

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Imatra  
Prosessitekniikan koulutusohjelma  
Paperitekniikan suuntautumisvaihtoehto

Ilari Ikonen

# **PROFIILIENTEN HALLINTA LWC-PAPERILINJALLA**

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

Ilari Ikonen

Profiilien hallinta LWC-paperilinjalla, 59 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikan yksikkö, Prosessitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2010

Työnohjaaja: DI Jarkko Männynsalo

Työn valvoja: Käyttöinsinööri Tommi Seppälä

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia kovuusprofiilin muutosta päällystyskone 3:n ja superkalanteroinnin jälkeen sekä etsiä mahdollisia syitä paperin huonoon kovuusprofiiliin superkalantereilla 3 ja 4. Lisäksi selvitettiin PPK3:n 2. sähköinfran tarpeellisuutta ja vaikutusta LWC-paperin kosteusprofiiliin PPK3:n jälkeen sekä kosteusprofiilin muutosta superkalanteroinnin jälkeen.

Työssä keskityttiin tutkimaan paperikone 2:lla ajettuja paperilajeja. Tutkittavien paperilajien neliöpainot vaihtelivat  $39 \text{ g/m}^2$ — $65 \text{ g/m}^2$ . Mittausmenetelminä käytettiin koneiden tietojärjestelmistä saatuja online-mittauksia ja koeajoista saatuja näytteitä. Näytteitä tutkittiin laboratorion kosteusmittauksen, PaperLab-paperintestausrobotin, Tapion raina-analysaattorin sekä Tapion RQP kovuusmittarin avulla.

Työn teoriaosassa perehdyttiin LWC-paperin päällystykseen ja kuivatukseen. Lisäksi tarkasteltiin päällystyskone 3:sta ja superkalantereita.

Työn kokeellinen osa jakautui ensimmäiseen ja toiseen osioon. Ensimmäisen osiossa selvitettiin päällystyskone 3:n 2. sähköinfran tarpeellisuutta ja vaikutusta LWC-paperin kosteusprofiiliin PPK3:n jälkeen sekä kosteusprofiilin muutosta superkalanteroinnin jälkeen kosteuden online-mittausten ja koeajoista saatujen näytteiden avulla. Toisessa osiossa tarkasteltiin LWC-paperin kovuusprofiilin muutosta PPK3:n ja superkalanteroinnin jälkeen Tapio RQP -kovuusmittarin avulla, sekä etsittiin mahdollisia syitä paperin huonoon kovuusprofiiliin superkalantereilla 3 ja 4.

Mittauksista ja koeajoista saatujen tulosten perusteella löydettiin syitä paperinprofiiliin vaikuttavista tekijöistä. PPK3:n 2. sähköinfran käytännönvaikutus paperin profiilien muutoksiin superkalanteroinnin jälkeen huomattiin olevan niin matala, että infra voidaan jättää pois käytöstä ainakin kevyillä lajeilla. Kovuusprofiilien muutokseen havaittiin olevan merkittävä vaikutus superkalanteroinnilla. SK4:lla huomattiin Calcoil-profilointilaitteiston seuraavan mittapalkilta saatavaa virheellistä arvoa ja aiheuttavan kuoppaisuutta kovuusprofiiliin. SK3:lla huomattiin aiheutuvan hoitopään puolelle virheellistä profiilia, ylätelan nipin aiheuttavan virheellistä poikkeavuutta tavoiteprofiilista sekä alatelan paine-eron huomattiin jäävän vajaaksi tavoitearvosta.

Asiasanat: Profiili, sähköinfra, päällystys, superkalanterointi, LWC-paperi, kovuus, kosteus.

## ABSTRACT

Ilari Ikonen

Profile Control in LWC-Paperline, 59 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Degree Programme in Process Technology

Final Year Project 2010

Tutor: Mr Jarkko Männynsalo, MSc, Senior Lecturer, Saimaa UAS

Supervisor: Mr Tommi Seppälä, MSc, Superintendent, UPM-Kymmene

The main purpose of this thesis was to study LWC-paper's hardness profile change after off-machine coater 3 and supercalendering, and also possible reasons to the poor hardness profile in supercalender 3 and 4. In addition to find out if another electric infrared dryer is necessary for OMC3, and the effect on LWC-paper moisture profile after OMC3 and change of moisture profile after supercalendering.

In the study the focus was on paper grades that have been run in papermachine 2. Basis weight of studied paper grades changed between 39 g/m<sup>2</sup> and 65 g/m<sup>2</sup>. Used measure systems were online-measures from machines' information systems and samples from trial runs. Samples were researched with laboratory moisture measurement, PaperLab, Tapio Analyzer, and also with Tapio RQP.

In the theoretical part the focus was on coating and drying of LWC-paper. In addition off-machine coater 3 and supercalenders were studied.

The experimental part was divided in to two parts. In the first part was studied if another electric infrared dryer is necessary for OMC3, and its effect on the LWC-paper moisture profile after OMC3 and change of moisture profile after supercalendering with samples from online-measurements and trial runs. In the second part focus was on the change of LWC-papers hardness profile after OMC3 and supercalendering with Tapio RQP, and also possible reasons for the poor hardness profile in supercalender 3 and 4.

From results of measurements and trial runs were found reasons for effective factors to the paper profile. The actual effect of OMC3's second electric infrared dryer on the change of paper profiles after supercalendering was noticed to be so low that infrared dryer can be omitted at least with light grades. Supercalendering was noticed to have a significant effect on the change of hardness profile. In SC4 was noticed that calcoil-profiler bar followed an incorrect value from the measure bar and caused pits to the hardness profile. In SC3 was noticed incorrect profile in tending side, upper cylinder's nip caused incorrect deviation from target profile, and it was also noticed lower cylinder's pressure difference did not reach the target value.

Keywords: Profile, Electric Infrared Dryer, Coating, Supercalendering, LWC-Paper, Hardness, Moisture.

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
2 PAPERITEKNISET OMINAISUUDET .....	7
2.1 Kosteusprofiili .....	7
2.2 Neliömassa .....	8
2.3 Kovuusprofiili .....	8
2.4 Kiilto .....	9
2.5 Transmissio .....	9
3 LWC-PAPERIN PÄÄLLYSTYS .....	10
4 LWC-PAPERIN KUIVATUS .....	11
4.1 Sähkökäyttöiset infrapunakuivattimet .....	12
4.2 Leijukuivattimet .....	12
4.3 Sylinterikuivattimet .....	13
5 PÄÄLLYSTYSKONE 3 .....	14
5.1 Päällystysasemat .....	14
5.2 Optiblade-teräpäällystys .....	16
5.3 Profiilien säätö .....	17
5.4 Kosteusprofiilien mittauss .....	18
5.5 Kuivatusosat .....	18
5.6 Sähköinfra .....	19
5.7 Höyry- ja lauhdejärjestelmä .....	20
6 SUPERKALANTERIT .....	20
6.1 Superkalanterien telastot .....	22
6.2 Tappikuorman kevennyslaitteisto .....	27
6.3 Superkalanterointi ja kosteus .....	27
6.4 Calcoil-profilointilaitteisto .....	28
6.5 Superkalantereiden online-mittaukset .....	28
7 KOKEELLISEN OSAN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITE .....	29
8 MITTAUSMENETELMÄT .....	30
8.1 Laboratorion kosteusmittaus .....	30
8.2 PaperLab-paperintestausrobotti .....	31
8.3 Tapio raina-analysaattori .....	31
8.4 Tapio RQP .....	31
9 KOSTEUSKOEAJO PÄÄLLYSTYSKONE 3 LAJILLA 7160 .....	32
9.1 Online-kosteusmittausten luotettavuus PK2 ja PPK3 lajilla 7160 .....	32
9.2 Koeajon tulokset lajilla 7160 .....	34
10 KOSTEUSKOEAJO PÄÄLLYSTYSKONE 3 LAJILLA 9151 .....	36
11 KOVUUSMITTAUKSET .....	39
11.1 Superkalenteri 3 .....	39
11.2 Superkalenteri 4 .....	42
11.3 Superkalenteri 5 .....	45
11.4 Superkalantereiden keskiarvoprofiilit .....	48
12 SUPERKALANTERI 3:N NIPPIKUVAT .....	49
13 SUPERKALANTERI 4:N CALCOIL-PROFILOINTIPALKIN VERTAILU .....	51
14 YHTEENVETO .....	54
KUVAT .....	56
TAULUKOT .....	58
YHTÄLÖT .....	58

LÄHTEET .....	59
---------------	----

LIITTEET

LIITE 1 Kovuuden ja paksuuden korreloituvuus

LIITE 2 Paksuuden ja kovuuden korreloituvuus

LIITE 3 Opasiteetin vertailu

# 1 JOHDANTO

Kaukaan paperitehdas valmistaa päällystettyjä hiokepitoisia aikakauslehtipaperilajeja: kertapäällystettyä UPM Cote ja UPM Ultra LWC-paperia ja kaksoispäällystettyä UPM Star MWC-paperia. Näiden lajien pääraaka-aineet ovat kuusi-hioke, valkaistu havusellu ja päällystyspasta. Kaukaan tehtaalla on hiomo, kaksi paperikonetta, kolme päällystyskonetta, viisi superkalanteria, neljä pituusleikkuria ja automatisoitu pakkauslinja.

Vuotuinen kokonaiskapasiteetti on 580 000 tonnia. Paperitehtaan asiakkaita ovat kustantamot ja painotalot eri puolilla maailmaa. Päämarkkina-alue on läntinen Eurooppa, pitkäaikaisia asiakkaita Kaukaalla on myös Japanissa, USA:ssa, Brasiliassa ja Argentiinassa. Kaukaan valmistamia paperilajeja käytetään aikakauslehdissä, myyntiluetteloissa ja mainospainotuotteissa.

Kaukaan paperitehtaan paperikone 2:n valmistama paperi päällystetään, joko päällystyskone 2:lla tai päällystyskone 3:lla. Päällystysen jälkeen paperi superkalanteroidaan. Päällystyskone 3:n paperi superoidaan pääasiassa superkalantereilla 3, 4 tai 5.

Tämän työn ensimmäisessä osiossa selvitetään päällystyskone 3:n 2. sähköinfran tarpeellisuutta ja vaikutusta kosteusprofiiliin päällystyskoneen jälkeen sekä kosteusprofiilin muutosta superkalanteroinnin jälkeen. Kosteusprofiilia tutkitaan online- ja laboratoriomittauksien avulla.

Työn toisessa osiossa tarkastellaan kovuusprofiilin muutosta päällystyskone 3:n ja superkalanteroinnin jälkeen sekä etsitään mahdollisia syitä paperin huonoon kovuusprofiiliin superkalantereilla 3 ja 4. Kovuusprofiilin tutkimuksessa käytetään Tapio RQP -kovuusmittaria sekä laboratorion mittauslaitteita. Työssä tutkitaan paperikone 2:lla ajettuja paperilajeja sekä keskitytään LWC-paperiin.

## 2 PAPERITEKNISET OMINAISUUDET

Paperitekniisten ominaisuuksien mittauksilla on tarkoitus varmistaa paperille hyvät laatuominaisuudet tuotantovaiheen lopussa. Mittauksia voidaan suorittaa, joko online-mittauksilla tai laboratoriomittauksilla. Yleensä mittaus tapahtuu online-mittauksella, jolloin mittalaite lähettää reaaliaikaista mittausdataa valvomoon. Valvomossa mittausdataa seuraa käyttäjä, joka voi tarvittaessa säätää haluttuja parametrejä laadun parantamiseksi. Online-mittauksilla ei voida suorittaa kaikkia haluttuja mittauksia ja tästä syystä tietyt ominaisuudet täytyy mitata laboratoriomittauksilla. Laboratoriomittauksilla voidaan myös seurata online-mittauksen luotettavuutta, näin saadaan myös selville mittalaitteessa ilmenevät viat.

### 2.1 Kosteusprofiili

Kosteusprofiilia voidaan mitata infrapunavalolla, vesimolekyylit absorboivat infrapunasta tietyt aallonpituudet. Vertailemalla paperirainan läpäisevän valon vaimenemista kahdella eri aallonpituudella, saadaan selville paperin vesipitoisuus. Kosteudenmittauksessa rainan alapuolella on valonlähde ja rainanyläpuolella vastaanotin. Säteilevästä valosta käytetään 1,7  $\mu\text{m}$  ja 1,9  $\mu\text{m}$  aallonpituutta, jotka kuuluvat valospektrin infrapuna-alueeseen. Kosteus absorboi voimakkaasti valoa, jonka aallonpituus on 1,9  $\mu\text{m}$ . Vastaanotin muuttaa valojen voimakkuuden tietokoneelle sähköiseksi viestiksi. Mitattujen viestien suhde on suoraan verrannollinen paperin vesimäärään. Neliömassan ja vesimäärän avulla saadaan laskettua paperin kosteus. Menetelmää voidaan soveltaa 75 % kosteuteen saakka. (Pihkala 1998, 119.)

Paperin korkea kosteusprofiili ja lämpötila parantavat kalanteroitumista. Paperissa ei kuitenkaan saa olla märkiä kohtia, sillä ne aiheuttavat kuitujen sidoskohtien murtumista ja aiheuttavat lopputuotteen mustumista. Mustumat voivat joutua myös liian suuresta viivakuormasta. Hyvällä kosteussäädöllä voidaan kalanterointi tehdä 6—8 % kosteudessa. (Pigmenttipäällystys 1983,152.)

Päälystyskoneen jälkeen paperin kosteus on noin 6—7 % ja superkalanteroinnissa kosteus putoaa noin 5 prosenttiin. Kalenterin lämpimät telat lämmittävät rataa, jolloin kosteutta haihtuu radasta. Pääasiassa superkalanterilla ei pyritä kosteusprofiilia parantamaan. (Pigmenttipäälystys 1983, 92.)

## **2.2 Neliömassa**

Paperin neliömassalla tarkoitetaan paperin massaa grammoina neliometriä kohti,  $\text{g/m}^2$ . Paperikoneella käytetään  $\beta$ -säteilyn absorptioon perustuvaa online-mittausta, neliömassamittaus voidaan suorittaa myös laboratoriossa. Neliömassalla kuvataan paperissa olevaa kuiva-ainetta ja vettä. Kuivan neliömassan arvoja ja profiileja voidaan laskea kosteuden ja neliömassan erotuksesta. Paperien neliömassat vaihtelevat normaalisti 28—150  $\text{g/m}^2$  välillä. Kuivan neliöpainon vaihtelut aiheuttavat vaihtelua muihin paperin ominaisuuksiin. Neliömassan kasvaessa parantuu myös lujuus, opasiteetti ja tiiviys. Neliömassan mittaus on yksi tärkeimmistä laadunmittauksista paperikoneella. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 78.)

Paperikoneella voidaan yhdistää kosteus- ja neliömassanmittaus. Mittalaite voi lähettää kosteus- ja neliömassaprofiilin sekä niiden keskiarvon ja hajonnan. Käyttäjän on näin helpompi seurata ja säätää kosteutta ja neliömassaa. Kosteus- ja painotietojen avulla voidaan myös ohjata höyrynpainetta ja massavirtaa. (Paperikoneet yleistä 1999, 169.)

## **2.3 Kovuusprofiili**

Kovuutta mitataan BTF-anturilla (Bactenders Friend). BTF-anturi on halkaisijaltaan 10 cm pyörä, joka pyörii tampuurin mukana ja painaa sen pintaa. Pyörän kehällä oleva pietsokideanturi tunnistaa kehään vaikuttavan pintapaineen. Tampuurin ollessa pehmeä uppoaa BTF-pyörä tampuurin sisälle. Pintapaine jakaantuu pietsokiteellä tällöin suuremmalle alueelle eikä saavuta korkeaa arvoa. Kovassa kohdassa anturi koskettaa tampuuria vain pieneltä alueelta ja



pietsokide toteaa kapean ja korkean pintapainearvon. BTF mittaa tampuurin kovuuden ja kaikkien kovuuteen vaikuttavien tekijöiden summan ja on luotettavin mittaustapa pyrittäessä tasalaatuisiin rullisiin. Kovuusprofiilista puhuttaessa tarkoitetaan usein myös paksuusprofiilia. (Paperikoneet yleistä 1999, 189.)

Superkalanteroidun konerullan kovuusprofiili korreloi yleensä hyvin päällystämäärän profiilin kanssa. Kovuuteen vaikuttavat myös radan kosteuserot, kuivastakohtasta tulee yleensä kova ja märkä kohta jää pehmeäksi. Paksuusprofiili korreloi yleensä hyvin myös transmissioprofiilin kanssa (negatiivinen korrelaatio). Paksuusprofiili superkalanterin jälkeen riippuu enemmän telaprofiileista, kuin paperikoneelta tulevan paperin profiileista.

## **2.4 Kiilto**

Kiillotuksen tarkoituksena on parantaa päällystettyjen papereiden sileyttä ja kiiltoa. Yleensä nämä ominaisuudet kuitenkin huonontavat lujuus-, jäykkyys- ja optisia ominaisuuksia. Kiillotus suoritetaan superkalanterointina. Superkalanteroinnissa paperin kiillotus tapahtuu useassa kovan metallitelan ja pehmeän kuitutelan välisessä nipissä. Telanipeissä syntyvä puristus ja hankaus kiillottavat paperia. (Pigmenttipäällystys 1983, 91.)

Kiillon mittaus perustuu valon heijastumiseen paperin pinnasta vastaanottiin. Valon tulokulma on 15 astetta paperin pintaan nähden. Mitä enemmän valo siroaa eri kulmissa, sen alhaisempi on paperin kiilto. Tulos ilmoitetaan prosentteina. Online-mittauksissa käytetään vähintään kahta kiillon mittausyksikköä, yksi paperin molemmille puolille. Kiilto on merkki paperin sileydestä, jolloin sillä on hyvät painatusominaisuudet. (Jokio 1999, 106.)

## **2.5 Transmissio**

Valonsäteiden kohdatessa paperin pinnan pieni osa valosta kulkeutuu paperin läpi. Valon läpäisyä kutsutaan transmissioksi ja tulos ilmoitetaan prosentteina.

Mitä paksumpi paperi on, sitä pienempi on transmissio. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 100.)

Transmissiomittaus muistuttaa  $\beta$ -säteilymittausta. Transmissioanturissa on paperirainan toisella puolella ilmaisim ja toisella valonlähde. Ilmaisim ilmaisee valonlähteen lähettämän valon läpäisyn. (Paperikoneet yleistä 1999, 216.)

### **3 LWC-PAPERIN PÄÄLLYSTYS**

LWC-paperi (Light Weight Coated) on kevyesti päällystetty puupitoinen painopaperi. Tyypillisimpiä LWC-paperin käyttökohteita ovat aikakauslehdet, suoramainontatuotteet ja myyntiluettelot. LWC-paperin neliömassa on 35—70 g/m<sup>2</sup>, josta päällystykseen osuus on 4—12 g/m<sup>2</sup> puolta kohti. LWC-paperi valmistetaan pääosin mekaanisesta massasta 45—80 %:n osuudella ja pitkäkuituisesta, valkaistusta havupuusellusta 55—20 %:n osuudella. Päällystys voidaan suorittaa joko erillisellä päällystyskoneella tai paperikoneen yhteydessä tapahtuvana online-päällystykseenä. Päällystettävältä pohjapaperilta vaaditaan hyvää lujuutta, jotta se kestää päällystysprosessin aikaiset rasitukset. Mekaanisen massan osuus on tästä johtuen hieman pienempi kuin päällystämättömissä lajeissa. Pohjapaperiin ei välttämättä annostella täyteainetta, koska pohjapaperin tuhkapitoisuus on 3—6 % raaka-aineena käytetyn päällystetyn hyllyn vuoksi. Tuhkapitoisuuden maksimoimiseksi lisätään usein kuitenkin tuoretta täyteainetta aina 10 %:iin saakka. Päällystetyn paperin tärkeimmät painomenetelmät ovat syväpaino ja heatset-offset. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 65.)

#### **Päällystemäärät**

Paperin pintaan tulevaa päällystemäärää säädellään päällystysaseman teräpaineilla. Teräpainetta kasvattaessa paperin pintaan tuleva päällystemäärä laskee. Teräpaineen säätö tapahtuu kuormitusletkulla, joka sijaitsee terän takana. Kuormitusletkun paineenvaihtelun avulla säädetään terän painautumista vastatellen vasten, näin saadaan paperin pintaan haluttu päällystemäärä. Päällyste-

profiilin säätöön voidaan vaikuttaa säätöruuvien avulla, joiden avulla terää saadaan kuormitettua eri kohdista. (Pigmenttipäällystys 1983, 66)

## **4 LWC-PAPERIN KUIVATUS**

Paperin kuivatuksessa poistetaan pastan mukana radalle tullut ylimääräinen vesi. Kuivatus suoritetaan normaalisti jokaisen päällystysyksikön jälkeen. Kuivatusvaihe vaikuttaa ratkaisevasti päällystetyn paperin laatuun ja ominaisuuksiin. Päällystepastan saavuttua pohjapaperin pinnalle alkaa veden imeytyminen. Imeytymisen voimakkuus määräytyy pohjapaperin, päällysmenetelmän ja pastan ominaisuuksien mukaisesti. Kuivatusvaiheessa vettä haihdutetaan päällysteen pinnalta, jolloin tilalle virtaa vettä päällysteen huokosista. Kuivatus voidaan jakaa lämmitysvaiheeseen sekä tasaisen kuivatuksen vaiheeseen ja laskevan kuivatuksen vaiheeseen.

Ensimmäisessä eli lämmitysvaiheessa rata lämpiää kuivatuslämpötilaan, samalla haihdutusteho kasvaa lineaarisesti. Lämmitykseen tarvittava energia voi muodostaa 30—40 % kuivatuksen koko energiasta.

Tasaisen kuivatuksen vaiheessa radan pinnalta haihdutetaan vettä ja pastassa oleva vesi virtaa kohti radan pintaa. Kuiva-ainepitoisuuden saavuttaessa 90 % radan pinta kuivuu.

Viimeisessä vaiheessa eli tasaisen kuivatuksen vaiheessa yli 90 % kuiva-ainepitoisuudessa olevan radan kuivatusnopeus laskee ja radan lämpötila kohoaa kohti kuivattimen lämpötilaa.

Haihdutusnopeuteen vaikuttaa pohjapaperin absorbtio-ominaisuudet ja pastan kuiva-ainepitoisuus. Vesiliukoiset sideaineet, kuten tärkkelys, asettavat rajoituksia suurille haihdutusnopeuksille. Yleisimmin päällystyskoneissa käytetään sä-

teilykuivattimia, ilmakeivattimia ja sylinterikuivattimia. (Pigmenttipäällystys 1983, 80—81.)

#### **4.1 Sähkökäyttöiset infrapunakuivattimet**

Infrapunakuivattimia käytetään yleisesti pastan kuivaukseen heti päällystyksen jälkeen. Infrapunakuivattimen hyviin ominaisuuksiin kuuluu pieni tilantarve, hyvä säädettävyys ja tehokkuus. Sähkökäyttöisissä infrapunakuivattimissa käytetään lyhytaaltokvartsiputkisäteilijöitä. Niiden sisälämpötila on noin 2200 °C. Kuivattimien tehokkuutta nostetaan asettamalla taustaheijastin paperiradan taakse, jolloin radan läpäissyt lämpösäteily kimpoaa takaisin rataa. Taustaheijastimina käytetään parabolisia kultaheijastimia sekä keraamisia rakenteita. Infrapunakuivattimen toimii profiloivana laitteena kosteuden osalta. Infrapunalamppurivistö on jaettu noin 150 mm levyisiin lohkoihin. Jokaiselle lohkolle voidaan syöttää eri määrä tehoa kosteusprofiilista riippuen, tavoitteena on mahdollisimman tasainen kosteusprofiili. Infrapunakuivattimilla voidaan myös lieventää paperikoneelta tulevia kosteusprofiilivirheitä. Profilointi voidaan suorittaa joko kuivatusprosessin alkupäässä tai ennen kuivatussylinderit. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 202.)

#### **4.2 Leijukuivattimet**

Leijukuivattimissa haihdutetaan loput päällysteen sisältämästä kosteudesta, paperiradan pintaan puhallettavan kuumen ilman avulla. Ilma lämmitetään joko korkeapainehöyryllä tai kaasulla. Suurin osa ilmasta pyritään kierrättämään takaisin kuivaimeen energian säästämiseksi. Puhallusilma kostuu paperista haihtuvasta vedestä. Tämä vesimäärä poistetaan poistoilman mukana. Paperin kuivatukseseen käytetään kaksipuolisia leijuja, joissa ilmaa puhalletaan paperiradan molemmilta puolilta. Leijun tärkein osa on rainaa vasten puhaltavat suuttimet. Leijukuivattimessa voi olla kahta eri suutintyyppiä, ylipaine- ja alipainesuuttimet.

Alipainesuutinta kutsutaan foiliksi ja sen toiminta perustuu Coanda-ilmiöön ja Bernoullin lakiin. Coanda-ilmiön mukaan ilmavirtaus seuraa kaarevaa pintaa. Bernoullin lain mukaan puhallettaessa ilmaa kahden toisiaan lähellä olevan pinnan väliin, syntyy staattinen paine-ero rainan ylä- ja alapuolille. Tällöin raina pyrkii imeytymään lähemmäksi suuttimen pintaa.

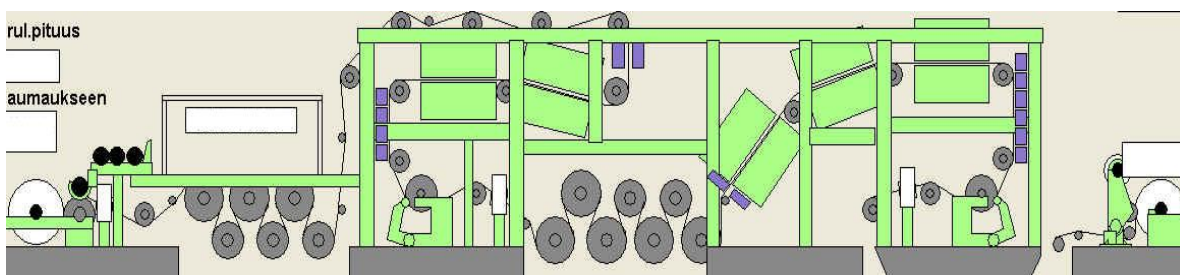
Ylipainesuuttimessa ilma purkautuu suuttimen molemmin puolin ja muodostaa rainan ja suuttimen väliin ilmatyynyn, joka estää rainan kosketuksen leijun rakenteisiin. Samanlaisten ilmasuuttimien ollessa lomittain rainan ylä- ja alapuolella, raina liikkuu leijussa siniaallon muotoisesti. Leijun ominaishaihdutus riippuu suutintyypistä, suutinten puhallusnopeudesta, kuivatuslohkojen määrästä, puhallettavan ilman lämpötilasta ja koneen nopeudesta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 201.)

### **4.3 Sylinterikuivattimet**

Radan lopullinen kuivatus voidaan suorittaa myös sylinterikuivattimien avulla. Sylinterit lämmitetään höyryn avulla 80—100 °C lämpötilaan. Sylinterikuivattimet vaativat radalta korkeaa kuiva-aine pitoisuutta, koska muuten märkä päällyste tarttuu sylinterin pintaan. (Pigmenttipäällystys 1983, 86.)

## 5 PÄÄLLYSTYSKONE 3

Päällystyskone 3 on LWC-paperia valmistava off-machine päällystyskone. Koneessa on Optiblade+ -tyyppiset päällystysasemat, jotka päällystävät paperin yhdeltä puolelta kerrallaan. Päällystysasemat perustuvat lyhytviipymä päällystystekniikkaan. Kuvassa 1 on esitetty päällystyskone 3:n sivuprofiili.



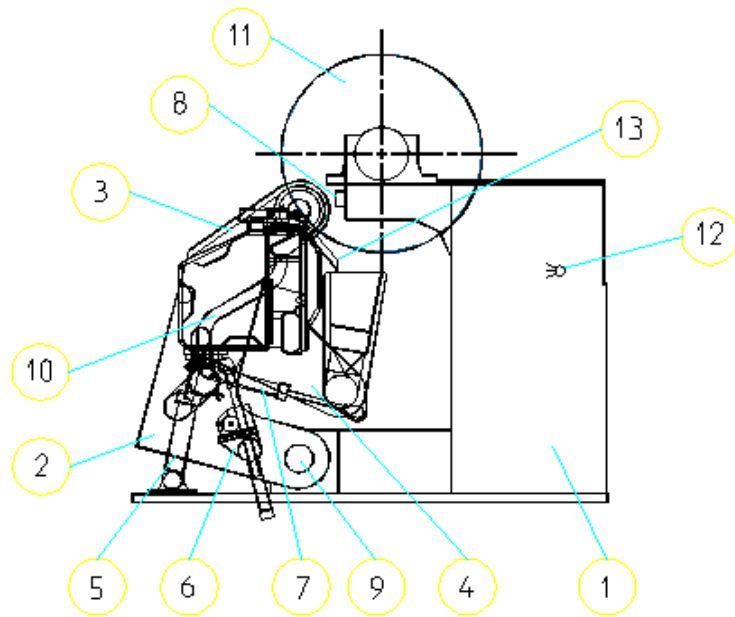
Kuva 1. Päällystyskone 3. (Päällystyskone 3, 2000.)

### 5.1 Päällystysasemat

Päällystysaseman pääosat ovat

- runkorakenteet
- vastatela
- teräpalkki
- teräpalkin kääntyvät kannattimet
- pastan paluuallas
- vastatelan ja pasta-altaiden pesusuihkut
- pastaputket ja -letkut
- paikallisohjaukskotelo.

Kuvassa 2 on esitetty päällystysaseman pääosat.



Kuva 2. Päälystysasema Optiblade. (Päälystyskone 3, 2000.)

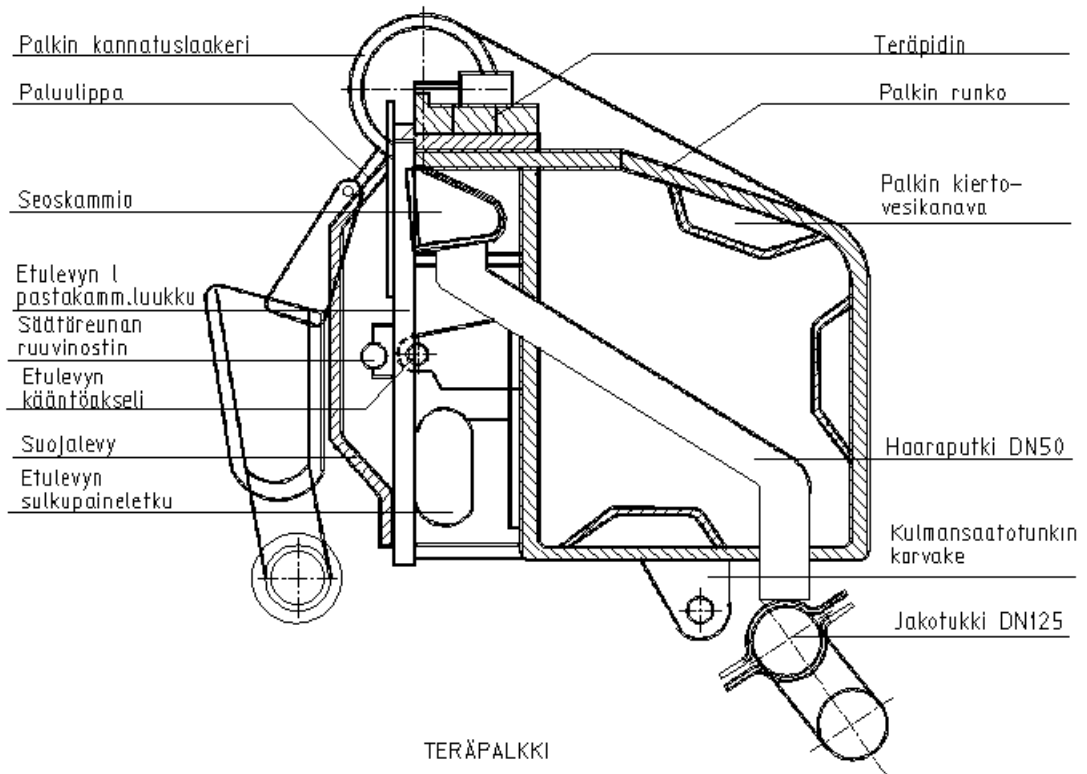
1. Kiinteä runko
2. Kääntyvä kannatin
3. Teräpalkki
4. Paluuallas
5. Kääntyvän kannattimen hydraulikkasyylinteri
6. Teräkulman säätötunkki
7. Paluualtaan kääntösylinteri
8. Vastintunkki
9. Tahdistusakseli
10. Pastan syöttöputki teräpalkkiin
11. Vastatela
12. Pesusuihkut
13. Pastan paluulippa (Päälystyskone 3, 2000)

## 5.2 Optiblade-teräpäällystys

Optiblade-päällystyksessä pasta pumpataan konesäiliön sihtien kautta teräpalkin sisällä sijaitsevaan pastakammioon. Kammiosta pasta tulee kammiosihdin läpi varsinaiseen suuttimeen. Terällä kaavitaan ylimääräinen pasta pois paperin pinnasta. Suuttimesta ylimääräinen pasta valuu pastakaukalon kautta takaisin konesäiliöön.

Paperin poikittaissuuntaista profiilia säädellään pintellien eli säätökarojen asentoa muuttamalla. Poikittaissuuntaisella profiilin säädöllä voidaan korjata pohjapaperin virheitä, jotka johtuvat huonoista profiileista, epätasaisesta applikoinnista, terän kulumisesta tai teräpalkin taipumisesta. Poikittaissuuntaista profiilia voidaan säätää myös profiilin säätöruuveilla ja terän kulman säädöllä. Teräkulman säätö tapahtuu kääntämällä terän kärkilinjan kohdalta laakeroitua teräpalkkia ruuvinnostimien avulla. Teräkulman kasvaessa päällystemäärä pienenee. Teräpalkin päällä, lähellä terää on palkin päästä päähän ulottuva höyrysumutusputki, jonka avulla terä pidetään puhtaana. (Päällystyskone 3, 2000.)

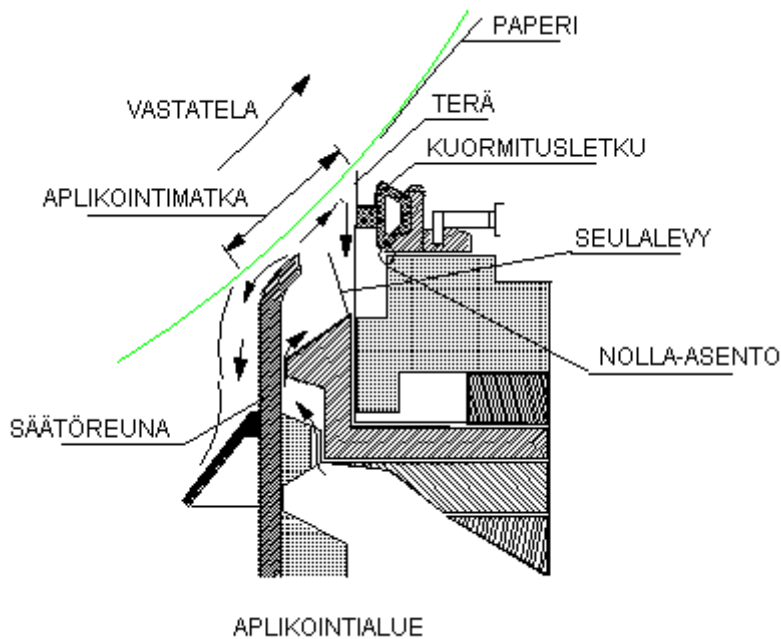
Kuvassa 3 on esitetty teräpalkin pääosat.





Kuva 3. Teräpalkin poikkileikkauskuva. (Päällystyskone 3, 2000.)

Applikointialueella eli suuttimessa (kuva 4) pasta tarttuu päällystettävään paperirainaan, siihen jäävää kerrospaksuutta säädetään sivelyterän teräpainetta säätämällä teränpitimen päälle kiinnitettyä kuormitusletkulla. Kuormitusletku on kiinnitetty listaan, jota voidaan paikallisesti säätää tasaisin välein sijoitetulla profiilin säätöruuveilla. Sivelyterä on kiinnitetty teränpitimen kiinteän ja liikkuvan leuan väliin, ja terää kuormitetaan paineilmaletkun avulla.



Kuva 4. Applikointialue. (Päällystyskone 3, 2000.)

### 5.3 Profiilien säätö

PPK3 voidaan säädellä koneen eri asetuksia halutun profiilien muutosten mukaisesti. Teräkulman säätö tapahtuu teräkulma-asteikon avulla, niin että teräpalkkiin kiinnitetty osoitin näyttää telan halkaisijaa. Mikäli päällystemääräprofiilissa on heittoa, tarkastetaan telan ja terän samansuuntaisuus eli teräpalkki pitää olla telan halkaisijaa vastaavassa lukemassa. Jos päällyste jossakin kohdassa on liian paksua tai ohutta, voidaan kaavinterää hienosäätölaitteiden avulla taivuttaa. Päällysteen poikkisuuntainen profiili säädetään automaattisella sää-

töjärjestelmällä. Säätojärjestelmässä on tasaisin välein olevat säätökarat, joita ohjataan sähköisesti profiilin mukaan. Teräpaineen säätö tapahtuu letkupainetta muuttamalla, joko tietokoneella tai käsiajolla. Teränsäätöpintellejä ohjataan tietokoneen avulla. Teräpalkin lämmöntasaus tapahtuu veden lämpötilan ohjearvoa muuttamalla. Pastan painetta suuttimissa säädetään muuttamalla pastanpumppujen kierrosnopeutta, käytössä olevien pumppujen lukumäärää sekä säätöreunan (kynnysterän) korkeutta. Päälystämättömän reunan leveyttä säädetään suuttimen reunalossien avulla. Päälystemäärää joudutaan rajoittamaan koneen poikkisuunnassa, jotta päälysteainetta ei applikoidu paperin väärälle puolelle ja vastatelaan aiheuttaen telojen likaantumista ja mahdollista katkoja. Säädetty reuna pyritään pitämään kuitenkin mahdollisimman pienenä, jotta välttyttäisiin reunojen käyristymiseltä ja liialliselta reunahylyltä. Säätö tapahtuu muuttamalla applikointialueen päätylossien paikkaa koneen poikkisuunnassa. (Päälystyskone 3, 2000.)

#### **5.4 Kosteusprofiilien mittaus**

Päälystyskoneella on kolme eri online-kosteusmittausta, molempien päälystysasemien jälkeen ja kolmas mittaus on aukirullauksen yhteydessä (Päälystyskone 3, 2000).

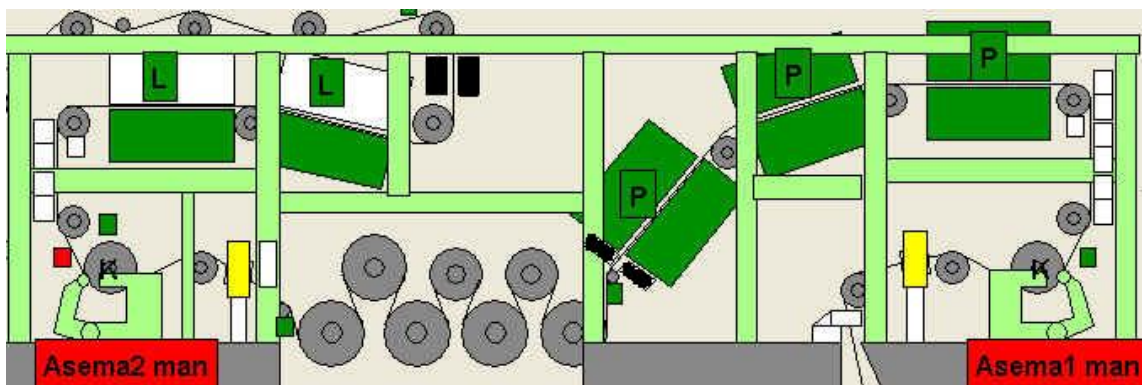
#### **5.5 Kuivatusosat**

Päälystyskoneella on kuivatusosat päälystysasemien jälkeen. Kuivatusosat koostuvat ilmankuivaimista sekä sylinteriryhmästä ja kaasusekä sähköinfroista. Ensimmäisen päälystysaseman jälkeen on kaasuinfra ja kolme ilma-kuivausyksikköä sekä sähköinfra. Toisen päälystysaseman jälkeen on kaasuinfra ja kaksi ilma-kuivausyksikköä sekä sähköinfra.

Kuivatusosia käytetään päälystetyn paperiradan kuivatukseen. Ilmakuivaimien kuivatustehoa säädetään ilman lämpötilan avulla, mikä tapahtuu polttimen kaasumäärää säätämällä. Ilmakuivaimissa voidaan myös säätää ilmamääriä säätö-

peltien avulla. Ilmakuivaimissa ei ole paperiradan kosteuden poikkiprofiilin säätömahdollisuutta. Sylinteriryhmien kuivatustehoa säädetään höyrynpaineen avulla. (Päällystyskone 3, 2000.)

Kuvassa 5 on esitetty päällystyskoneen kuivatusosat, sähköinfrat on merkitty mustalla. (Oikeanpuoleinen 1. sähköinfra , vasemmanpuoleinen 2. sähköinfra)



Kuva 5. Päällystyskoneen kuivatusosat. (Päällystyskone 3, 2000)

Höyryryhmien painesäätöjä käsitellään höyry- ja lauhdejärjestelmien yhteydessä. Ilmakuivaimien ja sylinteriryhmien ohjaukset voidaan kytkeä tietokoneen suorittamaan paperiradan kosteussäätöön. (Päällystyskone 3, 2000.)

## 5.6 Sähköinfra

Sähköinfraa käytetään kosteusprofiilin säätöä varten. Infrassa on teholtaan säädettäviä lohkoja yhtä paljon kuin kosteusmittauksessakin. Tehoja voidaan säätää lohkoittain, joko käsisäädöllä valvomon päätteeltä tai automaattisesti. Automaattisäädöllä infra lisää tai vähentää tehoa lohkoittain mittauslaitteelta tulleen kosteusviestin perusteella. Käsisäädöllä voidaan tehoa säätää lohkoittain tai kaikkia lohkoja yhtä aikaa. Käsisäädöllä voidaan myös asettaa haluttu perusteho kaikkiin lohkoihin ja sen lisäksi lohkoittainen profiilisäätö. Infrassa on radan yläpuolella säteilijäpalkki ja päällystetyllä puolella heijastinpalkki. (Päällystyskone 3, 2000.)

## 5.7 Höyry- ja lauhdejärjestelmä

Kuivatusosa on jaettu kahteen höyryryhmään, joihin tulevan höyryn paine säädetään siten, että sylintereihin saadaan paperin kuivatukseen sopiva lämpötila. Höyryn syöttö tapahtuu käyttöpuolelta höyrykytkimen avulla. Lauhteen poisto tapahtuu käyttö- sekä hoitopuolen höyrykytkimen kautta. Kummankin höyryryhmän jälkeen on lauhdesäiliö, johon johdetaan lauhdevesi ja läpivirtaava höyry. Sylinteriryhmien lämpötilat säädetään höyryventtiilin asentoa säätämällä. (Päälystyskone 3, 2000.)

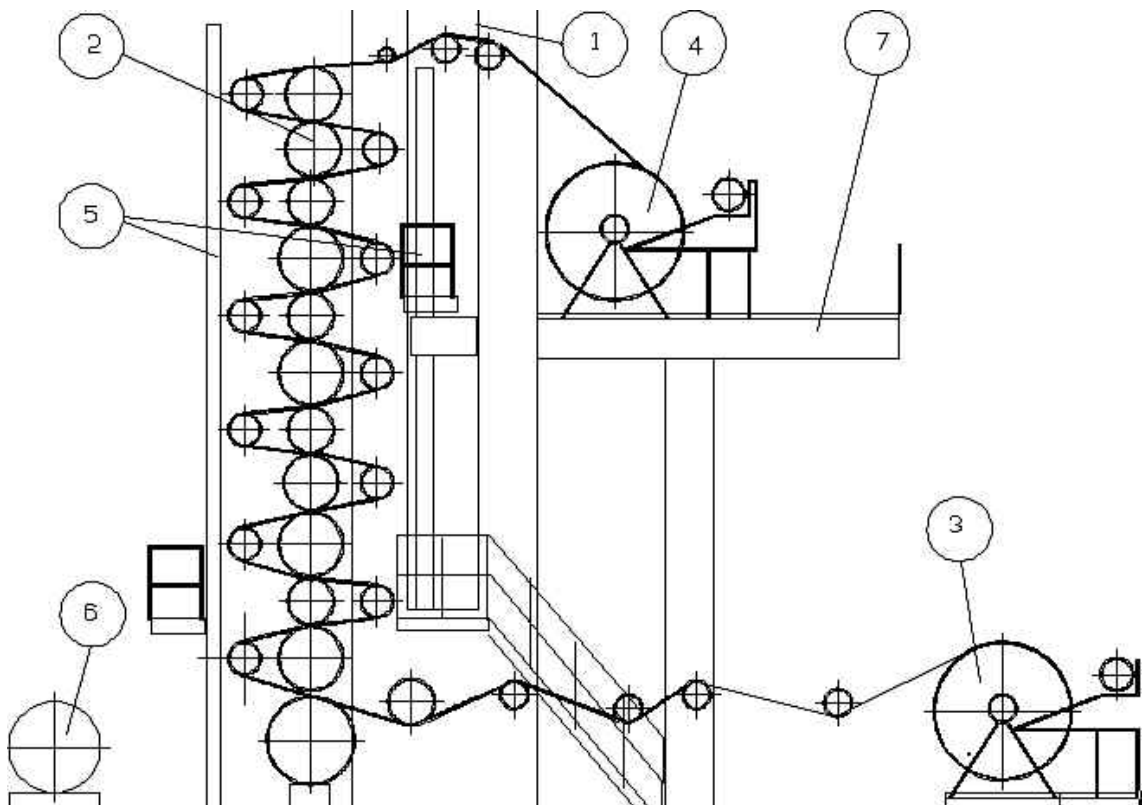
## 6 SUPERKALANTERIT

Kalanteroinnilla tarkoitetaan prosessia, jossa paperi kulkee kahden tai useamman telan välistä puristuen samalla. Kahden telan väliä kutsutaan nipiksi. Paperi muuttua nipissä muotoaan paksuus- sekä tasosuunnassa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 204.)

Superkalanteroinnin tarkoitus on päällystettyjen painopapereiden suhteen kiillon ja painettavuusominaisuuksien parantaminen sekä paksuusprofiilin hallinta. Superkalanterissa on normaalisti 12 telaa (kuva 6), vaikuttavana voimana on telojen nipeissä vaikuttava puristuspaine ja jakauma. Paperin molempien puolien käsittelemiseksi kalanterissa on kääntönippi, jossa on vastakkain kaksi pehmeää telaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 213.)

Kalanteroinnissa saavutetaan pintaominaisuuksien parantamisella paksuudesta riippuvien ominaisuuksien heikkeneminen. Paksuusprofiilin poikkisuunnan muokkaus saavutetaan ajettavuuden kustannuksella, myös painettavuus kärsii. Voidaankin sanoa, että kalanteroinnissa pyritään kompromissiin hyvien ja huonojen ominaisuuksien välillä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 204.)

Kuvassa 6 on esitetty superkalanterin sivuprofiili.

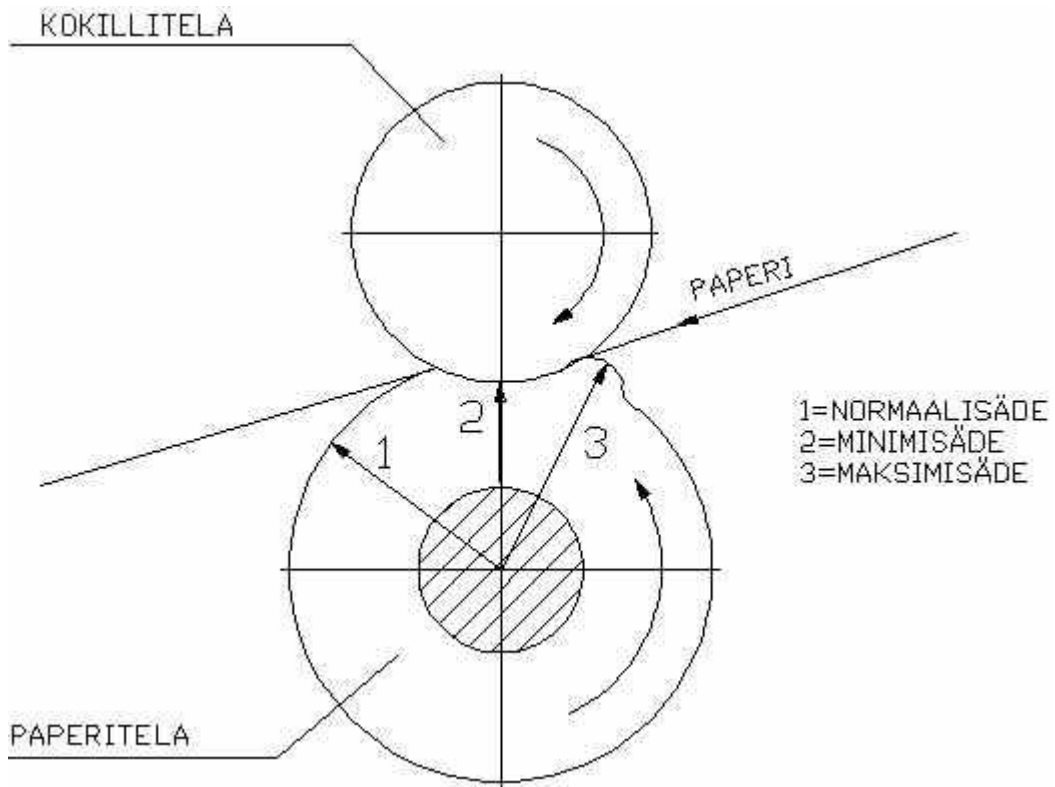


Kuva 6. Superkalanterin sivuprofiili.

1. Runko
2. Telasto
3. Kiinnirullain
4. Aukirullain
5. Nostolavat
6. Alatelan vaihtolaite
7. Terästaso (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

Telapatteri koostuu taipumakompensoiduista ylä- ja alatelasta sekä teräs- ja paperiteloista. Superkalanterin nipeissä tapahtuu paperin kiillotus ja tasoitus. Tasainen ja hallittu kiillotuslämpötila saavutetaan terästelojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmällä, jossa terästelojen läpi kierrätetään vettä. Superkalanterin ohjaus tapahtuu superkalanterin valvomosta. (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

Kuvassa 7 on esitetty nippiprosessi vahvasti liioiteltuna.



Kuva 7. Nippiprosessi vahvasti liioiteltuna.

Teloja puristetaan vastakkain pystyasennossa. Rainan kulku ja telojen pyörimissuunta on osoitettu nuolilla. Paperitelan säteen muutoksia esittävät  $R_{min}$ ,  $R_{norm}$  ja  $R_{max}$ . (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

## 6.1 Superkalanterien telastot

### S- eli küsters-telat

Superkalanterin 3 ja 4 ylä- ja alatelat ovat taipumakompensoituja teloja eli telan vaipan kosketuspintaa toiseen telaan nähden voidaan muuttaa. S-telojen käytöllä superkalanterissa päästään tasaiseen linjapaineeseen telojen taipumista ja kuormituksen suuruudesta riippumatta S-telan sisäistä painetta oikein säätämällä. Küsters-tela siis painaa paperia, joko keskeltä tai päistä painesäädön mukaan.

S-telan painetta säädetään telapatterin telojen muodon ja paperin laadun mukaisesti niin, että valmistuvan konerullan kovuusprofiili on mahdollisimman suoraa (Superkalanterit 3 ja 4, 1995).

### **Kokillitelat**

Kalanterin alatelat pyrkivät suuren puristusvoiman ansiosta lämpiämään yläteloja enemmän. Ylätelojen lämpötila on taas liian alhainen hyvän kalanterointituloksen kannalta. Tämän takia yläterästelöjä lämmitetään aläterästelöjä enemmän.

Lämmönsäätöjärjestelmä syöttää kiertovettä kokilliteloihin. Järjestelmä säättää ja pitää vakiona kokillitelojen pintalämpötilaa. Kiertovettä lämmitetään höyryllä ja jäähdytetään kylmällä vedellä, syöttö eri teloihin tapahtuu vuorotellen hoito- ja käyttöpuolelta. Vetotelassa sekä veden tuonti että vieni ovat hoitopuolella. Kokillitelojen pintalämpötila radan poikkisuunnassa pysyy näin tasaisena. Lämpötilan säädöllä voidaan vaikuttaa kalanterointitulokseen ja paperitelojen pintalämpötilaan, lämpötila pysyy vakiona myös keskeytyvässä ajossa. (Superkalanteri 5, 1995.)

### **Paperitelat**

Superkalanterin joustavien telojen kunnolla on ratkaiseva merkitys paperin laatuun ja ajettavuuteen. Paperitelat kehittävät lämpöä joka kerta nipin läpi mennessään. Paperitelat rajoittavat nopeutta huonota lämmönherkkyydestään johtuen. Paperitelat ovat herkkiä ja jo pienetkin vekiä ja epätasaisuudet aiheuttavat jälkiä tai profiilivikoja paperitelaan. Paperitelan profiilin muutokset aiheuttavat paperin paksuusmuutoksen, joka taas johtaa paksuusprofiilin heikentymiseen. (Pönni 2004, Vuoren 1990, 39 mukaan.)

Paperitelan kovuus vaikuttaa nipin leveyteen. Mitä kovempi tela sitä lyhempi nippi ja sitä suurempi paine nipissä on samalla kuormituksella. Päälystetyillä paperilla kovemmat telat antavat paremman sileyden kuin pehmeät telat.

Paperitelan epätasaisen kulumisen syynä voi olla superkalanterin rakenteesta johtuva viivapaineprofiilin epätasaisuus (telojen taipumat, tappikuormat, telojen yhdensuuntaisuus). (Pönni 2004, Vuoren 1990, 42 mukaan.)

Paperitelalle asetetaan seuraavia vaatimuksia:

- Halkaisijan on oltava kauttaaltaan yhtä suuri.
- Telan on oltava täysin pyöreä (ei soikea, eikä kantikas).
- Telassa ei saa olla liian suuria lämpötilaeroja.
- Telassa ei saa olla pahoja painumia.
- Telan on oltava joustava. Liian pitkään koneessa ollessaan sen pintakerros kovettuu ja kiillotusteho heikkenee.

Jos telan kunto heikentää paperin laatua tai ajettavuutta, tai muuten käyttäytyy epänormaalisti, on se vaihdettava. (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

### **Polymeeritelat**

Paperitelojen paikalla käytetään myös polymeeriteloja. Niihin ei katkossa jää painumia, vaan ne joudutaan vaihtamaan kuluneisuuden takia. Polymeeritelojen vaihtoväli on pidempi kuin paperiteloilla. Polymeeritelat ovat kovempia kuin paperitelat, eikä niiden profilointikyky ole niin hyvä kuin paperiteloilla. Siksi kaikkia paperiteloja ei voida korvata polymeeriteloilla. (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

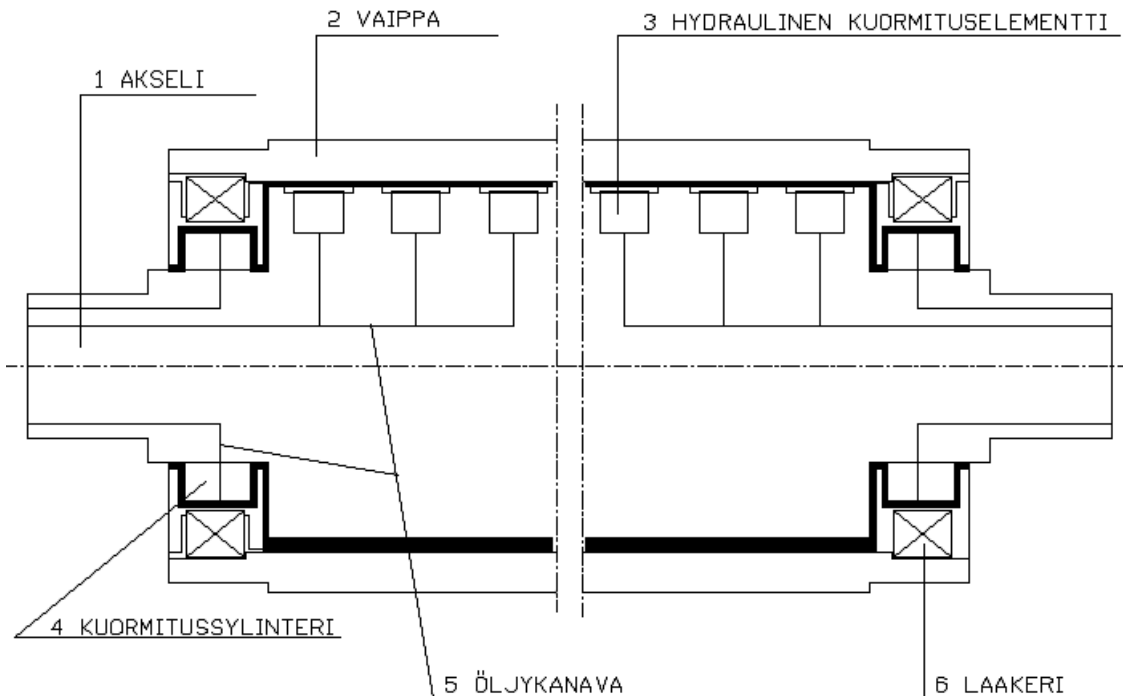
Alueilla, joilla on korkeampi kuormitus, paperitela puristuu enemmän kasaan ja profiili saattaa jäädä paperitelaan muistiin. Tämän takia on sanottu, että paperiteloilla ei voida profiloida kunnolla, vaan profilointi pitäisi suorittaa polymeeritelan ja profilointia suorittavan telan nipissä. (Jäkälä 2000, 28.)

### **Sym-telat**

Superalanteri 5:n ylä- (SymZ) ja alatela (Sym ZS) (kuva 8) ovat niin sanottuja taipumakompensoituja vyöhykesäädettäviä teloja. Sym-teloja ohjataan ja säädetään valvomosta käsin. Vyöhykehajattujen telojen yhteydessä näytetään ylä- ja alatelojen profiilit, joita käyttäjä voi halutessaan muunnella. Alimman paperitelan



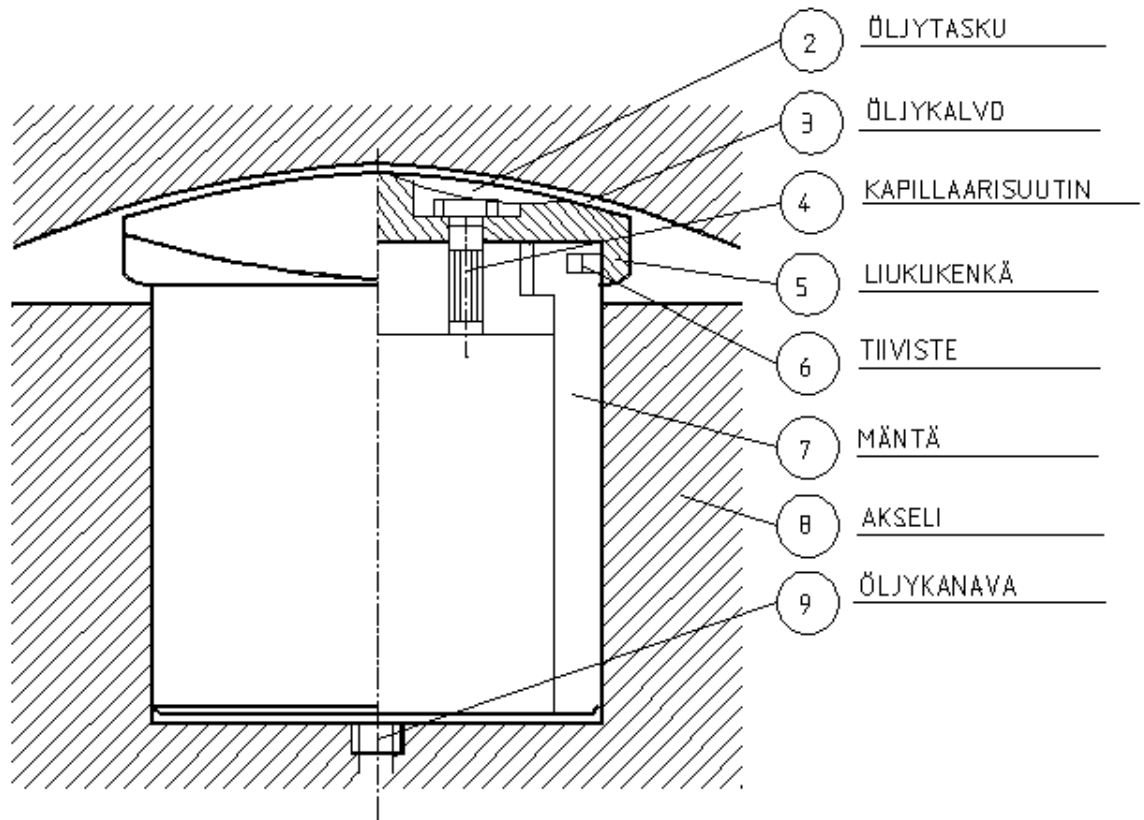
lämpötilaprofiili, joka näytetään telaprofiilien alapuolella, on käyttäjän apuna profiilin laadinnassa. Linjapaineprofiloinnin avulla pyritään mahdollisimman tasaiseen paksuus/kovuusprofiiliin. (Superkalanteri 5, 1995.)



Kuva 8. Sym ZS-telan pääosat (Superkalanteri 5, 1995.)

Vyöhysäädettävântelan avulla pyritään vaikuttamaan korjaavasti paperin ominaisuuksiin koneen poikki suunnassa. Tämän mahdollistamiseksi vaipan ja akselin välillä vaikuttaa joukko hydraulisia kuormituselementtejä.

Kuormituselementit (kuva 9) on ryhmitelty 4—8 elementtiä sisältäviin vyöhykkeisiin. Ohjaamalla vyöhykkeisiin eri suuruiset paineet voidaan viivapaineprofiiliin ja samalla paperin ominaisuuksiin vaikuttaa halutulla tavalla. Viivapainekauma nipissä riippuu nippiin vaikuttavista voimista ja paperin ominaisuuksista. Yksittäisen vyöhykkeen paineen muutoksen vaikutus viivapaineprofiiliin on vaikeasti pääteltävissä. Ohjausjärjestelmä yksinkertaistaa käyttäjän ohjaustehtävää siten, että käyttäjä pystyy vyöhykepaineiden sijasta ohjaamaan viivapaineprofiilia, joka on suoraan paperin ominaisuuksiin vaikuttava suure. (Superkalanteri 5, 1995.)



Kuva 9. Kuormituselementin rakenne (Superkalanteri 5, 1995.)

Kuormituselementin toiminta:

1. Männän (7) alle johdetaan halutun paineista öljyä, joka työntää liukukengän (5) vaippaa vasten paineeseen verrannollisella voimalla.
2. Männän alapuolelle syötetty öljy pääsee männässä olevien kanavien ja erityisten kuristussuutinten (4) kautta liukukengässä oleviin öljytaskuihin (2).
3. Öljytaskuihin tuleva öljy purkautuu ulos kengän reunoilta, jolloin kengän ja vaipan välille syntyy öljykalvo (3). Kengän, männän ja kuristussuutinten mitoituksella on saatu aikaan se, että purkautuva öljy pitää kengän vakioetäisyydellä vaipasta kuormituspaineesta riippumatta.
4. Kenkä on muotoilultaan symmetrinen ja telaa voidaan pyörittää kumpaakin suuntaan. Kengän päässä on hydrodynaamiset viisteet, jotka kasvattavat öljykalvoa suurilla pyörimisnopeuksilla ja pienentävät tehonkulutusta.
5. Liukukenkä ja mäntä on liitetty toisiinsa tavalla, joka mahdollistaa kengän kallistumisen mäntään nähden. Näin kenkä pääsee asettumaan suoraan asentoon vaippaan nähden keskiakselin taipumisesta huolimatta. (Superkalanteri 5, 1995.)

## 6.2 Tappikuorman kevennyslaitteisto

Superkalantereissa viivakuorma kasvaa ylänipistä alanippiin telojen painon vuoksi. Tappikuorman kevennyslaitteistolla voidaan poistaa akselitappien, laakeripesien ja laakerien varassa olevien laitteiden aiheuttama viivapainehuippu nippien päissä. Kevennyslaitteisto sijaitsee telan laakerin kantaosan ja karamutterin välissä. Laitteessa on 2 mäntää, jotka nostavat laakeripesää ylöspäin. Silloin, kun mäntiä ei ohjata ylöspäin, nostavat jouset kevennyslaitteen irti karamutterista.

SK3:lla on muista superkalantereista poiketen niveltelasto. Toisin sanoen, telojen laakerien kantaosat ovat karamuttereiden varassa ajon aikana. SK3:n tappikuorman kevennyslaitteet ovat hydraulitoimiset, kun taas SK4:n kevennyslaitteet ovat pneumaattiset. Hydraulinen niveltelasto on kokonaisuudessaan luotettavampi verrattuna pneumaattiseen. (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

## 6.3 Superkalanterointi ja kosteus

Nykyisin superkalantereilla käytetään paljon lämpöä ja tämän takia raina kuivuu huomattavasti. Kalanterin jälkeinen kosteus määräytyy lähinnä tasapainokosteudesta jälkikäsitteilyn ja painosalin ilmassa. Lähtökosteus riippuu siitä minkä verran superkalanterointi kuivattaa paperia ja kuinka paljon höyryä käytetään. Höyrytys vaikuttaa sekä kosteusprofiiliin ja kiillottumisen toispuoleisuuteen. Höyrytys onkin tavallista päällystämättömillä papereilla. Päällysteen pinta ei kestä voimakasta höyrytystä ja alkaa hilseillä. (Pönni 2004, Komulaisen 1991, 2 mukaan.)

Kosteus ei jakaudu poikkisuuntaisesti tasaisesti. Siksi juuri kosteusprofiilin tassaisuus on superkalanteroinnin kannalta haastavaa. Paperikoneelta tulevan paperin kosteusprofiili ei ole niin hyvä, että se voitaisiin suoraan kuivattaa superkalanterointikosteuteen. Tämän takia joudutaan paperi ylikuivattamaan 2—3

% kosteuteen, jonka jälkeen paperi kostutetaan 5—9 %. Päälystetyillä papereilla pohjapaperi ylikuivataan ja kostutus tapahtuu levitettävän päälystepastan avulla, eli paperi jätetään viimeisen päälystetyksen jäljiltä märemmäksi kuin aikaisempien päälystetyksien jälkeen. Superkalanteroinnissa tapahtuva kosteuden lasku on yleensä vähäistä, 1—2 %. (Pönni 2004, Komulaisen 1991, 3 mukaan.)

#### **6.4 Calcoil-profilointilaitteisto**

Superkalanteri 4:lle on asennettu sähköinduktioon perustuva Calcoil-profilointipalkki. Profiloointipalkissa on sata kappaletta työkenkiä, työkengät ovat erikseen ohjattavissa ohjausjärjestelmän avulla. Työkenkiä ohjataan erillisissä tehomodulikaapeissa sijaitsevien tehomodulien kautta. Tehomodulit lämpenevät käytön aikana, joten tehomodulikaappeihin on johdettu jäähdytysilma erillisen jäähdytyslaitteiston avulla. Profiloointipalkki on asennettu siten, että se lämmittää kokillitelaa numero 8. Palkin alapuolinen paperitela (numero 7) on korvattu polymeeripäälysteisellä telalla, paperitelan muokkautumisen ja lämpöherkkyyden vuoksi. Telat on numeroitu aloittaen laskeminen alhaalta päin. Calcoil-palkilla on mahdollisuus kontrolloida paperin kiiltoprofiilia sekä paksuusprofiilia ja opasiteettia tai osittain paksuutta ja opasiteettia yhtäaikaan. Tällä hetkellä Calcoil-palkki on säädetty opasiteettia profiloivaksi. Calcoil-palkin profiilinsäätö perustuu mittapalkilta saatuun informaatioon. (Superkalanterit 3 ja 4, 1995.)

#### **6.5 Superkalantereiden online-mittaukset**

SK5:een on asennettu telapakan ja kiinnirullaimen välille mittapalkki, jolla kulkevat mittapäät mittaavat paperista kiiltoa. Mitatut arvot tallentuvat HIC-tiedeonkeruujärjestelmään. SK3 ja 4 ei ole toiminnassa online-mittauksia, jotka tallentuisivat HIC:iin. Tämä johtuu siitä, että SK3:n säätömahdollisuudet ovat niin rajalliset, että online-mittauksesta ei olisi hyötyä. SK4:n Calcoil-palkki saa informaation mittauspalkilta ja toimii näin profiloivana, muita mittauksia ei näin ollen ole käytössä.

## 7 KOKEELLISEN OSAN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITE

Kaukaan paperitehtaan paperikone 2:n valmistama paperi päällystetään päällystyskoneilla 2 tai 3. Päällystyksen jälkeen paperi superkalanteroidaan. Päällystyskone 3:n paperi superoidaan pääasiassa superkalantereilla 3, 4 tai 5.

Päällystyskone 3:lla käytetään sähkökäyttöistä infrapunakuivatinta paperin kosteuden profiloimiseen. Ennen käytössä oli kaksi sähköinfraa, mutta niiden profiloivan vaikutuksen havaittiin olevan niin matala, että ensimmäinen jätettiin pois käytöstä. Kokeellisen osan ensimmäisenä tavoitteena oli tutkia PPK3:n 2. sähköinfran mahdollista käytöstä poistamista ja tämän vaikutusta kosteusprofiiliin päällystyskoneen jälkeen sekä kosteusprofiilin muutosta superkalanteroinnin jälkeen. Kosteusprofiilia tutkittiin online- ja laboratoriomittauksien avulla.

Superkalanteri 3:lta valmistuvissa konerullissa on havaittu huonoa profiilia ja arveltu profiilivikojen johtuvan superkalanterille tulevasta pohjapaperista, myös superkalantereilla 4 ja 5 on havaittu välillä haasteita profiilin suhteen.

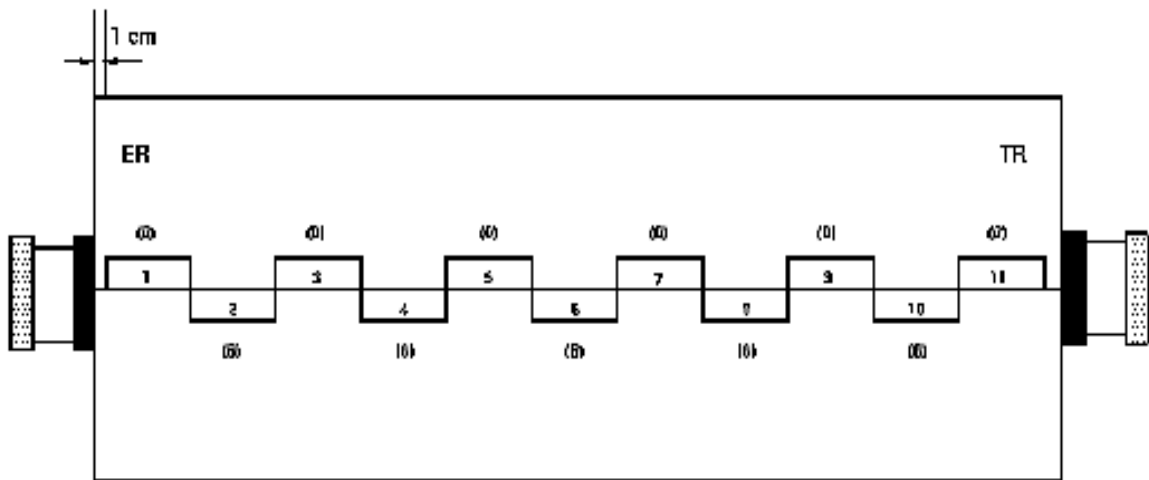
Kokeellisen osan toisena tavoitteena oli tarkastella päällystyskone 3:n kovuusprofiilin muutosta päällystyskoneen ja superkalanteroinnin jälkeen sekä etsiä mahdollisia syitä paperin huonoon kovuusprofiiliin superkalantereilla 3 ja 4. Kovuusprofiilin tutkinnassa käytettiin Tapio RQP -kovuusmittaria sekä laboratorion mittauslaitteita. Kokeellisen osan kuvissa on ratapaikka ilmoitettu päällystyskone 3:n hoito- (HP) ja käyttöpuolena (KP).

## 8 MITTAUSMENETELMÄT

Paperitekniisten ominaisuuksien mittaamenetelmät ovat kehittyneet jatkuvasti ja laboriomittalaitteiden rinnalle on tullut yhä pienempiä ja helppokäyttöisempiä laitteita. Nykyisin osa paperiteknisistä ominaisuuksista voidaan mitata ilman näytteiden ottoa.

### 8.1 Laboratorion kosteusmittaus

Konerullasta otetaan 11:sta koepisteestä näytteet, jokainen näyte sisältää vähintään 10 paperiarkkia. Näytteet siirretään mahdollisimman nopeasti ilmatiiviiseen pussiin, näytteet viedään pusseissa laboratorioon. Kuvassa 10 on esitetty kosteusnäytteiden otto PPK3. (Laboratorio, 2000.)



Kuva 10. Kosteusnäytteiden otto PPK3. (Laboratorio, 2000.)

Näytenippu asetetaan vaa'alle, joka punnitsee sen ja muuttaa neliöpainoksi käyttäen yhden arkin punnituksesta saamaansa referenssipainoa ja etukäteen asetettuja, näytteen koosta laskettuja kertoimia. Näyte punnitaan ennen ja jälkeen kuivatuksen ja erotuksesta lasketaan kosteusprosentti (yhtälö 1). (Laboratorio, 2000.)

Yhtälö 1. Kosteusprosentin laskentayhtälö (Laboratorio, 2000).

$$\text{Kosteus- \%} = \frac{100 \times \text{märkä neliöpaino} - \text{kuiva neliöpaino}}{\text{märkä neliöpaino}} \quad (1)$$

Märkä neliöpaino saadaan punnitsemalla näyte ennen kuivatinta, kuiva neliöpaino saadaan punnitsemalla näyte kuivattimen jälkeen. Kosteus -% saadaan yhtälön 1 mukaisesti.

## 8.2 PaperLab-paperintestausrobotti

PaperLab on automaattinen paperintestausrobotti, joka testaa ja tulostaa paperinäytteen ominaisuudet käytettävissä olevien moduleiden ja valittujen testaus-tapojen mukaan. PaperLabilla voidaan mitata paksuus, kiilto, paperin optiset ominaisuudet (opasiteetti, vaaleus, valkoisuus, sävyt) ja PPS-sileys.

## 8.3 Tapio raina-analysaattori

Tapio raina-analysaattoria käytetään online-mittareiden kalibrointiin ja niiden mittausluotettavuuden tarkistamiseen. Tapio raina-analysaattorin läpi ajetaan 30 poikkiratanäytettä, joista voidaan mitata paksuus, kiilto, transmissio, neliömassa ja tuhka.

## 8.4 Tapio RQP

Tapio RQP -mittalaitteella mitataan konerullan kovuusprofiilia. Mittalaitteeseen kuuluu pääyksikkö sekä mittasensori, joka kiinnitetään kaapelilla pääyksikköön. Mittauksen aikana mittasensoria painetaan konerullanpintaan ja sensoria liikutetaan hitaasti eteenpäin. Mittasensorin pohjassa oleva anturi mittaa kovuutta 10 kertaa sekunnissa. Jos sensoria liikutetaan yhden metrin sekunnissa, näkyy se tuloksissa 10 mittausta metrin matkalla. Mittasensorilta mittaustulos siirtyy kaa-

pelin kautta pääyksikköön, joka piirtää kovuusprofiilia. Pääyksiköstä kovuusprofiili saadaan talteen muistitikun avulla.

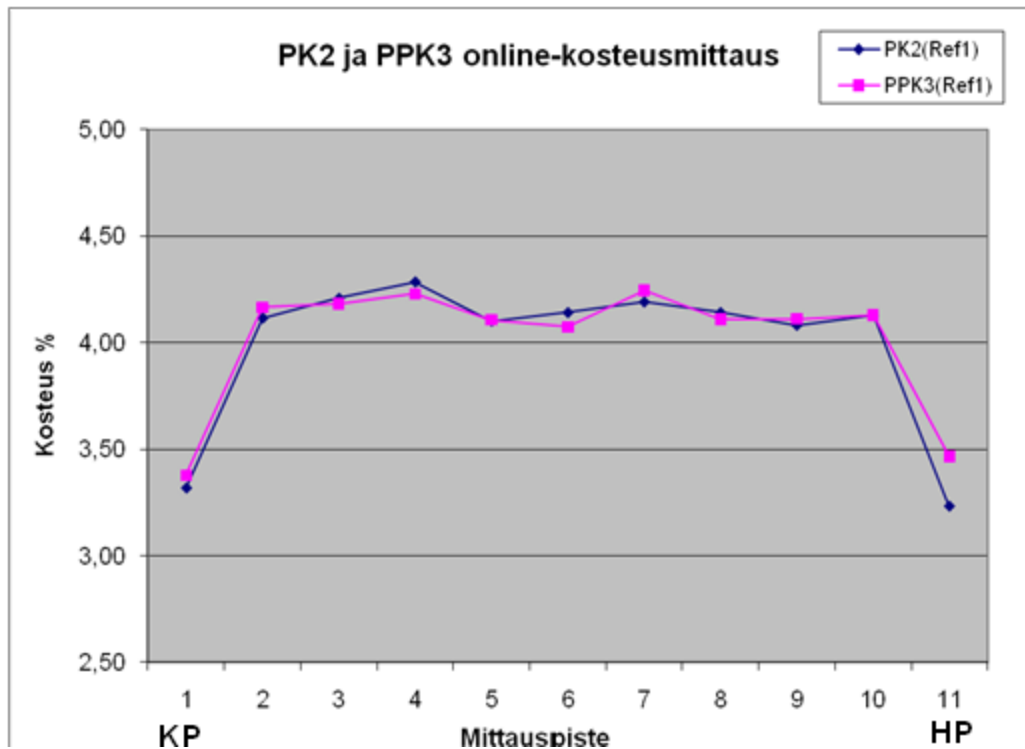
## **9 KOSTEUSKOEAJO PÄÄLTYSTYSKONE 3 LAJILLA 7160**

Koeajo suoritettiin 21.1.2010 ajamalla kolme referenssikonerullaa 2. sähköinfran kanssa, tämän jälkeen sähköinfra suljettiin. Ilman sähköinfraa ajettiin yhteensä neljä konerullaa, joista ensimmäinen oli vaihtokonerulla ja loput kolme koepistekonerullia. Referenssi- ja koepistekonerullista kerättiin tietoa päällystyskoneen online-kosteusmittauksen avulla. Tämän jälkeen konerullat superkalanteroitiin. Nosturikuskille annettiin ohjeeksi siirtää PPK3:lta valmistuneet rullat mahdollisimman nopeasti superkalanteroitavaksi, koska pitkä odotusaika vaikuttaa kosteusprofiiliin. Kaksi referenssi- ja koepistekonerullaa ajettiin superkalanteri 5:lla sekä yksi referenssi- ja koepistekonerulla ajettiin superkalanteri 3:lla. Superkalanteroinnin jälkeen konerullat siirrettiin pituusleikkurinpukille, jossa otettiin laboratorio kosteusnäytteet rullan eri kohdista. Näytteet punnittiin ja kuivattiin laboratoriossa, tuloksista laskettiin kosteus -% taulukon 1 mukaisesti. Koeajo sujui hyvin eikä hylkyä syntynyt.

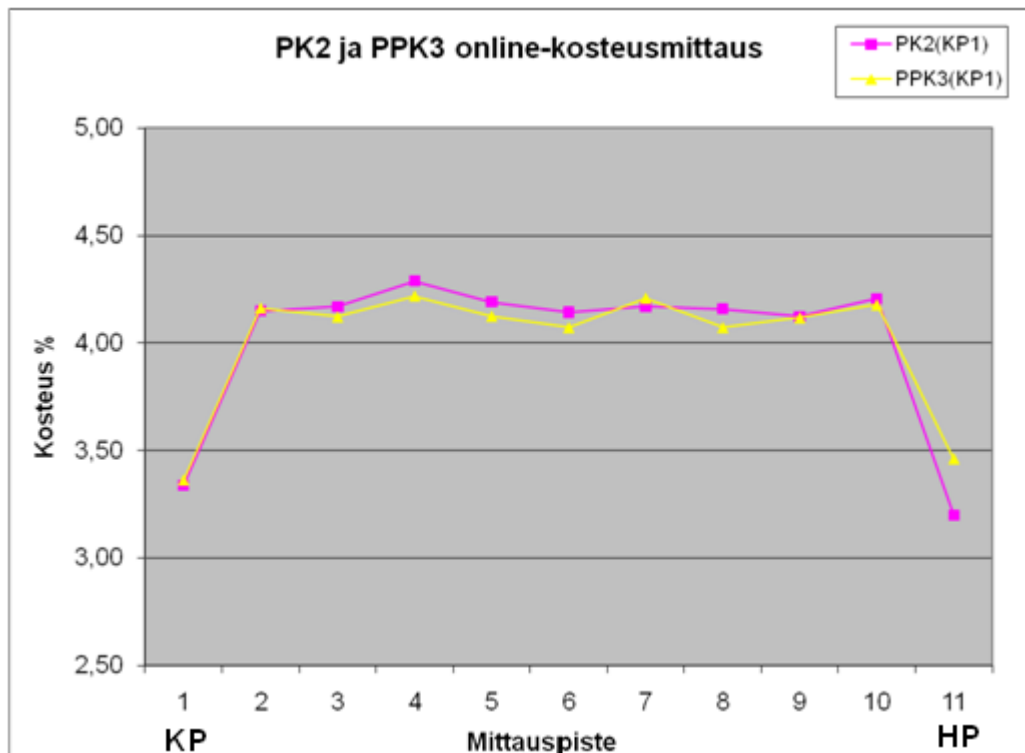
### **9.1 Online-kosteusmittausten luotettavuus PK2 ja PPK3 lajilla 7160**

Online-mittauksen luotettavuus tarkistettiin kosteuskoeajon yhteydessä lajilla 7160. Kuvissa 11 ja 12 on esitetty paperikone 2:n ja PPK:n3 online-kosteusmittauksen vertailu referenssi- ja koepistekonerullalla.





Kuva 11. Paperikone 2:n ja PPK3:n online-kosteusprofiilien vertailu, referenssikonerulla 1.

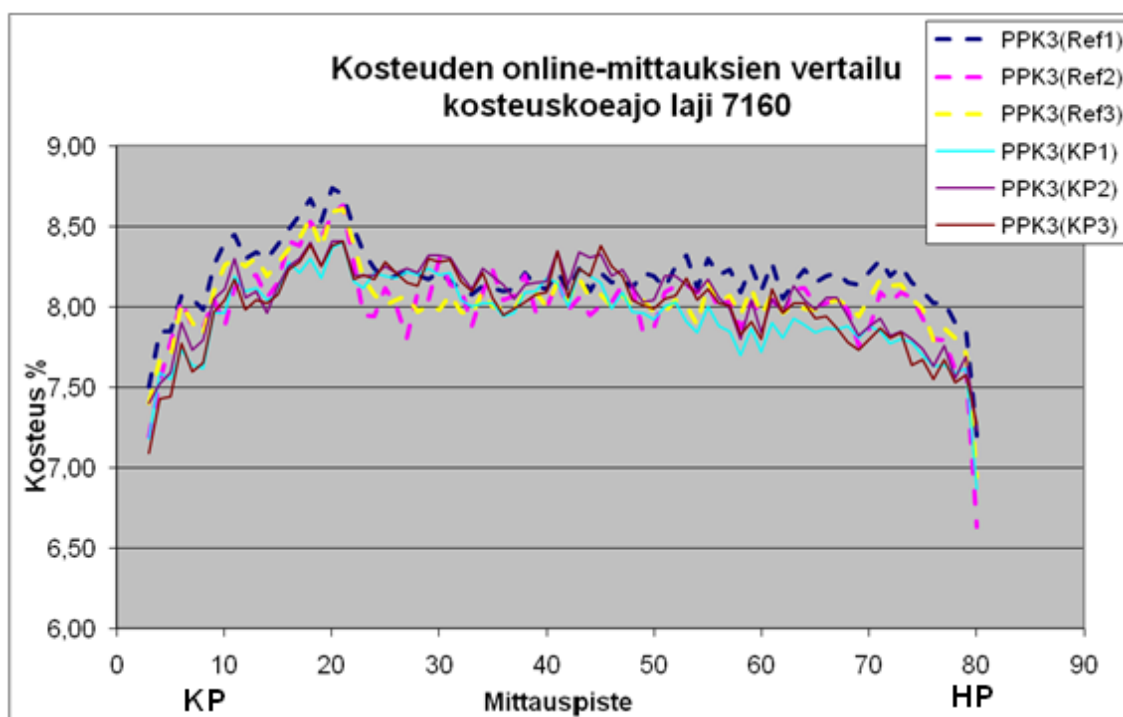


Kuva 12. Paperikone 2:n ja PPK3:n online-kosteusprofiilien vertailu, koepistekonerulla 1.

Päällystyskoneen aukirullauksen online-kosteusmittaus seuraa tarkasti paperikone 2:n online-kosteusmittauksen profiilia, kuten kuvista 11 ja 12 voidaan todeta. Mittaustulosten vertailun helpottamiseksi mittauspisteet on skaalattu laboratoriomittauksien mukaisesti. Voidaan todeta, että online-kosteusmittaus pitää paikkansa molemmilla koneilla.

## 9.2 Koeajon tulokset lajilla 7160

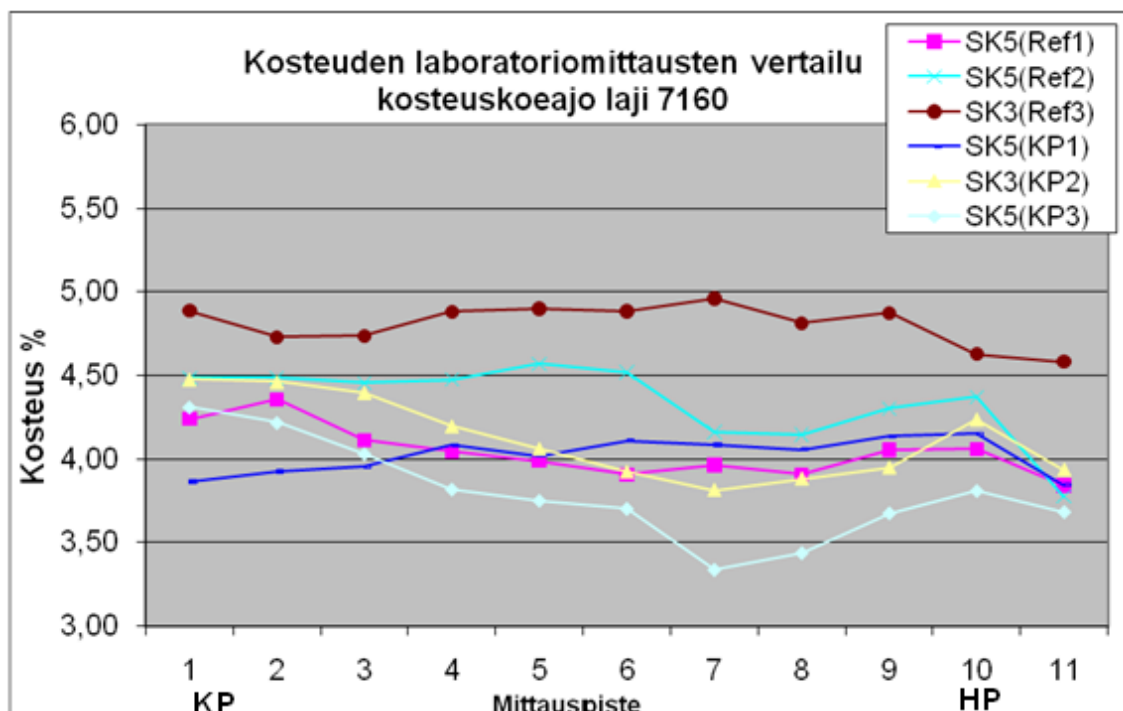
Kuvassa 13. on esitetty referenssi- ja koepistekonerullien PPK3:n online-kosteusmittauksien vertailu lajilla 7160.



Kuva 13. Referenssi- ja koepistekonerullien PPK3:n online-kosteusmittauksien vertailu. Referenssit 2. sähköinfran kanssa, koepisteet ilman 2. sähköinfrac.

Kosteusprofiilin huomattiin seuraavan samoja muotoja riippumatta siitä oliko sähköinfra päällä vai ei (kuva 13). Huomiota herättivät profiilin kyhmy käyttöpuolella ja referenssikonerullien korkea kosteusprosentti.

Kuvassa 14. on esitetty superkalanteri 5:n ja superkalanteri 3:n jälkeen otettujen laboratorio kosteusmittauksien vertailu lajilla 7160.



Kuva 14. Superkalanteri 5:n ja superkalanteri 3:n jälkeen otettujen laboratorio kosteusmittauksien vertailu. Referenssit 2. sähköinfran kanssa, koepisteet ilman 2. sähköinfraa.

Kosteusprofiilin huomattiin seuraavan samoja muotoja myös superkalanteroinnin jälkeen (kuva 14). Referenssikonerulla 3 poikkesi muista korkeamman kosteuden osalta, tähän saattoi vaikuttaa pitkä odotusaika ennen superkalanterointia, koska superkalantereilla oli edeltävät konerullat ajossa. Myös laboratoriomittausten referenssikonerullien korkea kosteusprosentti herätti huomiota.

Taulukossa 1 on esitetty kosteuksien keskiarvo tietyn koneen jälkeen lajilla 7160, sähköinfra on (päällä) vs. sähköinfra off (pois päältä).

Taulukko 1. Kosteuden muutos koneen mukaan lajilla 7160.

infra on	infra off		infra on	infra off		infra on	infra off	
PPK3	PPK3	Ero	SK3	SK3	Ero	SK5	SK5	Ero
8,09 %	8,00 %	<b>0,09 %</b>	4,81 %	4,12 %	<b>0,69 %</b>	4,19 %	3,91 %	<b>0,28 %</b>

Kosteuksien keskiarvoa tutkittaessa huomattiin kosteuden olevan korkeampi koneesta riippumatta, vaikka sähköinfra oli päällä (taulukko 1).

Taulukossa 2 on esitetty kosteuden prosentuaalinen muutos lajilla 7160, PPK3-vs. superkalanteroinnin jälkeen.

Taulukko 2. Kosteuksien ero -% lajilla 7160 PPK3:n ja superkalanteroinnin jälkeen.

infra on	infra off		infra on	infra off	
SK3	SK3	Ero	SK5	SK5	Ero
3,28 %	3,88 %	<b>-0,60 %</b>	3,90 %	4,09 %	<b>-0,19 %</b>

Tutkittaessa päällystykoneen ja superkalanterin jälkeisen kosteuden muutosta huomattiin, että kosteuden prosentuaalinen lasku oli SK3:lla yli 3 % ja SK5:lla noin 4 %. Kosteus laski vähemmän infran ollessa päällä (taulukko 2). Kaikki koeajon tulokset viittaavat sähköinfran profiloitongelmiin. Koeajossa heräsikin kysymys, mahtoiko infra profiloida kunnolla koeajossa. Myöhemmässä koeajossa löytyi syy profiloitongelmiin.

## 10 KOSTEUSKOEAJO PÄÄLLYSTYSKONE 3 LAJILLA 9151

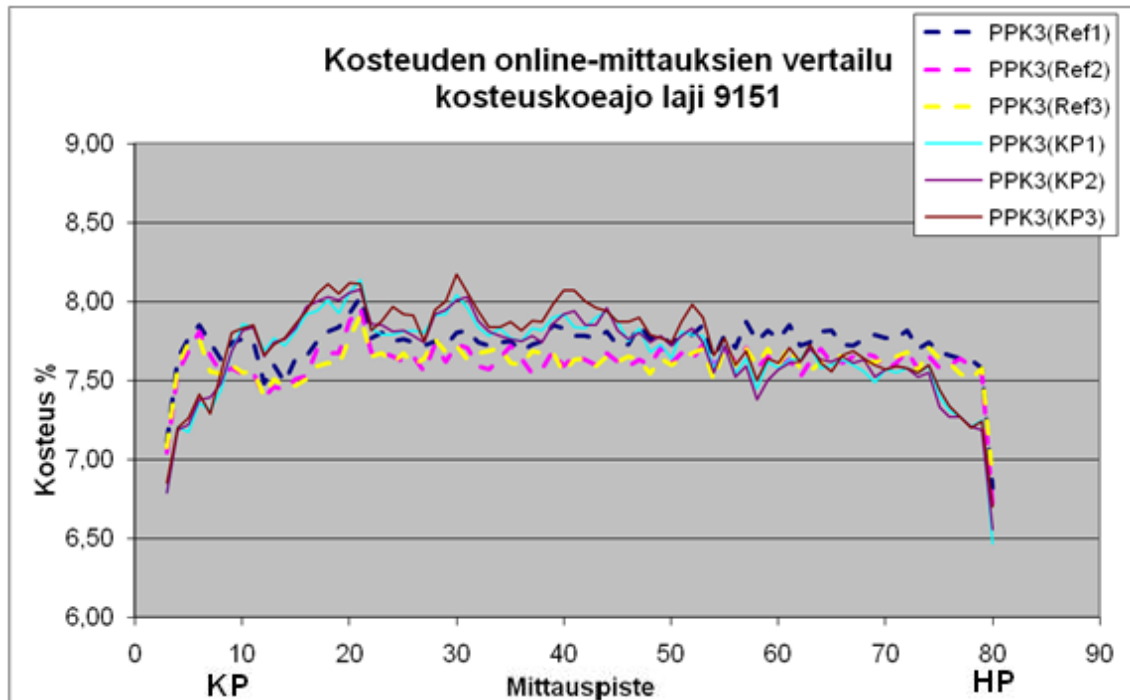
Online-kosteusmittaus oli tarkastettu edellisellä kerralla ja nyt oli tarkoitus tutkia sähköinfran profiloitua. Koeajo suoritettiin 10.2.2010 ajamalla kolme koepistekonerullaa ilman 2. sähköinfraa, tämän jälkeen sähköinfra laitettiin päälle. Kun infra käynnistettiin, huomattiin sen tehoprofiilin olevan matalampi PPK3:n käyttöpuolella. Infra ei toteuttanut sille lähetettyjä arvoja. Sähköinfra resetoitiin, jolloin sen teho tuplaantui ja tehoprofiili tasaantui.

Sähköinfran kanssa ajettiin yhteensä neljä konerullaa, joista ensimmäinen oli vaihtokonerulla ja loput kolme referenssikonerullia. Referenssi- ja koepistekonerullista kerättiin tietoa päällystykoneen online-kosteusmittauksen avulla. Tämän jälkeen konerullat superkalanteroitiin. Kaksi referenssi- ja koepistekonerullaa ajettiin superkalanteri 3:lla sekä yksi referenssi- ja koepistekonerulla ajettiin superkalanteri 4:lla. Superkalanteroinnin jälkeen konerullat siirrettiin pi-

tuuleikkurinpuikille, josta otettiin laboratorio kosteusnäytteet rullan eri kohdista. Myös tämä koeajo sujui hyvin eikä hylkyä syntynyt.

### Koeajon tulokset lajilla 9151

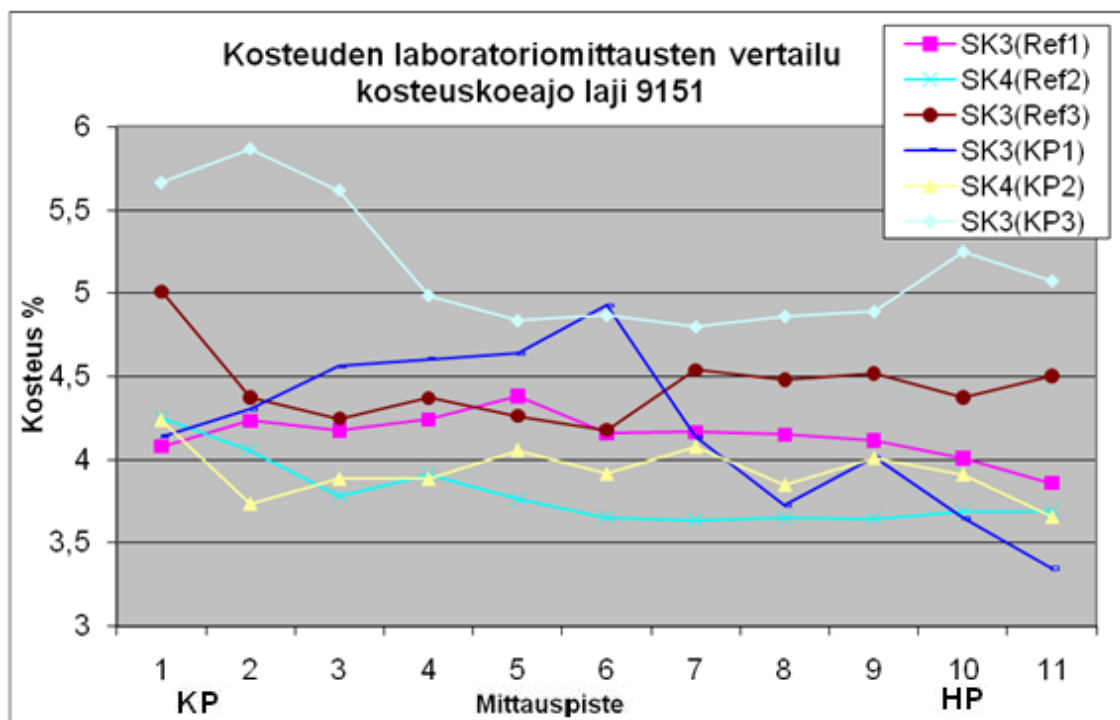
Kuvassa 15 on esitetty referenssikonerullien ja koepistekonerullien PPK3 online-kosteusmittauksien vertailu lajilla 9151.



Kuva 15. Referenssikonerullien ja koepistekonerullien PPK3:n online-kosteusmittauksien vertailu. Referenssit 2. sähköinfran kanssa, koepisteet ilman 2. sähköinfrac.

Sähköinfran profiloinnin huomattiin parantuneen resetoinnin myötä ja profiili oli lähes tasainen. Myös huomiota herättänyt korkea kosteusprosentti referenssikonerullissa oli korjaantunut. Toisessakin koeajossa kosteusprofiilin huomattiin seuraavan samoja muotoja riippumatta siitä, oliko sähköinfra päällä vai ei (kuva 15). Koepistekonerullien kosteusprofiilien huomattiin vaihtelevan enemmän poikkisuunnassa, mutta merkittävää vaikutusta kosteuteen ei ollut.

Kuvassa 16. on esitetty superkalanteri 3:n ja superkalanteri 4:n jälkeen otettujen laboratorio kosteusmittauksien vertailu lajilla 9151.



Kuva 16. Superkalanteri 3:n ja superkalanteri 4:n jälkeen otettujen laboratorio kosteusmittauksien vertailu. Referenssit 2. sähköinfran kanssa, koepisteet ilman 2. sähköinfraa.

Laboratoriomittauksissa kosteusprofiiliin huomattiin seuraavan samoja muotoja myös superkalanteroinnin jälkeen (kuva 16). Koepistekonerulla 3 poikkesi muista korkeamman kosteuden osalta. Tähän saattoi vaikuttaa pitkä odotusaika ennen superkalanterointia, koska supereilla ajettiin edeltäviä konerullia. Koepistekonerullien kosteusprosentin huomattiin olevan korkeampi kuin referenssikonerullien oletuksen mukaisesti, poikkeuksena KP2. Koepistekonerulla 2 ajettiin SK4:lla, missä calcoil-profilointipalkin lämmittävä vaikutus kokillitelaan on mahdollisesti vaikuttanut kosteuteen.

Taulukossa 3 on esitetty kosteuden muutos koneen mukaan lajilla 9151, sähköinfra on (päällä) vs. sähköinfra off (pois päältä).

Taulukko 3. Kosteuden muutos koneen mukaan lajilla 9151.

infra on	infra off		infra on	infra off		infra on	infra off	
PPK3	PPK3	Ero	SK3	SK3	Ero	SK4	SK4	Ero
7,65 %	7,70 %	<b>-0,05 %</b>	4,29 %	4,68 %	<b>-0,39 %</b>	3,79 %	3,93 %	<b>-0,14 %</b>

Kosteuksien keskiarvoa tutkittaessa huomattiin kosteuden olevan matalampi koneesta riippumatta sähköinfran ollessa päällä (taulukko 3).

Taulukossa 4 on esitetty kosteuden prosentuaalinen muutos lajilla 9151, PPK3:n jälkeen vs. superkalanteroinnin jälkeen.

Taulukko 4. Kosteuksien ero -% lajilla 9151 PPK3:n ja superkalanteroinnin jälkeen.

infra on	infra off		infra on	infra off	
SK3	SK3	Ero	SK4	SK4	Ero
3,36 %	3,02 %	<b>0,34 %</b>	3,86 %	3,77 %	<b>0,09 %</b>

Tutkittaessa päällystyskoneen ja superkalanterin jälkeisen kosteuden muutosta huomattiin, että kosteuden prosentuaalinen lasku oli SK3:lla noin 3 % ja SK4:lla noin 4 %. Kosteus laski enemmän infran ollessa päällä (taulukko 4).

Kaikki koeajon tulokset viittaavat sähköinfran profiloitongelmien parantumiseen resetoinnin myötä.

## 11 KOVUUSMITTAUKSET

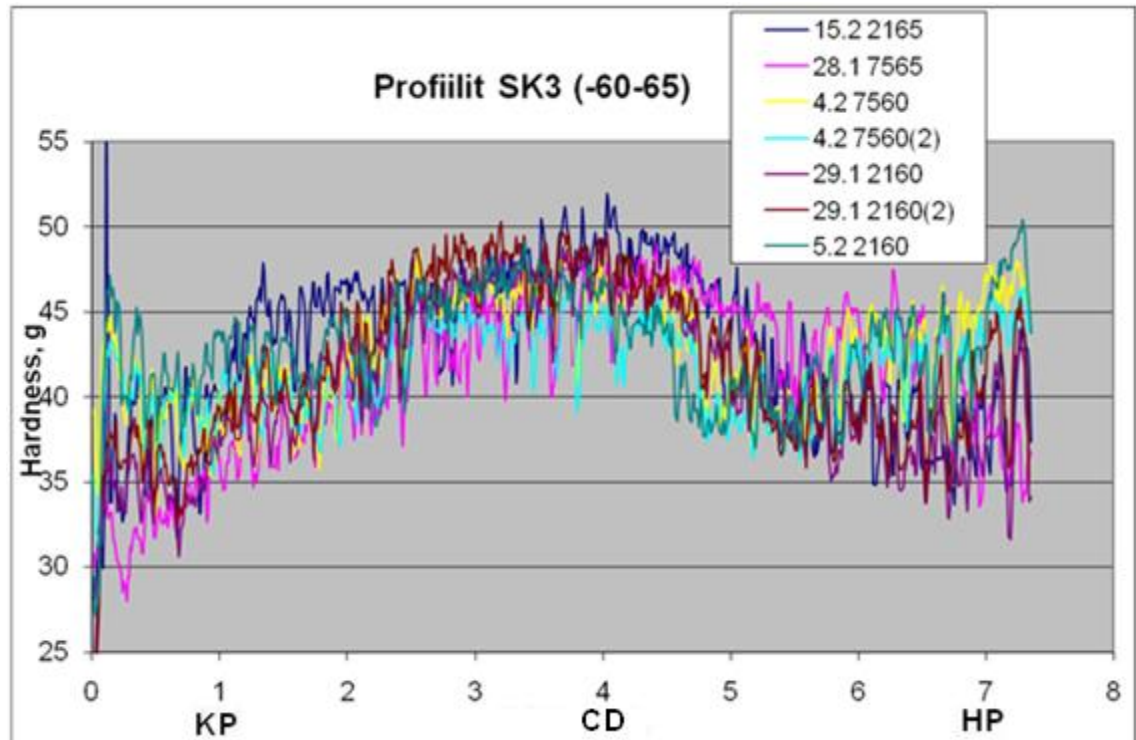
Superkalanterin jälkeisen kovuusprofiilin tavoitteena on profiilin tasaisuus. Kohdallisessa profiilissa konerullan reunat ovat hieman alhaalla ja muhkuraisuus on matalaa. Kovapäiset rullat aiheuttavat ajettavuusongelmia pituusleikkurilla ja niitä pyritään välttämään. Mittauksissa tutkittiin välirullaamattomia konerullia päällystyskone 3:n jälkeen.

### 11.1 Superkalenteri 3

Superkalenteri 3:lla voidaan taipumakompensoidunylätelan paine-eroa säätää valvomosta käsin 1 barin verran, joko plus- tai miinussuuntaan. Näin nipissä oleva paine muuttuu ja aiheuttaa puristusta paperiin. Plussuuntaan säätö aiheuttaa nippipuristusta paperin keskelle ja aikaansaa kovuusprofiiliin hymyilevän-

kaarevuuden. Miinussuuntaan säätö taas aiheuttaa nippipuristusta paperin päihin.

Kuvassa 17 on esitetty SK3:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla (mittauspäivämäärä ja paperin laji).

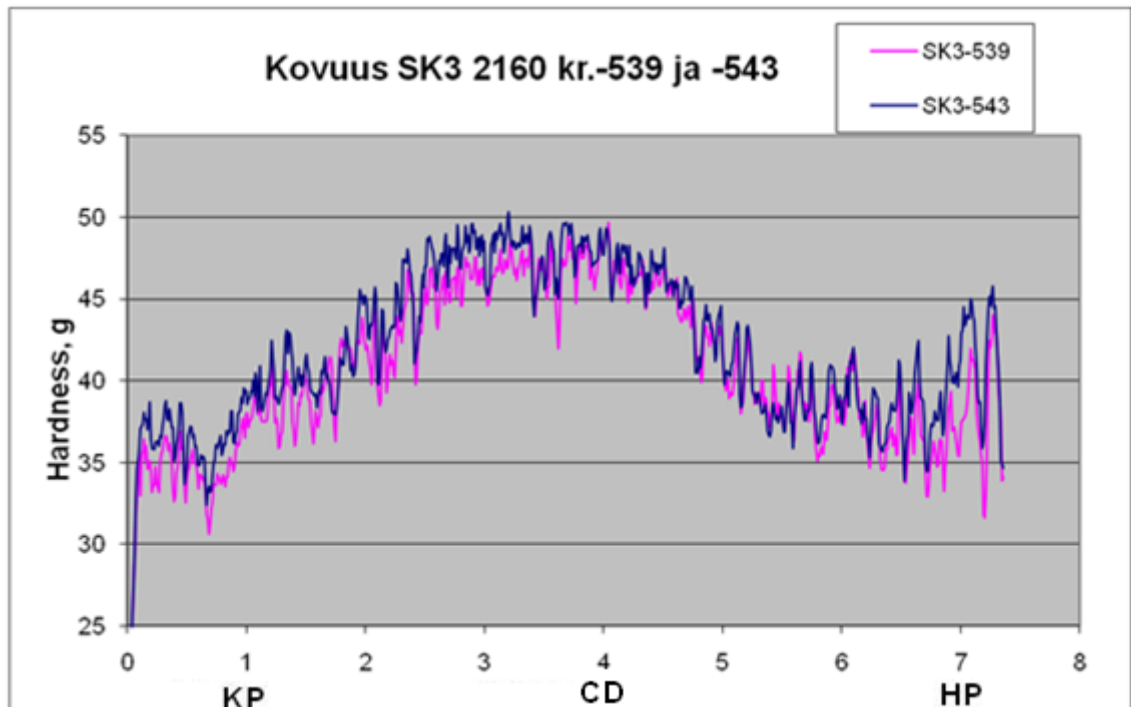


Kuva 17. SK3:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla.

Kovuusprofiilin huomataan seuraavan samaa muotoa superkalanteri 3:lla lajeilla -60—65. Kovuusprofiili on kovempi konerullan keskustassa ja hoitopuolella (kuva 17).

Kuvassa 18 on esitetty SK3:n kahden konerullan kovuusprofiilit paperilajilla 2160.





Kuva 18. SK3:n kahden konerullan kovuusprofiilit paperilajilla 2160.

Kovuusprofiilin muodon huomataan toistuvan hyvin SK3:lla samoilla lajeilla. Kovuusprofiili on kovempi konerullan keskellä ja hoitopuolella myös lajilla 2160 (kuva 18).

Kuvassa 19 on esitetty kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK3:n jälkeen.



Kuva 19. Kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK3:n jälkeen.

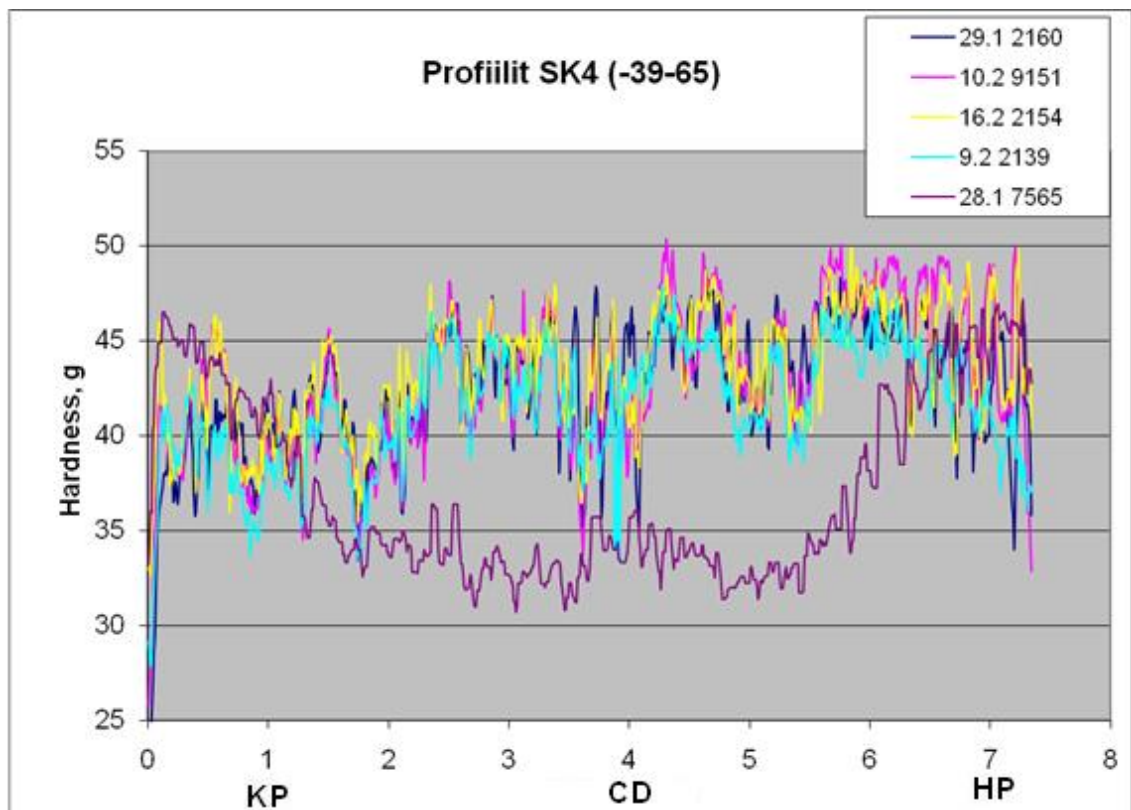
Superkalanteroinnilla huomataan olevan merkittävä vaikutus kovuusprofiilin muutokseen (kuva 19). Kovuus on suurempi SK3:n hoito- kuin käyttöpuolella. SK3:n tekee PPK3:lta tulevan paperin profiiliin S-muotoa. Tämä herättää huomiota koska küsters-teloilla pitäisi voida vaikuttaa joko konerullan reunojen- tai keskustanprofiiliin. Kovuusmittausten yhteydessä selvitettiin myös superkalanteroidun paperin kovuuden ja paksuuden korreloituvuutta. Kovuus korreloi hyvin paksuuden kanssa SK3:lla (Liite 1: kuva 1). Samalla selvitettiin myös paksuuden ja transmission korreloituvuutta, Liitteen 2 kuvasta 1 nähdään, että myös paksuus ja transmissio korreloivat hyvin keskenään SK3:lla.

## 11.2 Superkalenteri 4

Superkalenteri 4:lla voidaan myös ylätelan paine-eroa säätää valvomosta käsin, joko plus- tai miinussuuntaan. Superkalenteri 4:lla on käytössä calcoil-profilointipalkki, joka profiloii paperia. Calcoil-profilointipalkki ei ole päällä matta-

paperilajeja ajettaessa, koska mattalajit kiillottuisivat liikaa. Tällöin ajetaan viiva-  
kuorman säädön mukaan.

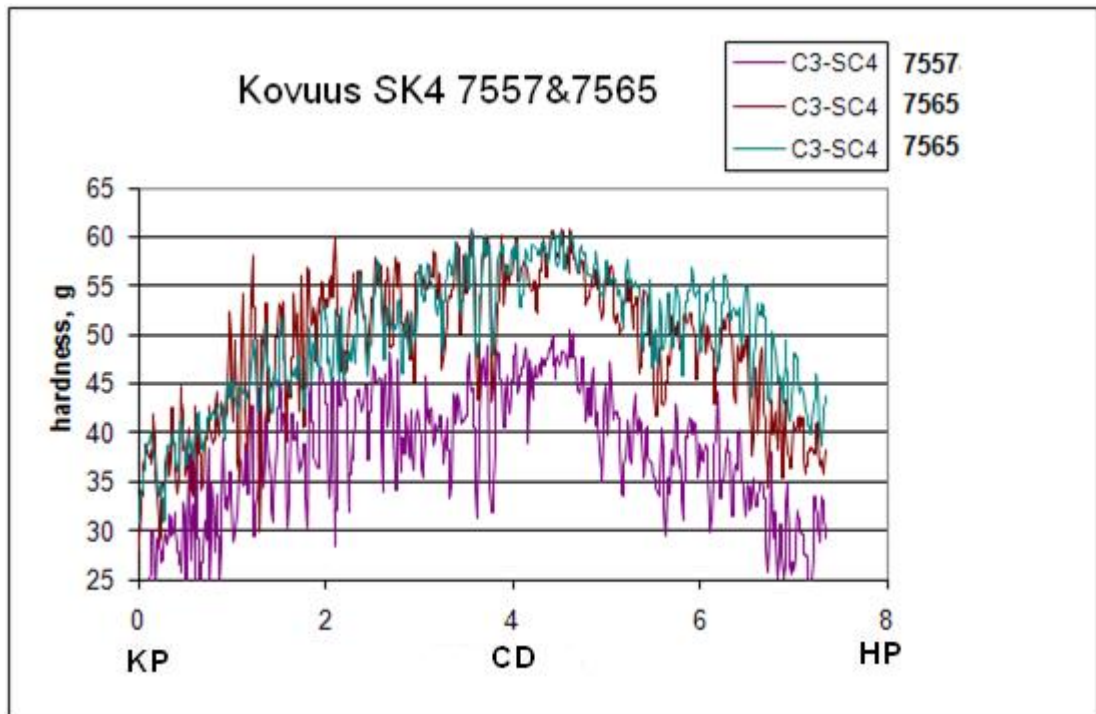
Kuvassa 20 on esitetty SK4:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla (mittauspäivämää-  
rä ja paperin laji).



Kuva 20. SK4:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla.

Kovuusprofiilin huomataan seuraavan samaa muotoa superkalanteri 4:lla lajeilla -39—65, mattapaperilajin 7565 kovuusprofiilin huomataan eroavan normaaleista lajeista (kuva 20). Kyseisen lajin konerullan kovuusprofiili on huono, tämä johtuu siitä, että konerullan aikana superkalanterin ylätelan nippi on ollut liikaa keskeltä puristava. Kovuusprofiilimuodot toistuvat melko hyvin konerullasta riippumatta kiiltävillä lajeilla.

Kuvassa 21 on esitetty SK4:n kolmen konerullan kovuusprofiilit mattapaperilajeilla 7557 ja 7565.



Kuva 21. SK4:n kolmen konerullan kovuusprofiilit mattapaperilajeilla 7557 ja 7565.

Kovuusprofiilin huomataan olevan kohtalainen, kun calcoil-palkki ei ole päällä. Kovuusprofiilimuoto toistuu melko hyvin superkalanteri 4:lla samoilla lajeilla (kuva 21).

Kuvassa 22 on esitetty kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK4:n jälkeen.



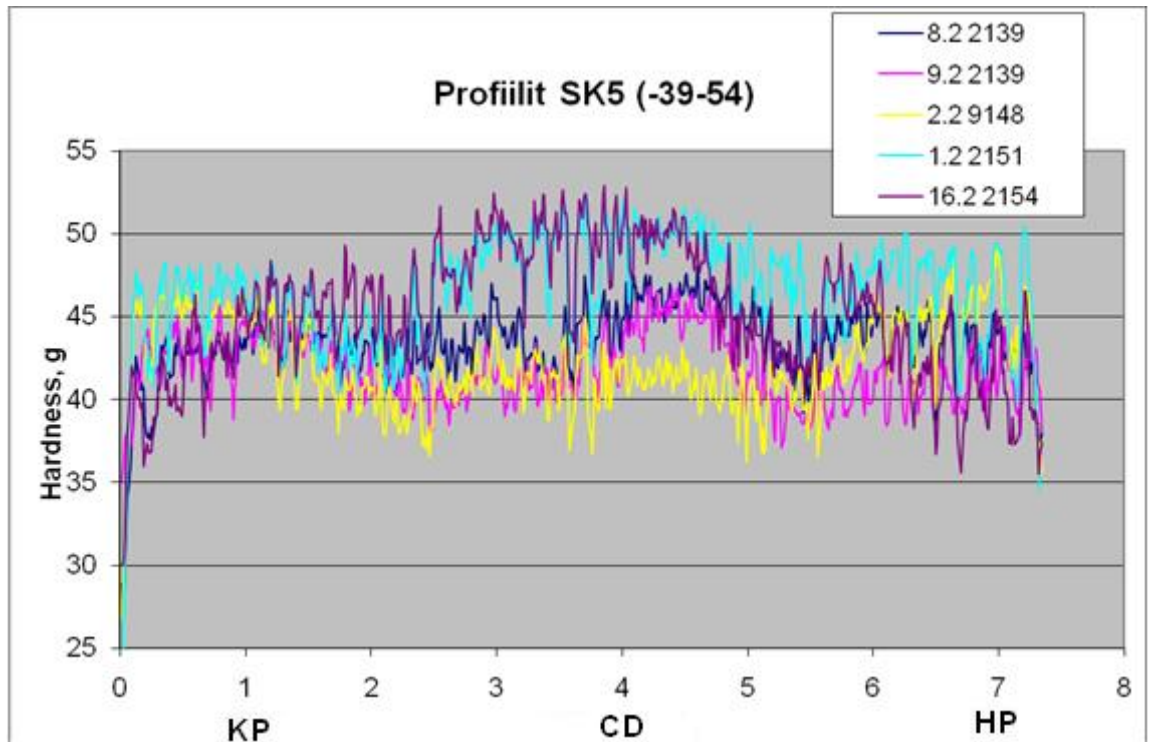
Kuva 22. Kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK4:n jälkeen.

Superkalanteroinnilla huomataan olevan merkittävä vaikutus kovuusprofiiliin muutokseen. Superkalanteri 4:n profiilissa on havaittavissa merkittävää kuoppaisuutta, eli kovuusprofiili vaihtelee konerullan eri kohdissa (kuva 22). Superkalanteroidun paperin kovuuden ja paksuuden korreloituvuutta selvitettiin kovuusmittausten yhteydessä. Kovuus korreloi hyvin paksuuden kanssa SK4:lla (Liite 1: kuva 2). Paksuuden ja transmission korreloituvuus selvitettiin myös SK4:lla, Liitteen 2 kuvasta 1 nähdään, että myös paksuudella ja transmissionilla oli selvä korreloituvuus keskenään.

### 11.3 Superkalanteri 5

Superkalanteri 5:lla on ylä- ja alatelana vyöhykesäädettävät telat, telojen avulla voidaan radan poikkisuuntaista profiilia säädellä eri kohdista. Tietokoneelle syötetään viivakuorman avulla ohjearvot järjestelmään, joka optimoi telan paineet eri vyöhykkeillä.

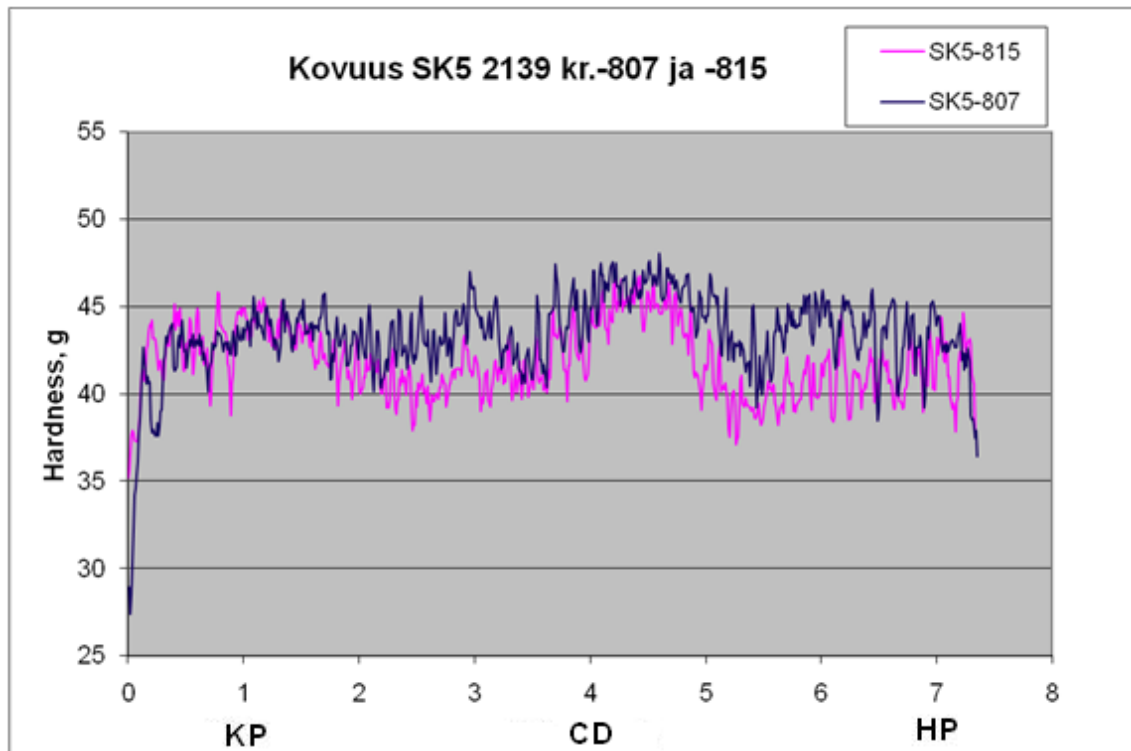
Kuvassa 23 on esitetty SK5:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla (mittauspäivämäärä ja paperin laji).



Kuva 23. SK5:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla.

Kovuusprofiilin huomataan vaihtelevan eri lajeilla superkalanteri 5:lla, profiilien huomataan kuitenkin olevan kohtalaisia (kuva 23).

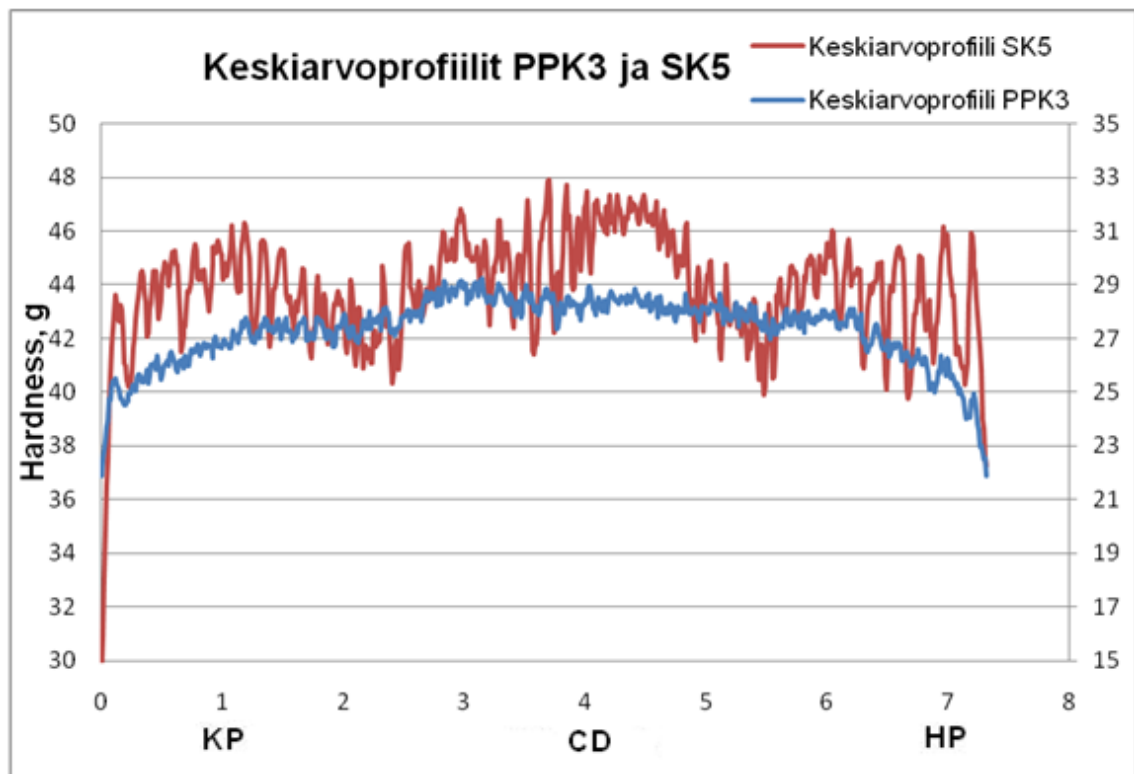
Kuvassa 24 on esitetty SK5:n kahden konerullan kovuusprofiilit paperilajilla 2139.



Kuva 24. SK5:n kahden konerullan kovuusprofiilit paperilajilla 2139.

Kovuusprofiilimuodon huomataan toistuvan melko hyvin superkalanteri 5:lla samoilla lajeilla. Profiilissa on havaittavissa kyhmy keskustan jälkeen, muuten profiili on melko suora (kuva 24).

Kuvassa 25 on esitetty kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK5:n jälkeen.



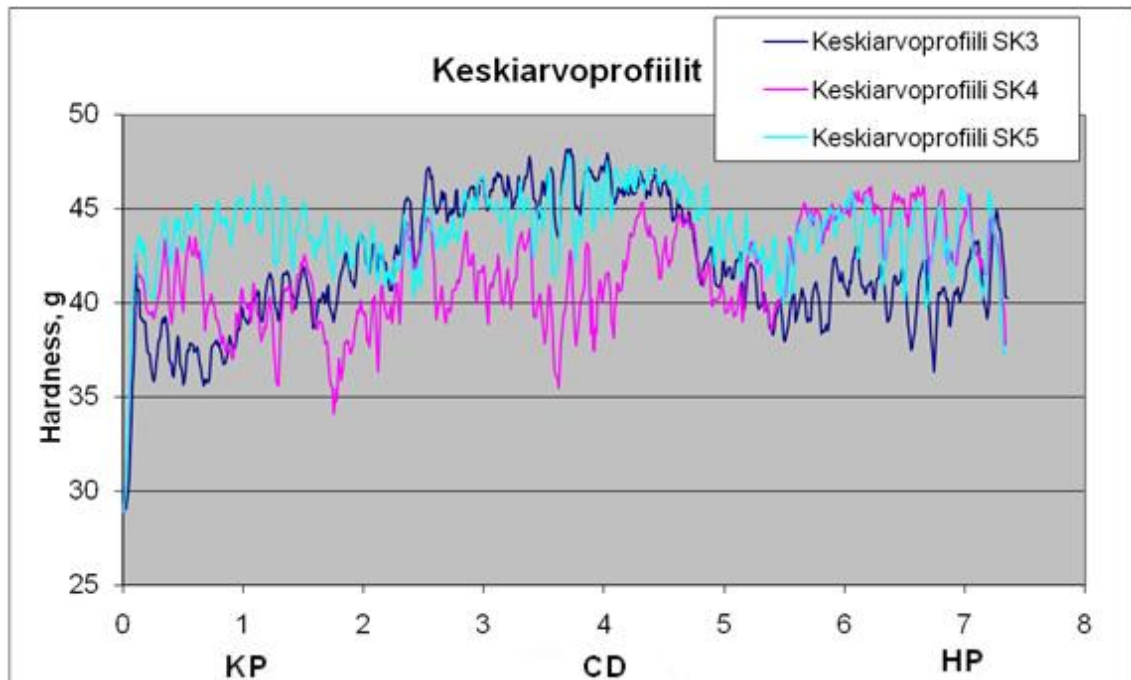
Kuva 25. Kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK5:n jälkeen.

Superkalanteroinnilla huomataan olevan vaikutusta kovuusprofiilin muutokseen. Superkalanteri 5:n kovuusprofiili on kohtalainen, eli kuoppaisuus on matalaa ja reunat ovat melko alhaalla (kuva 25).

#### 11.4 Superkalantereiden keskiarvoprofiilit

Kuvassa 26 on esitetty superkalantereiden 3, 4 ja 5 mitattujen konerullien kovuusprofiilien keskiarvot konerullasta riippumatta.



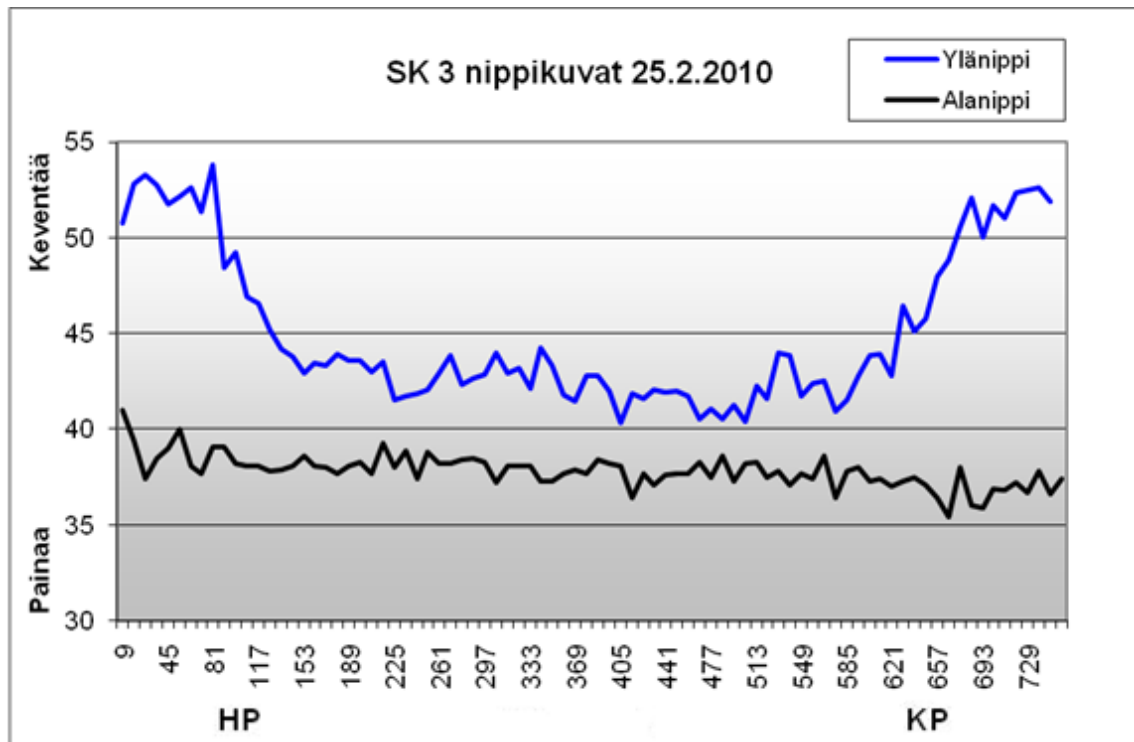


Kuva 26. Superkalantereiden 3, 4 ja 5 mitattujen konerullien kovuusprofiilien keskiarvot konerullasta riippumatta.

Vertailtaessa kovuusprofiilien keskiarvoja huomataan jokaisen superkalanterin kovuusprofiilin olevan koneelle ominainen. SK4:n ja SK5:n profiilit ovat melko suoria, vaikka vaihtelua löytyykin. Suurin haaste kovuusprofiilin suhteen on SK3:lla (kuva 26).

## 12 SUPERKALANTERI 3:N NIPPIKUVAT

Superkalanteri 3:n painatusprofiilia selvitettiin ottamalla nippikuvat 25.2.2010 ylä- ja alatelan nipeistä. Kuvat otettiin syöttämällä nippipaperia telojen väliin, jolloin paperiin painautui tumma jälki. Mitä tummempi jälki oli, sitä kovempi painatus. Paperi testattiin laboratoriossa. Kuvassa 27 on esitetty SK3:n ylä- ja alatelan nippien painatusprofiilit valvomon painatussäädön ollessa 0 sekä viiva-kuorman ollessa 320 kN/m.



Kuva 27. SK3:n ylä- ja alatelan nippien painatusominaisuudet, viivakuorma 320 kN/m.

Ylänipissä huomataan poikkeava profiili, vaikka painatussäätöä ei pitäisi olla (kuva 27). Tämä aiheuttaa painatusta konerullan keskustaan ja päät jäävät koviksi. Alanipin painatusprofiiliin huomataan olevan lievästi vino.

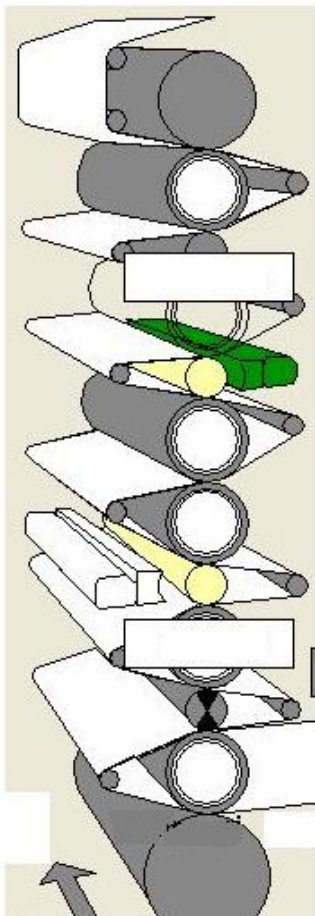
Alatelan paine-eroa mittarin näyttämän ja mitatun arvon välillä vertailtiin jo ennen nippikuvaa, koska paine-eron vaihtelulla on merkitystä viivakuormajakau-  
maan. Alatelan paine-eron huomattiin jäävän vajaaksi tavoite arvosta. Mittarin näyttämä arvo oli 5,5 bar, kun taas tavoitearvo oli 5,9 bar. Eroa oli siis 0,4 bar. Paine-ero saatiin tasattua ennen nippikuvan ottamista, joten ei tiedetä sen vaikutusta alatelan viivakuorman profiiliin.

Myöhemmissä mittauksissa ei löydetty ylä- eikä alatelojen mitatun ja mittarin näyttämän paine-eron välillä poikkeavuutta. Laakeripesien kevennyksien paineet pitivät myös paikkansa. Superkalanteri 3:n laskentajärjestelmä laskee ylä- ja alatelojen paine-eron viivakuorman perusteella, joten on mahdollista, että järjestelmä laskee ylänipin kuormituksen liian kovaksi keskeltä ja näin aiheuttaisi virheellistä profiilia nipissä.

### 13 SUPERKALANTERI 4:N CALCOIL-PROFILOINTIPALKIN VERTAILU

Superkalanteri 4:n Calcoil-profilointipalkin toimivuutta selvitettiin vertailemalla sen profiileja tutkimuskeskuksen Tapio raina-analysaattorilla ja laboratoriossa mitattujen näytteiden profiileihin. Calcoilin online-mittauksen tulokset kerättiin superkalanterin ollessa ajonopeudessa, juuri ennen pyörimisnopeuden hidastuksen alkamista. Tapion 30 poikkiratanäytettä otettiin pituusleikkurin pukilta superkalanteroinnin jälkeen. Konerullan pinnasta jouduttiin pyörittämään pappia pulperiin, jotta näytteet olivat vertailukelpoisia online-mittausten kanssa.

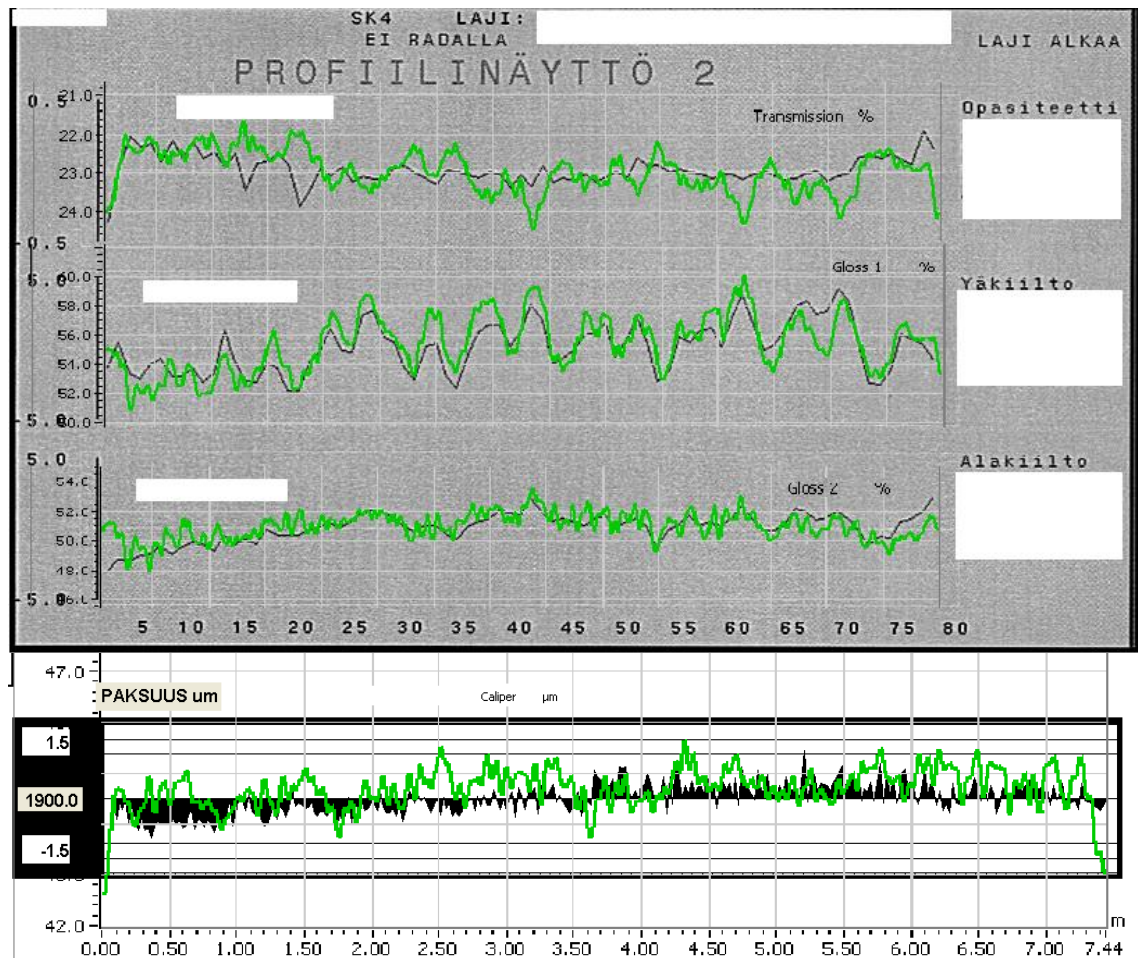
Kuvassa 28 on esitetty SK4:n telasto ja calcoil-profilointopalkin sijainti.



Kuva 28. SK4:n telasto ja calcoil-profilointopalkin (vihreä) sijainti.

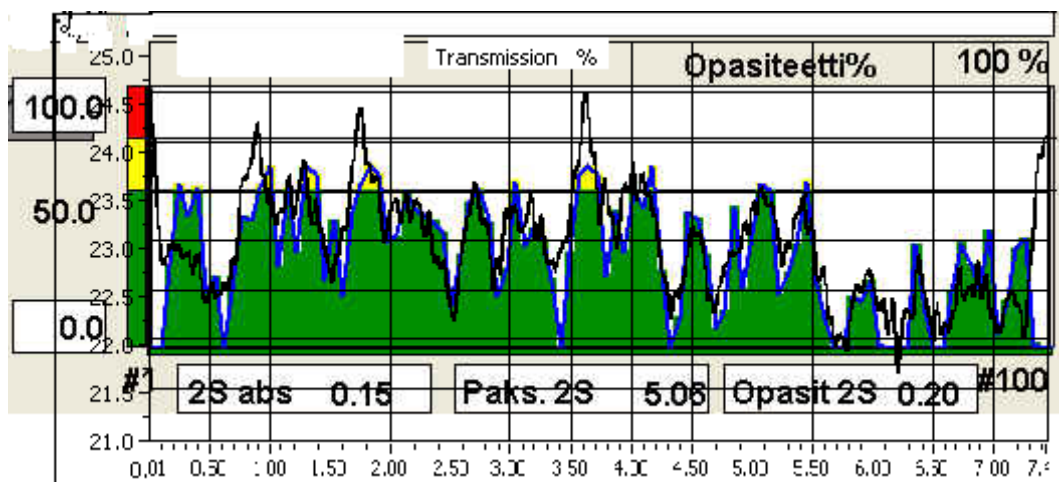
Paperin mennessä calcoilin lämmittämän kokillitelan nippien läpi kiillottuu paperi kiinnirullausta katsottaessa yläpuolelta (kuva 28). Ylä- ja alakiiltoa mitataan online-mittauksilla.

Kuvassa 29 on esitetty SK4:n online-mittaukset vs. Tapion mittaukset.



Kuva 29. Online-opasiteetti, yläkiilto, alakiilto ja paksuus (musta), Tapion transmissioprofiili, kiilto, kiilto 2 ja paksuus (vihreä). Eroa mittauksilla oli kahdeksan päivää.

Tapion kiilto profiilit korreloivat online-kiillon kanssa, mutta eivät online-opasiteetin ja online-paksuuden kanssa (kuva 29). Opasiteetin ja paksuuden online-mittaus on virheellinen. Verrattaessa online-mittauksien ylä- ja alakiiltoa, sekä Tapion kiilto ja kiilto 2:sta, huomataan että yläkiillon profiili on huomattavasti muhkuraisempi, kuin alakiillon profiili. Tämä johtuu calcoil-palkin aiheuttamasta virheellisestä profiloinnista, koska todettiin että online-yläkiilto ja Tapion transmissioprofiili korreloivat calcoilin tehoprofiilin kanssa (kuva 30).



Kuva 30. Calcoilin tehoprofiili (vihreä), Tapion transmissioprofiili (musta). Eroa mittauksilla oli viisi päivää.

Transmission profiilimuodon aiheuttaa Calcoil-profilointipalkki. Opasiteetin online-mittaus on virheellinen. Tehoprofiili taas seuraa virheellistä online-opasiteetti mittausta (kuva 30). Laborioriomittauksia ja online-opasiteettia verrattaessa huomattiin myös opasiteettiprofiilien poikkeavuus (Liite 3: kuva 1). Myös laboratoriomittaukset osoittavat opasiteetin online-mittauksen olevan virheellinen. Laboratoriossa mitatun opasiteetin ja Tapion transmission korreloituvuus tarkistettiin vertailemalla niitä toisiinsa (Liite 3: kuva 1). Profiilit korreloivat melko hyvin, vaikka eroa mittauksilla oli seitsemän päivää.

## 14 YHTEENVETO

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia kovuusprofiilin muutosta päällystyskone 3:n ja superkalanteroinnin jälkeen sekä etsiä mahdollisia syitä paperin huonoon kovuusprofiiliin superkalantereilla 3 ja 4. Lisäksi selvitettiin PPK3:n 2. sähköinfran tarpeellisuutta ja vaikutusta LWC-paperin kosteusprofiiliin PPK3:n jälkeen sekä kosteusprofiilin muutosta superkalanteroinnin jälkeen.

Online-kosteusmittausten luotettavuuden havaittiin olevan kunnossa PK2:lla ja PPK3:lla. Päällystyskone 3:n 2. sähköinfrassa havaittiin profiloitongelma, joka saatiin korjattua resetoinnin avulla. Sähköinfran käytännön vaikutuksen paperin profiilien muutoksiin superkalanteroinnin jälkeen huomattiin olevan niin matala, että infra voidaan jättää pois käytöstä ainakin kevyillä lajeilla. Kosteusprosentin huomattiin laskevan superkalantereitaessa SK3:lla noin 3 %, sekä SK4:lla ja SK5:lla noin 4 %.

Päällystyskone 3:n kovuusprofiilin havaittiin olevan kunnossa. Superkalanteri 5:n kovuusprofiilin havaittiin olevan melko kohtalaista. SK4:n kovuusprofiilin on havaittu olevan myös melko kohtalaista ilman calcoil-palkin profiloitongelmia. Mittapalkki täytyy kunnostaa ja sen kalibrointi ottaa käyttöön. Mittapalkki mittaa SK4:lla online-mittauksena paperin ominaisuuksia, mutta arvot eivät tallennu HIC-tiedonkeruujärjestelmään. Superkalanterin online-mittauksen ja HIC:in yhdistäminen olisi hyödyllistä. SK4:lla ei kannattaisi ajaa mattapaperilajeja, koska calcoil täytyy tällöin kytkeä pois päältä ja tällöin sen profiloit ominaisuudet menevät hukkaan. Suurin haaste kovuuden profiloinnin suhteen keskittyy superkalanteri 3:lle. Ylänipin keskeltä painattava profiili aiheuttaa kovapäisyyttä, myös alanipin profiilin lievällä vinoudella on mahdollisesti vaikutusta paperin reunojen kovuuteen. SK3:lla täytyy nippikuvia ottaa lisää eri säädöillä (viivakuorman säätö, telojen paine-eron säätäminen). Tavoitteena on saada molempien nippien profiilit tasaisiksi. Ylä- ja alateloiden paine-eron laskentajärjestelmä olisi myös hyvä tarkistaa.

Metsäteollisuuden nykyisen haastavan tilanteen vuoksi on tärkeää, että paperitehtaiden tuotanto olisi mahdollisimman kannattavaa ja tuotteet mahdollisimman korkealaatuisia. Näihin asioihin panostamalla pystymme vastaamaan metsäteollisuuden haasteisiin.

## KUVAT

Kuva 1 Päälylystyskone 3, s. 14

Kuva 2 Päälylystysasema Optiblade, s. 15

Kuva 3 Teräpalkin poikkileikkauskuva, s. 16

Kuva 4 Applikointialue, s. 17

Kuva 5 Päälylystyskoneen kuivatusosat, s. 19

Kuva 6 Superkalanterin sivuprofiili, s. 21

Kuva 7 Nippiprosessi vahvasti liioiteltuna, s. 22

Kuva 8 Sym ZS-telan pääosat, s. 25

Kuva 9 Kuormituselementin rakenne, s. 26

Kuva 10 Kosteusnäytteiden otto PPK3, s. 30

Kuva 11 Paperikone 2:n ja PPK3:n online-kosteusprofiilien vertailu, referenssi-konerulla 1, s. 33

Kuva 12 Paperikone 2:n ja PPK3:n online-kosteusprofiilien vertailu, koepistekonerulla 1, s. 33

Kuva 13 Referenssi- ja koepistekonerullien PPK3:n online-kosteusmittauksien vertailu lajilla 7160, s. 34

Kuva 14 Superkalanteri 5:n ja superkalanteri 3:n jälkeen otettujen laboratorio kosteusmittauksien vertailu lajilla 7160, s. 35

Kuva 15 Referenssi- ja koepistekonerullien PPK3:n online-kosteusmittauksien vertailu lajilla 9151, s. 37

Kuva 16 Superkalanteri 3:n ja superkalanteri 4:n jälkeen otettujen laboratorio kosteusmittauksien vertailu lajilla 9151, s. 38

Kuva 17 SK3:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla, s. 40

Kuva 18 SK3:n kahden konerullan kovuusprofiilit paperilajilla 2160, s. 41

Kuva 19 Kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK3:n jälkeen, s. 42

Kuva 20 SK4:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla, s. 43

Kuva 21 SK4:n kolmen konerullan kovuusprofiilit mattapaperilajeilla 7557 ja 7565, s. 44

Kuva 22 Kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK4:n jälkeen, s. 45

Kuva 23 SK5:n kovuusprofiilit eri paperilajeilla, s. 46

Kuva 24 SK5:n kahden konerullan kovuusprofiilit paperilajilla 2139, s. 47



Kuva 25 Kovuusprofiilien keskiarvot PPK3:n ja SK5:n jälkeen, s. 48

Kuva 26 Superkalantereiden 3, 4 ja 5 mitattujen konerullien kovuusprofiilien keskiarvot konerullasta riippumatta, s. 49

Kuva 27 SK3:n ylä- ja alatelan nippien painatusominaisuudet, s. 50

Kuva 28 SK4:n telasto ja calcoil-profilointipalkin sijainti, s. 51

Kuva 29 Online-opasiteetti, yläkiilto, alakiilto ja paksuus, Tapion transmissioprofiili, kiilto, kiilto 2 ja paksuus, s. 52

Kuva 30 Calcoilin tehoprofiili, Tapion transmissioprofiili, s. 53

Kuva 31 Kovuus superkalanteri 3 lajilla 9151, kr. 20853, s. 60

Kuva 32 Kovuuden ja paksuuden korreloituvuus superkalanteri 3 lajilla 9151, kr.20853, s. 60

Kuva 33 Kovuus superkalanteri 4 lajilla 9151, kr. 20854, s. 61

Kuva 34 Kovuuden ja paksuuden korreloituvuus superkalanteri 4 lajilla 9151, kr.20854, s. 61

Kuva 35 Paksuuden ja transmission korreloituvuus superkalanteri 3 lajilla 9151, s. 62

Kuva 36 Paksuuden ja transmission korreloituvuus superkalanteri 4 lajilla 9151, s. 62

Kuva 37 Superkalanteri 4:n online-opasiteetti vs. laboratoriossa mitattu, s. 63

Kuva 38 Superkalanteri 4:n laboratoriossa mitattu opasiteetti vs. Tapion transmissioprofiili, s. 63

## **TAULUKOT**

Taulukko 1 Kosteuden muutos koneen mukaan lajilla 7160, s. 35

Taulukko 2 Kosteuksien ero -% lajilla 7160 PPK3:n ja superkalanteroinnin jälkeen, s. 36

Taulukko 3 Kosteuden muutos koneen mukaan lajilla 9151, s. 38

Taulukko 4 Kosteuksien ero -% lajilla 9151 PPK3:n ja superkalanteroinnin jälkeen, s. 39

## **YHTÄLÖT**

Yhtälö 1 Kosteusprosentin laskentayhtälö, s. 31

## LÄHTEET

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. 1.-3. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Jokio, M. 1999. Papermaking Part 3, Finishing. Jyväskylä: Gummerus Printig.

Jäkälä, V. 2000. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Sähköinduktiivisen profilointilaitteiston hyödyntäminen superkalanterilla.

Komulainen, P. 1991. Kalanterointitekniikka. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu täydennyskoulutuskeskus. Paperitekniikan täydennyskoulutusohjelma.

Laboratorio, 2000. Kaukaan paperitehtaan toimintakäsikirja. Prosessitekniset käyttöohjeet.

Paperikoneet yleistä, 1999. Puusta paperiin M-502. 2. Muunnettu painos. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Pigmenttipäällystys, 1983. Puusta paperiin M-507. Myllykosken Kirjapaino Oy.

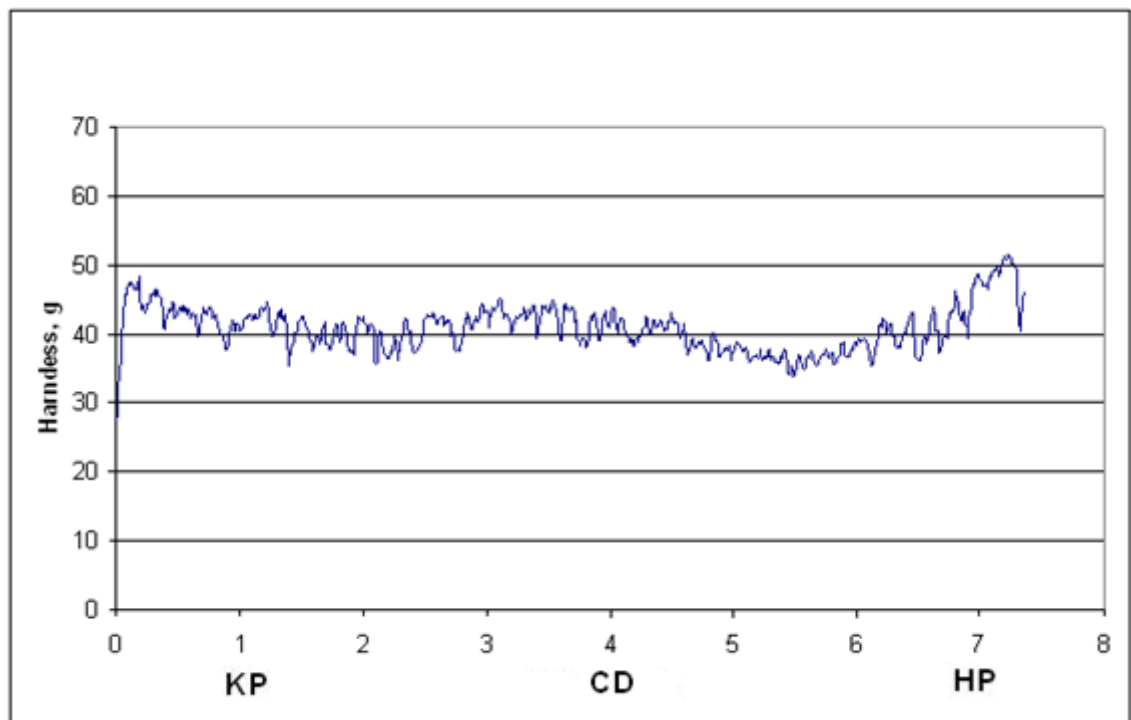
Pihkala, J. 1998. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 5.-6. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Päällystyskone 3, 2000. Kaukaan paperitehtaan toimintakäsikirja. Prosessitekniset käyttöohjeet.

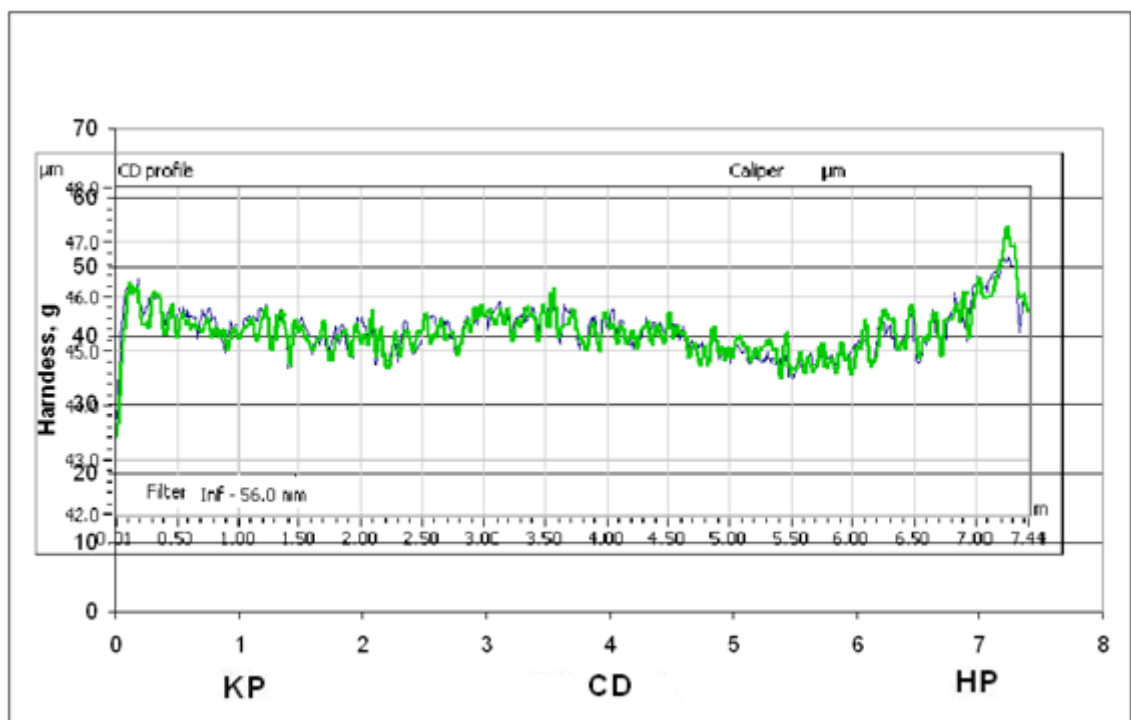
Superkalanterit 3 ja 4, 1995. Kaukaan paperitehtaan toimintakäsikirja. Prosessitekniset käyttöohjeet.

Superkalanteri 5, 1995. Kaukaan paperitehtaan toimintakäsikirja. Prosessitekniset käyttöohjeet.

Vuori, M. 1990. Diplomityö. Paperin profiilien ja eräiden superkalantereiden hallinta- ja rakennetöiden vaikutus superkalanterin telaprofiileihin ja SC-syväpainopaperin ominaisuuksiin.

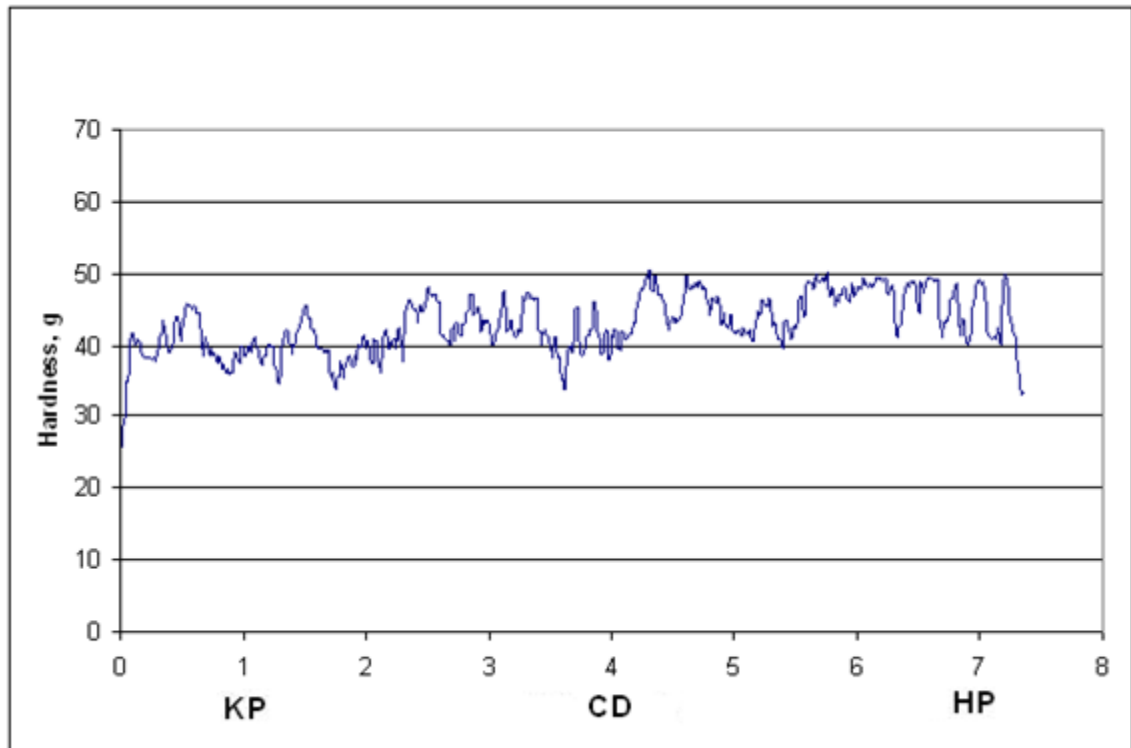


Kuva 31. Kovuus supercalanteri 3 lajilla 9151, kr. 20853.



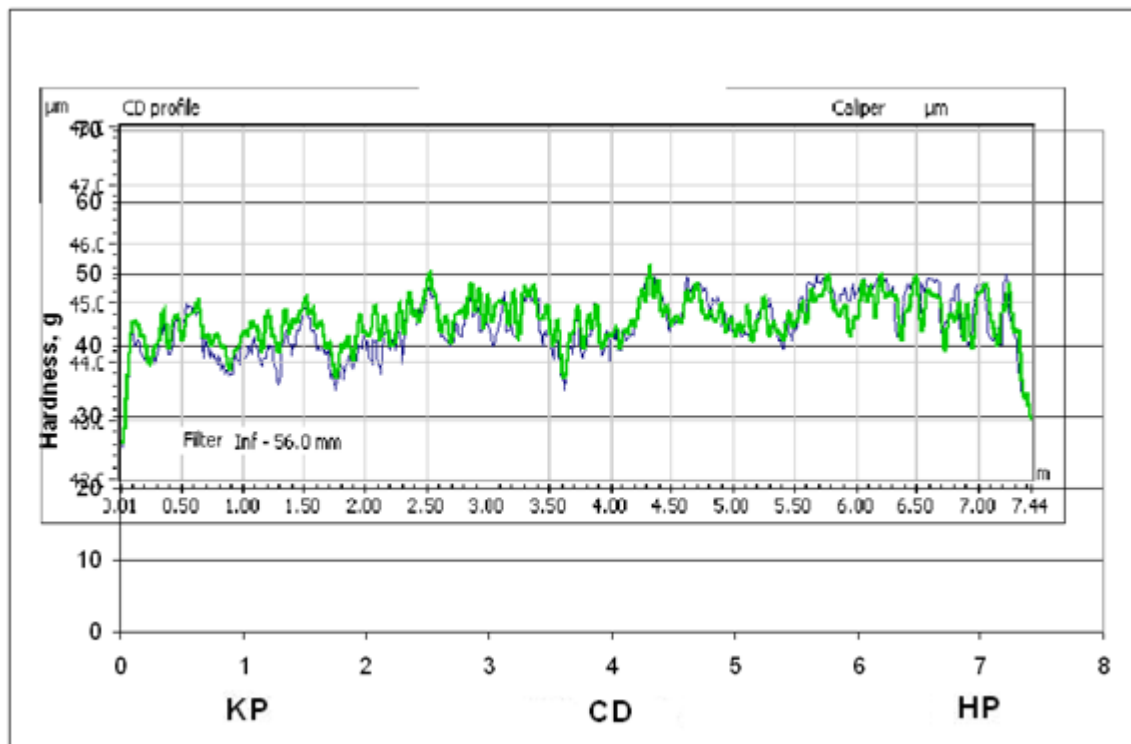
Kuva 32. Kovuuden ja paksuuden korreloituvuus supercalanteri 3 lajilla 9151, kr.20853.

10 g kovuudessa vastaa 1.2  $\mu\text{m}$  paksuudessa.



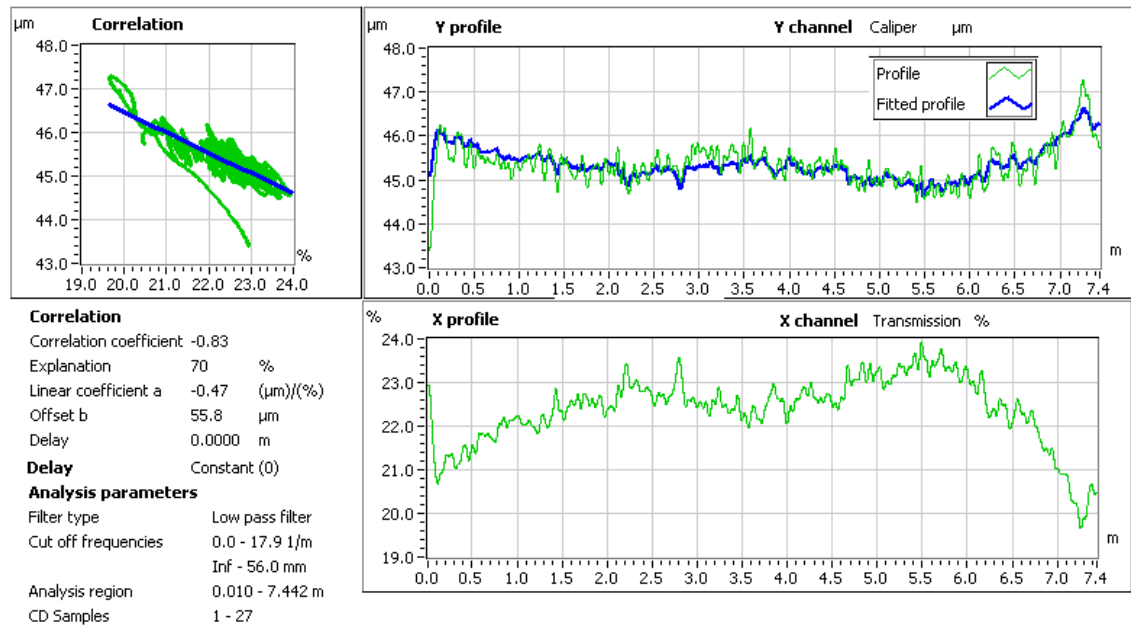
Kuva 33. Kovuus supercalanteri 4 lajilla 9151, kr. 20854.

10 g kovuudessa vastaa 1.2  $\mu\text{m}$  paksuudessa.



Kuva 34. Kovuuden ja paksuuden korreloituvuus supercalanteri 4 lajilla 9151, kr.20854

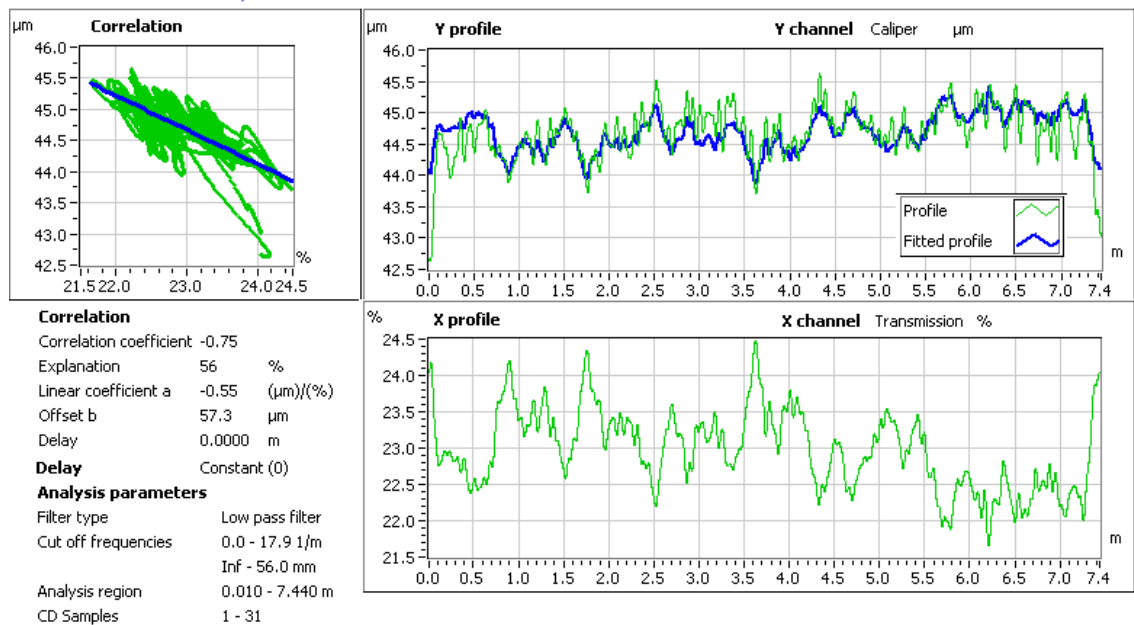
CD Correlation,  $Y=aX+b$



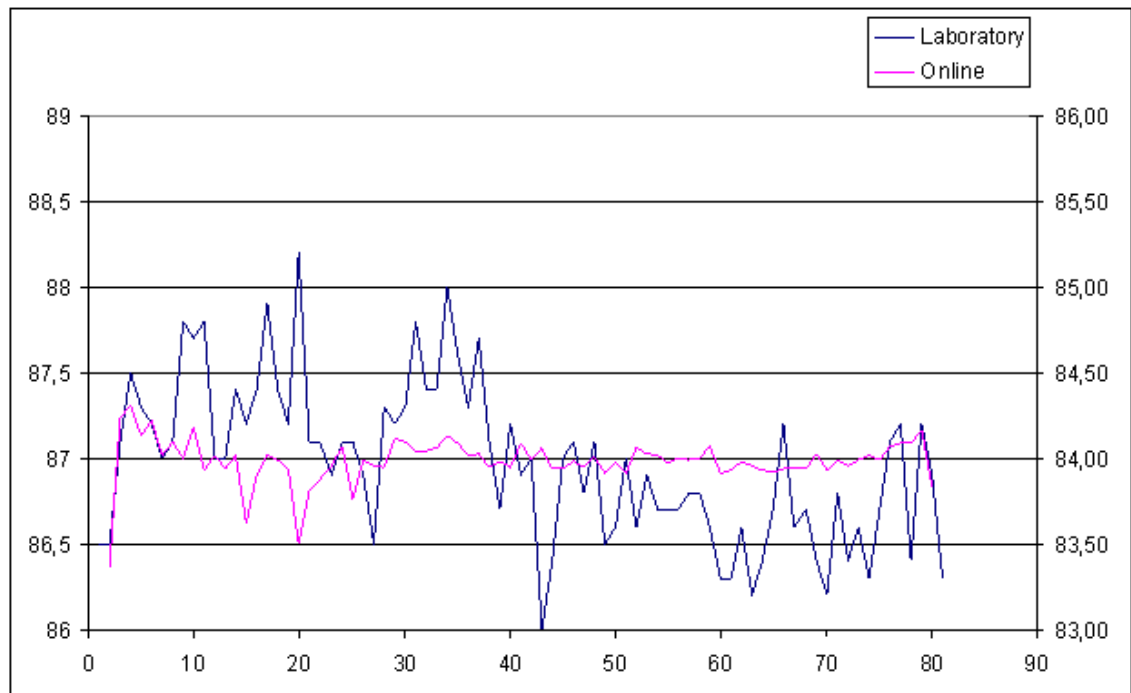
Kuva 35. Paksuuden ja transmission korreloituvuus supercalanteri 3 lajilla 9151.

1 % transmissiossa vastaa 0.5 μm paksuudessa.

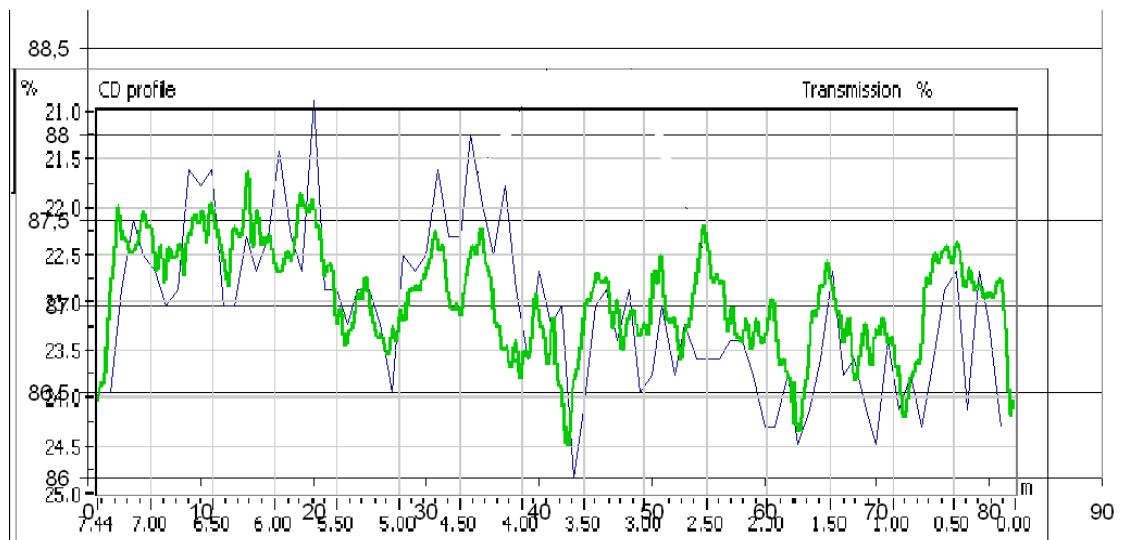
CD Correlation,  $Y=aX+b$



Kuva 36. Paksuuden ja transmission korreloituvuus supercalanteri 4 lajilla 9151.



Kuva 37. Superkalanteri 4:n online-opasiteetti vs. laboratoriossa mitattu opasiteetti.



Kuva 38. Superkalanteri 4:n laboratoriossa mitattu opasiteetti (vihreä) vs. Tapion transmissioprofiili (sininen).