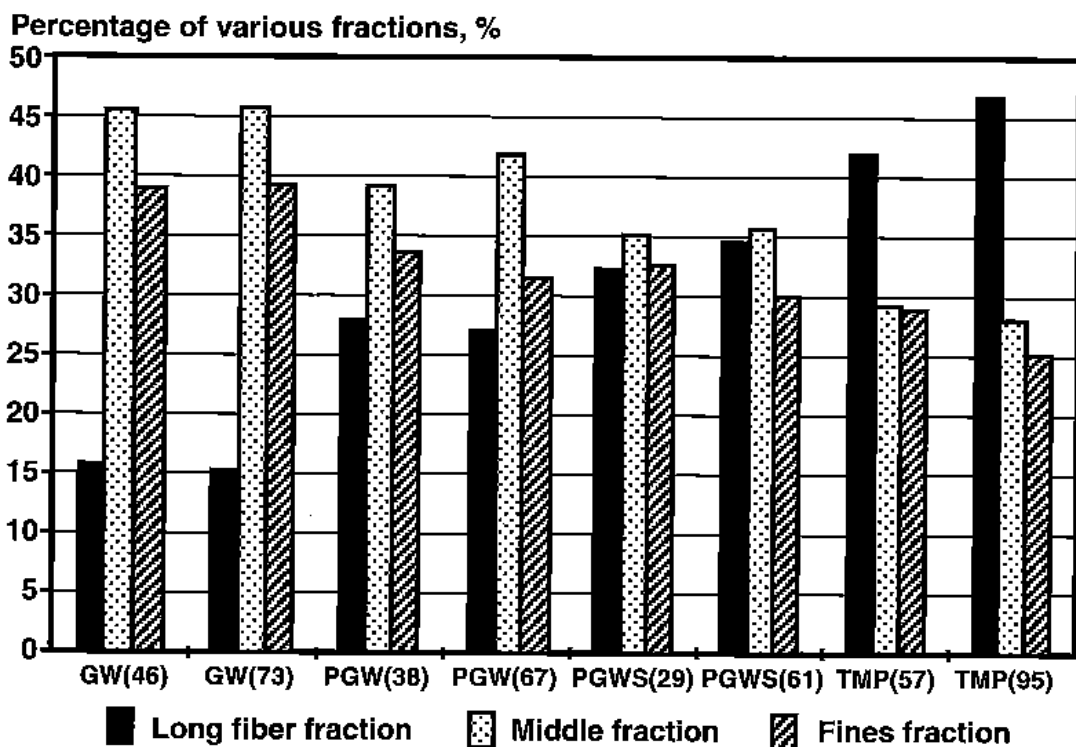
Mekaanista massaa voidaan tuottaa hiokkeena tai hierteenä. Hioke tuotetaan hiomoissa, joissa puupöllejä hiotaan kiveä vasten. Hierteessä puuhaketta syötetään pyöriä väliin, jolloin yhtenäinen puuaines hajoaa kuiduiksi. Raakapuuna käytetään yleensä kuoretonta kuusta. (Sundholm 1999, 17-22)

Mekaanisella massalla on huomattavia eroja kemiallisesti valmistettuun massaan, selluun. Kuitujen erotus perustuu fysikaaliseen rasitukseen. Kuidut eivät täten erotu kokonaisina niin kuin sellunkeitossa, ne ovat jäykkiä, lyhyempiä ja massassa on paljon jauhautunutta hienoainesta. Saanto mekaanisella massalla on kuitenkin huomattavasti parempi, noin 97-98

prosenttia, verrattuna sellun 45-50 prosenttiin. Siksi mekaaninen massa sisältääkin lähes kaikki komponentit, mitä raakapuukin ennen prosessointia. (Sundholm 1999, 17-22)

Mekaanisella massalla voidaan tuottaa alhaisella neliöpainolla olevaa paperia, jonka opasiteetti ja bulkki ovat kuitenkin riittäviä. Mekaanisella massalla ei saavuteta kuitenkaan tarvittavia lujuusominaisuuksia, siksi lujuutta tuomaan tarvitaankin sellua, niin kuin LWC-paperissakin. (Sundholm 1999, 17-22)

Kuvassa 1 nähdään hiokkeen kuitujen prosentuaaliset osuudet eri hiontaprosesseissa. PGW-prosesseissa lämpötilan ja paineen nosto nostaa pitkien kuitujen osuutta hiokkeessa. Veitsiluodon PK5:n käyttämä hioke on GW-hioketta, jossa pitkien kuitujen osuus on noin 15 prosenttia. (Sundholm 1999, 17-22)



Kuva 1. Hiokkeen kuitujen prosentuaaliset osuudet eri hiontaprosesseissa (Sundholm 1999, 17-22).

Vetolujuus märeällä paperilla kasvaa huomattavasti, kun pitkien kuitujen osuutta kasvatetaan. Pitkällä kuidulla voi olla useampia sidoksia muihin kuituihin ja siksi

sen sidokset kuituverkostossa ovat lujempia kuin lyhyiden kuitujen. Myös kuivan paperin veto-, repäisy- sekä murtumalujuus yleensä paranevat pitkillä kuiduilla. (Gullichsen, Paulapuro, 1999, A14-A16)(Niskanen, 1998, luku 2)

3.2 Jauhatus

Jauhatus on mekaaninen käsittely kuiduille. Tämän avulla pyritään optimoimaan kuidun ominaisuuksia paperintekoon sopivaksi. Jauhatusessa kuidut ovat sekoittuneena veteen, vesisulppuun. Halutut ominaisuudet vaihtelevat eri paperilaatujen kesken. Jauhatus lisää kuiduin pinta-alaa ja täten lujittaa kuitujen välisiä sidoksia paperin muodostuksessa. Jauhatusessa yksittäinen kuitu kuitenkin heikkenee ja lyhenee johtuen mekaanisesta rasituksesta jauhimessa. Jauhatus lisää kuitujen hienojakeen määrää. (Sundholm 1999, 17-22) (Biermann 1996)

Moni lujuusominaisuus kasvaa jauhatuksen myötä, kun puhutaan kuitujen välisestä sitoutumiskyvystä. Repäisylujuus, joka perustuu kuitenkin yksittäisten kuitujen lujuuteen, heikkenee jauhatusastetta kasvatettaessa. Jauhatus lisää kuitujen joustavuutta ja tekee paperista tiheämpää. Tämän johdosta bulkki, opasiteetti ja huokoisuus kärsivät. (Sundholm 1999, 17-22) (Biermann 1996)

Jauhaminen on tärkeää etenkin sellulle, jonka freeness eli massasulpun suotautumiskyky on korkeampi verrattuna mekaaniseen massaan. Niin mekaanista massaa kuin selluakin on jauhettava, ennen kuin ne soveltuvat paperin muodostamiseen. (Sundholm 1999 17-22) (Biermann 1996)

3.3 Täyteaineet

Paperissa käytettävät täyteaineet ovat hienojakoisia, väriltään valkoisia jauheita. Täyteaineet valmistetaan luonnon mineraaleista. Suurin osa papereista sisältää täyteaineita. Niiden tarkoituksena on täyttää ja tasoittaa kuitujen välisiä alueita, ja täten parantaa mm. pinnan tasaisuutta. Esimerkiksi formaatio, painettavuus, opasiteetti ja kiilto paranevat, kuten myös paperin vaaleus. (Krogerus 1999, 117)

Täyteaineet ovat halvempia kuin itse kuidut, ja kuituja pyritäänkin korvaamaan täyteaineilla myös taloudellisista syistä, pois lukien eräät pigmenttiaineet, joita lisätään pieniä määriä haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. (Krogerus 1999, 117)

Täyteaineilla on myös ei-haluttuja vaikutuksia, sillä ne vähentävät kuitujen välisiä sidoksia. Tämän seurauksena esimerkiksi repäisyjujuus ja jäykkyys vähenevät sekä paperin pölyäminen lisääntyy. Kemikaalien käyttöä joudutaan lisäämään täyteaineiden vuoksi. Myös retentio voi heikentyä, mikä lisää paperin toispuoleisuutta. Mineraalit myös kuluttavat paperikoneen osia enemmän kuin kuidut. (Krogerus 1999, 117)

Yleisimpiä täyteaineita ovat kaoliini, kalkkikivi, talkki ja kalsiumkarbonaatti. Osaa aineista käytetään myös paperin päällysteaineena. (Krogerus 1999, 117)

3.4 Pohjapaperi

Pohjapaperi muodostetaan paperikoneella, joka yksinkertaistettuna koostuu kolmesta eri osasta: märkápää, puristinosa ja kuivatusosa. Ensimmäisessä vaiheessa johdetaan laimea, 0,2-1,5 prosenttinen, täyteaineista ja kuiduista koostuva vesiliete perälaatikon kautta vettä läpäisevälle viiralle. Täten muodostuu paperiraina, joka pysyy koossa kuiduissa olevan veden

pintajännityksen ansiosta. Märässä päässä kuiva-ainepitoisuudeksi muodostuu n. 20 prosenttia. Toisessa vaiheessa puristinosalla paperirainasta poistetaan vettä puristamalla, jolloin kuiva-ainepitoisuudeksi tulee 35-50 prosenttia. Tällöin syntyy tärkein paperia koossa pitävä voima eli kuitujen väliset vetysidokset. Viimeisessä vaiheessa loppu vesi poistetaan kuivattamalla paperiraina 90-95 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen huvassa, jossa paperiraina kiertää lukuisten höyräsyntereiden kautta ja ylimääräinen vesi haihtuu pois. (Valmet 1999, 9-12)

LWC-pohjapaperi sisältää yleensä mekaanista massaa 50-70 sekä sellua 30-50 prosenttia. Täyteaineiden määrä pohjapaperissa vaihtelee 4-10 prosentin välillä, mutta lopullisen täyteaineen määrä päällystämisen jälkeen nousee aina 45 prosenttiin. ISO vaaleus LWC-papereilla on 72-76 prosenttia ennen päällystystä. Opasiteetin, vaaleuden ja kiillon lisäämiseksi erikois- tai plastisia pigmenttejä voidaan lisätä päällystekerrokseen. (Hakola 2009, 76)

3.5 Päällystäminen

Päällystämisellä parannetaan paperin painatusominaisuuksia. Päällystettä voidaan lisätä joko toiselle tai molemmille puolille paperia. Päällystämisellä voidaan tasoittaa pohjapaperin ”koloja” kuin myös peittää päällimmäiset kuidut, päällystystavasta riippuen. Päällystämisen ja loppukäsittelyn jälkeen paperi saa lopulliset tuoteminaisuudet sileyden ja kiillon suhteen. (Pylkkö 2000, 31-33)

Päällystämiseen käytettävä väriaine eli pasta, koostuu monista komponenteista, joista tärkein on pigmentti. Pasta voi sisältää pigmenttiä 80-95 prosenttia kuiva-ainepitoisuudeltaan. Pigmentit ovat yleensä erilaisia mineraaleja, joista yleisimmin käytetyt ovat kaoliini ja kalsiumkarbonaatti. Pigmentit ovat hyvin pienijakoisia, partikkelikooltaan alle 10 µm. Toinen tärkeä komponentti on sidosaine, jonka tarkoituksena on toimia eräänlaisena liimana. Sidosaineen osuus pastassa on 5-20 prosenttia. Vähiten niitä on syväpainopapereiden ja eniten offset-painopapereiden päällysteresepteissä. Sidosaineet ovat yleensä

vaihtelevia polymeeridispersioita. Tärkkelys on yksi esimerkki vesiliukoisesta sidosaineesta, jota käytetään pastan sidosaineena. (Pylkkö 2000, 31-33)

Pasta sisältää myös muita lisäaineita, joilla on erilaisia funktionaalisia rooleja, kuten pastan paakkuisuuden hajottaminen, pH:n säätö sekä toimiminen liukasteaineena ja mikrobisidina. (Pylkkö 2000, 31-33)

3.6 Superkalanterointi

Superkalanterointi on viimeinen prosessivaihe, jossa vaikutetaan LWC–paperin fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kalanterointiprosessissa paperiraina johdetaan kahden telan eli nipin läpi, jossa telojen välinen puristus muokkaa paperirainaa. Superkalanteri koostuu telapakasta, jossa yleensä on 9-12 telaa, vuoron perään kokilli- sekä softteloja. Superkalanteroinnissa paperi puristuu nipin läpi useaan kertaan samalla ajokerralla. (Jokia 1999, 14-15)

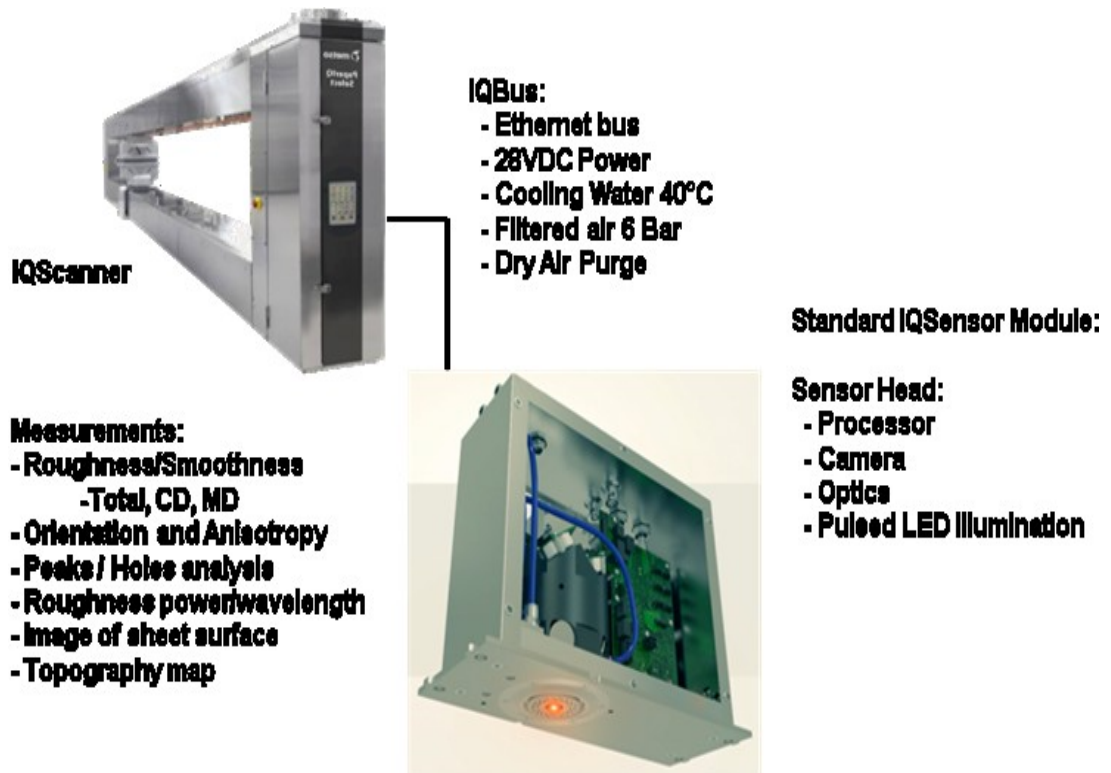
Superkalanteroinnin tärkeimpänä tehtävänä on muokata paperin pintaominaisuuksia, vähentää etenkin pinnan karheutta ja paperin huokoisuutta hyvien paino-ominaisuuksien saavuttamiseksi. Kalanterointi on kuitenkin aina haluttujen ja ei-haluttujen ominaisuuksien tasapainottelua. Kalanterointi vähentää paperin bulkkia ja jäykkyyttä. (Jokia 1999, 14-15)

4 Metson online – topografiamittauslaitteisto

4.1 Yleiskuvaus

Metso IQ Surface–mittausjärjestelmä mittaa liikkuvan paperin pinnan laatua ottamalla 3D-kuvia paperin pinnasta ja analysoimalla niitä. Kuvattava pinta valaistaan usealla led-viistovalolla eri kulmista kameran ympäriltä. Kamera ottaa kuvia samalta puolen paperin pintaa salamavalon välähtäessä. Otetusta kuvasta voidaan analysoida paperin pinnan useita eri parametrejä, kuten esimerkiksi sileys ja kuituorientaatio. (Metso Automation 2012)

Sensori sijoitetaan MetsolQ–mittauspalkkiin, jossa kulkee mitta-anturit paperirainan poikki, mitaten ohi kulkevaa paperirainaa. Kuvassa 2 on esitelty IQScanner, johon mittalaite asennetaan. (Metso Automation 2012)

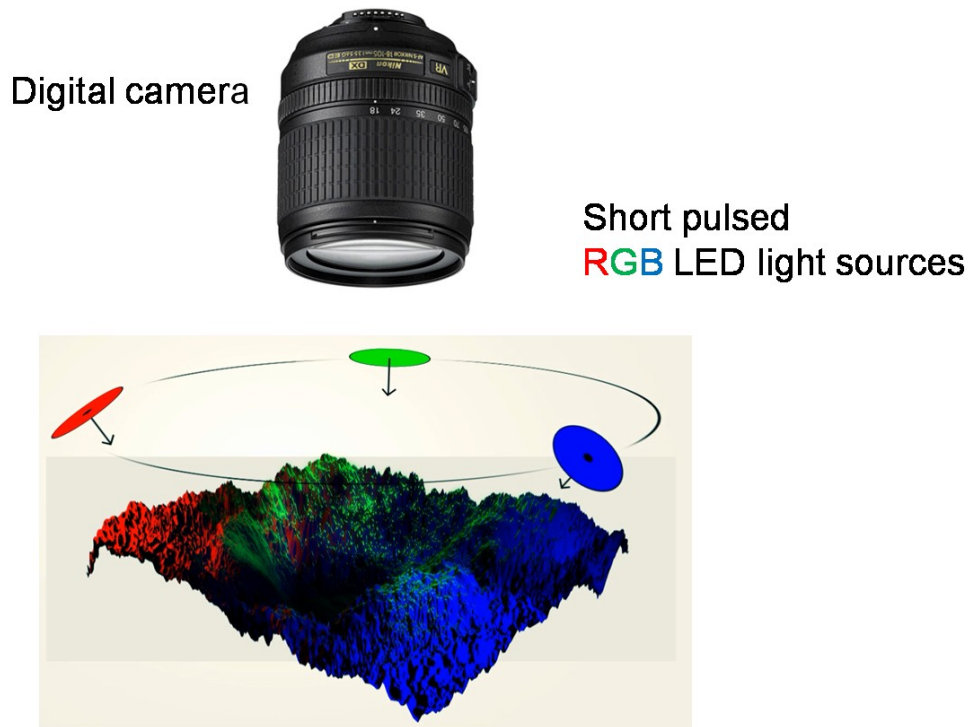


Kuva 2. Metso IQ Surface sensori ja mittauspalkki (Metso Automation 2012).

4.2 Mittauksen toimintaperiaate

Paperin pinnan topografia-mittaus perustuu fotometriseen stereomenetelmään. Siinä ideana on ottaa useita kuvia yhdestä kohtaa käyttäen kahta tai useampaa eri valonlähdettä. Kuvan varjostumien avulla fotometrinen stereomenetelmä tuottaa paperin pinnan gradienttikentät. Pinnan topografia tuotetaan puolestaan integroimalla gradienttikenttiä. (Metso Automation 2012)

Kuvassa 3 on havainnollistettu valaistuksen sekä kameran sijaintia topografiamittausjärjestelmässä.



Kuva 3. RGB-valonlähteiden tuottamat varjostumat kameralle (Metso Automation 2012).

Metso IQ Surface mittausjärjestelmä käyttää RGB LED-valonlähteitä tuottaakseen matalakulmaisen viistovalon kolmesta eri suunnasta. Paperin pinnan topografia mitattavalta alueelta voidaan määrittellä yhdellä kuvan otolla, koska värikamera pystyy mittaamaan eri suunnista tulevan valaisun värin perusteella. (Metso Automation 2012)

Kolmisuuntainen valaistus tuotetaan kuudella eri LED-salamavalolla, jotka ovat kukin yksittäin ohjattavissa. Kullekin valolle (punainen, vihreä ja sininen) on kaksi LED-alustaa. (Metso Automation 2012)

Pulssitettu LED valaisu tuottaa korkean intensiteetin valaistuksen mitattavalle paperin alueelle. Lyhyt valopulssi heijastaa korkearesoluutio CCD kameralle kuvan paperin pinnasta. Yksittäisten valojen intensiteettiä ohjataan LEDien jännitteen voimakkuudella. Käytännöllinen LEDien välähdysaika on 0,5 – 3 μ s riippuen koneen nopeudesta ja paperin optisista ominaisuuksista. (Metso Automation 2012)

Otettu kuva kompensoidaan käyttäen referenssikuvaa, joka on saatu laskemalla keskiarvo jo saaduista kuvista. Referenssikuva edustaa täysin tasaista kuvapintaa vääristymineen, jotka itse mittalaite ja ympäristö aiheuttavat. Kompensaatio referenssikuvan kanssa poistaa häiriöt itse mittavasta suureesta. (Metso Automation 2012)

Kuvattavan alueen koko on 1 cm x 1cm (1000 x 1000 pikseliä). Kameran kuvanopeuden oletusarvo on 10 Hz. (Metso Automation 2012)

5 LWC-paperin sileys ja sen muodostuminen

Paperin sileys vaikuttaa niin funktionaalisiin toimintoihin kuin myös ulkoiseen vaikutelmaankin. Sileys on tärkeä ominaisuus hyvän painojäljen saavuttamiseksi. Painatuksen puolesta sileys nähdään paperin pinnanmuotojen vaihtelevuutena. (Bureau 1995, 51)

5.1 Pohjapaperin merkitys LWC – paperin sileyteen

Pohjapaperin merkitys LWC–paperin lopputuotteen ominaisuuksiin on merkittävä. Sanotaan, että pohjapaperin ominaisuudet voivat vaikuttaa 80 prosenttisesti lopputuotteen ominaisuuksiin. Tämä pätee myös sileyteen. Siksi on tärkeää, että jo paperikoneelta tulevan pohjapaperin ominaisuudet ovat suotuisat, haluttujen laatutavoitteiden saavuttamiseksi lopputuotteelle. Pohjapaperin laadun merkitys korostuu mitä alhaisemmaksi neliöpaino muuttuu. (Lehtinen 2002, luku 2)

Pohjapaperin formaation, absorption, paksuuden, kosteuden ja karheuden (sileys) vaihtelut vaikuttavat suuresti päällystekerroksen ominaisuuksiin. Epätasainen päällystekerroksen jakautuminen aiheuttaa myös epätasaisen painokuvan, ilmiötä kutsutaan nimellä mottling. (Lehtinen 2002, luku 2)

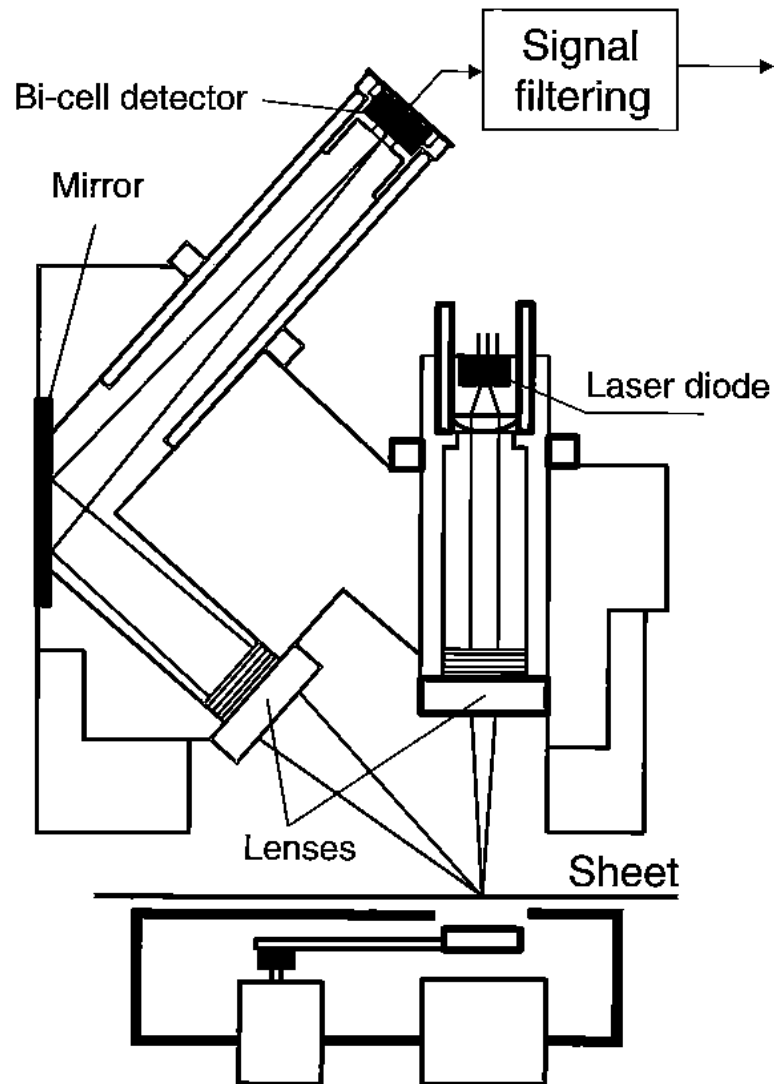
5.2 Paperin sileyttä kuvaavia parametrejä ja mittauslaitteita

Painettavuus on tärkein painopaperin ominaisuus. Suoraa online-mittaria paperin painettavuuden laatuun on vaikea kehittää, joten painettavuuden hyvyyden arvioimiseen käytetään kiiltoa ja sileyttä mittaavia sensoreja. Laboratorioissa karheutta/sileyttä mitataan testeillä, jossa lasketaan paperin pinnan ja mittapään tason välistä vuotava ilmavirta ml/min. Vastaavaa on vaikea toteuttaa online-ratkaisuna paperikoneella. Paperin huokoisuus on yksi tekijä, joka korreloi karheuden kanssa. Karheus kuitenkin koskee vain paperin pintaa kun taas huokoisuus koko paperin rakennetta. (Tornberg 1999, luku 4)

5.2.1 Online –mittaus

Sileyttä mittaavien online-sensoreiden toiminta perustuu yleensä valon sironnan mittaukseen. Mitattu valonsironta mahdollistaa fysikaalisten mallien luomisen paperin pinnan karheudelle.

Alla olevassa kuvassa 4 on esitelty eräs online-mittari, joka käyttää laserprofilometriä paperin pinnanmuotojen mittaukseen. Laserdiodi kohdistetaan kohtisuorassa paperille ja optiikka havaitsee sirontaa 45 asteen kulmassa. Tämän kyseisen kolmiomittausmenetelmän tarkkuus on 0,1 mm. (Tornberg, 1999, luku 4)



Kuva 4. Sileyys sensori (Tornberg 1999, luku 4).

5.2.2 Laboratoriomittaus

Laboratoriossa paperin sileyttä voidaan mitata joko Bendtsen-karheutena tai PPS-sileytenä.

Bendtsen-mittaus on tarkoitettu karheammalle pinnalle, kuten esimerkiksi pohjapaperin karheuden mittaamiseen. Bendtsen-karheuden mittaaminen perustuu ilmapirtausmenetelmään. Mittauksessa paperille painetaan kova

mittapää, joka ei myötäile paperin pintaa. Mittapään ja paperin pinnan välistä vuotanut ilmavirta antaa karheudelle arvon ml/min.

PPS-mittaus on tarkoitettu sileille papereille, kuten esimerkiksi jo valmiille LWC-paperille. Mittauksessa käytetään pehmeää mittapäätä, joka myötäilee paperin pintaa ja se perustuu samaan ilmavirtausmenetelmään kuin edellä esitetty Bendtsen-mittaus. Ilmavirta johdetaan paineella mittapään ja paperin pinnan epätasaisuuksien muodostaman tilan läpi. Pinnan karheuden keskimääräinen vaihtelu saadaan selville vuotavan ilman nopeudesta. Vaihtelu ilmaistaan mikrometreinä. Mitta kuvaa paperin pinnan keskimääräisen etäisyyden mittapäästä. (Veitsiluoto laboratorio 2012)(AB lorentzen & Wettre 2011)

6 Paperin pinnan topografia

6.1 Mahdollisuudet vaikuttaa pohjapaperin pinnan topografiaan

Pohjapaperin muodostuminen on monien tekijöiden summa. Niin kuin aiemmin kappaleessa 5.1 on mainittu, pohjapaperin merkitys lopputuotteen laatuun on merkittävä. Seuraavissa kappaleissa on esitelty eräitä merkittävimpiä tekijöitä pohjapaperin laadun optimoinnin suhteen, ja kuinka näiden tekijöiden optimoiminen vaikuttaa itse pohjapaperiin.

6.1.1 Jauhatus

Sellukuitujen matalasakeusjauhatuksen tarkoituksena on muuttaa kuidun rakennetta ja täten parantaa paperin lujuutta, paperin pinnan sileyttä, optisia ominaisuuksia tai paperin formaatiota. Jauhatuksella voidaan parantaa paperin pinnan sileyttä, mutta samalla heikentää veden poistumista puristinosalla paperista, jolloin tarvitaan enemmän energiaa paperin kuivatukseen. Jauhatus rikkoo kuitujen pintaa ja ne fibrilloituvat ulkoisesti. Tämä parantaa sidosten muodostumista, joka puolestaan tekee paperista lujempaa. Ulkoinen fibrillaatio kuitenkin heikentää vedenpoistumista. (Lumiainen J 2000, 87-89)

Jauhatuksen intensiteettiä nostamalla kuitujen katkeaminen lisääntyy, joka ei ole haluttu toimenpide varsinkaan sellulle, jonka tarkoituksena on tuoda lujuutta LWC–paperiin. (Lumiainen J 2000, 87-89)

Paperin pinnan optimoinnin suhteen jauhatuksen intensiteetin nosto voi parantaa sileyttä, mutta ongelmia voi esiintyä veden poistossa. Kuivatuksen tehostamiseksi paperikoneen ajonopeutta voi joutua laskemaan tai kuivatusosan höyrytasoja nostamaan. Kummatkaan eivät ole suoraan taloudelliselta näkökannalta suotuisia. (Lumiainen J 2000, 87-89)

Mekaaninen massa tarvitsee jauhatusta samoista syistä kuin sellukin. Mekaanisen massan rejektiä kuitenkin jauhetaan jo hiomolla, mutta myös jälkijauhatuksena ennen paperintekoa, haluttujen kuituominaisuuksien saavuttamiseksi. Rejektin käsittelyssä jauhatuksen tarkoituksena on rikkoa etenkin kuitukimppuja ja tikkuja. (Lumiainen J 2000, 87-89)

Jälkijauhatuksen intensiteetin kasvattamisella on seuraavia vaikutuksia:

- freeness pienenee,
- veto- ja puhkaisulujuus kasvavat ensin, mutta pitkittyneessä jauhamisessa heikkenevät lopulta,
- repäisylujuus säilyy tai hieman kasvaa alussa, mutta pitkittyneessä jauhamisessa lopulta heikkenee huomattavasti,
- kuidut lyhenevät, mutta käyristyneitä kuituja jauhettaessa kuitupituus voi hieman kasvaa,
- karkeiden ja pitkäkuitujen jaemäärät vähenevät ja keskipitkäkuitujen jaemäärä kasvaa,
- ei merkittävää hienojae määrän kasvua, ellei erikseen jauhatusta optimoida siihen suuntaan,
- tikkuisuus vähenee,
- ilmanläpäisevyys vähenee,
- bulkki vähenee tai tiheys kasvaa,
- imukyky heikkenee,
- opasiteetti ja valonsironta pysyvät ennallaan tai muuttuvat hieman, yleensä vähenevät vetolujuuden kasvaessa sekä
- sileytyminen paranee. (Lumiainen J 2000, 87-89)

6.1.2 Täyteaineet

Pohjapaperiin käytettävät yleisimmät täyteaineet ovat kaoliini, talkki, kalsiumkarbonaatti, kipsi, saostettu kalsiumkarbonaatti (PCC), titaanidioksidi ja synteettiset silikaatit. Niillä pyritään vaikuttamaan valmiin tuotteen ominaisuuksiin kuten hintaan ja optisiin ominaisuuksiin. Optisiin ominaisuuksiin täyteaineilla on lähes poikkeuksetta positiivinen vaikutus. (Knowpap 5/2004)

Täyteaineiden tärkeimmät ominaisuudet ovat partikkelikoko ja muoto, kuituainesta suurempi tiheys, huono sitoutumiskyky ja pintakemialliset ominaisuudet (Knowpap 5/2004).

Kaoliini:

- on helppo käsitellä ja liettää,
- ei vaahtoa,
- toimii happamassa ja neutraalissa prosessissa ja
- antaa pohjapaperille hyvän tiiveyden ja sileyden sekä vähentää päällysteen tunkeutumista pohjapaperiin. (Knowpap 5/2004)

Talkki:

- on pehmeä,
- levymäinen,
- vaalea,
- vaikeahko liettää,
- vaahtoava,
- sopii hyvin syväpainopapereille ja sillä on
- kyky absorboida prosessista organofiilisiä epäpuhtauksia, esim. pihkaa hiokkeessa. (Knowpap 5/2004)

PCC:

- on hyvin vaalea,

- parantaa opasiteettia ja bulkkia,
- omaa hyvän retention,
- alentaa vedenpoistoa mutta
- huonontaa lujuutta karkeaan levymäiseen täyteaineeseen verrattuna. (Knowpap 5/2004)

Täyteaineiden vaikutuksia paperin ominaisuuksiin:

- halvempi hinta kuituun nähden,
- parantunut opasiteetti ja kiilto,
- parantaa paperin sileyttä täyttäessään huokosia,
- vähentää suurten huokosten määrää ja tasoittaa siten paperin huokoskokojakaumaa,
- yleinen lujuusominaisuuksien heikkeneminen
- lisääntynyt pölyäminen ja
- jäykkyyden aleneminen (Knowpap 5/2004).

Täyteaineilla on positiivisia vaikutuksia, mutta myös negatiivisia, koskien niin prosessia kuin paperin ominaisuuksia. Prosessissa täyteaineet vähentävät retentiota viiraosalla. Kuituraaka-aineiden viiraretentio voi olla jopa 90 prosenttia, kun se taas täyteaineilla on vain 20 -30 prosenttia. Mitä hienojakoisempaa täyteaine on, sitä enemmän retentio laskee. Toisaalta taas kiiltoa ja opasiteettia saadaan paremmaksi hienojakoisemmalla täyteaineella. (Knowpap 5/2004)(Neimo, 1999,117-120)

Täyteaineiden käytössä on tasapainoteltava hyvien ja huonojen vaikutusten välillä. Ei-haluttujen vaikutusten, kuten vaahtoamisen ja heikentyneen retention vuoksi joudutaan käyttämään lisäkemikaaleja kuten vaahdonestoa ja retentioaineita.

PK5:lla pohjapaperin täyteaineiden tavoitearvot ovat seuraavia:

- Silika 360 g/tn

- Talkki hiokkeelle 25 kg/tn
- optinen kirkaste tarvittaessa 0,5-2 kg/tn
- PAC hylkyyn 4 kg/ päällystetty hylky tn
- PAC hiokkeeseen 3 kg/tn
- RPCC maks. annos (tuhkan mukaan) 60 kg/tn. (Veitsiluoto ajostandardi 2012)

Täyteaineen lisäksi talkilla on tärkeä tarkoitus myös torjua pihka- ja lateksiainekertymiä. Talkki adsorboi pihkapartikkeleita hydrofobisten ominaisuuksiensa ansiosta organofiilisille levypinnoilleen, siksi sitä lisätään hiokkeen sekaan. Täyteaineena käytetyn talkin keskimääräinen partikkelikoko on suurempi kuin pelkästään pihkantorjuntaan käytetyn talkin (Neimo, 1999,117-120)(Krogerus, 2002, 10)

6.1.3 Rainan muodostus

Paperikoneen rainanmuodostusosaan kuuluu perälaatikon syöttöputkisto, perälaatikko ja viiraosa. Perälaatikon ja sen syöttöputkiston tehtävä on:

- levittää massasuspensio tasaisesti paperikoneen poikkisuunnassa ,
- stabiloida syöttövirtauksen painevaihtelut ja pulseeraus sekä mahdolliset poikkisuuntaiset virtaushäiriöt ,
- tuottaa sopivan tasoinen turbulenssi massasuspensioon kuituflokkien hajottamiseksi ja
- tuottaa viiraosalle massasuspensiosuihku, jolla on haluttu sakeus (tyypillisimmin n. 0,5-1,0 prosenttia) sekä nopeus ja suunta (KnowPap 5/2004).

Viiraosan tehtävänä rainanmuodostuksessa on:

- poistaa perälaatikon suihkuttamasta massasuspensiosta vettä suotauttamalla se sihtinä toimivan viirakudoksen läpi,
- aiheuttaa rainaan riittävän suuruisia hydrodynaamisia voimia flokkien syntymisen estämiseksi ja niiden hajottamiseksi,
- hallita vedenpoisto ja hydrodynaamiset voimat siten, että kuitu- ja täyteaineretentio ovat tasaiset ja halutun suuruiset ja
- saattaa raina riittävän korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen, jotta rainan siirto viiralta puristimelle on helppoa ja puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus (KnowPap 5/2004).

Massasuspensio virtaa viiralle perälaatikon huulen ohjaamana. Perälaatikolta tulevan massasuspension kuituosuus on luokkaa 0,2–1,0 prosenttia (Kuhasal, Niskanen, Paltakari, Karlsson, 2000, 16).

Huuliosa muodostuu yleensä kahdesta huulesta, jotka tavallisesti ovat noin 30 asteen kulmassa. Ylähuuli on säädettävissä pituus- ja korkeussuunnassa. Huuliaukon korkeus määrää virtauksen tietyllä nopeudella ja täten epäsuorasti sakeuden. Rainan muodostukselle merkityksellinen asia on huulten keskinäinen asema, joka määrää missä kulmassa suihku viiralle suuntautuu. Optimoimalla huulisuihkun tulokulmaa viiralle voidaan vaikuttaa erityisesti tasoviiraosan alussa tapahtuvaan vedenpoistoon. Ylähuuli on varustettu noin 200 mm välein säätöruuveilla, joilla voidaan suorittaa huulen hienosäätö. Lisäksi niillä voidaan poistaa radan poikkisuuntaisesti esiintyviä epätasaisia virtoja.

Virtaussuhde on perälaatikolta tulevan massasuihkun ja viiran nopeuden välinen suhde. Nopeuksien erolla saadaan massasuspension kuidut suuntautumaan enemmän konesuuntaisesti. Tällä saadaan parempi konesuuntainen vetolujuus. (Valmet 1999,9-12).

6.1.4 Puristinosa

Puristinosaan tehtävä on poistaa vettä, joka tapahtuu mekaanisesti puristamalla. Viiraosalta tulevan rainan kuiva-ainetaso on 17-20 prosenttia ja märkäosan puristuksen jälkeen 35-50 prosenttia riippuen paperilajista. Märkäpuristus tapahtuu aina joko puristinhuovan ja sileän telan tai kahden puristinhuovan välissä. (KnowPap 5/2004)

Puristuksessa rainan tilavuus pienenee ja vesi poistuu. Liian äkilliset puristusvoimat voivat vahingoittaa rainaa, siksi puristus toteutetaan useammassa nipissä, puristusvoimaa vaihteittain lisäämällä. Paperirainaa ei voida kuitenkaan puristaa niin paljon, kuin laitteilla teknisesti voisi, sillä liian kova puristus voi aiheuttaa paperiin markkeerausta, rikkoa kuidukon tai huuhtoa rainasta hienoainesta. Liian kovaa puristusvoimaa käytettäessä paperin paksuus pienenee eli bulkki jää liian alhaiseksi. Liian kovat puristusvoimat kuluttavat huopia liikaa ja voivat aiheuttaa tärinää. (KnowPap 5/2004)(Paulapuro, 2007, 344-350)

Märkäpuristus vaikuttaa merkittävästi paperin seuraaviin ominaisuuksiin:

- paperin sileys ja sen symmetria
- hienoainejakauma
- pölyävyys
- kosteus ja kosteusprofiilit
- huokoisuus sekä
- bulkki (KnowPap 5/2004).

Puristingeometria, huovat, telat ja niiden pinnoitteet ja viivapaineet on valittava oikein kullekin paperilaadulle. (KnowPap 5/2004)

Märkäpuristuksessa puristinosaan pinta jäljentyy helposti paperin pintaan. Vaikka kuitumateriaaleissa oleva kuitu on huomattavasti paksumpaa kuin paperin

puukuidut, silti paperin pintaan pyrkii jäämään merkkausta huovasta. Yleensä huovan puoleinen puristuspinna on karheampaa kuin sileän telan puoleinen. Kolminippi-puristinosassa toinen puoli paperista puristuu sileään telaan kahdessa nipissä, kun taas toinen puoli puristuu jokaisessa kolmessa nippivaiheessa huopaa vasten. Tämä aiheuttaa pakostakin paperin toispuoleisuutta karheuteen nähden. Märkäpuristuksella on merkittävä vaikutus paperin sileyteen. (Paulapuro 2007, 364-365) (Sung, Keller, 2008, 328-331)

6.1.5 Kuivatusosa

Kuivatusosalla paperista poistetaan loppu vesi haihduttamalla. Paperi kiertää kuivatusosalla kuivaviirojen mukana höyrösylinterien lomitse. Kuivatusosan viirat tai niiden saumaukset voivat aiheuttaa markkeerausta paperirataan, joskin se on nykypäivänä harvinaista. Ohuet paperit kuten tupakan käärepaperi tai jotkin hienopaperit ovat alttiimpia markkeeraukselle viiraosalla.

Markkeeraus ilmenee tyypillisesti kolmella eri tavalla:

- mekaanisena painauma jälkeenä,
- haihtumisen aiheuttamana kutistumisena tai
- epätasaisen haihtumisen aiheuttamana, johtuen viirapinnan epätasaisuuksista (Kiiskinen ym. 2000, 346-347).

Etenkin mekaaninen painaumajälki voidaan estää, vaihtamalla kuluneita viiroja säännöllisin väliajoin. Edellä mainittuja ongelmia ei kuitenkaan esiinny pahemmin PK5:llä, joten niitä ei käsitellä tässä työssä enempää.

6.1.6 Konekalanteri

Konekalanteri sijaitsee paperikoneella heti kuivatusosan jälkeen. Konekalanterin nopeus on yhtä suuri kuin paperikoneen. Superkalanteriin verrattuna konekalanterissa on vähemmän nippejä, yleensä 1-5 ja sen tarkoitus on muokata mekaanisesti pohjapaperia. Yleensä LWC-papereilla konekalanterina on kovanippikalanteri, jossa on ainoastaan kovia metalliteloja. (Soini 2007, 18)(KnowPap 5/2004)

Konekalanterin prosessimuuttujat ovat telojen välinen puristusvoima eli viivakuorma ja lämpötila, myös nippien lukumäärä vaikuttaa kalanterointi tulokseen. Konekalanterin tarkoitus on tiivistää ja silottaa paperia. Eri tasaisen formaation johdosta kovapaineinen konekalanterointi saattaa aiheuttaa paperin tummumista. Paperiin voi painautua tummia läpikuultavia pisteitä. Myös mottling ilmiötä voi esiintyä. (Jokia 1999, 14-17)

Konekalanteroinnin etuja ovat kustannustehokkuus sekä sen kalanteroinnin hyvä vaikutus paksuusprofiiliin. Haittoina ovat tummumisen mahdollisuus, mottling, lujuuden sekä bulkin heikkeneminen. (KnowPap 5/2004).

6.2 Päälylystämisen mahdollisuudet vaikuttaa paperin topografiaan

Päälylysteellä voidaan täyttää pohjapaperissa olevia koloja ja peittää sen pinta (Lehtinen E 2002,14). Päälylysteessä on huomattavasti pienempi huokoskoko, joka parantaa paperin painatusominaisuuksia painoväriin alhaisemman imeytymisen ja leviämisen ansiosta (KnowPap 5/2004).

Päälylystämällä on seuraavia vaikutuksia:

- painomusteen alhaisempi imeytyminen,

- pintalujuuden kasvu, pölyäminen vähenee,
- kiilto paranee ja myös
- opasiteetti paranee kuin vaaleuskin (KnowPap 5/2004).

Edellä mainittuihin muuttujiin vaikuttaa kuitenkin päällystystapa, päällysteaineet ja jälkikäsitteily. Päällystämällä voidaan lieventää pohjapaperin virheitä, mutta ei kuitenkaan kokonaan peitä niitä. Onnistuneelle päällystämälle vaaditaan hyvä pohjapaperi (Lehtinen 2002,14-19).

6.2.1 Teräpäällystys

Teräpäällystyksessä terä kaapii ylimääräisen päällysteaineen pois pohjapaperin korkeimpia pinnanmuotoja myötäillen. Tämä tarkoittaa sitä, että pohjapaperin ns. monttuihin jää enemmän päällysteainetta kuin mitä huippuihin. Mitä karheampaa pohjapaperi on, sitä enemmän se vastaanottaa päällysteainetta samalla teräpaineella. (Lehtinen 2002, 31-33)

Jos pohjapaperi on kokoonpuristuvampaa, päällystysvaikutus on vähäisempää samalla teräpaineella. Heti terän jälkeen paineen vapautuessa kuidut turpoavat ja osa kuidusta paperin pinnalla ponnahtaa pystyyn. Tämä vähentää päällystämällä haettua tavoitetta, painettavuuden paranemista. (Lehtinen 2002, 31-33)

Pohjapaperin karheudelle on olemassa optimitaso. Liian karhealle paperille on hankalaa saada hyvä päällystekerros ja liian sileälle paperille joudutaan käyttämään alhaisia teräpaineita, joka puolestaan johtaa huonoon päällysteprofiiliin. Tikut, kuitukimput ja poikittaiset karheat kuidut aiheuttavat ongelmia hyvän päällystepinnan tavoittelussa. (Lehtinen 2002, 31-33)

Jos pohjapaperissa esiintyy kaksipuoleisuutta, jota esiintyy etenkin tasoviiralla olevissa pohjakoneissa, on tärkeää valita oikea päällystysjärjestys, koska päällystäminen karhentaa vastakkaista, ei päällystettyä puolta. Tarvittava

päällystemäärä, kuin myös päällystepigmenttikin voivat olla erilaisia paperin yläpuolen ja viirapuolen suhteen. (Lehtinen 2002, 31-33)

Sopiva karheus pohjapaperille, päällystämistä varten, voidaan optimoida välikalanterilla tai konekalanteroinnilla. Kalanterin telan lämpötila kontrolloi karheusastetta. Märänpään ja puristinosan profiilien tulisi olla kuitenkin lähellä tavoitearvoja, jotta kalanteroinnilla tarvitsisi tehdä ainoastaan hienosäätöä karheuden suhteen. (Lehtinen 2002, 31-33)

6.2.2 Päällystereseptit

Päällysteainetta eli pastaa valmistetaan panos- tai jatkuvana prosessina. Panosprosessissa pastaan tulevat aineet sekoitetaan sekoitussäiliöön yksitellen. Pasta on valmista, kun kaikkien komponenttien lisäyksen jälkeen tarvittava sekoittumisaika on kulunut. Jatkuvassa prosessissa pastan seosaineita lisätään sekoitussäiliöön jatkuvana virtana. Näistä kahdesta panosprosessi on yleisemmässä käytössä. Panosprosessissa saadaan tehtyä tarkemmin juuri halutunlainen ja samanlainen pasta, joka on tärkeä edellytys korkealaatuisen pastan valmistukselle.

Seuraavassa kuvassa 5 on esitelty eräitä yksinkertaistettuja esimerkkejä pastaresepteistä. Arvoista puuttuu vedenmäärä sekä pH – säätöaineet. (Lehtinen 2002,14-19)

Color		1.	2.	3.	4.
Pigment	Kaolin clay	100	100	50	70
	Calcium carbonate	–	–	50	–
	Talc	–	–	–	30
Binder	SB-latex	10	6	10	–
	Starch	–	6	–	–
	Acrylate latex	–	–	–	5
Co-binder	CMC	1	–	1	–
Additive	Lubricant	0.5	0.5	–	0.5
	Insolubiliger	0.1	0.6	0.1	–

Kuva 5. Eri pastareseptejä (Lehtinen 2002,14-19).

1. Kyseessä on yksinkertainen offset-painomenetelmään soveltuva pastaresepti. Pigmenttiaineena on pelkästään kaoliinia. SB-lateksi (styreeni-butadieeni lateksi) toimii sidosaineena. CMC:n (karboksyyli metyyli selluloosa) tarkoitus on säätää pastan virtauksen ja veden retentiota. Se lisää pastan viskositeettia ja täten vaikuttaa virtausominaisuuksiin. Liukasteaine (lubricant) on lisäaine, joka esimerkiksi parantaa päällysteaineen kalanterointia. Kovetin-ainesosan (insolubliger) tehtävä on tehdä vesiliukoinen CMC vettä hylkiväksi. Veden hylkivyyttä tarvitaan etenkin offset-painomenetelmässä, jossa päällyste vettyy. Ilman kovetinta paperin ainesosia irtoaa ja alkaa kertyä painopinnoille, jolloin painokone joudutaan puhdistamaan.
2. Resepti on lähes samanlainen kuin numero 1, mutta CMC ja osa SB-lateksista on korvattu tärkeillä. Tärkein sidosvoimakkuus on kuitenkin heikompi kuin CMC:n ja SB-lateksin, siksi sidosaineiden kokonaismäärää on lisätty. Tärkei vaikuttaa pastaan samalla tavalla kuin CMC nostamalla viskositeettia ja muuttamalla virtausolosuhteita sekä vesiretentiota.
3. Myöskin samanlainen resepti kuin numero yksi, mutta puolet kaoliinista on korvattu kalsiumkarbonaatilla. Se lisää vaaleutta ja musteen imeytymiskykyä. Musteen imeytymiskyvyn kasvaminen johtuu päällystekerroksen avarammasta rakenteesta, toisin sanoen suuremmasta huokoisuudesta. Jos kalsiumkarbonaatti on jauhettua, se lisää kiiltoa. Saostetulla kalsiumkarbonaatilla (PCC) ei ole merkittävää vaikutusta kiiltoon pienen partikkelikoon johdosta.

4. Kyseessä on esimerkkiresepti syväpainoon soveltuvasta pastasta. Eroja voidaan huomata pigmenttiaineissa kuin myös sidosaineissa. Osa kaoliinista on korvattu talkilla, joka antaa pastalle ominaisuuksia syväpainoon soveltuvaksi. Talkkia käytetään etenkin Suomessa ja Euroopassa tehdyissä pastoissa, joilla saadaan paperille hyvät ominaisuudet syväpainoon, myös hienojakoisempaa kaoliinia voidaan käyttää. Syväpainoon soveltuvilla pastoilla on yleensä alhainen sidosainemäärä. Verrattaessa syväpaino musteita ja offset musteita, syväpaino muste on juoksevampaa, ei niin tahmeaa kuin offset. Tämän vuoksi syväpainopastojen ei tarvitse olla niin lujia, tämä mahdollistaa alhaisemman sidosainemäärän. Myöskään CMC:tä ei ole lisätty, vaan akryylilateksin katsotaan toimivan viskositeetin ja veden retention säätävänä aineena. (Lehtinen 2002,14-19)

6.3 Superkalanteroinnin mahdollisuudet vaikuttaa lopputuotteen topografiaan

Superkalanteroinnin paperia muovaava vaikutus perustuu pääosin mekaanisen energian vaikutukseen nipeissä. Kalanteroinnin tärkeimpänä tavoitteena etenkin LWC–papereilla on saada paperiin haluttu kiilto ja pintasileys, kuin myös säätää paperin paksuus ja tiheys halutun suuruiseksi. (Soini 2007, 18)

Kalanteroidun paperin ominaisuuksiin vaikutetaan nippikuormalla, eri telatyypeillä, telojen kovuusasteella, kalanterointinopeudella eli viipymäajalla nipissä, telalämpötiloilla ja rainan kosteudella. (Soini 2007, 18)

Mitä hitaampi kalanterointinopeus on, sitä pidemmän aikaa paperi on nipin puristuksen vaikutuksen alaisena. Pidempi nipin viipymäaika puolestaan poikkeuksetta parantaa paperin pintaominaisuuksia. (Jokio 1999, 46-50)

Kosteudella on merkittävä vaikutus siihen kuinka paperi muovautuu. Suurempi kosteus edesauttaa paperin silottumista kalanteroinnissa. Superkalanteriin voidaan lisätä oma paperin pinnan kosteutusjärjestelmä. (Jokio 1999, 46-50)

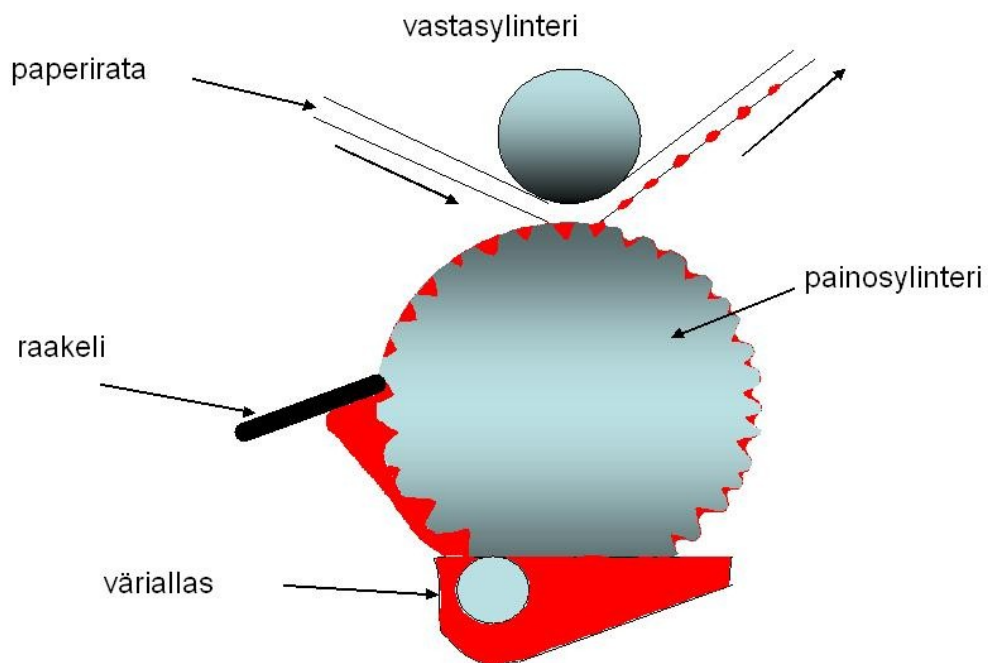
7 Syväpaino

Rotogravure eli syväpainomenetelmää käytetään suurten painomäärien painamiseen. Syväpainomäärät ovat yleensä yli miljoona kopiota, mutta nykyiset kehittyneemmät menetelmät mahdollistavat pienempienkin painomäärien taloudellisuuden. Syväpainossa käytettävä painosylinteri on kallis, mutta itse menetelmä suurissa painomäärissä osoittautuu edullisemmaksi kuin offset-painomenetelmä. Syväpainomenetelmää käytetään etenkin aikakauslehtien ja luettelojen painamiseen, joissa sivumäärät ovat suuria. Monet koteihin postitettavat katalogit ovat syväpainotuotteita, kuten esimerkiksi maailmanlaajuisesti 160 miljoonaa kappaletta painettu Ikea kuvasto (ERA, 2012). Syväpainoa käytetään myös seinäpapereiden, pakkauskartonkien ja käärepapereiden painamiseen. Lisäksi menetelmää voidaan myös käyttää erittäin sileiden pintojen painamiseen kuten folioarkkeihin, postimerkkeihin ja arvopapereihin. (Leppänen, 2000) Syväpainon osuus oli 11 prosenttia koko Euroopan paino-osuudesta vuonna 2009 (Viluksela, 2008).

Syväpainossa käytetty värin juoksevuus eli viskositeetti on alhainen ja offsetissa korkea (Hakkila O 2006). Syväpainomusteen liuottimet, kuten esimerkiksi tolueeni, haihtuvat jo huoneen lämmössä, joten syväpainettu paperi ei välttämättä tarvitse kovaa kuumennusta kuivatuksessa. Kova kuivatus/kuumennus painatuksen jälkeen aiheuttaa paperin karhentumista, jota esiintyy etenkin offsetpainomenetelmässä. (Oittinen, Saarelma, 2009, 132).

7.1 Syväpaino prosessi

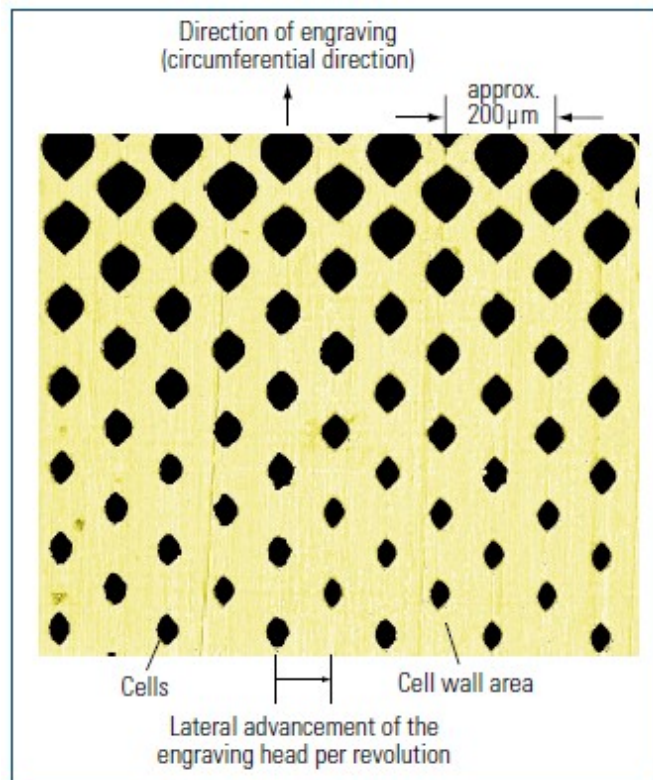
Syväpainomenetelmän tyypillisin piirre on, että painojäljen tuottavat jäljet on kaiverrettu pieniksi kuopiksi ns. rasterikuppeiksi itse painotelan pintaan. Ei-painava-pinta on telan originaalia pintaa. Syväpainoprosessissa koko tela kastetaan painoväriin ja ylimääräinen väri kaavitaan pois raakeliterällä, jolloin väri jää vain rasterikuppeihin, kuva 6. Kuppien välinen ”kannas” toimii tukena raakelille. Värinsiirto painoalustalle tapahtuu painosylinterin ja vastatelan välisessä nipissä voimakkaan puristuksen alla. Väri siirtyy rasterikuppeista siis mekaanisen puristuksen, ja myös värin ja painopinnan välisen adheesiovoiman vaikutuksesta. (Hakkila 2006)(Kipphan 2001,360-394)



Kuva 6. Värinsiirto syväpainossa (Hakkila, 2006).

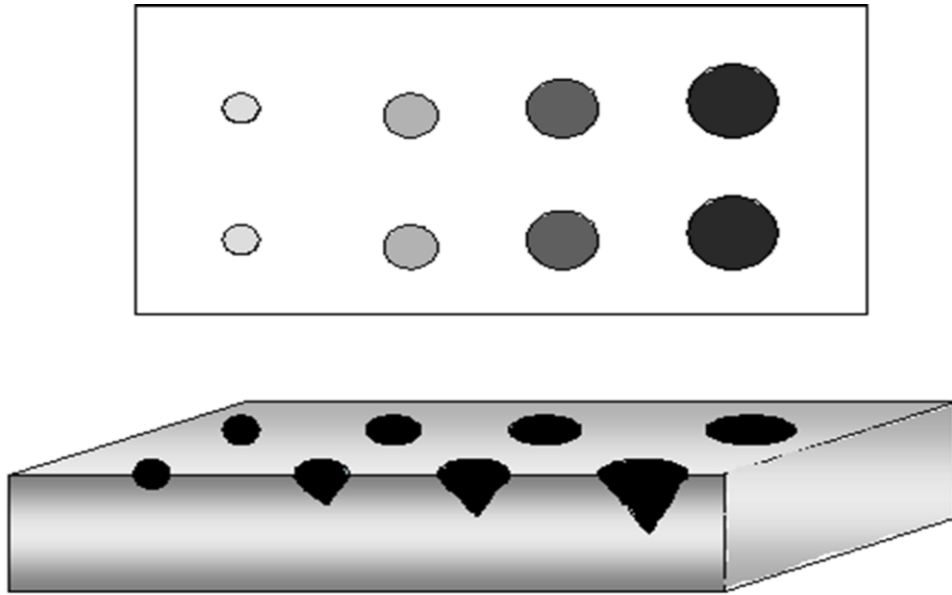
Syväpainotela muodostuu peruseriaatteeltaan sylinteristä, joka on pinnoitettu kuparilla. Kuparin pintaan kaiverretaan esimerkiksi elektromekaanisella prosessilla rasterikupit joihin väri asettuu. Neliväripainatuksessa jokainen perusväri painetaan erikseen neljällä eri telalla. (Hakkila, 2006)(Kipphan 2001,360-394).

Kuvassa 7 nähdään syväpainotelan pintaa. Mustat pisteet ovat rasterikuppeja ja kellertävä alue itse telan pintaa. Kahden samassa linjassa olevan rasterikupin etäisyys toisistaan kyseisessä kuvassa on noin 200 mikrometriä (Kipphan 2001,360-394).



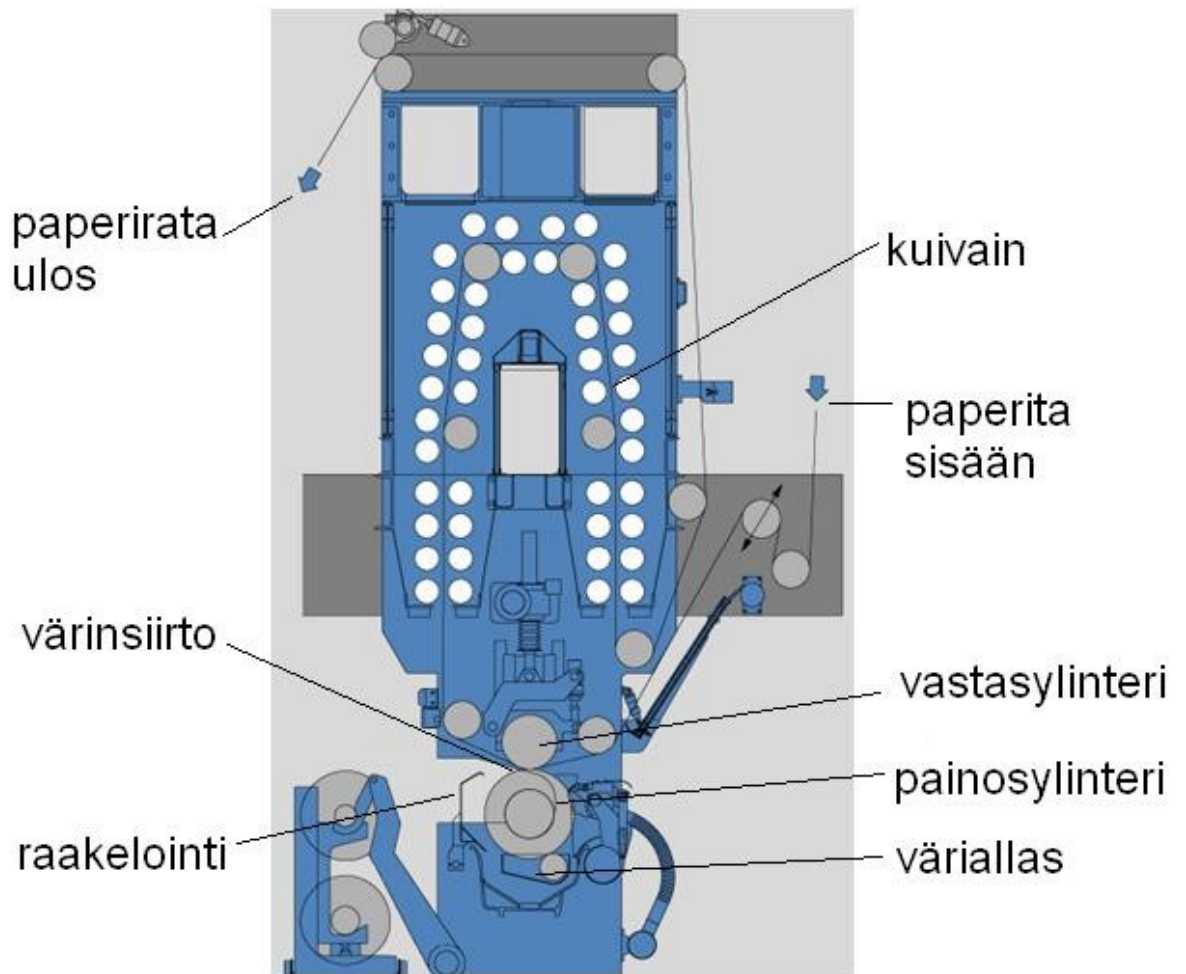
Kuva 7. Syväpainotelan pinta (Kipphan H 2001,360-394).

Erikokoiset ja syvyiset rasterikupit muodostavat painojäljessä eri sävyjä (Hakkila, 2006)(Kipphan, 2001,360-394). Kuvassa 8 on havainnollistettu erisyyksiä rasterikuppeja.



Kuva 8. Erikokoisia ja syvyisiä rasterikuppeja (Kipphan H 2001,360-394).

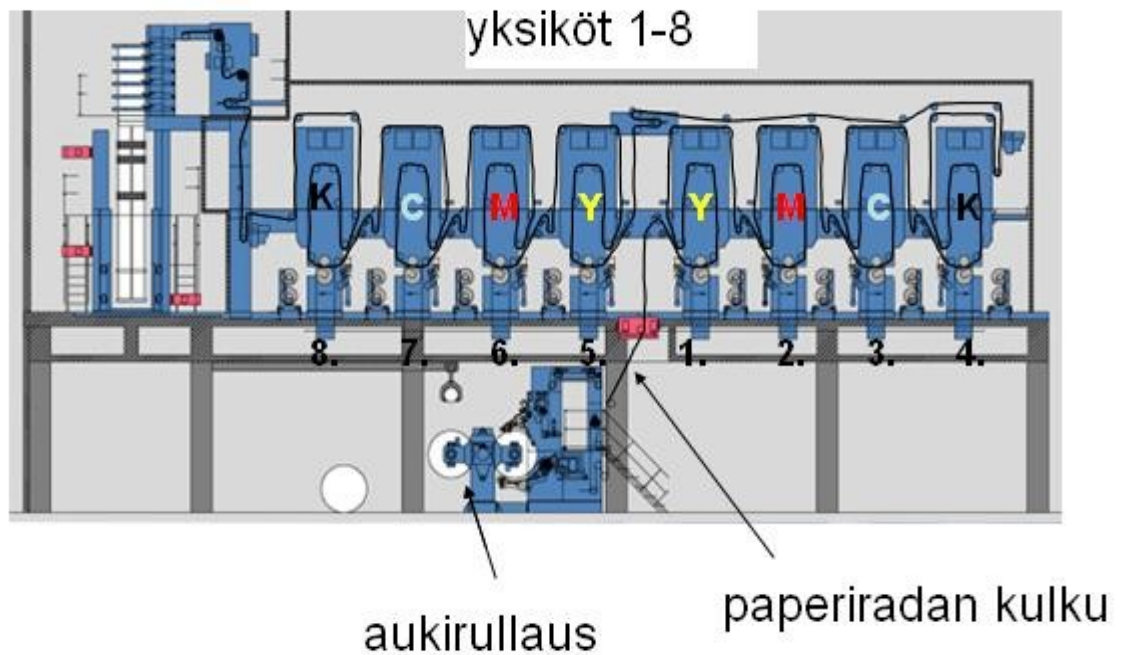
Kuvassa 9 on syväpainoyksikkö kuivatusosineen. Syväpainoyksikössä paperirata johdetaan painosylinterin ja vastasyylinterin väliseen nippiin, jossa värinsiirto tapahtuu. Värinsiirron jälkeen rata kuivatetaan lämminilma puhaltimilla. (Hakkila, 2006)(Kipphan, 2001,360-394)



Kuva 9. Syväpaino yksikkö kuivatusosineen (Hakkila, 2006)(Kipphan, 2001,360-394).

Kuvassa 10 on esitelty koko syväpainokone painoyksikköineen. Paperirata johdetaan ensin painoyksikköön 1 (keltainen Y), toisena painoyksikköön 2 (magenta M), kolmantena painoyksikköön 3 (syaani C) ja viimeisenä painoyksikköön (musta K). Radan toinen puoli painetaan samalla kertaa ja rata johdetaan painoyksikköihin 5 – 8, jolloin radan molemmille puolille on siirretty neljä väriä. Rata leikataan, katkaistaan ja taitetaan lehdiksi taittolaitteessa. (Hakkila, 2006)(Kipphan, 2001,360-394)

taittolaite



Kuva 10. Syväpainokone (Hakkila, 2006)(Kipphan, 2001,360-394).

7.2 Sähköavusteinen värinsiirto (Electrostatic assist eli ESA) ja puuttuvat pisteet

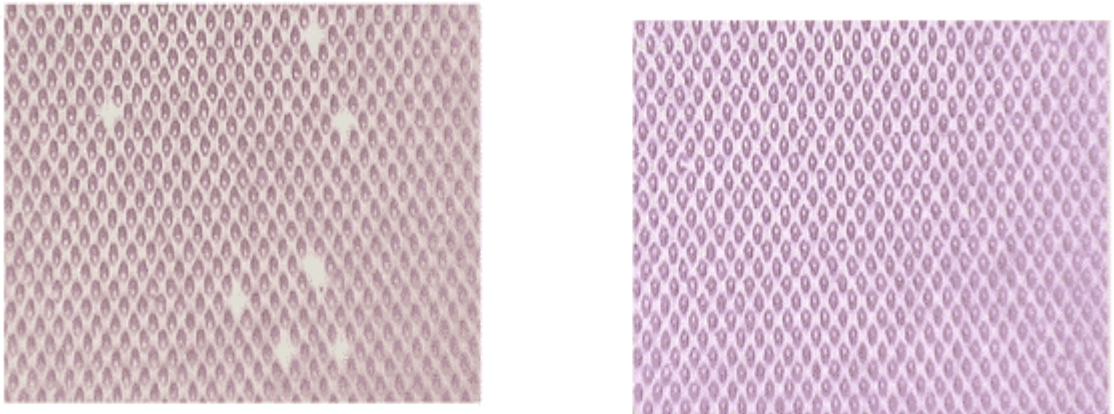
Yksi ongelma syväpainossa on puuttuvien pisteiden syntyminen. Puuttuva piste syntyy, kun painoväri ei siirry painotelan rasterikupista paperin pinnalle. Painoväriin siirtymistä paperin pinnalle edesautetaan sähköstaattisesti. Menetelmästä käytetään englannin kielistä lyhennettä ESA, eli Electrostatic assist. (Haney 2012)

Sähköstaattisessa värinsiirrossa painotelan johdetaan sähkövirta, jolloin painonippiin muodostuu elektrostaattinen kenttä. Painoväri ja painotela ovat eri varauksisia, jolloin painoväri pyrkii nousemaan rasterikupista. Tämä

edesauttaa painovärin siirtymistä painopinnalle eli paperiin, jolloin puuttuvien pisteiden osuus vähenee. (Haney 2012)

Liian karhea paperin pinta on yksi tekijä puuttuvien pisteiden syntyyn. Karhean pinnan ja painotelan välinen kontakti ei ole niin hyvä, mitä sileämmillä pinnoilla. Väliin jää kohtia, jossa rasterikupissa oleva väri ei saa tarttumapintaa paperista. Tällöin väriaine jää siirtymättä paperille. Alue näkyy paperissa valkoisena pisteenä. Itse rasteripisteitä ihmissilmä ei erota, mutta vaaleat puuttuvat pisteet kuvassa voidaan havaita selvästi. (Imerys, Paper and Packaging)

Kuvassa 11 nähdään vasemmalla alue johon puuttuvia pisteitä on muodostunut, oikealla virheetön painojälki (Haney 2012).



Kuva 11. Puuttuvat pisteet (Haney 2012).

8 Tiedonkeruu

Pohjapaperin prosessisuureiden kuin laadun suhteen tiedonkeruu on tapahtunut KCL-Wedge järjestelmää käyttäen. Myös henkilökunnan haastattelut ovat olleet oivana apuna koeajoja suunniteltaessa sekä seuratessa.

Laboratorioarvot on toimitettu Veitsiluodon oman laboratorion johdosta suoraan diplomityötä varten.

Lopputuotteen osalta topografiamittauksen sileys-indeksi kerättiin erilliselle kentällä olleelle kannettavalle tietokoneelle. Dataa on käsitelty Excel-ohjelmistolla.

Syväpainokoeajo suoritettiin Saksassa, Mönchengladbachissa, josta myös toimitettiin puuttuva piste -analyysi diplomityötuloksia varten.

9 Kokeellinen osa

Kokeellinen osa päätettiin jakaa kahteen osioon, koska superkalanterille tulevan topografiamittausjärjestelmän (Metso IQ Surface-mittausjärjestelmä) asennusajankohta oli huomattavasti myöhäisempi kuin pohjakoneen vastaavan.

Ensimmäisessä osiossa tutkittiin topografiamittausjärjestelmän antamaa dataa ainoastaan pohjakoneelta. Tarkoituksena oli etenkin tutkia jatkuvia prosessimuuttujien aiheuttamia ”luontaisia” vaihteluita, joita esiintyy pohjakoneella esimerkiksi eri paperilajeja ajettaessa. Tarkoituksena oli analysoida aiheuttavatko esimerkiksi tuhkan, kuituosuuksien tai kemiallisten lisäaineiden vaihtelut muutoksia topografiamittausjärjestelmän antamaan karheusarvoon.

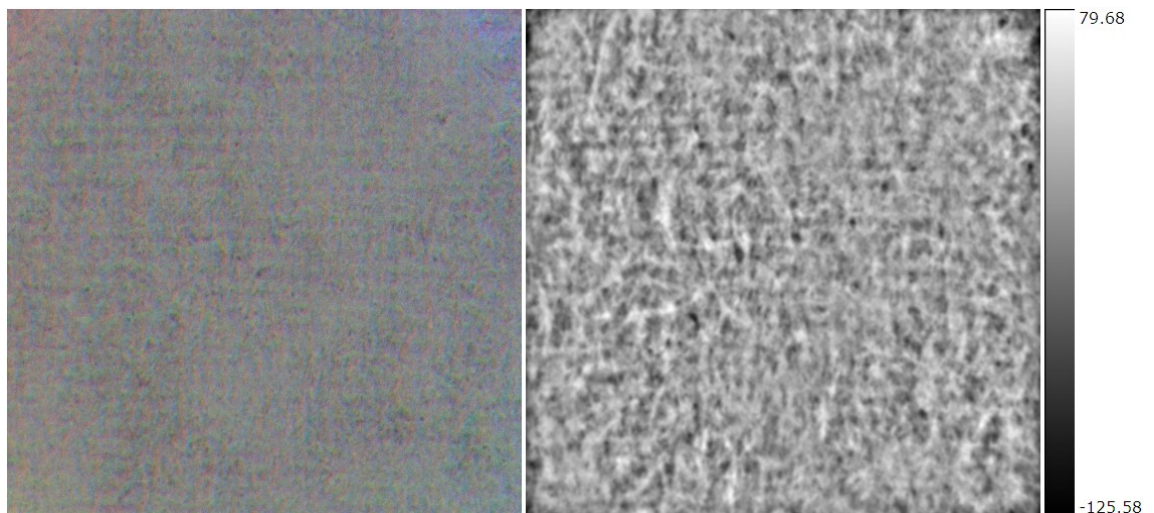
Toisessa osiossa, jossa otettiin jo mukaan topografiamittaus lopputuotteesta, toteutettiin koeajot. Koeajoina toteutettiin päällystyskoneen teränvaihdon merkitys, superkalanterin eri ajonopeuksien vaikutus sekä formeritelan alipainemuutoksen vaikutus lopputuotteen sileyteen. Lisäksi tutkittiin reunarullan ja keskirullan syväpainotulos eroavuutta. Kaikille koepisteille suoritettiin syväpaino tutkimuslaboratoriossa Mönchengladbachissa, Saksassa.

Ainoana pohjapaperiin vaikuttavana prosessimuuttujana oli siis formeritelan alipainemuutos. Hiokkeen freeneksen koeajot jäivät alkuperäisestä suunnitelmasta pois.

10 Metso IQ Surface – mittausjärjestelmän antama data DNAview:n kautta

Topografiamittaus ottaa paperiradasta 10 kuvaa sekunnissa. Seuraavassa on esitelty suoraan online tilanteesta otettuja kuvia sekä niistä laskettuja pinnan ominaisuuksia. Kuvat ovat kooltaan 10 mm x 10 mm.

Kuvassa 12 on vasemmalla topografiamittauksen viistovalokuva ja oikealla 0,5 mm:n ylipäästösuodatettu topografiakuva (korkeuskartta).

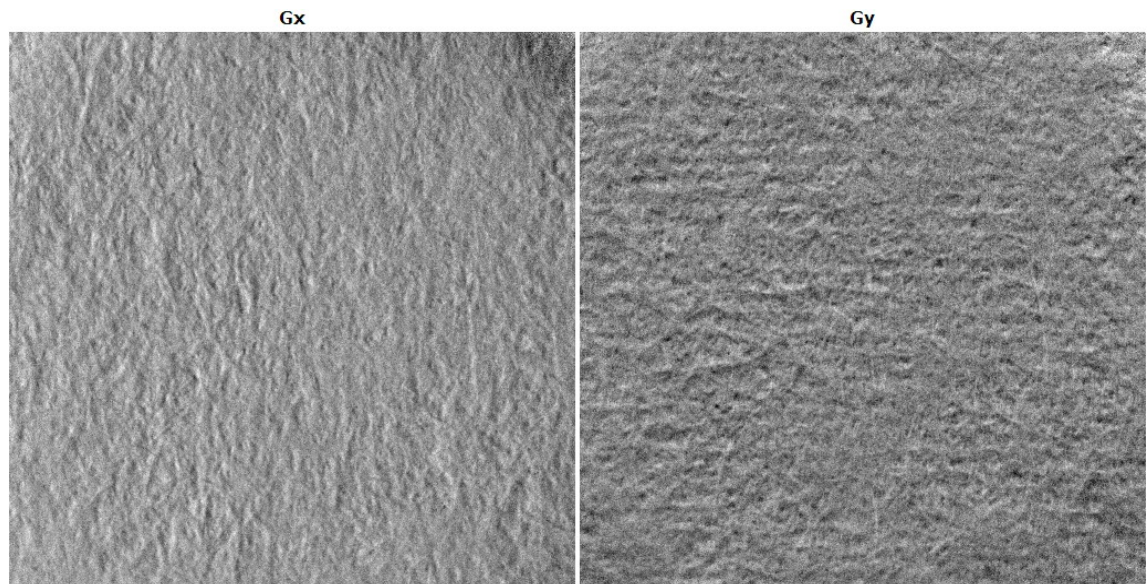


Kuva 12. Viistovalokuva ja sen topografiakuva.

Mittauksen tuottamasta topografiakartasta voidaan laskea pinnan karheus eri aallonpituuksilla. Analysoimalla pinnan topografiaa voidaan selvittää pinnan

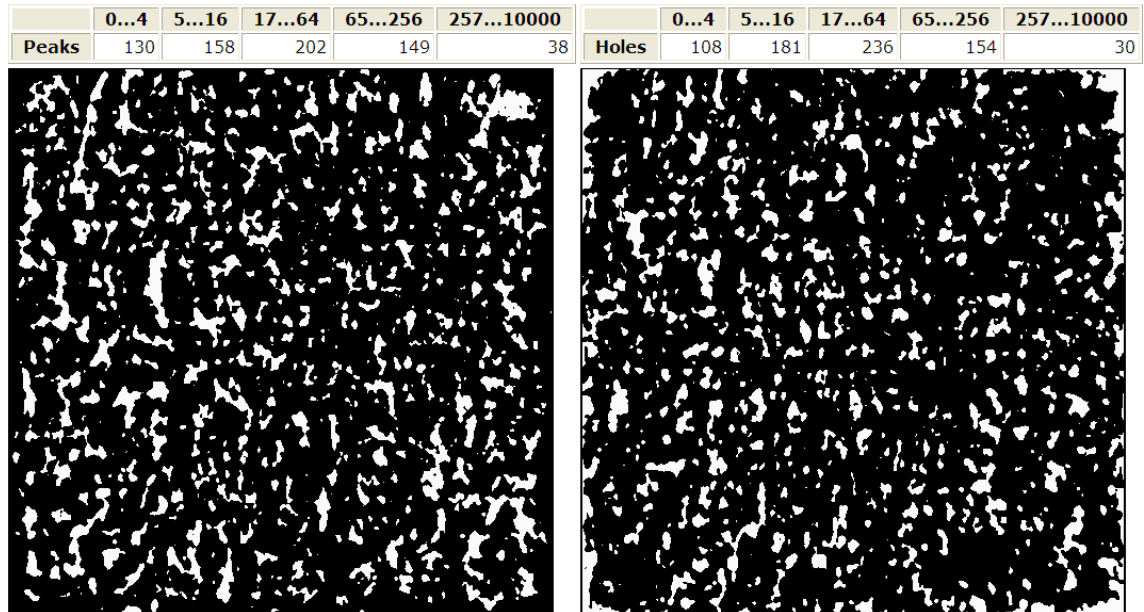
rakenteen eri piirteitä kuten esimerkiksi viira- tai huopamarkkeerausta. Kynnystämällä pinnan korkeus halutulla kynnyksarvolla voidaan mittauksella analysoida sellaisten piirteiden esiintyvyyttä, joilla saattaa olla haitallinen vaikutus paperin painettavuuteen.

Kuvassa 13 nähdään topografiakuvan Gx eli CD-suuntaiset (poikkirata) ja Gy eli MD-suuntaiset (konesuuntaiset) pintagradientit. Kuvat ovat samasta alueesta. Gy osasta voidaan huomata symmetristä vaakatasossa olevaa markkeerausta, joka mahdollisesti muodostuu märänpään alaviiralta tai huovilta.



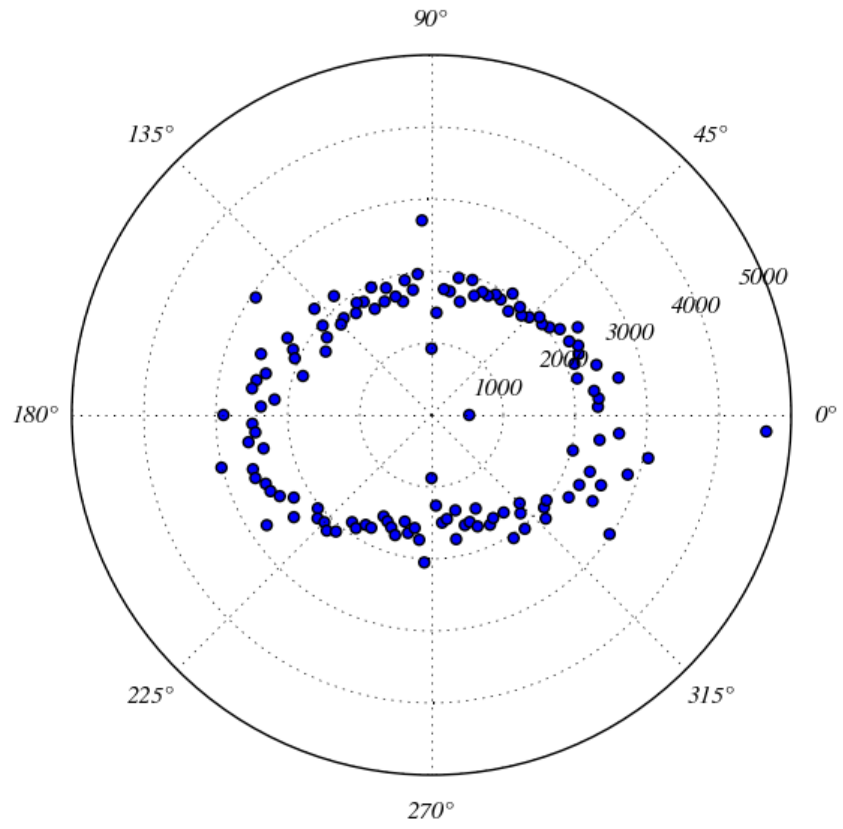
Kuva 13. Gx ja Gy pintagradientit.

Kuvassa 14 on laskettu pintagradienttien avulla kuvasta 13 paperin pinnan huippuja ja laaksoja. Kuvan yläreunassa olevat 0-4, 5-16, 17-64, 65-256 ja 257-10 000 luvut ovat pikselimääriä. Esimerkiksi 0-4 pikselin kokoista huippua löytyy kuvasta 130. Yksi pikseli on 20 μm x 20 μm .



Kuva 14. "Huiput" ja "laaksot".

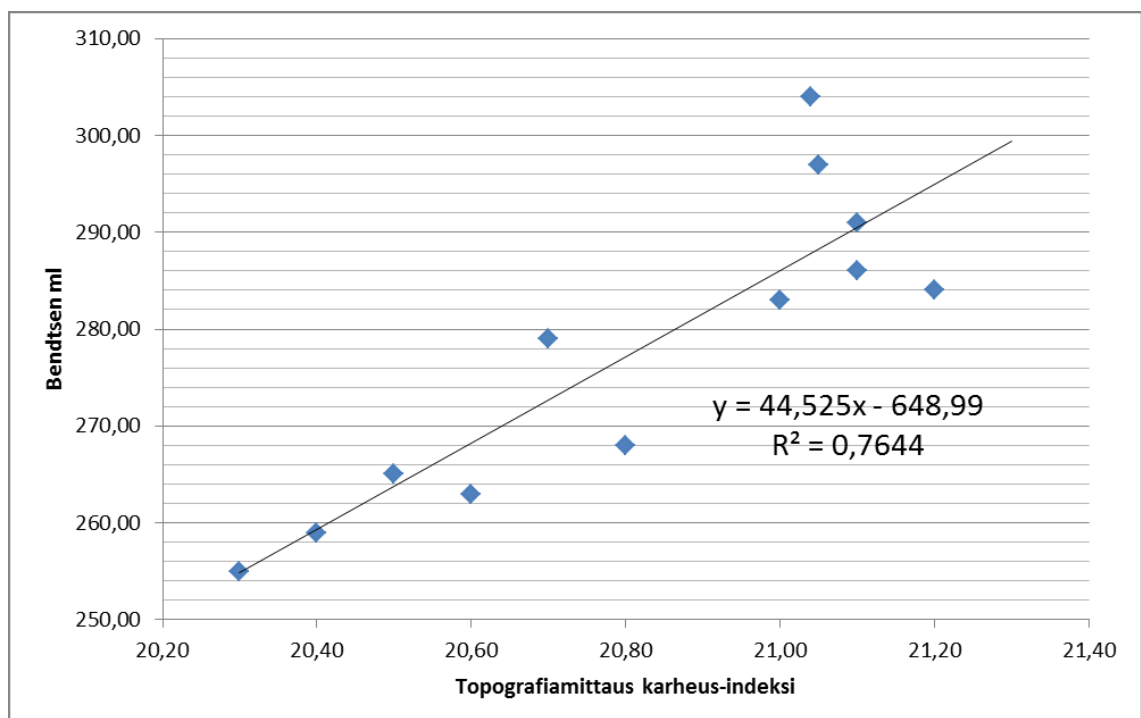
Kuvan 15 enemmän soikiomaisesta muodosta voidaan päätellä pintakuitujen olevan enemmän suuntautuneita konesuuntaisesti kuin poikkisuuntaisesti rataa nähden. Kuvan on ympyrän muotoon käännetty histogrammi. Ympyrässä olevat pisteet kertovat kuinka monen pikselin kuitukulma osoittaa pääsääntöisesti kyseiseen suuntaan.



Kuva 15. Kuitukulmat.

11 Topografiamittausdatan korrelaatiohaku prosessimuuttujiin pohjakoneella

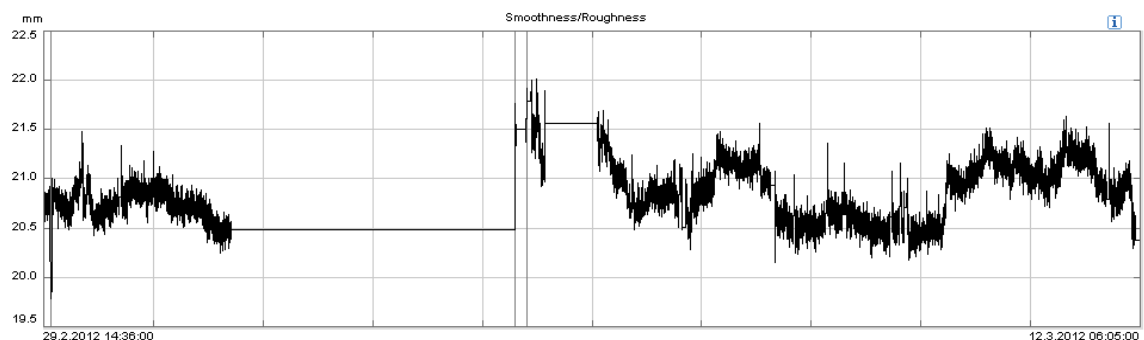
Metson topografiamittaukselle luotiin paperin pinnan yläpuolen korrelaatio laboratoriossa mitatuille bendtsen-karheuksille, kuva 16. Vastaavuudeksi saatiin paperin pinnan yläpuolen mittauksille $R^2=0,7644$. Kaavion suora noudattaa kaavaa $y=44,525x - 648,99$, kuva 16. Mittauspisteitä bendtsen-karheudelle on 12 kpl.



Kuva 16. Bendtsen korrelaatio topografiamittaukselle paperin pinnan yläpuolen suhteen.

Metso topografiamittausjärjestelmästä saatiin ensimmäistä tallennettua dataa Wedgeen 23.2.2012, jolloin se mittasi paperin pinnan yläpuolta, kuva 17. Tarkasteltu mittaus on 0,5 mm:n ylipäästösuodatuksella pinnan topografiasta laskettu karheusindeksi. Tämän aallonpituuden on aiemmissa teisteissä todettu korreloivan laboratorio arvojen mukaan.

Taulukossa yksi on esitelty kuvan 17 topografiamittauksen karheus-indeksin keskiarvo, joka kyseisellä jaksolla oli 20,79.



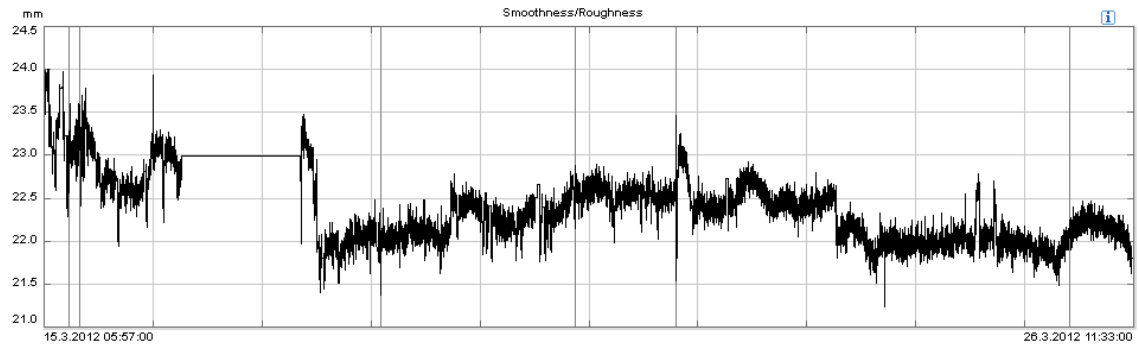
Kuva 17. Karheuden mittaus Wedgestä aikavälillä 29.2-12.3.2012, paperin pinnan yläpuoli (KCL-Wedge).

Taulukko 1. Karheusindeksin keskiarvo paperin yläpinnalle 20,79 (KCL-Wedge).

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	20,79	0,3445	22,01	19,77

Muutamaa myöhemmin mittaus vaihdettiin paperin pinnan alapuolelle, koska lopputuotteessa olleet sileyden ongelmat ovat keskittyneet aiemmin juuri paperin alapinnalle, eli viirapuolelle. Paperin pinnan alapuolelta dataa on kertynyt 15.3.12 lähtien, kuva 18.

Taulukossa 2 on jakson topografiamittauksen karheus-indeksin keskiarvo, joka oli 22,41.



Kuva 18. Karheuden mittaus Wedgestä aikavälillä 15.3 – 26.3.12, paperin pinnan alapuoli.

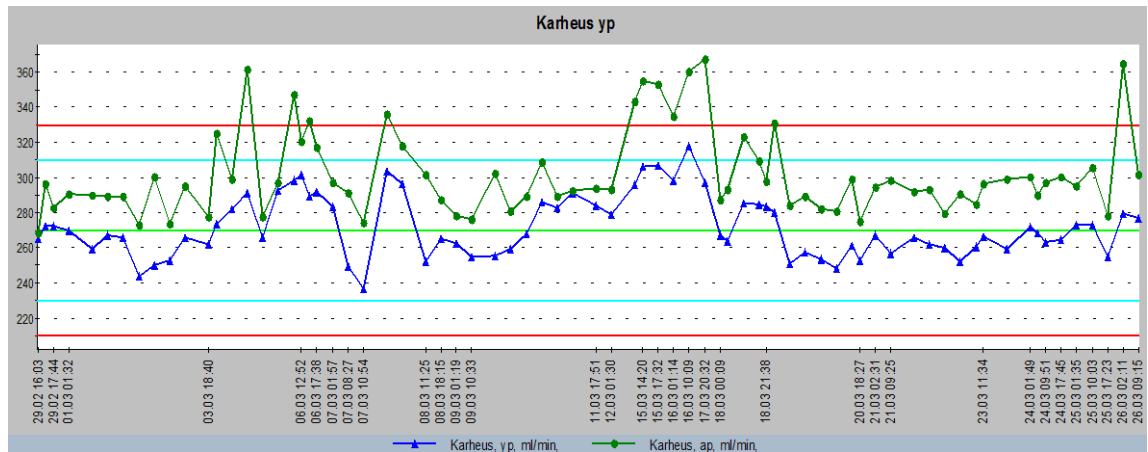
Taulukko 2. Kuvasta 4 laskettu karheus-indeksin keskiarvo 22,41.

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	22,41	0,4222	23,99	21,22

Kuvista voidaan huomata, että paperin alapuolen topografiamittaus (ka. 22,41) antaa karheampaa arvoa kuin yläpuolen (ka. 20,79), joka vastaa laboratorio arvoihin. Paperin pinnan laboratoriomittaukset antavat kyseisellä ajanjaksolla myös karheampia arvoja juuri paperin pinnan alapuolelle.

Bendtsen-karheuden laboratorioarvoja on esitelty kuvassa 18. Vihreällä trendiviivalla ovat jakson paperin pinnan alapuolen bendtsen-karheudet ja sinisellä yläpuolen. Paperin pinnan alapuolen bendtsen-karheus on ollut kyseisellä jaksolla karheampaa kuin yläpuoli.

Topografiamittaus osoittaa kyseisellä jaksolla karheuden ylä- ja alapuolen karheuden suunnat selvästi oikein.



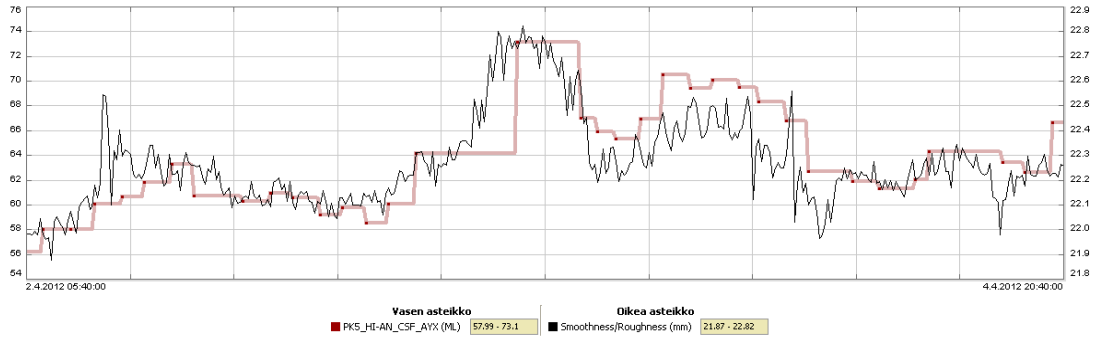
Kuva 18. Paperin pinnan ylä- ja alapuolen bendtsen-karheuksien trendit ajalta 29.2-26-3.2012 (TIPS).

Parin vuorokauden ajanjaksolla hiokkeen annostelun freenes ja topografiamittauksen tuottama data on saanut hyvän korrelaation. Kuvassa 19 nähdään hiokkeen annostelun freenes arvot punaisella trendiviivalla ja topografiamittauksen karheus-indeksi mustalla.

Freeses arvon noustessa myös topografiamittauksen karheusindeksi nousee. Karheamman eli suuremman freenesarvon omaava hioke muodostaa luonnollisesti karheampaa pintaa paperille. Korrelaatiokertoimeksi KCL-Wedge tiedonkeruujärjestelmä antaa 0,87, taulukko 3.

Taulukko 3. Hiokkeen annostelun CSF korrelaatiokerroin topografiamittauksen karheus-indeksiin.

	Smoothness/Roughness	PK5_HI-AN_CSF_AYX
Smoothness/Roughness	1	0,87
PK5_HI-AN_CSF_AYX	0,87	1



12 Topografiamittauksen karheus-indeksin korrelaatio bendtsen-karheuteen lajeittain

Laboratoriossa mitattua pohjapaperin bendtsen-karheuden ja online-topografiamittauksen karheus-indeksin korrelaatiota tarkasteltiin KCL-Wedge tiedonkeruujärjestelmän kautta. Korrelaatiot haettiin jokaisen lajin kohdalle erikseen. Korrelaatiot on tehty lajeille: 60, 65, 70 ja 75 gsm. Lajille 80 gsm ei saatu korrelaatiota vähäisten mittauspisteiden vuoksi.

Kuvista löytyvät topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden mittapisteiden yhtenäinen trendikuvaaja, korrelaatiokerroin taulukko, XY-kuvaaja sekä keskiarvo-, hajonta-, maksimi- ja minimitalukko. Bendtsen-karheuden yksikkö on ml/min.

Bendtsen-karheuden mittaus on tapahtunut ottamalla poikkiratanäyte valmistuneesta pohjapaperin tampoerista. Näytteitä löytyy noin 4-6 tunnin välein. Topografiamittaus on ollut online-mittauksena jatkuva. Trendikuvaajassa topografiamittauksen karheus-indeksi esiintyy 10 minuutin keskimääräisinä pisteinä.

Korrelaatiota tarkasteltaessa on huomioitava, että topografiamittaus mittaa paperin pinnan korkeusvaihtelua 0,5 mm:n ylipäästösuodatetulla aallonpituudella. Bendtsen-mittaus perustuu mittapään ja paperin välisen ilmavuodon mittaamiseen. Mitatuilla suureilla on vain epäsuora korrelaatio toisiinsa nähden.

12.1 Neliöpaino 60 gsm

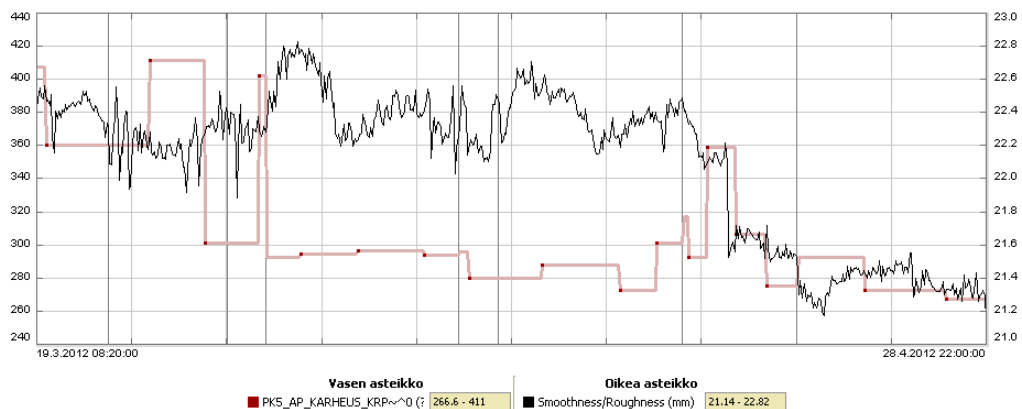
Seuraavissa kuvaajissa ja taulukoissa on käsitelty lajin 60 gsm pohjapaperin alapinnan bendtsen-karheuden korrelaatiota topografiamittauksen karheus-indeksiin.

Lajin 60 gsm paperinpinnan alapuolen korrelaatiokerroin 0,30 ei muodostunut hyväksi, taulukko 4. Suurimmaksi syyksi voidaan olettaa bendtsen-karheuden mittauspisteiden vähäinen määrä, 17 kpl. Mittausajanjaksolla 60 gsm pohjapaperia ei yksinkertaisesti ollut muita lajeja vastaavaa määrää ajotilauksissa.

Kuvassa 20. on topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden yhteinen trendikuvaaja lajille 60 gsm. Punaisella värillä on bendtsen-karheuden trendi ja mustalla topografiamittauksen karheus-indeksin trendi.

Kuvassa 21. on KCL-Wedgen määrittämä XY-kuvaaja topografiamittauksen karheus-indeksille ja bendtsen-karheudelle kyseisellä mittausjaksolla. Y-akselilla ovat bendtsen arvot ml/min ja x-akselilla topografiamittauksen karheus-indeksi.

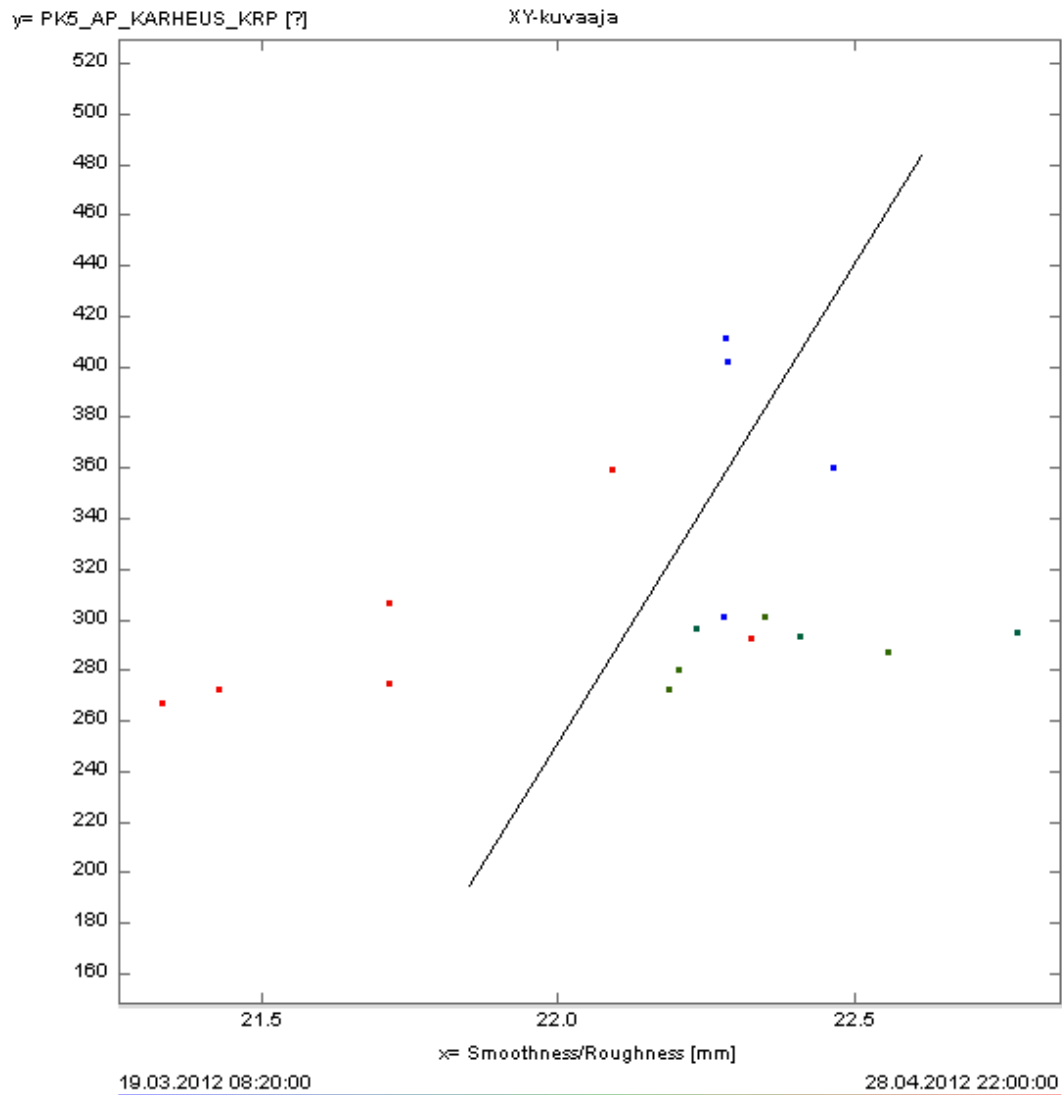
Taulukosta 5. löytyvät mittausjakson keskiarvot, hajonnat, maksimit ja minimiit.



Kuva 20. Topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden yhteinen trendikuvaaja, laji 60 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 4. Korrelaatiomatriisi topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden suhteen, laji 60 gsm (KCL-Wedge).

	Smoothness/Roughness	PK5_AP_KARHEUS_KRP
Smoothness/Roughness	1	0,30
PK5_AP_KARHEUS_KRP	0,30	1



$$y = 379x - 8080$$

Kuva 21. Topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden välinen XY-kuvaaja, laji 60 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 5. Mittausjakson keskiarvot, hajonnat, maksimit ja minimi topografiamittauksen karheus-indeksille sekä bendtsen-karheudelle, laji 60 gsm (KCL-Wedge).

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	22,11	0,4446	22,82	21,14
PK5_AP_KARHEUS_KRP	309,9	44,86	411	266,6

12.2 Neliöpaino 65 gsm

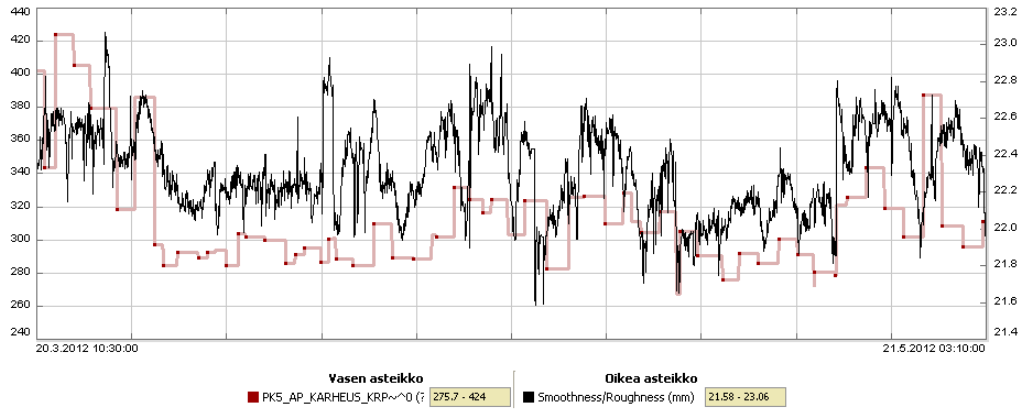
Lajin 65 gsm pohjapaperille löytyi enemmän bendtsen-karheuden mittauspisteitä kuin lajille 60 gsm, yhteensä 52 kpl. Korrelaatiokerroin muodostui myös hieman paremmaksi 0,43, taulukko 6. Topografiamittauksen tuottama karheus-indeksi nousi 0,2 indeksiä lajiin 60 gsm verrattuna, bendtsen-karheus pysyi kuitenkin lähes samana, vain 0,1 ml/min pudotus, joka on hyvin vähäinen.

Lajeja 60 ja 65 gsm on kuitenkin huono verrata 60 gsm:n vähäisen mittauspistemäärän vuoksi.

Kuvassa 22 on topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden yhteinen trendikuvaaja lajille 65 gsm.

XY-kuvaajasta, kuva 23, voidaan huomata neljä bendtsen-karheus mittauspistettä, jotka ovat lähellä 400 ml/min arvoa. Ne eroavat huomattavasti muista 48 mittauspisteestä, jotka ovat asettuneet suhteellisen tasaisesti kuvaajalle. Eliminoimalla kyseiset arvot korrelaatiokerroin olisi parempi.

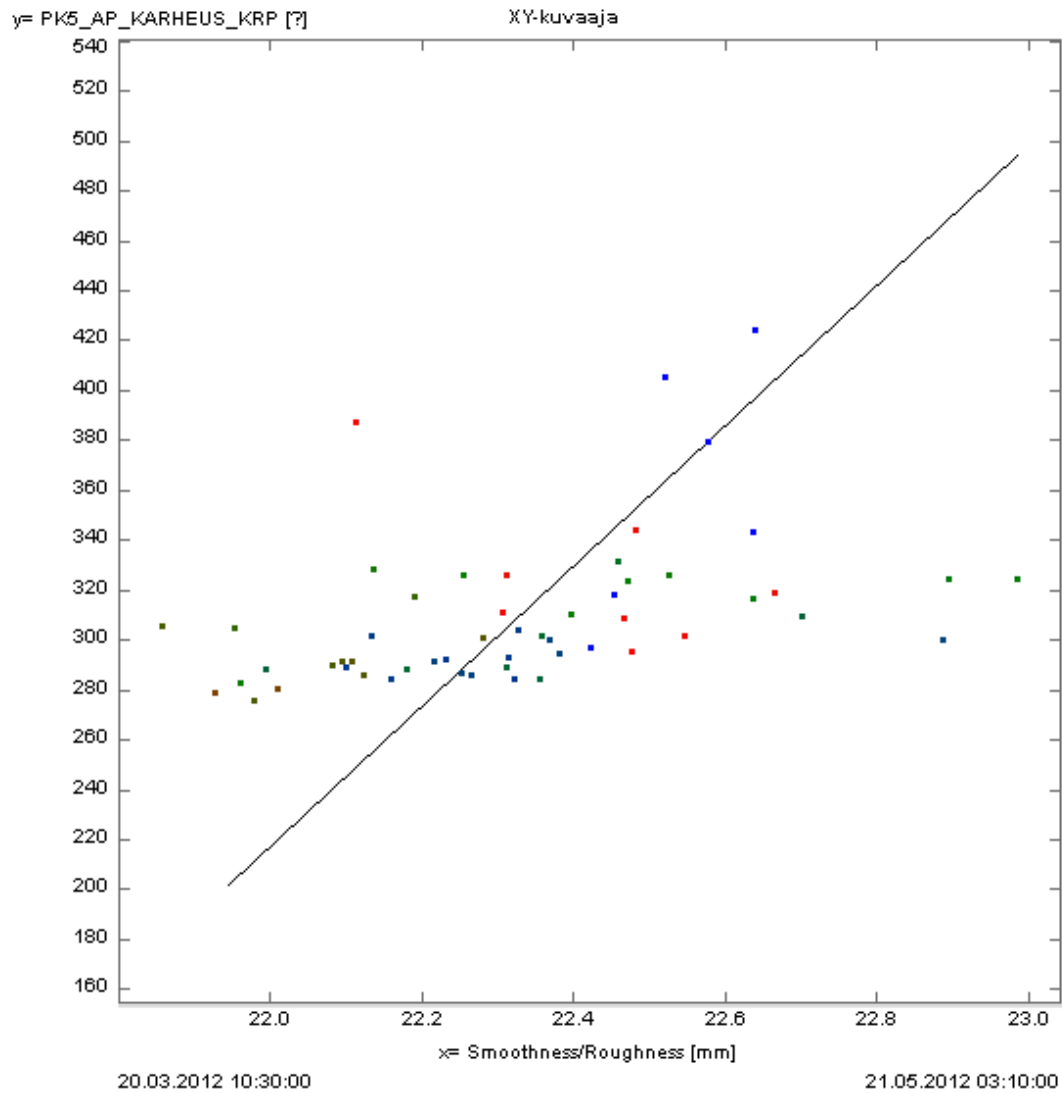
Taulukosta 7. löytyvät mittausjakson keskiarvot, hajonnat, maksimit ja minimi.



Kuva 22. Topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden yhteinen trendikuvaaja, laji 65 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 6. Korrelaatiomatriisi topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden suhteen, laji 65 gsm (KCL-Wedge).

	Smoothness/Roughness	PK5_AP_KARHEUS_KRP
Smoothness/Roughness	1	0,43
PK5_AP_KARHEUS_KRP	0,43	1



$$y = 281x - 5960$$

Kuva 23. Topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden välinen XY-kuvaaja, laji 65 gsm (KCL-Wedge).

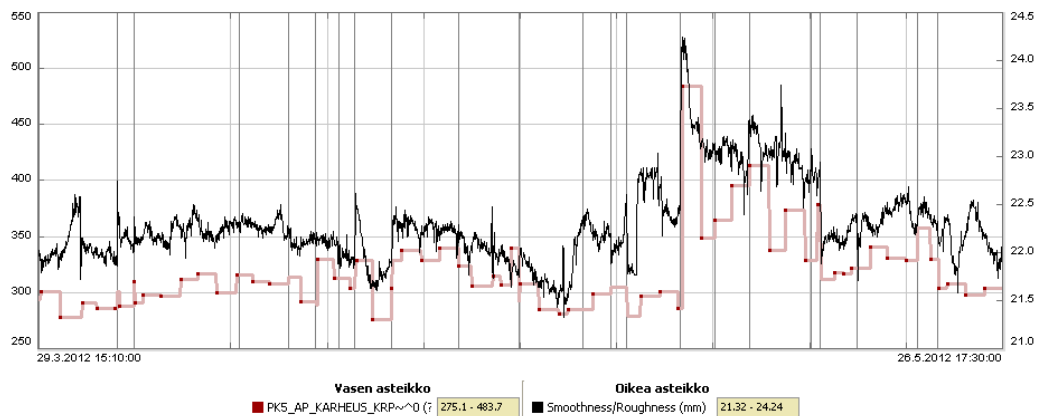
Taulukko 7. Mittausjakson keskiarvot, hajonnat, maksimit ja minimi topografiamittauksen karheus-indeksille sekä bendtsen-karheudelle, laji 65 gsm (KCL-Wedge).

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	22,31	0,2345	23,06	21,58
PK5_AP_KARHEUS_KRP	309,8	30,72	424	275,7

12.3 Neliöpaino 70 gsm

Lajille 70 gsm löytyi 59 bendtsen-karheuden mittauspistettä. Korrelaatiokerroin topografiamittauksen karheus-indeksiin oli lajien kesken paras 0,82, taulukko 8. Mittauspisteiden suhteen on myös syntynyt hyvin hajontaa, taulukko 9. Laji 70 gsm on saanut lajeista suurimman bendtsen-karheuden maksimin, 483,7 ml/min, kuin myös suurimman topografiamittauksen karheus-indeksin maksimin 24,24.

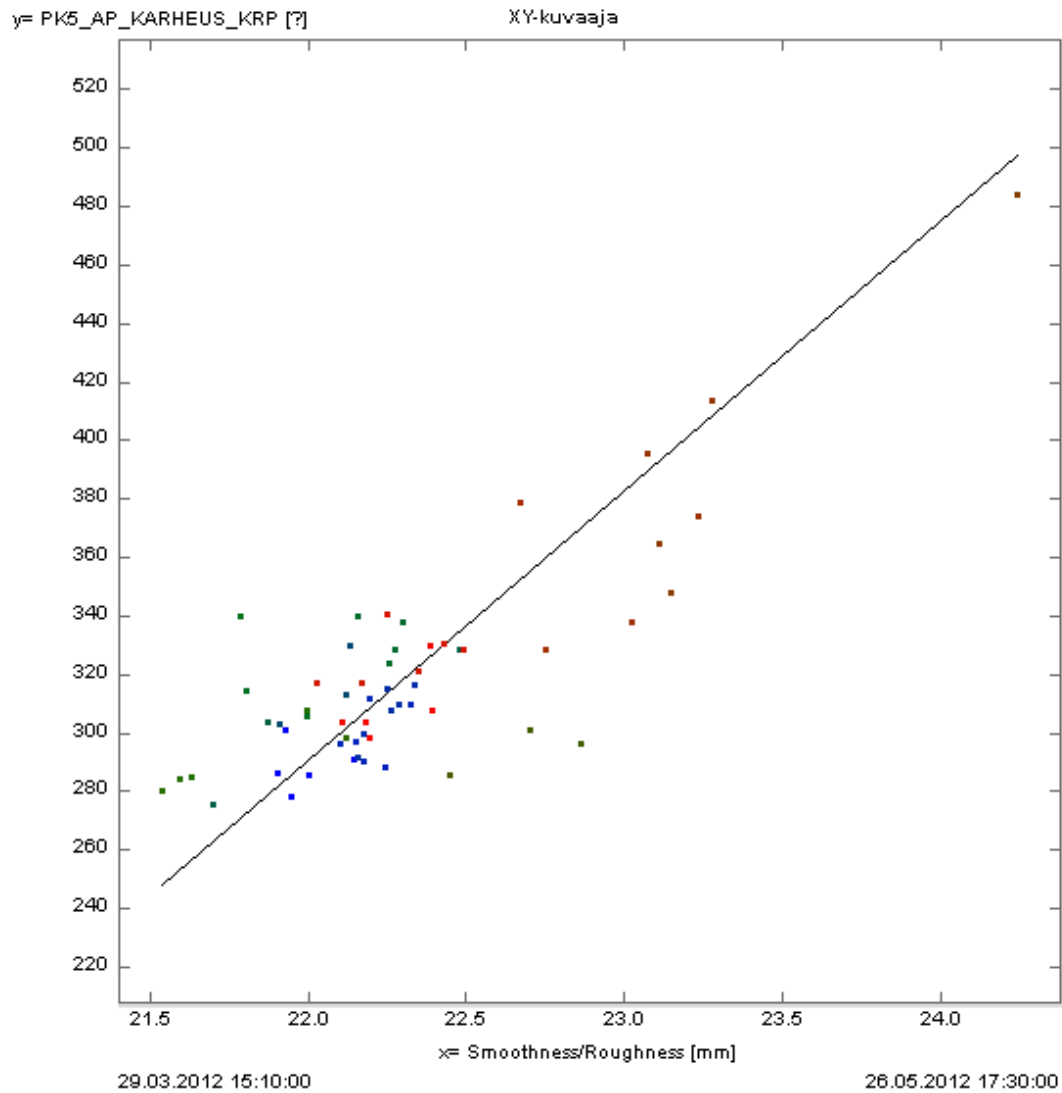
Trendikuvaajasta voidaan nähdä niin bendtsen-karheuden kuin topografiamittauksen karheus-indeksin kasvaminen. Topografiamittaus on selvästi havainnut karheuden muutoksen karheampaan kuvassa 24.



Kuva 24. Topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden yhteinen trendikuvaaja, laji 70 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 8. Korrelaatiomatriisi topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden suhteen, laji 70 gsm (KCL-Wedge).

	Smoothness/Roughness	PK5_AP_KARHEUS_KRP
Smoothness/Roughness	1	0,82
PK5_AP_KARHEUS_KRP	0,82	1



$$y = 92.2 x - 1740$$

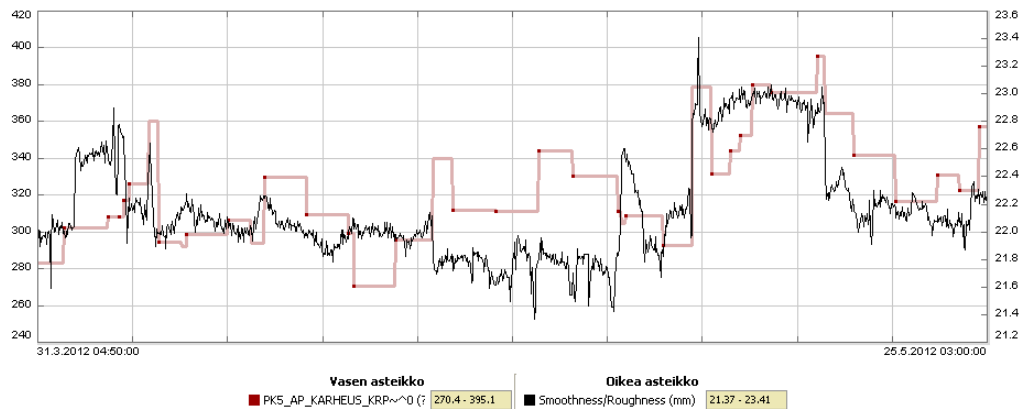
Kuva 25. Topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden välinen XY-kuvaaja, laji 70 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 9. Mittausjakson keskiarvot, hajonnat, maksimit ja minimi topografiamittauksen karheus-indeksille sekä bendtsen-karheudelle, laji 70 gsm (KCL-Wedge).

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	22,29	0,4167	24,24	21,32
PK5_AP_KARHEUS_KRP	318,1	35,63	483,7	275,1

12.4 Neliöpaino 75 gsm

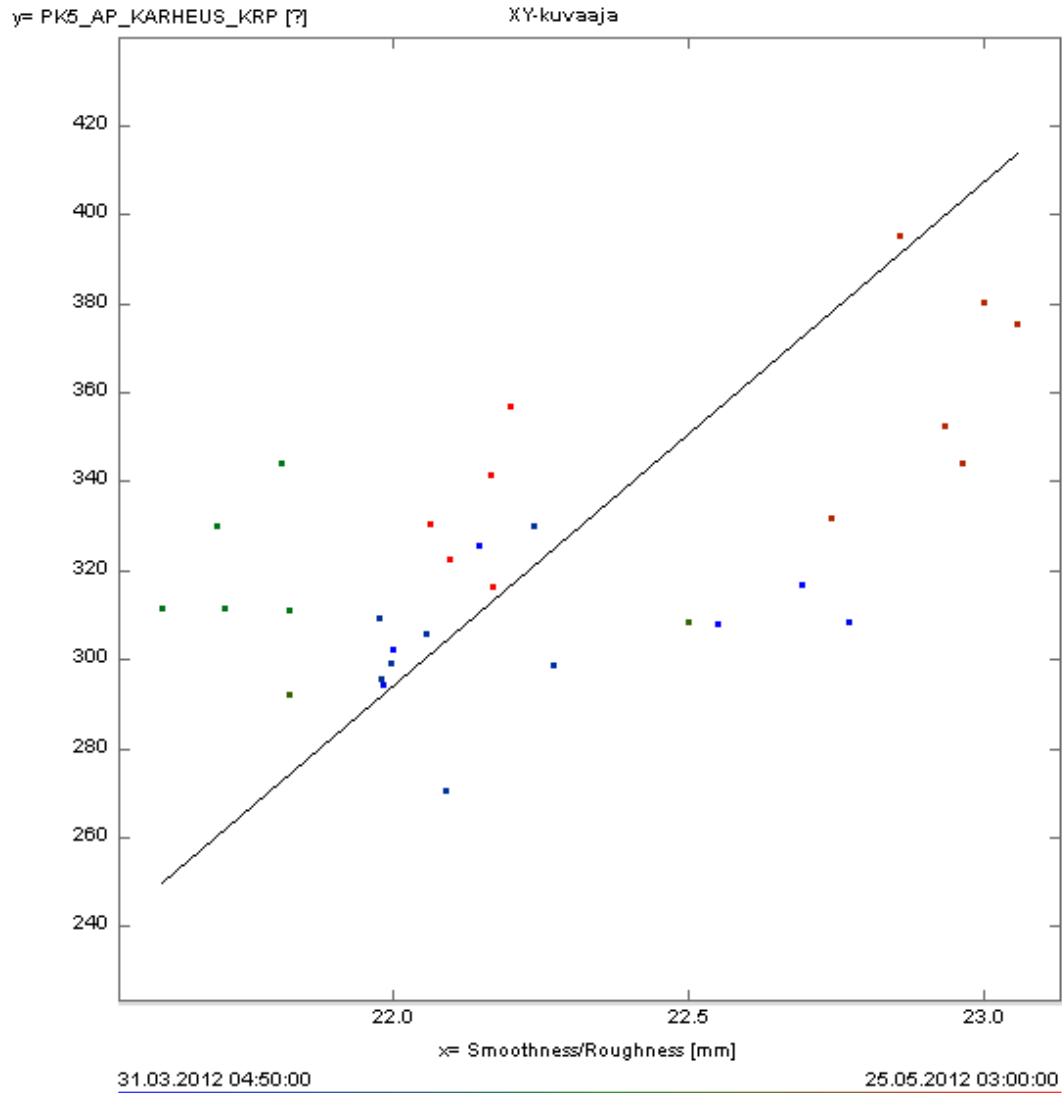
Lajin 75 gsm korrelaatiokerroin muodostui 0,58, taulukko 10, bendtsen-karheuden mittauspisteitä oli 30 kpl. Korrelaatiokerroin oli lajeista toiseksi parhain.



Kuva 26. Topografiamittauksen sekä bendtsen-karheuden yhteinen trendikuvaaja, laji 75 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 10. Korrelaatiomatriisi topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden suhteen, laji 75 gsm (KCL-Wedge).

	Smoothness/Roughness	PK5_AP_KARHEUS_KRP
Smoothness/Roughness	1	0,58
PK5_AP_KARHEUS_KRP	0,58	1



$$y = 113x - 2190$$

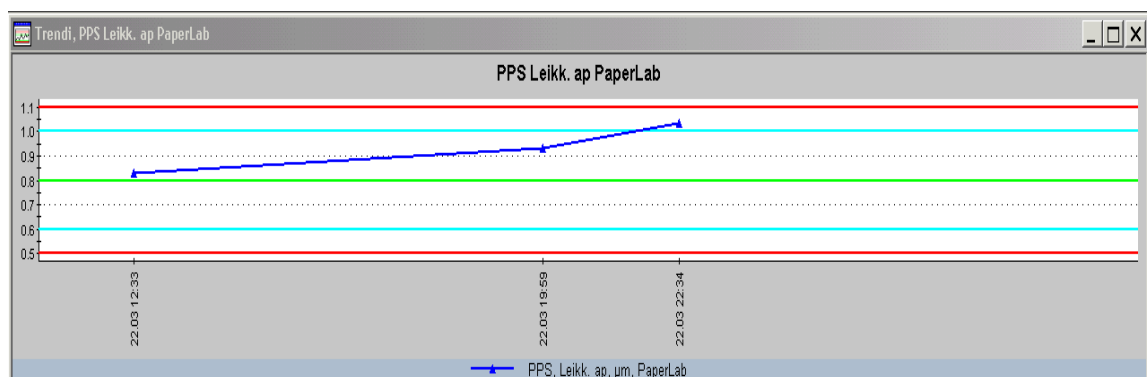
Kuva 27. Topografiamittauksen karheus-indeksin sekä bendtsen-karheuden välinen XY-kuvaaja, laji 75 gsm (KCL-Wedge).

Taulukko 11. Mittausjakson keskiarvot, hajonnat, maksimit ja minimi topografiamittauksen karheus-indeksille sekä bendtsen-karheudelle, laji 75 gsm (KCL-Wedge).

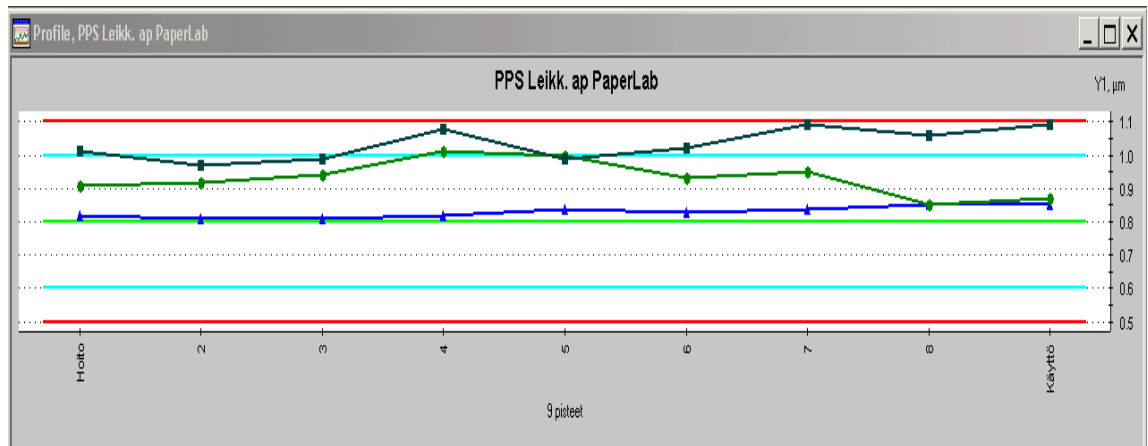
Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	22,16	0,3784	23,41	21,37
PK5_AP_KARHEUS_KRP	323,1	27,82	395,1	270,4

13 Topografiamittauksen korrelaatiohakua pohjapaperista lopputuotteessa esiintyneeseen sileyden heikkenemiseen

Lopputuotteessa havaittiin kohonnut PPS-sileyden nousu paperin pinnan alapuolen suhteen. Laboratoriomittauksissa paperlabilla 22.3.12 klo 12.33 – 22.34 kolmen mittausnäytteen suhteen alapuolen PPS oli noussut arvosta 0,83 arvoon 1,03, kuva 28 sekä 29. Yläpuoli oli pysynyt suhteellisen samana, 0,74:stä muutos 0,76 PPS:ään. Viimeisin näyte oli otettu konerullasta 1320, joka on valmistunut lopputuotteeksi klo 22.34. Kyseisen konerullan pohjapaperi oli ajettu klo 15.14-16.13.

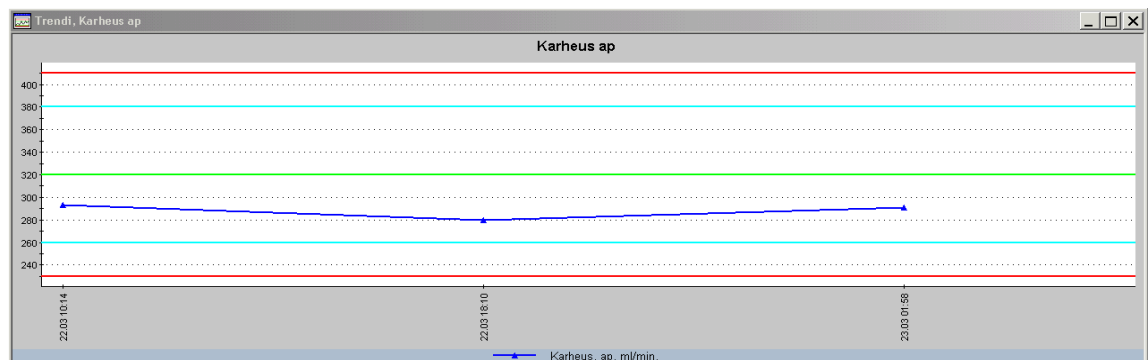


Kuva 28. PPS sileyden trendi kolmen mittausnäytteen suhteen (TIPS).



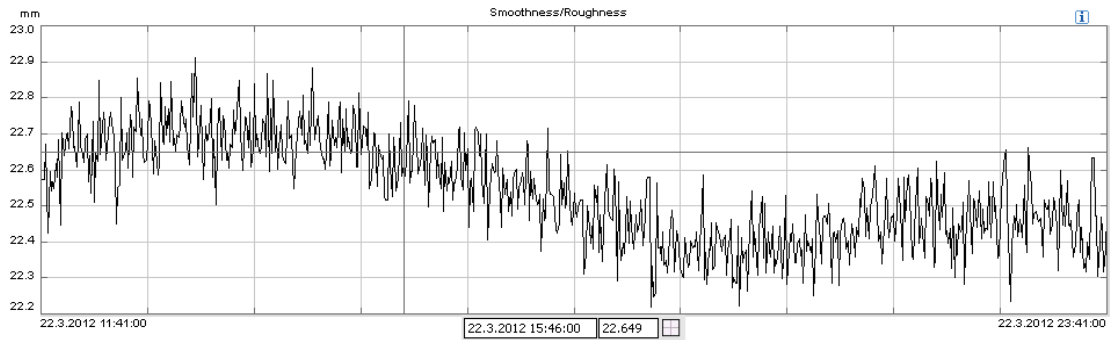
Kuva 29. Kolmen mittausnäytteen profiilit (TIPS).

Samalla ajanjaksolla mitatuissa pohjapaperin paperlab -mittauksilla ei kuitenkaan havaittu merkittävää nousua paperin pinnan alapuolen karheuden suhteen, kuva 30.

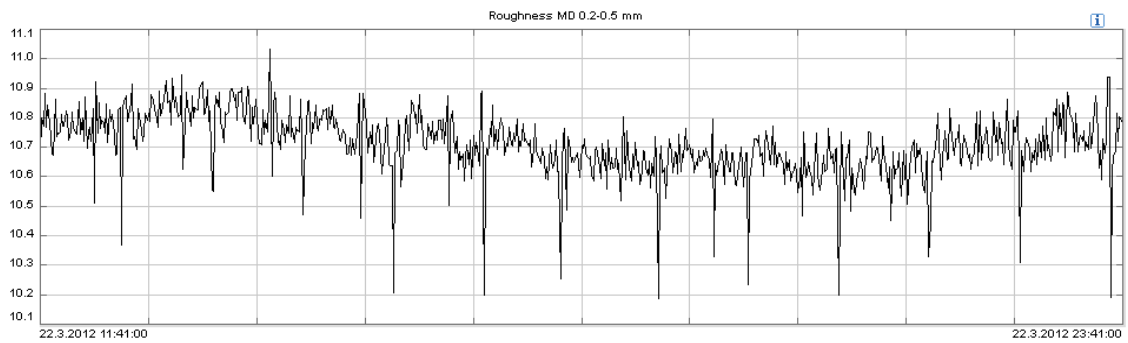


Kuva 30. Pohjapaperin bendtsen-karheus trendi kolmen mittausnäytteen suhteen. TIPS

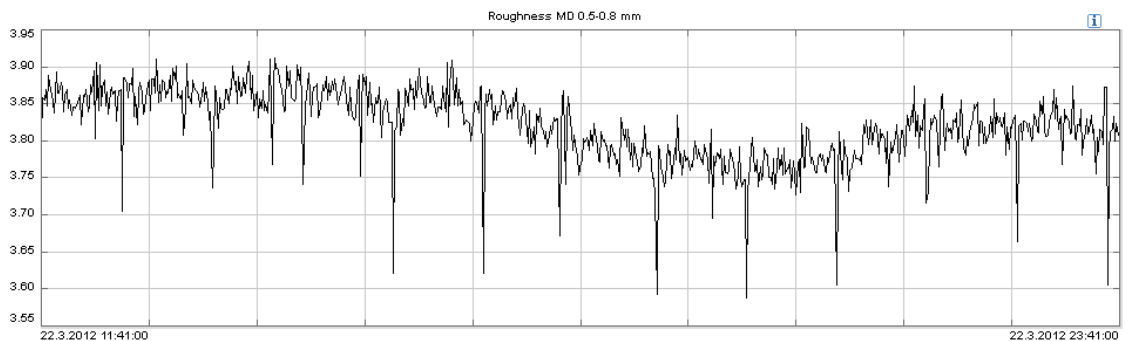
Seuraavissa kuvissa on poimittu topografiamittauksen tuloksia kyseisellä ajanjaksolla. Kuvat 32-34 ovat konesuuntaisia karheuksia KCL-Wedgestä eri valon aallonpituuksilla. Kuva 31 on kokonaiskarheus. Kaikissa kuvissa karheusindeksi on ollut laskeva.



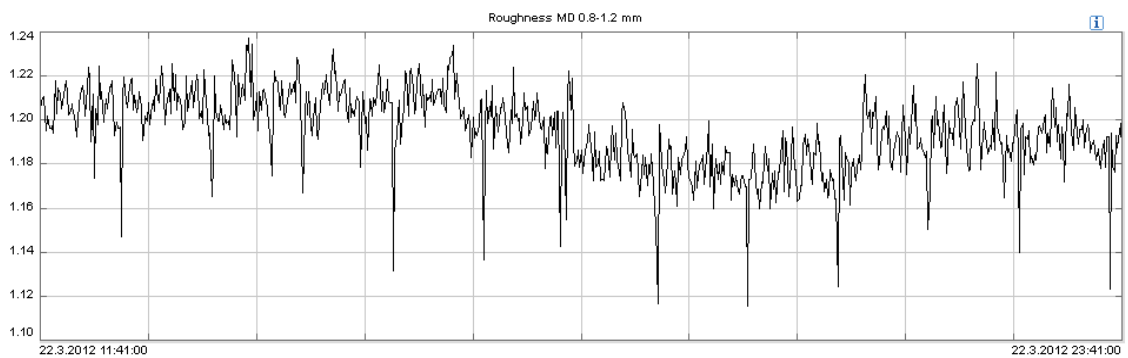
Kuva 31. Kokonaiskarheus.



Kuva 32. Konesuuntainen karheus aallonpituudella 0,2-0,5 mm.



Kuva 33. Konesuuntainen karheus aallonpituudella 0,5-0,8



Kuva 34. Konesuuntainen karheus aallonpituudella 0,8-1,2.

Topografiamittauksen karheus-indeksin perusteella ei voida päätellä suurempaa karhenemista pohjapaperissa kyseisellä ajanjaksolla millään topografiamittauksen eri aallonpituuksilla, mitä ei myöskään laboratorio bendtsen-karheus osoittanut.

Etenkin ajanjaksolla klo 15-16, jolloin on tehty viimeisimmän lopputuotteen näytteiden pohjapaperi, ei voida havaita karheuden nousemista. Enemminkin karheuden trendi on ollut alaspäin.

Lopputuotteen sileyden aleneminen kyseisellä ajanjaksolla johtuu todennäköisimmin loppuprosessoinnista, ei pohjapaperista.

14 Suoritetut koeajot PK5:llä

PK5:lla suoritettiin seuraavat koeajot: formeritelan alipainemuutos -7 kPa:sta -4 kPa:han, superkalanterin ajonopeusmuutokset, päällystyskoneen teränvaihto sekä lisäksi tutkittiin reunarullan ja keskirullan painettavuus eroja.

Koeajoissa topografiamittaus tapahtui pohjakoneella traversoivasti ja superkalanteri 52:lla kiinteän pisteen mittauksena noin 70 cm hoitopuolen reunasta, puhuttaessa pohjapaperista. Pohjapaperin dataa otettiin huomioon formeritelan alipainemuutos koeajossa, muissa koeajoissa käsiteltiin vain lopputuotteen mittauksia.

Topografiamittauksen tuottama data lopputuotteesta on esitelty sileys-indeksinä kuvaajissa, koska PPS arvosta puhuttaessa käytetään yleisimmin termiä sileys. Vastaavasti pohjapaperin dataa on käsitelty karheus-indeksinä, koska yleisimmin käytetty nimitys on bendtsen-karheus.

Jokaiselle koepisteelle suoritettiin syväpainatus eri ESA tasoilla: 1 mA, 0,5 mA sekä ilman ESAa. Syväpainotulokset esitellään kuvissa, joissa on puuttuvien pisteiden keskimääräiset määrät koepisteittäin.

14.1 Päällystyskoneen teränvaihto

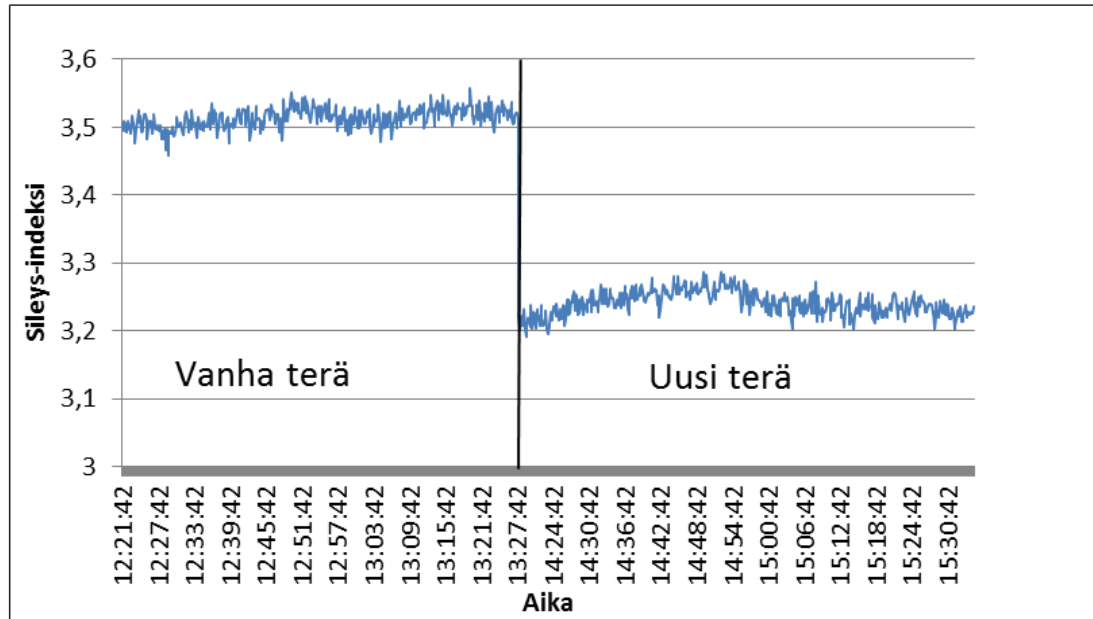
Ensimmäisenä koeajona topografiamittaukselle tehtiin päällystykoneen teränvaihdon merkitystä lopputuotteen sileyteen. Koe ajettiin 65 g/m^2 painoisella Novapress kiiltävä – laadulla.

Kokeen vertailukohtaksi asetettiin konerulla, joka oli päällystetty 1 vrk 16 h ikäisellä terällä ja ajettu 1355 m/min nopeudella PPK5:lla. Koemuuttujaksi valittiin konerulla, joka oli ajettu 2 h ikäisellä terällä ja samalla nopeudella kuin vertailtava konerulla.

Konerullat ajettiin samalla 800 m/min ajonopeudella superkalanteri 52:lla peräkkäin, jossa on staattinen topografiamittaus. Mittaus sijaitsee n. 70 cm päässä hoitopuolen reunasta, puhuttaessa pohjapaperista. Vanhalla terällä ajetun konerullan mittausjakso oli noin 20 minuuttia lyhyempi johtuen prosessiolosuhteista, tämä ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi vertailu tulokseen.

Molemmista konerullista otettiin näyterullat syväpainoon. Näyterullat otettiin samalta kohtaa, johon topografiamittaus sijoittuu, eli radan reunasta.

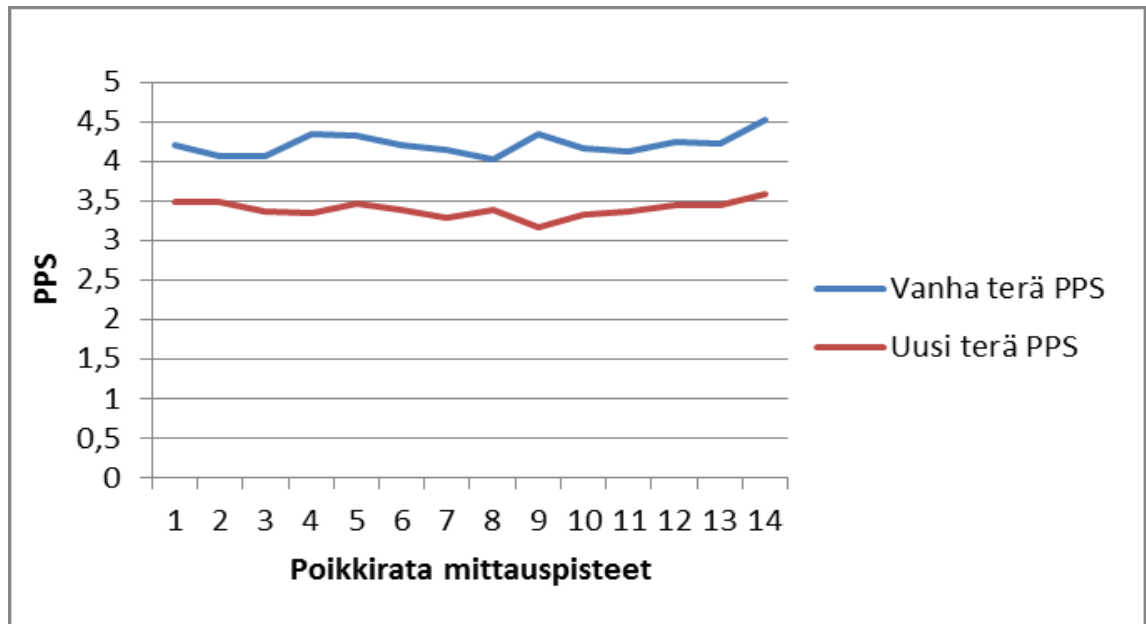
Kuvasta 35 voidaan havaita selvä muutos uuden ja vanhan terän välillä. Vanhalla terällä ajetun konerullan keskiarvo 800 m/min nopeudella oli 3,513 ja uudella terällä ajetun 3,241. Keskiarvoista on jätetty pois superkalanterin kiihdytys ja hidastus, koska mittauksen sileys-indeksi alenee ajonopeuden alentuessa. Muutosta tapahtui 0,272 indeksiä pienempään, suhteellinen sileys-indeksin alenemisprosentti oli 7,7. Mittaus uudella terällä näytti siis pienempää arvoa, joka tarkoittaa pienempää pinnanmuotojen vaihtelua mitatuissa pisteissä. Mittauksen perusteella voidaan päätellä sileyden parantuneen.



Kuva 35. Terän vaihdon vaikutus topografiamittauksen sileys – indeksiin.

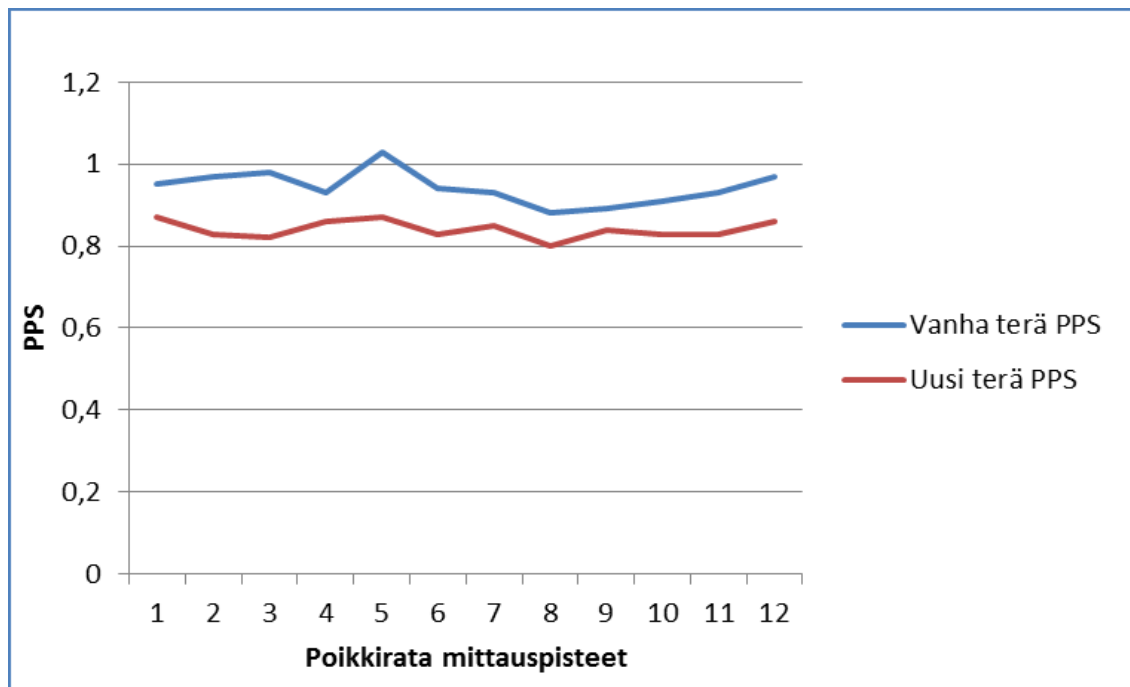
Kuvassa 36 on superkalanteroimattomat PPS-profiilit vanhalla ja uudella terällä päällystetyistä konerullista. Uuden terän ikä ajotilanteessa oli 2 h ja vanhan 40 h. Sileyden profiilikeskisarvoksi vanha terä antaa PPS:n 4,21 μm ja uusi terä PPS:n 3,40 μm . Suhteellinen muutos on 19, 2 prosenttia sileämpään arvoon uudella terällä.

Uusi terä näyttäisi muodostavan sileämmän pinnan pohjapaperille jo päällystyskoneella. Kyseiset näytteet on otettu heti päällystysprosessin jälkeen ennen kalanterointia. Kyseiset arvot on mitattu PaperLab:illä yksistä näytteistä.



Kuva 36. Superkalanteroimattomien PPS-profiilit.

Kuvassa 37 nähdään lopputuotteen PPS-profiilit poikkiratanäytteistä uuden ja vanhan terän suhteen. Poikkiratanäytteet on otettu konerullan pinnasta. Normaalisti pisteitä on 14, tässä laboratoriotuloksista uupui pisteet reunoilta.



Kuva 37. Superkalanteroidut profiilit.

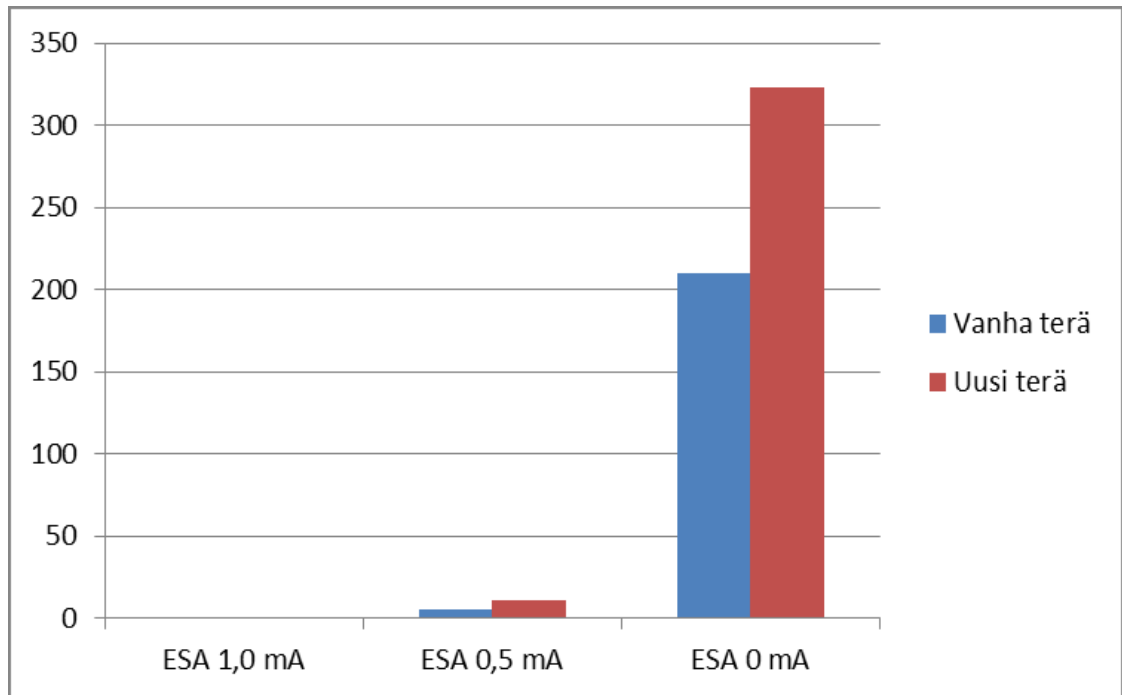
Lopputuotteen poikkiratanäytteistä mitatut PPS:ät osoittavat uudella terällä ajetun sileyden profiilikeskisarvoksi pyöristettynä 0,84 ja vanhalla terällä ajetun 0,94. Suhteellinen muutos on 10,6 prosenttia.

Kyseiset poikkiratanäytteet on otettu konerullan pinnasta, jossa superkalanterointinopeus on hiljaisempi kuin konerullan keskivaiheilla, konerulla vaihdon vuoksi. Tämä vaikuttaa paperin nipissä viipymisaikaan. Hiljaisemmalla nopeudella ajettaessa paperi silottuu enemmän kuin suuremmilla nopeuksilla, joka myös näkyi topografiamittauksen antamassa sileys-indeksissä. Tämä voi antaa hieman sileämmän PPS arvon laboratorio poikkiratanäytteille, kuin mitä vastaava rullan keskivaiheilla olisi.

Jokainen, niin topografiamittaus, kuin päällystyksen ja superkalanteroinnin jälkeiset poikkiratanäytteet, osoittivat sileyden paranemista uudella terällä ajetulle paperille. Jo parin vuorokauden ikäinen terä näyttäisi selvästi kulumisen merkkejä, joka näkyy myös lopputuotteen sileydessä vaikka kyseessä onkin keraaminen kaavari.

Uudella terällä päällystetty paperi osoittautui kuitenkin syväpaino koeajoissa ESA(Electrostatic Assist)-0 mA tasolla huomattavasti huonommaksi, kuin vanhalla,8 prosenttia painettaessa uudella terällä ajetulle paperille, kuva 38 sekä taulukko 12. Myös ESA 0,5 mA tasolla vanhempi terä tuotti vähemmän puuttuvia pisteitä.

Tulos on ristiriidassa muihin syväpainotuloksiin verrattuna, joissa sileämpi pinta muodosti aina vähemmän puuttuvia pisteitä. Tämän johdosta voidaan epäillä, että näyterullissa on tullut sekaannusta. Voi myös olla mahdollista, että paperin huokoisuus on vaikuttanut syväpainotulokseen.



Kuva 38. Puuttuvat pisteet syväpainossa teränvaihtokoeajossa.

Taulukko 12. Puuttuvien pisteiden määrät syväpainossa eri ESA tasoilla teränvaihtokoeajossa.

	ESA 1,0 mA	ESA 0,5 mA	ESA 0 mA
Vanha terä	0	5	210
Uusi terä	0	11	323

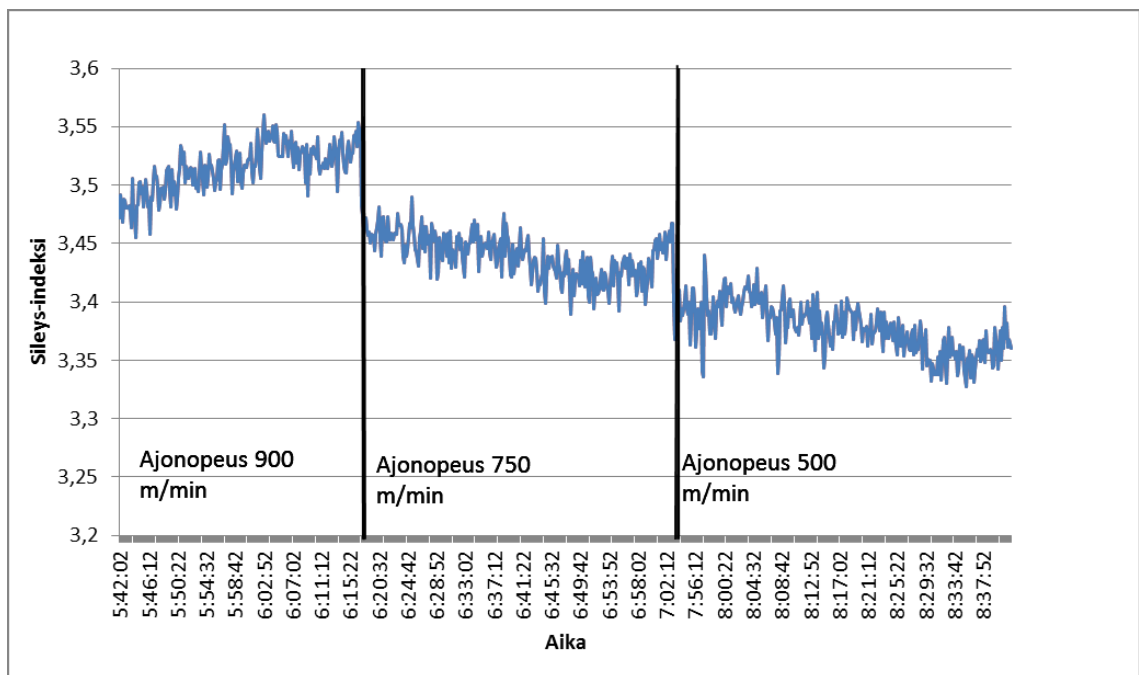
14.2 Superkalanterin ajonopeuden vaikutus lopputuotteen sileyteen

Superkalanteri 52:lla suoritettiin koeajot superkalanterin ajonopeuden suhteen. Ajonopeuksiksi valittiin 500, 700 ja 900 m/min. Paperilaatuna koeajoissa oli Novapress 65 gsm kiiltävä. Koeajo ajettiin kahdella konerullalla, josta ensimmäisen konerullan puoliskolla ajettiin nopeus 900 m/min ja jälkimmäisellä puoliskolla 700 m/min. Seuraavasta konerullasta ajettiin puoli konerullaa nopeudella 500 m/min. Jokaisesta koepisteestä leikattiin koerullat syväpainoon, sekä otettiin poikkirata- ja arkkinäytteet laboratoriolle. Koerullat valittiin samasta kohdin trimmiä, josta superkalanterin topografiamittaus tapahtui. Kaikkia koepisteitä ajettiin puoli konerullaa eli noin 34 km. Topografiamittaus keräsi dataa kymmenen sekunnin välein eli hitaammilla nopeuksilla mittauspisteitä

kertyi enemmän mitä suuremmilla nopeuksilla. Päälylystykoneen terien ikä koeajohetkellä oli 2 vrk ja 6 h.

Kuvassa 39 nähdään sileys-indeksin muutos ajonopeuden ajonopeusjaksojen suhteen. Ajonopeudella 900 m/min topografiamittauksen sileys-indeksin keskiarvo oli 3,5152. Ajonopeudella 700 m/min sileys-indeksin keskiarvo oli 3,4414 ja ajonopeudella 500 m/min 3,3753.

Topografiamittauksen sileys-indeksi muuttuu kohti sileämpää loogisesti kun ajonopeus pienenee.



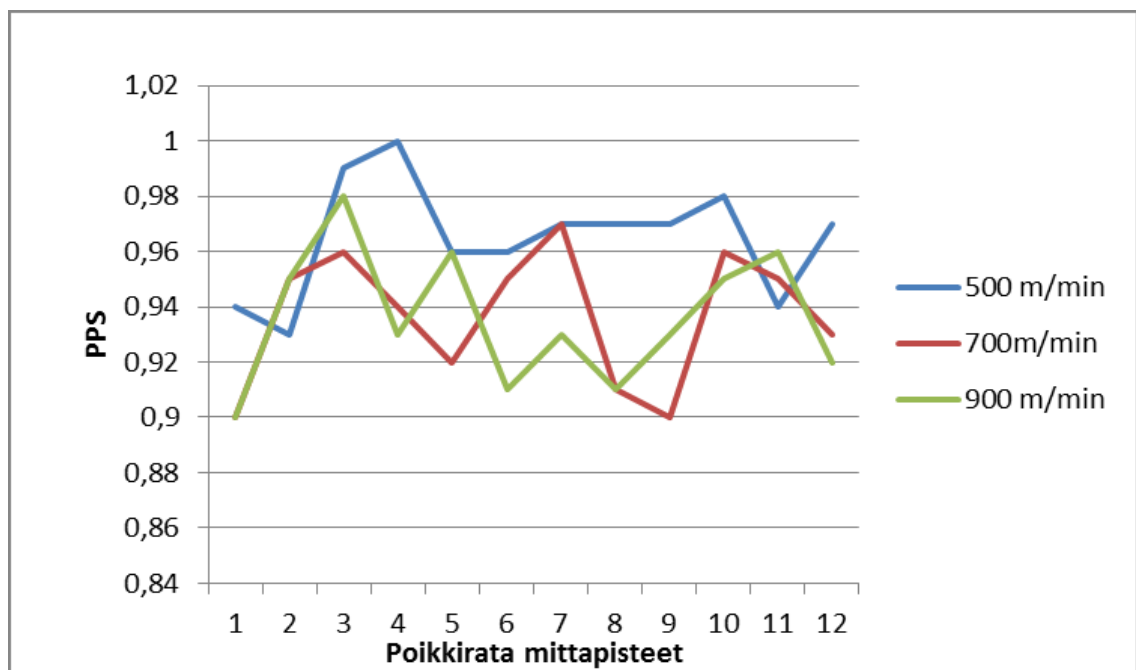
Kuva 39. Superkalanterin ajonopeuden vaikutus topografiamittauksen sileys-indeksiin.

Erinopeuksilla ajettut koepisteet saivat hyvin läheiset PPS arvot. Profiilit on esitetty kuvassa 40. Keskimääräiset arvot olivat 500 m/min ajettulle 0,965 PPS, 700 m/min ajettulle 0,937 PPS ja 900 m/min ajettulle 0,938 PPS.

Laaboratoriotulokset eivät olleet odotetunlaisia, arvot olivat hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi hiljaisimmilla nopeudella ajettu koeosuus sai huonoimmat arvot sileyden suhteen kuin nopeammalla ajonopeudella ajettu. Tämä ei puolla

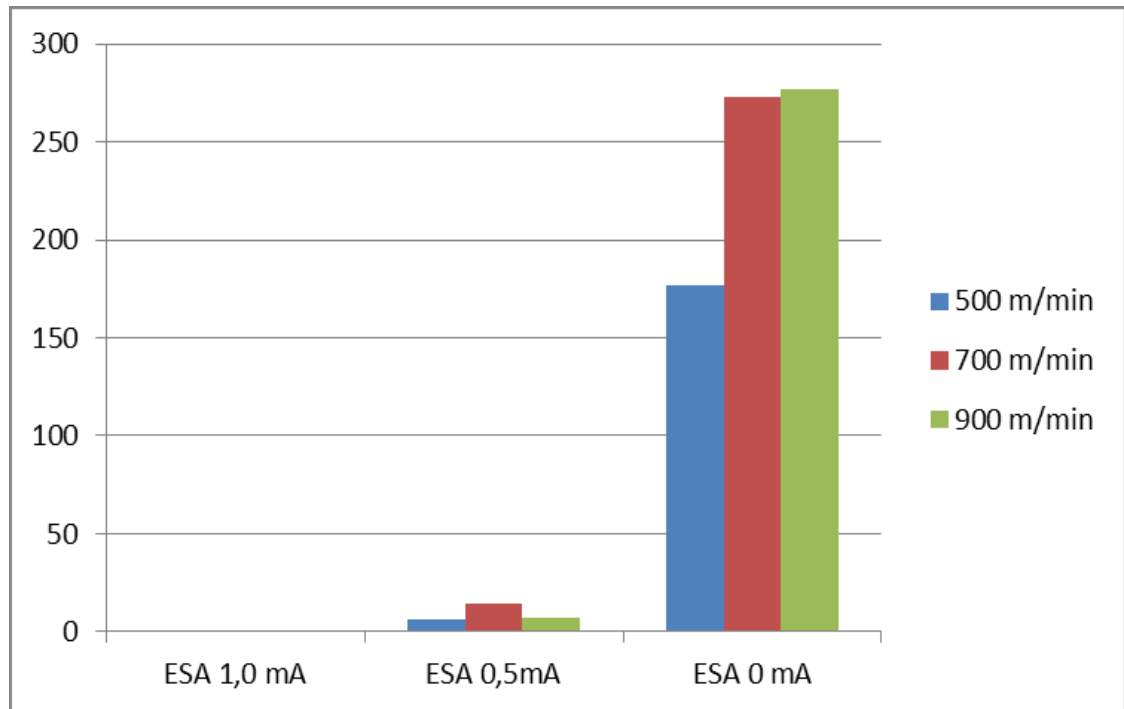
teoriaa. Aiemmassa tehtaalla ajetussa superkalanterin ajonopeuskokeessa PPS arvot ovat laskeneet ajonopeuden laskiessa.

Muutokset voivat olla niin pieniä, että PPS-sileysmittaus ei reagoi tähän. Luotettavamman PPS-sileysarvon saamiseksi näytteitä olisi pitänyt ottaa useammasta otoksesta. Tässä kokeessa PPS-sileys arvot ovat vain yhdestä otoksesta.



Kuva 40. Eri superkalanterin ajonopeuksilla ajetut lopputuotteen PPS-profiilit.

Syväpainokoeajossa 500 m/min superkalanteroitu osuus kuitenkin sai selvästi vähemmän puuttuvia pisteitä, 36,1 prosenttia vähemmän kuin 900 m/min superkalanteroitu osuus, kuva 41. sekä taulukko 13. Tämä samainen tulos oli paras koko diplomityössä suoritetuista syväpainokoeajoista.



Kuva 41. Puuttuvat pisteet syväpainossa supercalantherin ajonopeuskoeajossa.

Taulukko 13 . Puuttuvien pisteiden määrät syväpainossa eri ESA tasoilla supercalantherin ajonopeuskoeajossa.

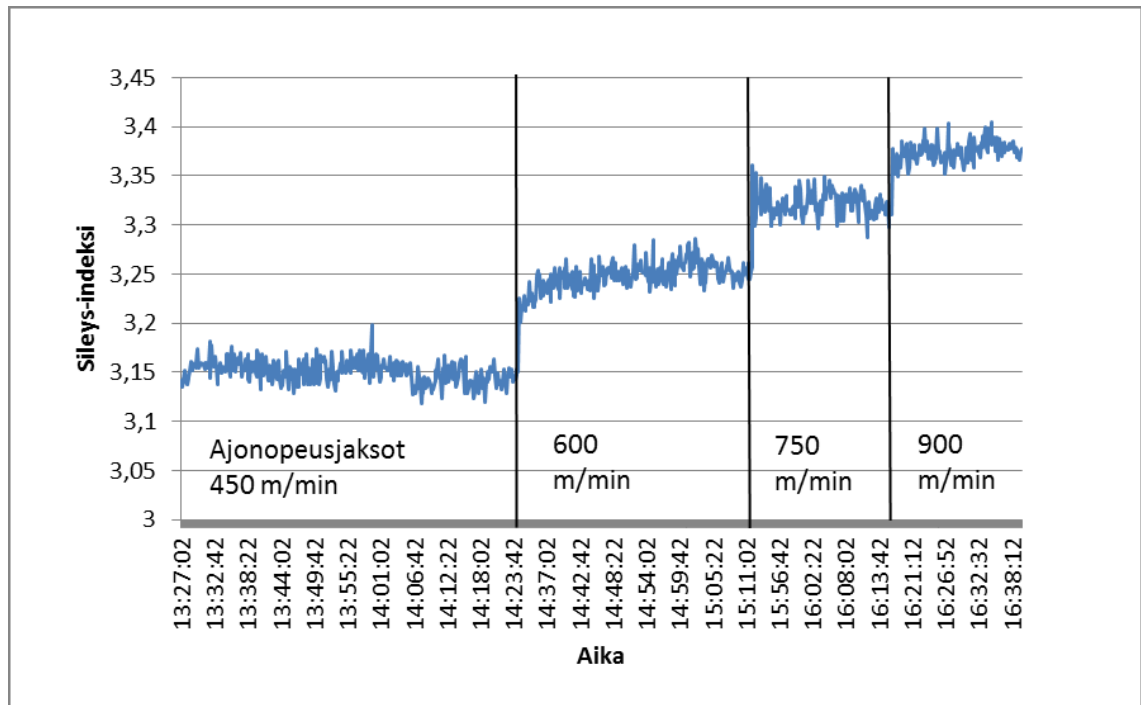
	ESA 1,0 mA	ESA 0,5mA	ESA 0 mA
500 m/min	0	6	177
700 m/min	0	14	273
900 m/min	0	7	277

Tulosten perusteella voidaan päätellä, ettei PPS kuvaa välttämättä paperin pinnan pienimittakaavaista rakennetta. Topografiamittaus havaitsi kuitenkin selvän eron eri nopeuksilla.

14.2.1 Supercalantherin ajonopeuskoe 2.

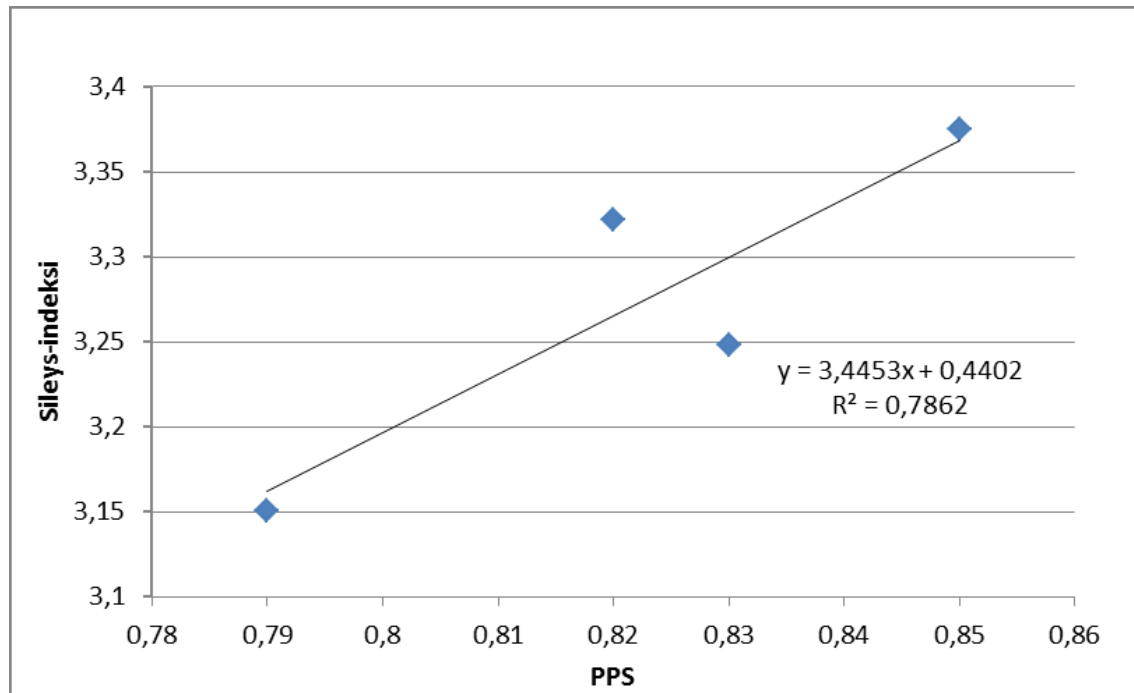
PK5:lla on suoritettu aiemmin supercalantherin ajonopeuskoe, josta löytyy myös topografiamittautulokset. Tulokset ovat seuraavissa kuvaajissa. Koe on ajettu Novapress 70 gsm laadulla. Supercalantheri ajonopeuskokeesta 2 ei ole syväpainotuloksia.

Kuvasta 42 nähdään topografiamittauksen data superkalanterin ajonopeuden muuttuessa, arvoista on poistettu kiihdytykset ja hidastukset. Sileys-indeksissä oli selvästi havaittavissa arvon nousu ajonopeutta nostettaessa, aivan kuin diplomityön superkalanterin ajonopeuskoeajoissa.



Kuva 42. Topografiamittauksen sileys-indeksi ajonopeusjaksoittain superkalanterin ajonopeuskoeajo 2:ssa.

Superkalanterin koeajo 2:ssa laboratorioarvot sekä topografiamittauksen sileys-indeksi olivat enemmän yhtenevät, taulukko 14. Sileys-indeksin noustessa myös PPS nousi. Kyseisessä koeajossa mitatut näytteet ovat kuitenkin arkkinäytteitä lopputuotteen asiakasrullista, eivätkä poikkirata näytteitä niin kuin diplomityössä. Neljän ajonopeuspisteen muodostavan sileys-indeksin ja PPS-sileyden R^2 korrelaatiokertoimeksi muodostuu 0,78, kuva 43.



Kuva 43. Topografiamittauksen sileys-indeksin sekä PPS-sileyden välinen korrelaatio superkalanterin ajonopeuskoeajo 2:ssa.

Taulukko 14. PPS-sileys sekä topografiamittauksen sileys-indeksi eri superkalanterin ajonopeuksilla.

Nopeus m/min	450	600	750	900
PPS	0,79	0,83	0,82	0,85
Topo. sileys-indeksi	3,151	3,248	3,322	3,375

Topografiamittaus selvästi havaitsee ajonopeudesta johtuvat muutokset paperin pinnassa. Superkalanteri ajonopeuskokeessa 2 laboratorioarvot sekä topografiamittaus olivat yhtenevät. Alhaisempi nopeus tuotti sileämmän PPS arvon sekä pienemmän sileys-indeksin.

Alhaisemmilla nopeuksilla paperi on pidemmän aikaa paineen sekä lämmön vaikutuksen alaisena telojen välisessä nipissä, joka loogisesti silottaa paperia tehokkaammin. Muutos PPS-tasolla on kohtalainen, maksimissaan 0,05 PPS:ää. Sileyden turvaaminen ajonopeutta rajoittamalla on kuitenkin kyseenalainen, sillä alle 500 m/min ajonopeuksilla prosessointiaika muodostuu lähes kaksinkertaiseksi. Tämä puolestaan voi aiheuttaa prosessilinjalle

etenemisongelmia; toisin sanoen superkalanterointi muodostaa liian pahan pullonkaulan LWC-linjastolle.

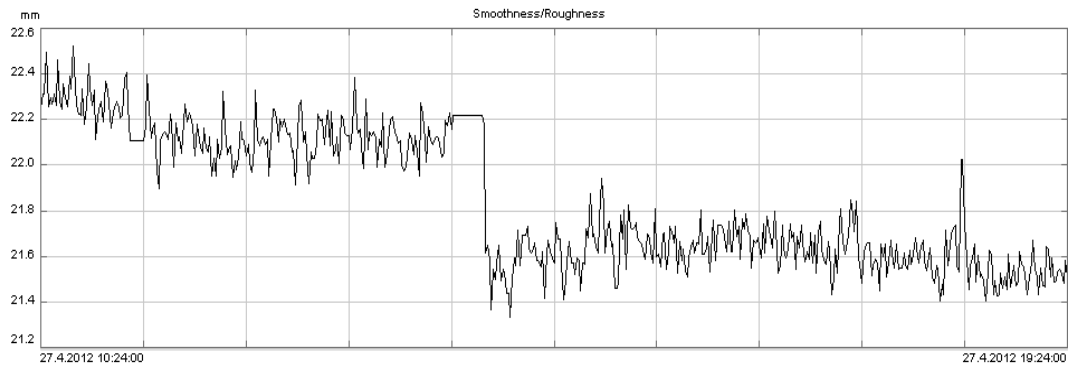
Jos kyseessä on pieni tilaus syväpainotuotteeksi, kuten esimerkiksi kaksi-kolme konerullaa, voidaan nopeuden rajoitusta harkita sileyden turvaamiseksi syväpainotuotteen vaatimalle tasolle. Syväpainossa alhaisella nopeudella ajettu koeosuus sai kuitenkin vähiten puuttuvia pisteitä koko vertailuryhmästä.

14.3 Formeritelan alipainemuutos koeajo – 7kPa:sta – 4kPa:iin

Ainoana pohjapaperiin vaikuttavana prosessimuuttujana PK5:llä diplomityön osalta ajettiin formeritelan alipainemuutoskoeajo, jossa alipainetta pudotettiin normaalisti ajetusta noin -7 kPa:sta -4 kPa:han. Koe suoritettiin 60 gsm Novapress laadulla.

Formeritelan alipaineen heikentäminen näkyi välittömästi topografiamittauksen karheus-indeksissä, kuvassa 43. Pohjapaperin karheus-indeksi laski 0,47, taulukot 15 ja 16. Pudotus vastaa Novapress 70 gsm:n lasketun parhaimman korrelaation mukaan ~ 43 ml/min bendtsen karheutena. Novapress 70 gsm korrelaatio noudatti kaavaa: $y=92,2x - 1740$.

Kuvan 43 trendistä nähdään karheus-indeksi muuttuu n. 10-15 minuutin aikajaksolla heti alipainemuutoksen jälkeen. Alemmalla – 4 kPa:n alipaineella mittaus näyttää vähemmän pinnanmuotojen vaihtelua. Myös laboratoriotulokset osoittavat bendtsen-karheuden myötä paperin vähemmän karheammaksi -4 kPa:n alipaine ajolla, kuva 44.



Kuva 43. Formeritelan alipaineen muutoksen vaikutus topografiamittauksen karheus-indeksiin pohjapaperissa.

Taulukko 15. Topografiamittauksen karheus-indeksin keskiarvo, hajonta, maksimi sekä minimi 2h 30min ennen alipaine muutosta.

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	22,11	0,08732	22,38	21,91

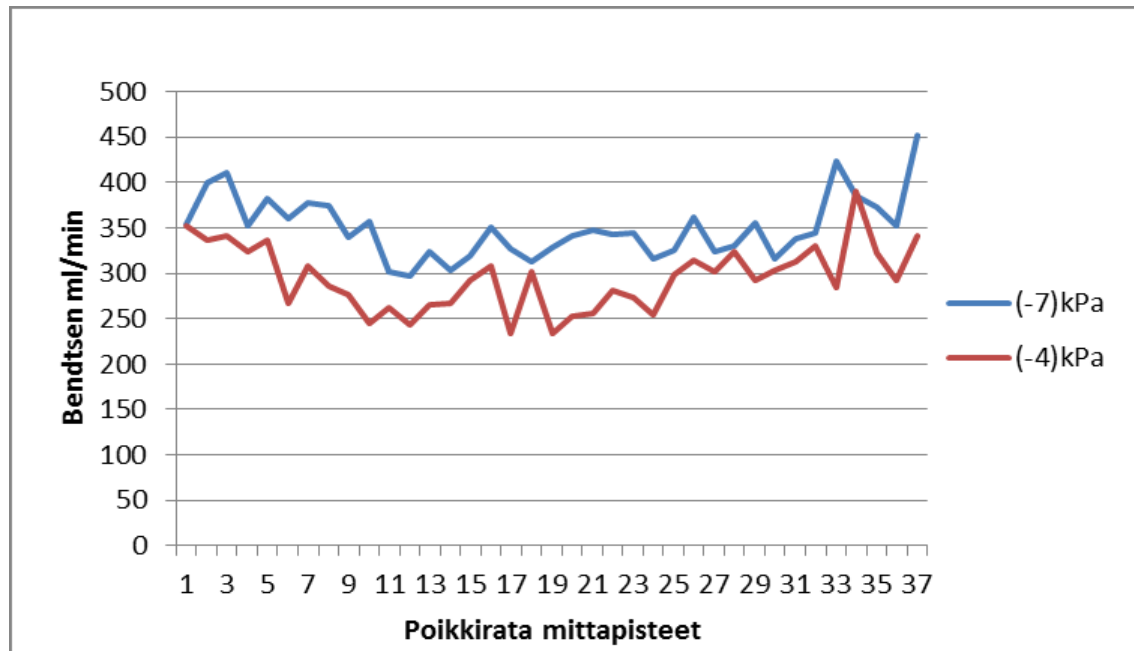
Taulukko 16. Topografiamittauksen karheus-indeksin keskiarvo, hajonta, maksimi sekä minimi 2h 30min jälkeen alipaine muutoksen.

Mittaus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimi	Minimi
Smoothness/Roughness	21,64	0,09933	21,94	21,33

Laboratorioarvojen bendtsen-karheus laski ennen ja jälkeen paineen muutoksen otettujen konerullien poikkiratanäytteiden mukaan ~ 55 ml/min. Poikkiratanäyte koostuu yhdestä näytestä, kuva 44.

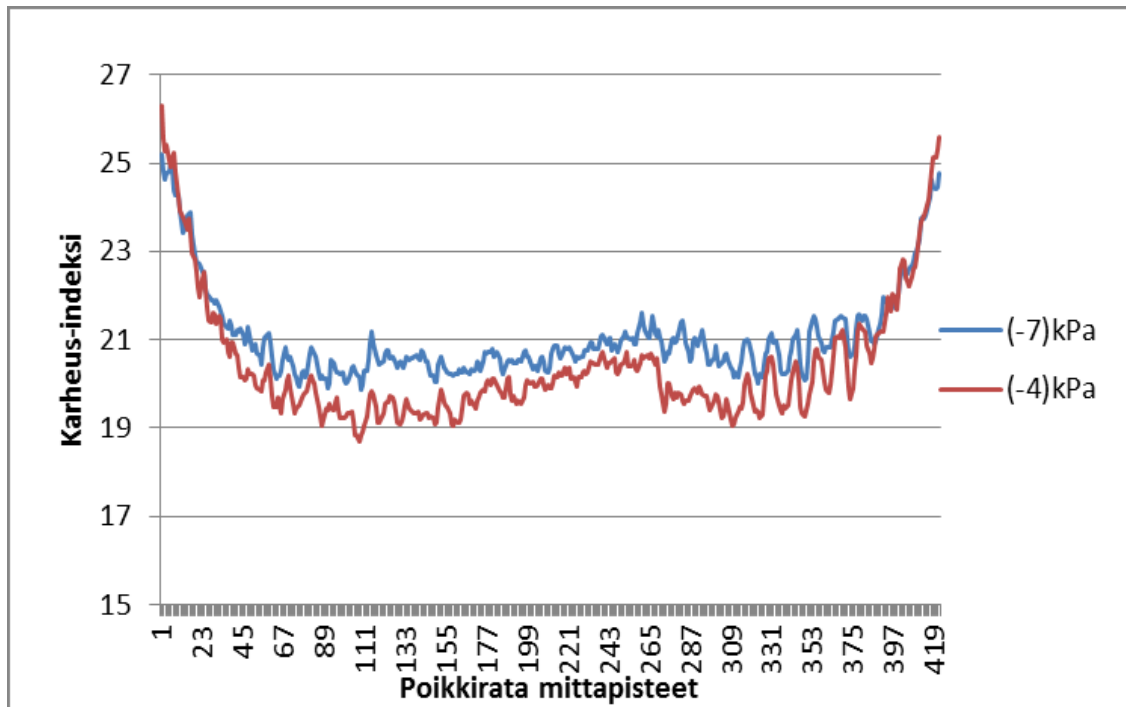
Laboratio arvojen profiilin bendtsen keskiarvoiksi – 7kPa koepisteelle saatiin 349,9 ml ja -4 kPa koepisteelle 294,8 ml. Bendtsen-karheuden arvo laski 15,7 prosenttia.

Topografiamittauksen antaman korrelaation mukaan vastaavuus bendtsen-karheus muutoksiin on 78 prosenttinen.



Kuva 44. Formeritelan alipainemuutoskoeajo. Bendtsen-karheus profiilit, pohjapaperi.

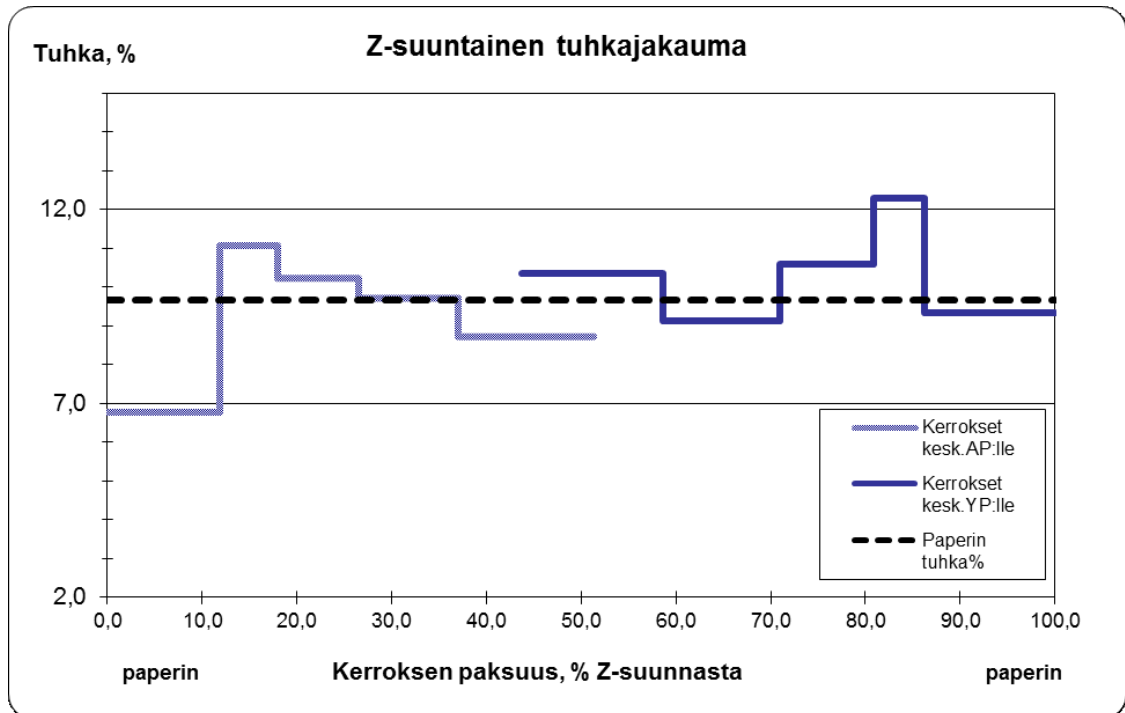
Topografiamittaus havaitsi alipainemuutoksesta johtuvan karheuden muutoksen oikein. Kuvassa 45 on topografiamittauksen konerullaprofiilidata -7 kPa:n alipaineella ajetulle konerullalle ja heti muutoksen jälkeen -4 kPa:n alipaineella ajetulle konerullalle. Datasta on poistettu noin 25 pisteen joukko molemmista reunoista, arvot olivat selvästi vääristyneitä, kaksinkertaisia keskiarvoon nähden. Häiriön aiheutti mitä ilmeisimmin paperiradan lepatus reunoilla, jolloin topografiamittaus ei saanut kunnon kuvaa alueesta.



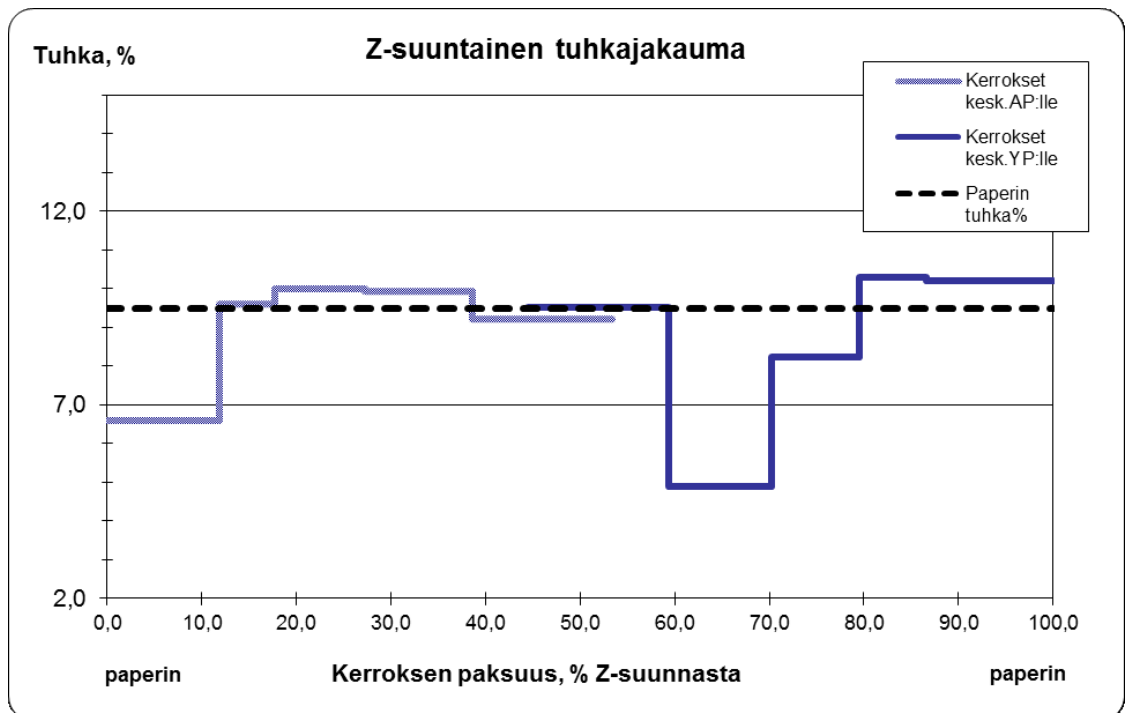
Kuva 45. Formertelan alipainemuutos. Topografiamittauksen karheus-indeksi konerullaprofiilit ennen ja jälkeen alipainemuutoksen, pohjapaperi.

Kuvassa 46 nähdään pohjapaperin z-suuntainen tuhkaajakauma formeritelan alipaineella -7 kPa. Verrattaessa kuvaajaa koeajopisteeseen -4 kPa, kuva 47, huomataan tuhkaajakauman paperin alapinnalla hieman tasoittuneen. Yläpuolen tuhkaajakauman prosentuaalliset osat ovat taas vähentyneet. Yläpuolen alimmissa kerroksissa tuhkan prosentuaallinen osuus on vähentynyt 4-5 prosenttiyksikköä. Tulos on saatu yhdestä yhdestä näytekerästä.

Alempi -4 kPa:n formeritelan alipaine näyttää kerryttävän vähemmän tuhkapitoisia aineita paperin yläpinnalle. Formeritelan imu kohdistuu juuri paperin pinnan yläpinnalle, joten laboratoriotulokset tukevat paineen laskusta saatuja tuloksia. Vähemmällä imulla tela ei ime niin voimakkaasti massaseosta kohti yläviiraa, vaan jättää hienoainetta enemmän myös paperin pinnan alapuolelle, joka puolestaan vaikuttaa positiivisesti paperin alapinnan karheuteen.



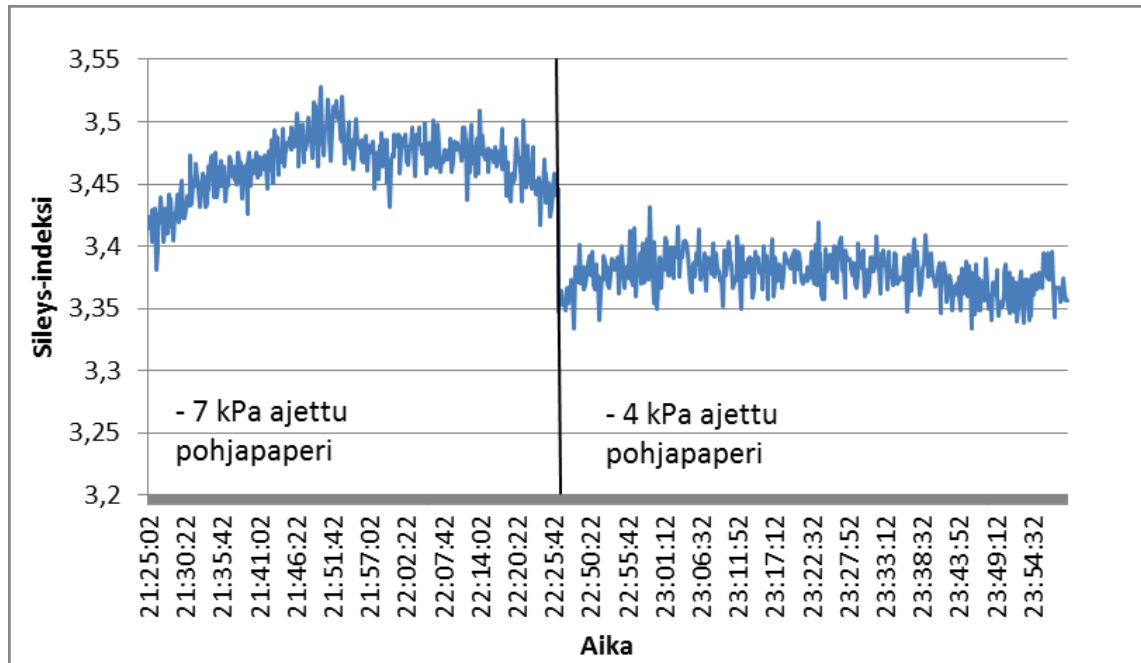
Kuva 46. Z-suuntainen tuhka jakauma -7 kPa:n alipaineella.



Kuva 47. Z-suuntainen tuhka jakauma -4 kPa:n alipaineella.

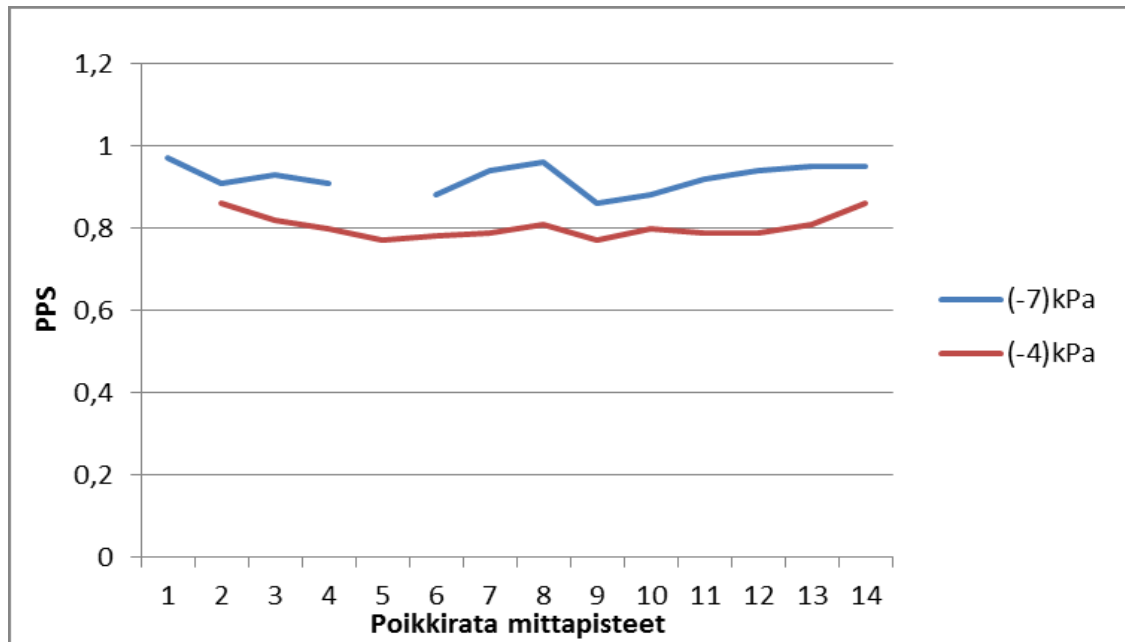
Pohjapaperin karheuden lasku näkyi myös lopputuotteen PPS-sileyden paranamisena, kuva 49. Sama näkyi myös topografiamittauksen sileyksindeksissä. Seuraavassa kuvassa 48. on topografiamittauksen sileyksindeksin muutos formeritelan alipainemuutosten suhteen. Keskiarvo -7 kPa ajatulla

koepisteellä oli 3,466 ja – 4kPa koepisteellä 3,376. Sileys indeksi pieneni noin 0,1.



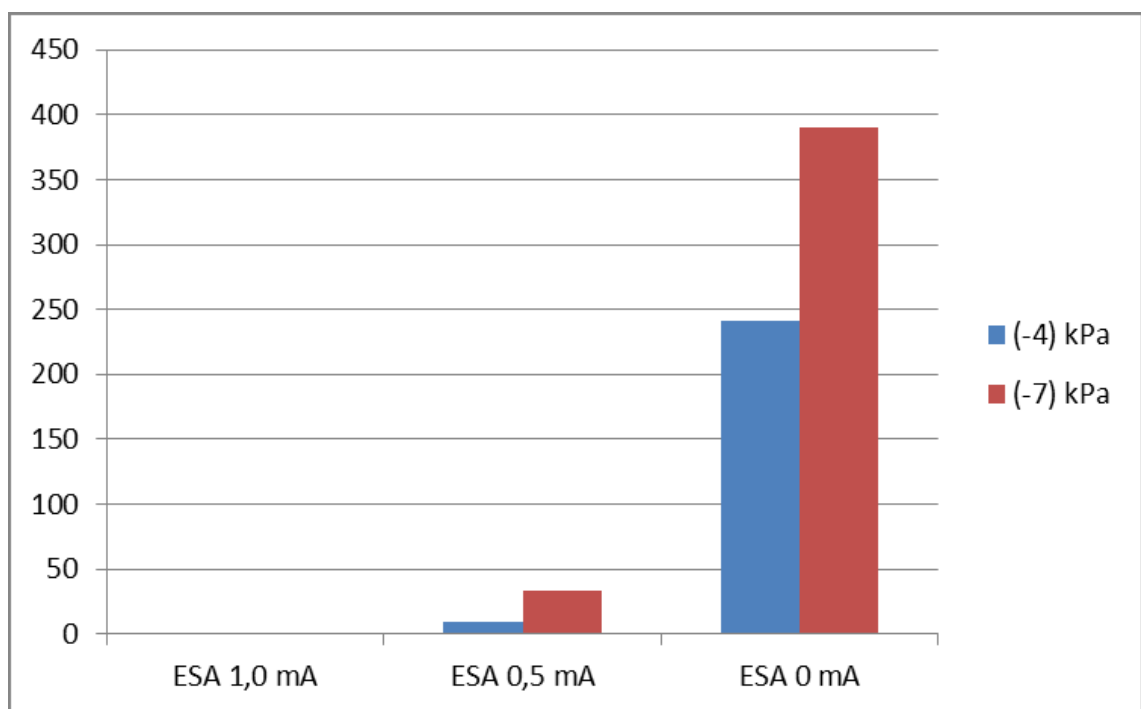
Kuva 48. Formeritelan alipainekoeajo, -7 kPa sekä -4 kPa osuudet topografiamittauksen sileys-indeksinä lopputuotteesta.

PPS sileys laski keskiarvosta 0,92 arvoon 0,80. Suhteellinen muutos oli 13 prosenttia sileämpään PPS tasolla, kuva 49. Muutosta voidaan pitää merkittävänä.



Kuva 49. Lopputuotteen PPS profiilit formeritelan alipainekoeajossa.

Huomattava parannus tapahtui myös puuttuvien pisteiden osalta. Alemmalla – 4 kPa:n puuttuvien pisteiden määrä väheni 38,2 prosenttia ESA 0-tasolla. Muutos oli suurin vertailtaessa koeryhmän referenssipisteitä koepisteisiin, kuva 50 sekä taulukko 17.



Kuva 50. Puuttuvat pisteet syväpainossa formeritelan alipainemuutos koeajossa eri ESA-tasoilla.

Taulukko 17. Puuttuvat pisteet syväpainossa formeritelan alipainemuutos koeajossa eri ESA-tasoilla.

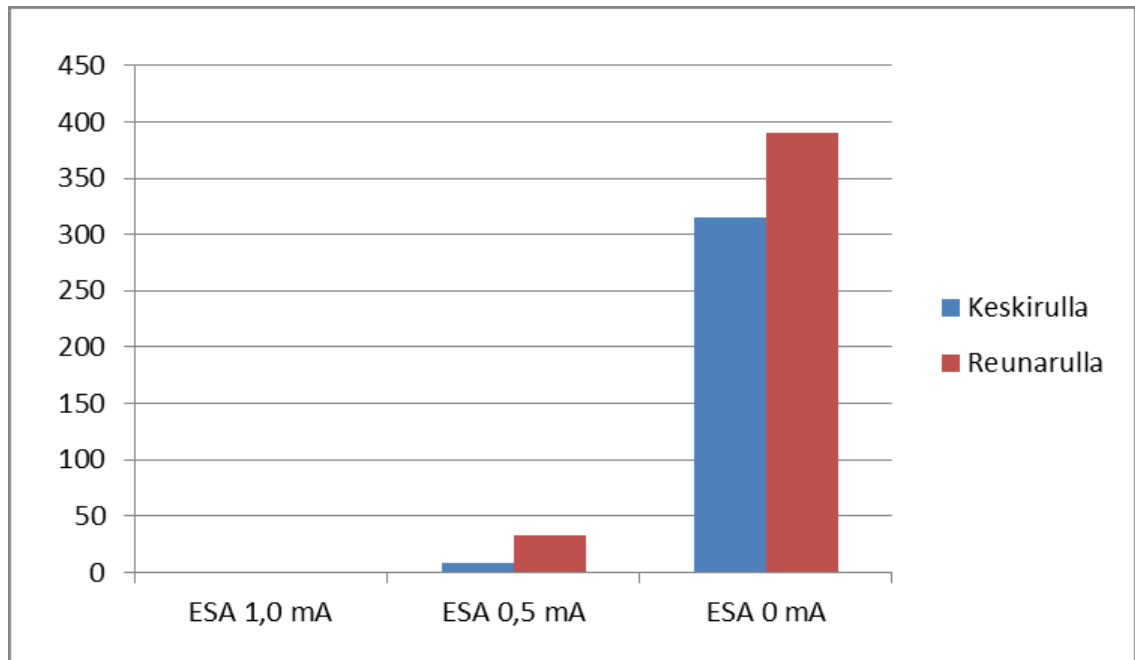
	ESA 1,0 mA	ESA 0,5 mA	ESA 0 mA
(-4) kPa	0	9	241
(-7) kPa	0	33	390

14.4 Reunarullan eroavuus keskirullasta

Reunarullan eroavuutta keskirullasta testattiin myös syväpainossa. Vertailuksi otettiin koepisteen formeritelan alipainemuutos -7 kPa:n rullat samasta muutosta. Lajina oli Novapress 60 gsm.

Keskimmäinen rulla tuotti 19,2 prosenttia vähemmän puuttuvia pisteitä kuin reunarulla, kuva 51 ja taulukko 18.

Laboratorioarvoissa niin lopputuotteen sileys, kuin pohjapaperin karheus osoittaa reunan olevan selvästi karheampaa kuin radan keskivaiheilla. Ero on sen verran suuri, että puuttuvien pisteiden osuus tässä kyseisessä syväpainokokeessa voi johtua juuri sileys erosta.



Kuva 51. Syväpainotulos reunarullan ja keskirullan suhteen.

Taulukko 18. Puuttuvien pisteiden ero reunarullan sekä keskirullan välillä eri ESA-tasoilla.

	ESA 1,0 mA	ESA 0,5 mA	ESA 0 mA
Keskirulla	0	8	315
Reunarulla	0	33	390

14.5 Lopputuotteen PPS korrelaatio topografiamittauksen tuottamaan sileys-indeksiin

Lopputuotteen osalta R^2 korrelaatiokertoimeksi muodostui 0,73 kymmenellä mittauspisteellä. Superkalanterin ajonopeuden yksi mittauspiste on jätetty tuloksesta pois, sillä se poikkesi huomattavasti muista koepisteistä. Tässä samaisessa pisteessä PPS sileyden arvo oli noussut vaikka kyseessä oli hiljaisemmalla superkalanterin nopeudella ajettu mittauspiste. Tämä ei siis vastannut teoriaan eikä myöskään aikaisempiin mittaustuloksiin.

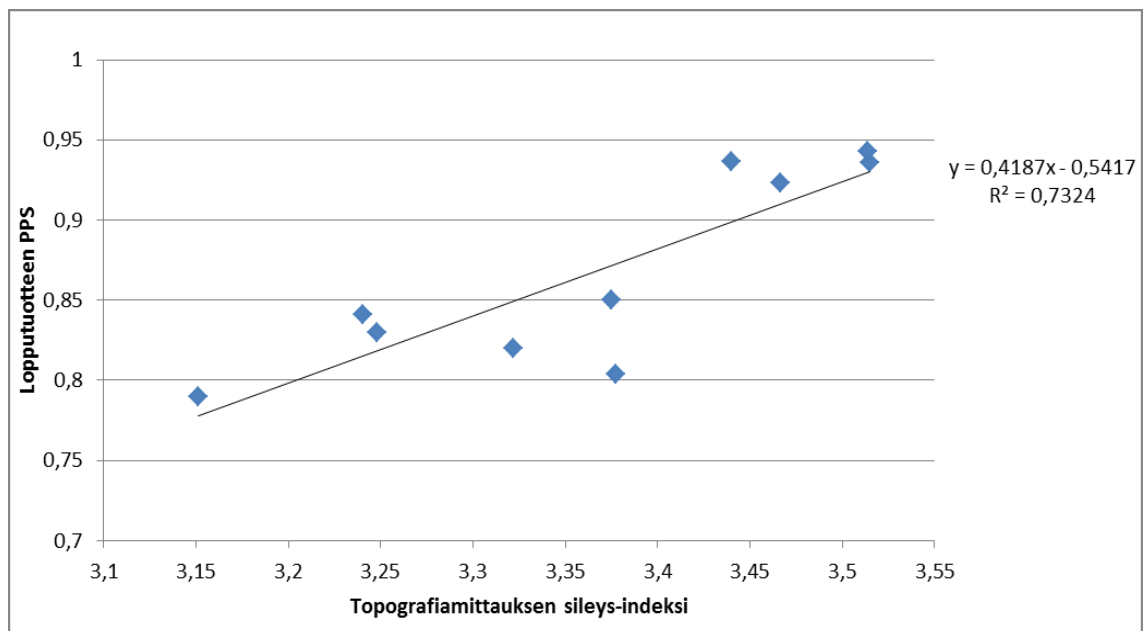
Korrelaatiokerroin lopputuotteelle lähentelee samoja arvoja, mitä paras korrelaatiokerroin oli pohjapaperille. Superkalanterin ajonopeuskoe 2:ssa PPS

sileys on kuitenkin mitattu arkinäytteistä ja diplomityössä poikkiratanäytteistä. Toisaalta myös superkalanterin topografiamittaus on tapahtunut ainoastaan yhdestä kohti paperirataa, ei traversoivasti kuten pohjapaperin vastaava.

Tilastollisesti edustavampaan korrelaatioon vaadittaisiin enemmän mittapisteitä, sekä topografiamittauksen tulisi olla traversoiva.

Kuvassa 52 on esitelty koeajoista saadut korrelaatiot PPS-sileyden ja topografiamittauksen sileys-indeksin välillä. Tulos on hyvä vaikka pisteitä onkin suhteessa vähän pohjapaperin korrelaatioihin verrattuna. Taulukossa 19 on esitelty tarkemmat arvot mittapisteistä.

Korrelaatiokertoimeksi R^2 muodostuu 0,73.



Kuva 52. Lopputuotteen topografiamittauksen sileys-indeksin korrelaatio PPS-sileyteen.

Taulukko 19. Lopputuotteen topografiamittauksen sileys-indeksin korrelaatio PPS-sileyteen kuvan tarkat arvot mittapisteille.

Koepisteet	Topogr. Sileys-indeksi	PPS
Formertelan alipainemuutos (-4 kpa)	3,377571	0,803846
Formertelan alipainemuutos (-7 kpa)	3,466206	0,923077
SC nopeuskoeajo 700 m/min	3,440144	0,936667
SC nopeuskoeajo 900 m/min	3,5148714	0,935833
Teränvaihto koeajo, vanha terä	3,51347	0,9425
Teränvaihto koeajo, uusi terä	3,240632	0,840833
SC nopeuskoeajo 2. 450 m/min	3,1505	0,79
SC nopeuskoeajo 2. 600 m/min	3,2482	0,83
SC nopeuskoeajo 2. 750 m/min	3,3223	0,82
SC nopeuskoeajo 2. 900 m/min	3,3754	0,85
Hylätyt koepisteet		
SC nopeuskoeajo 500 m/min	3,377558	0,965

15 Tuloksien yhteenveto ja johtopäätökset

15.1 Topografiamittaus

Topografiamittaus on osoittanut erittäin hyvää käytettävyyttä LWC-paperilinjastolla. Mittauksen korrelaatiot olivat hyviä niin pohjapaperin bendtsenkarheuteen kuin lopputuotteen PPS-sileyteen. Koeajojen perusteella voidaan todeta, että topografiamittaus tunnistaa jo pohjapaperissa tapahtuvat muutokset, jotka vaikuttavat lopputuotteen sileyteen.

Topografiamittauksen parhaimmaksi korrelaatiokertoimeksi bendtsenkarheudelle tuli Novapress 70 gsm lajin antama $R^2=0,82$. Mittapisteitä tuloksessa on mukana 59. Tulos oli hyvä, ja sitä voidaan pitää tilastollisesti merkittävänä.

Lopputuotteen PPS korrelaatiokerroin topografiamittaukselle oli $R^2=0,73$. Tarkempaan korrelaatioon vaaditaan kuitenkin enemmän mittapisteitä, tässä niitä oli 10 kpl.

Topografiamittaus selvästi reagoi niin pohjapaperin karheus kuin lopputuotteen sileys muutoksiin. Formeritelan alipainemuutoskoeajossa topografiamittaus reagoi pohjapaperin karheuden muutokseen. Vastaavan muutos oli nähtävissä myös mitatussa bendtsen-karheudessa. Topografiamittauksen muutos vastasi 78 prosenttisesti bendtsen-karheuden muutokseen.

Formeritelan alipainemuutoskoeajossa topografiamittaus havaitsi siis karheuden alenemisen jo pohjapaperissa, mikä näkyi myös lopputuotteen sileyden paranemisena. Tämä puolestaan johti parempaan syväpainotulokseen puuttuvien pisteiden osalta koepisteessä.

Myös hiokkeen annostelun freenes luvun aiheuttamaan karheus vaihteluun topografiamittaus korreloi hyvin. Mittauksesta löytyi kahden vuorokauden ajanjakso, jossa korrelaatiokerroin oli 0,87 mittauksen karheus-indeksin sekä CSF-luvun välillä.

Lopputuotteen osalta topografiamittaus mittasi sileyden muutoksen suunnan PPS-mittausta vastaavaksi kaikissa muissa paitsi diplomityön superkalanterin ajonopeuskoeajossa, jossa laboratoriotulokset olivat hyvin lähellä toisiaan. Teränvaihto-, formeritelan alipaine- sekä superkalanterin ajonopeuskoeajossa 2 topografiamittaus osoitti sileyden paranemista niin kuin laboratoriotuloksetkin.

Superkalanterin nopeusmuutoksiin topografiamittaus reagoi loogisesti. Sileys parani nopeuden pienentyessä. Muutos voitiin lukea välittömästi sileys-indeksistä. Sileys-indeksi pieneni aina superkalanterin hidastuksiin ja kiihdytyksissä se kasvoi.

Topografiamittaus ja laboratoriossa käytetyt mittaukset karheudelle ja sileydelle ovat hyvin erilaisia mittausmenetelmiä. Topografiamittaus laskee paperin pinnan muotojen vaihtelua valon ja varjostumien avulla, se ei kosketa pintaa; laboratoriomenetelmät ovat puolestaan pneumaattisia, joissa tulos saadaan paperiin painetun mittapään ja ilmanpaineen avulla. Laboratoriossa mittapää painetaan kiinni paperiin, joka saattaa painaa paperin pintaa erilaiseksi verrattuna alkuperäiseen.

Vaikka kyseessä onkin täysin kaksi erilaista mittausmenetelmää, osoittaa topografiamittaus silti erittäin hyvää korrelaatiota pohjapaperin bendtsen-karheuteen. Lopputuotteellekin muodostunut korrelaatio on hyvä, mutta tilastollisesti edustavampi tulos olisi vaatinut useampia mittauspisteitä ja traversoivaa mittausta.

15.2 Sileyden parantaminen PK5:n lopputuotteen osalta sekä syväpainotulos

Novapress 60 gsm kiiltävä laadulle tehdyssä koeajossa formeritelan alipaine muutoksella saatiin lopputuotteen sileys paranemaan referenssipisteestä koeajopisteeseen PPS arvosta 0,92 arvoon PPS 0,80. Suhteellinen muutos oli 13 prosenttia sileämpään. Tulokset ovat laadittu yksien poikkiratanäytteiden osalta. Tulosta voidaan kuitenkin pitää merkittävänä. Muutos näkyi jo pohjapaperin alempana bendtsen-karheutena. Muutosta referenssipisteeseen tuli 15,7 prosenttia. Alempi formeritelan alipaine ei aiheuttanut ongelmia ajettavuudessa. Liian suuri alipaineen vähentäminen voi kuitenkin johtaa märkäviirojen tukkeutumiseen. Tämän on osoittanut diplomityön ulkopuolella tehdyt mittaukset tehtaalla. Formeritelan alipainemuutos vaikutti myös positiivisesti syväpainotulokseen.

Superkalanterin ajonopeudella on vaikutus lopputuotteen sileyteen. Superkalanterin ajonopeuskoe 2 osoitti PPS-mittauksen myötä, kuinka sileys paranee nopeutta laskiessa, mutta muutos ei kuitenkaan ole suuri. Syväpainossa alhaisella superkalanterin nopeudella ajettu paperi kuitenkin oli koko vertailuryhmän paras puuttuvien pisteiden osalta. Nopeuksilla 900 ja 700 m/min ajetuilla koeosuuksilla puuttuvien pisteiden määrä oli suhteellisen sama, mutta 500 m/min ajettulla osuudella puuttuvien pisteiden määrä putosi 36,1 prosenttia verrattuna 900 m/min ajettuun osuuteen.

Teränvaihto päällystyskoneella tuotti parempaa sileyttä lopputuotteelle. Syväpainotulokset kuitenkin osoittivat, että uudella terällä ajettu paperi tuotti enemmän puuttuvia pisteitä.. Esimerkiksi paperin huokoisuus voi olla yksi tekijä, joka vaikuttaa syväpainotulokseen. Myös päällystekerros vaikuttaa painoväriin siirtymiseen syväpainossa. Teränvaihdon osuutta syväpainotulokseen tulisi tutkia enemmän.

Reunarullan sekä keskirullan syväpainotuloksessa oli ero syväpainotuloksessa. Keskirullassa oli 19,2 prosenttia vähemmän puuttuvia pisteitä kuin reunarullassa.

Turvatakseen hyvän syväpainotuloksen lopputuotteelle voidaan PK5:lla tämän diplomityön koeajojen pohjalta luottaa formeritelan alipainemuutokseen, reunarullien välttäminen syväpainotilauksissa, sekä mahdollisesti superkalanterin laskettuihin ajonopeuksiin, tilanteen niin salliessa.

16 Jatkotutkimus ehdotukset

Topografiamittaus tuottaa hyvää online-tietoa paperin pintaominaisuuksista. Tässä työssä käsitellyn sileys- sekä karheus-indeksin lisäksi olisi syytä käsitellä kuinka esimerkiksi topografiamittauksen kuoppaluku korreloi syväpainatus tuloksien kanssa.

Tärkeimpänä näkisin lähestymisen itse lopputuotteen osalta. Eli kuinka topografiamittaus havaitsee lopputuotteen, jonka painatusjälki on ollut hyvä. Löytääkö topografiamittaus esimerkiksi juuri niitä kuoppia tai huippuja paperista, johon puuttuvat pisteet keskittyvät.

Paperin huokoisuus voi olla myös merkittävä tekijä puuttuvien pisteiden synnyn osalta. Olisi syytä tehdä koeajoja eri huokoisilla papereilla syväpainon osalta.

17 Lähdeluettelo

AB Iorentzen & Wettre (2011) Pulp and Paper Testing. L & W Handbook. Sweden, Printed Edita.

Biermann C J (1996) Handbook of Pulping and Papermaking. Second Edition. San Diego, California, Academic Press, Inc Gullichsen, J.

Bureau W H (1995) , What the Printer Should Know about Paper. Second Edition. Graphic Arts Technical Foundation, s. 51.

ERA (2012) European Rotogravure Association. Web-sivusto [<http://www.era.eu.org/>], viitattu 13.9.2012.

Gullichsen J, Paulapuro H (1999) Chemical Pulping. Book 6A. Helsinki, Fapet Oy. s. A14-A16.

Hakkila O (2006) Painatustekniikan perusteita. Anjala. julkaisematon.

Hakola E (2009) Principles of Conventional Printing. Teoksessa: Oittinen P, Saarelma H (2009) Printing. Papermaking Science and Technology. Book 13. Second Edition. 2009, Helsinki. Paperi ja Puu Oy, s.76.

Haney M A (2012) The Effects of Electrostatic Assist on Gravure Printability, Western Michigan University, Web-sivusto:

[<http://www.gravureexchange.com/gravurezine/0804-ezine/haney.htm>], viitattu 18.9.2012.

Imerys, Paper and Packaging (2012) Rotogravure Printing. Coating Structure Effects in Rotogravure Printing. Web-sivusto: [http://www.imerys-paper.com/pdf/Technical_Guide_Rotogravure_Printing.pdf], viitattu 18.9.2012.

Jokia M (1999) Papermaking Part 3, Finishing. Papermaking Science and Technology. Book 10. Helsinki. Fapet Oy, s. 14-17, 46-50.

Kiiskinen H, Paltakari J, Pakarinen P (2000) Drying and Paper Quality. Teoksessa: Karlsson M (2000) Papermaking Part 2, Druying. Papermaking Science and Technology. Book 9. Helsinki, Fapet Oy, s. 346-347.

Kipphan H (2001) Handbook of Print Media. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. s.360-394.

KnowPap (5/2004) Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 6.0, Julkaistu 5/2004.

Krogerus B (1999) Fillers and Pigments. Teoksessa: Neimo L (1999) Papermaking Chemistry. Papermaking Science and Technology. Book 4. Helsinki, Fapet Oy, s.117

Krogerus B (2002) Fines in closed circuits - Final report. KCL research project no: KCL: P1713-072 s.10.

Kuhasalo A, Niskanen J, Paltakari J, Karlsson M (2000) Introduction to Paper Drying and Principles and Structure of a Dryer Section. Teoksessa: Karlsson M (2000) Papermaking Part 2, Druying. Papermaking Science and Technology. Book 9. Helsinki, Fapet Oy, s. 16.

Lehtinen E (2000) Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy. Helsinki. s.14-19, Luku 4.

Lumiainen J (2000) Refining of Chemical Pulp. Teoksessa: Paulapuro H (2000) Stock and Wet End. Papermaking Science and Technology. Papermaking Part 1. Helsinki. Paperi ja Puu Oy s. 87-89.

Metso Automation (2012) Metso IQ Surface Measurement Manual, Metso Automation Oyj, Tampere.

Niskanen K (1998) Paper Physics. Papermaking Science and Technology. Book 16. Helsinki. Fapet Oy, Luku 2.

Oittinen P, Saarelma H (2009) Print Media – Principles, Processes and Quality. Book 13. Totally updated, Helsinki, Paperi ja Puu Oy, s.132.

Paulapuro H (2007) Stock and Wet End, Papermaking Science and Technology. Papermaking Part 1. Second Edition. Helsinki. Paperi ja Puu Oy s. 27, 344-350, 364-365.

Pylkkö J (2000) Mechanical Base Paper. Teoksessa: Lehtinen E (2000) Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy. Helsinki. s. 31-33.

Soini P (2007) Kalanterointi Kirjallisuustutkimus. Helsinki University of Technology, Otaniemi. s.18.

Sundholm J (1999) Mechanical Pulping. Papermaking Science and Technology. Book 5. Helsinki. Fapet Oy. S. 17-22.

Sung Y J, Keller D S (2008) Evaluation of the changes in paper structure by the laboratory wet pressing conditions. Journal of Industrial and Engineering Chemistry s. 328–332.

Tornberg K (1999) Special Measurements in Pulp and Paper Processes. Teoksessa: Leiviskä K (1999) Process Control, Paper Making Science and Technology. Book 14. Process Control. Fapet Oy. Helsinki. Luku 4.

Valmet (1999) Puusta paperiin M-502, Paperikoneet yleistä. 2. muunnettu painos. Saarijärvi, Sepsilva LTD OY s. 9-12.

Veitsiluoto Ajostandardi 2012 PK5. Stora Enso Oyj, Veitsiluoto. Novapress Kiiltävä. Sisäinen tietokanta.

Veitsiluoto Insite PK5. Stora Enso Oyj. Sisäinen tietokanta.

Veitsiluoto laboratorio 2012. Stora Enso Oyj. Sisäinen tietokanta.

Viluksela P (2008) Enviroment for Papermaking and Automation. 2009

Muut lähteet:

Laurila J, Hattari A (1986) Paper and Board Dictionary. -Theory, Manufacture and Products Timber Journal. Publishing CB. Finland.