

**LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO**  
Kemiantekniikan osasto  
Paperitekniikan laboratorio

Diplomityö  
**ERÄÄN HIENOPAPERIKONEEN PAKSUUSPROFIILIN HALLINTA**

Diplomityön aihe on hyväksytty kemiantekniikan osastoneuvoksen kokouksessa  
2.11.2005

Työn tarkastajat	Prof. Hannu Manner
	Yliass. Kati Ryösö
Työn ohjaajat	DI Klaus Jernström
	DI Pentti Putkinen

Kuusankoskella 24.5.2006

Teemu Pasi  
Ekholmintie 1A3  
45700 Kuusankoski

## **ALKUSANAT**

Tämä työ on tehty UPM-Kymmene/Kymin toimeksiannosta Kymin PK 7:lle 1.10.2005 – 24.5.2006. Työn ohjaajina toimivat vanhempi tutkija DI Klaus Jernström UPM-Kymmenen tutkimuskeskukselta ja tuotantopäällikkö DI Pentti Putkinen Kymiltä. Työn tarkastajana toimi professori Hannu Manner Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta. Kiitän teitä kaikkia työni aikana saamista ohjeista ja kannustuksesta.

Erityisesti osoitan kiitokseni UPM:n tutkimuskeskuksen tutkija TkT Mika Kososelle, joka omalla osaamisellaan ja panoksellaan auttoi merkittävästi tämän työn valmistumisessa.

Työn taustalla ovat vaikuttaneet myös UPM:n tutkimuskeskuksen tutkija DI Jani Jokiranta ja Kymin automaatio-osaston päällikkö Risto Jokinen. Haluan kiittää teitä työni aikana saamista neuvoista. Kymin PK 7:n aktiivinen henkilökunta auttoi minua kiitettävästi toimillaan työn toteuttamisessa.

Haluan myös kiittää kotijoukkojani heiltä saamasta tuesta ja kannustuksesta niin lopputyön kuin opiskelunkin aikana.

Kuusankoskella

24.5.2006

Teemu Pasi

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto

Kemiantekniikan osasto

Teemu Pasi

**Erään hienopaperikoneen paksuusprofiilin hallinta**

Diplomityö

2006

68 sivua, 26 kuvaa, 1 taulukko ja 11 liitettä

Tarkastajat: Professori Hannu Manner

Yliassistentti Kati Ryösö

Hakusanat: kalanterointi, karheus, paksuusprofiili ja poikkisuuntaiset profiilit

Keywords: calandering, CD profiles, profile of caliper and roughness

Työn kirjallisuusosassa perehdytään paperikoneen online-mittarien toimintaan, poikkisuuntaisten profiilien säätämiseen ja kalanterointiin. Työn tavoitteena oli löytää syyt erään hienopaperikoneen heikkoon paksuusprofiiliin ja siitä aiheutuvaan suureen rullahylkymäärään. Syytä heikkoon paksuusprofiiliin on haettu kalanterin, päällystysasemien ja laatusäätöjärjestelmän toiminnoista. Työssä on tutkittu myös karheusprofiilin vaikutusta paksuusmittaukseen.

Työssä löydettiin selvä yhteys paperin karheusprofiilin ja paperikoneen paksuusmittarin mittaaman paksuusprofiilin välille. Radan reuna-alueiden karheus suurentaa online-paksuusmittarin mittaustulosta. Karheusprofiili ei kuitenkaan vaikuta laboratoriomittareilla mitattuun paksuusprofiiliin. Paperikoneen online-paksuusmittarin mittausrvirhe on kompensoitava, jotta paperin todellinen paksuusprofiili saadaan suoraksi.

Työssä tehtyjen tutkimusten perusteella muodostettiin ajomalli, jolla ajettiin koeajojakso. Ajomallin päällimmäinen tarkoitus oli kompensoida paperikoneen online-paksuusmittarin mittausrvirhe. Koeajo onnistui hyvin. Koeajojakson profiilivioista johtuva rullahylyn määrä oli merkittävästi pienempi kuin referenssijakson profiilivioista johtuva rullahylyn määrä.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Department of Chemical Technology  
Teemu Pasi

### **Caliper Profile Control of a Fine Paper Machine**

Master's thesis

2006

68 pages, 26 figures, 1 table and 11 appendices

Supervisor Professor Hannu Manner

Senior assistant Kati Ryösö

Keywords: calendering, CD profiles, profile of calliper and roughness

In the theoretical part of this study it has been researched PM online measurement devices, controlling of cd profiles and calendering. The aim of the study was to find the reason for the poor caliper profile of a fine paper machine. Also the target for this work was to reduce the amount of the reel broke. The poor caliper profile is consequent upon either the calendering process, the function of the coating stations or the quality control system. This study also covers the effect of the roughness profile into the caliper measurement.

It was found that there is a clear connection between the roughness profile and the caliper online measurements. The roughness profile in the paper web edge area caused higher values in online measurements than which were actually measured in the laboratory. The roughness profile does not influence the caliper profile when it is measured by laboratory measuring equipments. The error of the caliper online measurement has to be compensated so that the real caliper profile is linear.

A plan for the trial run was made according to the research results. The main task of the plan was to compensate the incorrect value of the online caliper measurement device. The outcome of the trial run was good. The amount of the reel broke was significantly small than in the reference production run.

## SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO .....	1
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO .....	3
1. JOHDANTO .....	4
2. LAATUMITTAUS JA PROFIILIN MUODOSTUS .....	5
3. ONLINE-MITTARIT .....	7
3.1 Neliömassan mittaaminen .....	8
3.2 Vesimassan mittaaminen .....	9
3.3 Kuivamassa .....	10
3.4 Päälystemäärän mittaaminen .....	10
3.5 Paksuusmittaus .....	12
3.6 Muut laatumittaukset .....	14
4. PAPERIN POIKKISUUNTAISET SÄÄDÖT .....	14
4.1 Neliö- ja kuivamassasäätö .....	15
4.2 Kosteussäätö .....	16
4.3 Päälystemääräsäätö .....	17
4.4 Paksuussäätö .....	18
5. KALANTEROINTI .....	19
5.1 Kalanteroitumismekanismit .....	20
5.2 Kalanterointimuuttujat .....	21
5.2.1 Paperin plastisuus .....	21
5.2.2 Lämpötila ja kosteus .....	22
5.2.3 Viivakuorma ja nippien lukumäärä .....	23
5.2.4 Telojen pinnan karheus .....	23
5.2.5 Päälystyspasta .....	24
5.3. Softkalanterointi .....	25
6. KALANTERIN TELAT .....	26
6.1 Taipumakompensoidut telat .....	26
6.1.1 Profiilinsäätötelan vasteet .....	27
6.2 Termotelat .....	29
6.2.1 Termotelan reuna-alueen lämpötila .....	29
7. PAKSUUSPROFIILIHÄIRIÖT JA NIIDEN SEURAUKSET .....	30
7.1 Rullaviat .....	31
KOKEELLINEN OSA .....	33
8. KOKEELLISEN OSAN TAVOITTEET .....	33
9. MITTAUSMENETELMÄT .....	34
10. KARHEUSPROFIILIN MUODON KARTOITUS .....	35
11. KARHEUDEN VAIKUTUS ONLINE- PAKSUUSMITTAUKSEEN .....	38
11.1 Kovuusprofiili .....	42
12. KALANTEROINNIN VAIKUTUS PAKSUUSPROFIILIIN .....	46
13. PÄÄLLYSTYSASEMIEN VAIKUTUS PAKSUUSPROFIILIIN .....	48
13.1 Esipäälystys .....	49
13.2 Pintapäälystys .....	49
14. LAATUSÄÄTÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA .....	53
14.1 Päälystemääräsäätö .....	53
14.2 Paksuussäätö .....	54
14.3 Kosteus- ja kuivamassaprofiilien tarkastus .....	55

15. AJOMALLIN KEHITTÄMINEN .....	55
16. TULOKSET UUDELLA AJOMALLILLA .....	56
16.1 Tulosten luotettavuus .....	59
17. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	60
18. EHDOTUKSIA JATKOTOIMENPITEIKSI .....	63
LÄHDELUETTELO .....	65
LIITELUETTELO .....	68

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

$\sigma$ , s	keskihajonta
$\mu_{\text{Fe}}$	raudan permeabiliteetti
$\mu_{\text{pap}}$	paperin permeabiliteetti
A	rautasydämen poikkipinta-ala
$f_i$	frekvenssi
I	säteilyn jäännösintensiteetti
$I_0$	säteilylähteen intensiteetti
l	magneettivuon kulkema matka
m	paperin neliömassa
n	havaintoarvojen lukumäärä
$R_{\text{mkok}}$	magneettinen kokonaisvastus paperissa
$R_{\text{mFe}}$	magneettinen vastus kelassa
$R_{\text{mpap}}$	magneettinen vastus paperissa
s	anturipäiden välinen etäisyys
u	paperin $\beta$ - säteilyn absorptiokerroin
$x_i$	luokkakeskus
$\text{Am}^{243}$	americium
HP	hoitopuoli
KP	käyttöpuoli
$\text{Kr}^{85}$	krypton
L&W	Lorentzen&Wettre
$\text{Pm}^{147}$	prometium
RQP	Roll Quality Profiler
SB	styreeni-butadieeni
$\text{Sr}^{90}$	strontium

## 1. JOHDANTO

Painotöiden vaatimustaso on kasvanut vuosi vuodelta. Yhä vaativammat painotyöt nostavat myös paperin laatuvaatimuksia. Paperin on toimittava moitteettomasti painokoneessa. Jokaisen rullan pitää toimia samalla tavalla, jotta painotyöt saadaan tehtyä tehokkaasti ja kannattavasti. Yksikin viallinen rulla voi aiheuttaa suuria ongelmia painotalon tuotannossa. Kiristyneessä kilpailutilanteessa painajat vaativat yhä enemmän ja enemmän paperin toimittajilta.

Asiakkaiden vaatimuksien lisäksi tasalaatuinen paperi pitää valmistaa tehokkaasti ja kannattavasti. Tuotantotehokkuuden merkitys kasvaa vuosi vuodelta kovenevassa kilpailussa. Tämän vuoksi paperin valmistajat ovat joutuneet panostamaan voimakkaasti paperin laatuun ja profiilinsäätölaitteisiin. Tämän päivän paperikoneet on varustettu hyvin monipuolisilla laatusäätöjärjestelmillä. Nämä laatusäätöjärjestelmät auttavat paperinvalmistajia tehokkaan tuotannon ylläpitämisessä ja varmistavat osaltaan paperin tasalaatuisuuden.

Kymin paperikone 7 valmistaa kaksoispäällystettyä mattapintaista hienopaperia. Paperin käyttökohteita ovat mm. mainospainotuotteet, kirjat, erikoisaikakausilehdet, vuosikertomukset ja sanomalehtien liitteet. PK 7 on käynnistynyt vuonna 1970 ja se on uusittu vuosina 1989 ja 1996. Koneen nopeus on 1100 m/min ja sen tuotantokapasiteetti on 150 000 tonnia vuodessa. PK 7:ään on investoitu viime vuosina useita poikkisuuntaisen profiilin säätölaitteita. Koneeseen on asennettu 2000 luvun alussa uusi höyrylaatikko, päällystysasemille päällysteprofiilin säätölaitteet sekä paksuuden säätöä varten kalanterille induktiokuumennin.

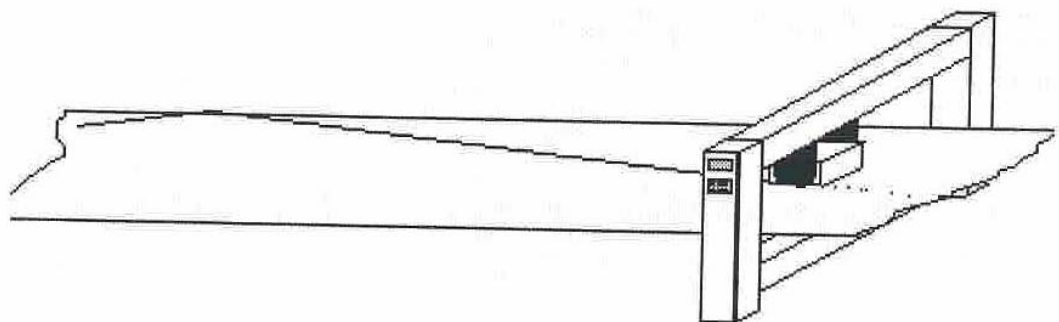
Näistä uusista investoinneista huolimatta koneella on vakava profiiliongelman. Loppusyksystä 2005 tehdyn selvityksen mukaan profiilihylkyä aiheutuu paksuusprofiilin heilahtelun johdosta. Tehdyn selvityksen mukaan paperin paksuusprofiilin muutokset johtuvat kalanteroinnista. Paperin paksuusprofiili on tasainen ennen kalanteria, joskin radan reunat ovat paksummat kuin kalanteroimattomassa paperissa onkin. Kalanteroinnin jälkeen paperin reuna-alueilla esiintyy usean mikrometrin heittoja.



Tässä työssä perehdytään paperin laatuominaisuuksien mittaamiseen ja säätämiseen sekä paperin kalanteroimiseen. Työn kokeellisessa osassa etsitään syitä PK 7:n huonoon paksuusprofiilin hallintaan sekä ratkaisua tähän ongelmaan. Paksuusprofiilin paremman hallinnan avulla pyritään vähentämään myös profiilivioista johtuvan rullahylyn määrää. Paksuusprofiilin ongelmia on etsitty kalanterin, laatusäätöjärjestelmän ja päällystysasemien toiminnasta. Työssä on tutkittu myös karheusprofiilin vaikutusta paksuusprofiilimittaukseen.

## 2. LAATUMITTAUS JA PROFILIN MUODOSTUS

Paperin laatuominaisuuksia mitataan paperiradan yli kulkevalla mittavaunulla. Mittavaunu koostuu ala- ja yläpuolisista osista, joiden välissä paperirata kulkee. Mittavaunuun on sijoitettu mitta-anturit. Mitta-antureiden ikkunoiden halkaisijat ovat suuruudeltaan 10 – 20 mm. Antureiden ikkunoiden koko vaikuttaa osaltaan mittauksen suorituskykyyn. Paperista irtoaa ajon aikana pölyä, mikä likaa mittapäitä. Mittapäitä pidetään puhtaana ajon aikana ilmapursotuksella. Mittapalkki on tärkeä osa laatusäätöjärjestelmää. Palkin on pysyttävä stabiilina vaihtuvissa prosessiolosuhteissa. Mittakelkan ala- ja yläpuolen kohdistuksen on pysyttävä paikoillaan, jotta saadaan luotettava ja tarkka mittaustulos. Kuvassa 1 esitetään mittavaunun liikkuminen paperiradan yli. /1, 2/



Kuva 1. Mittavaunu liikkuu paperiradan yli kohtisuorasti. Mittaustietoa saadaan diagonaaliselta linjalta, koska paperirata liikkuu myös kaiken aikaa. /2/

Mittaustietoon sisältyvä konesuuntainen ja poikkisuuntainen vaihtelu sekä jäännösvaihtelu pitää pystyä erottamaan toisistaan, jotta laatusäätöjärjestelmä

toimii tehokkaasti. Laatusäätöjärjestelmä käsittelee näitä kaikkia kolmea komponenttia erillään ja eri tavalla. /1/

Paperiradasta saadaan mittaustieto diagonaaliselta linjalta. Koneen ja mittavaunun nopeuden erosta muodostuu kulma, jonka mukaan radan ylitys tapahtuu. Traversoinnin aikana tuotteesta saadaan mitattua noin 0,4 %. Tästä mittaustiedosta lasketaan algoritmien avulla kone- ja poikkisuuntainen profiili. /1, 2/

Mittaustapahtumassa mitta-anturi saa laatusuureeseen verrannollisen analogiasignaalin, joka vahvistetaan. Mittaussignaalia suodatetaan suurien häiriötaajuuksien poistamiseksi. Tämän jälkeen suodatettu mittaussignaali muutetaan binääriseen muotoon ja säilytetään pitopiirin avulla. Mittaussignaalia säilytetään pitopiirissä, kunnes saadaan seuraava näyte. Näytteet kerätään näytepuskuriin. Näytepuskuriin kerätään mittaustietoa ennalta aseteltu määrä. Kerättävä määrä vastaa yleensä mittauskaistan leveyttä poikkisuunnassa. Näytepuskurin täytyttyä lasketaan mittausten keskiarvo. Nämä keskiarvomittauksien tulokset kootaan puskurimuistiin, josta ne siirretään laatumittausjärjestelmään. /2/

Kone- ja poikkisuuntaiset profiilit esitetään ominaan laatusäätöjärjestelmässä. Konesuuntainen profiili piirretään yleensä koordinaatistoon, jossa X-akselina on aika ja Y-akselina mitatun suureen arvo. Poikkisuuntainen profiili näytetään koneen leveydeltä. X-akseli jaetaan yleensä mittauskaistojen leveyden mukaisiin palasiin. Poikkisuuntaan mitatusta profiilista kohdennetaan myös säätöprofiili toimilaitteille. Tällöin X- akseli muodostetaan toimilaitteiden levyisistä palasista. Säätöprofiilinäyttöön operaattori tekee haluamansa profiilin muodon. Näytöllä esitetään tämä tavoiteprofiili ja mitatusta profiilista muodostettu säätöprofiili.

Laatusäätöjärjestelmissä käytössä oleva poikkisuuntaisten profiilien tasaisuuden kuvaaminen perustuu keskiarvohajonnan laskemiseen. Keskiarvohajonta 2-sigma kuvaa kuinka havaintoarvot sijoittuvat keskiarvoon nähden.  $2\sigma$  kertoo myös sen, että 95 % havaintoarvoista on vaihteluvälin  $\pm 2\sigma$  sisällä. Keskiarvohajonnan mittayksikkönä käytetään mitattavan suureen mittayksikköä. Keskiarvohajonta voidaan laskea kaavan 1 mukaan. /3/

$$2s = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum f_i x_i^2 - \frac{(\sum f_i x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (1)$$

jossa,

$f_i$	frekvenssi
$x_i$	luokkakeskus
$n$	havaintoarvojen lukumäärä

### 3. ONLINE-MITTARIT

Paperin laatua ei voida mitata suorasti online-mittareilla. Laatusuureiden mittaamisessa joudutaan yleensä turvautumaan epäsuoriin mittaamenetelmiin. Yleisimmin mittaamenetelminä käytetään radioaktiivisen  $\beta$ - tai  $\gamma$ - säteilyn absorptioon (neliömassa), infrapunavalon absorptioon (vesimassa ja päällystemäärä) ja magneettipiirin reluktanssin (paksuus) mittaamista. /2/

Online-antureilta vaaditaan hyvää stabiilisuutta ja mekaanista kestävyyttä vaihtelevissa prosessiolosuhteissa. Antureiden on oltava helposti huollettavia ja pienikokoisia. Antureissa on itsediagnostiikkaa ja runsaasti signaalin käsittelymahdollisuuksia. Siksi niitä voidaan pitää älykkäinä. Anturit vaativat kuitenkin huoltoa ja säännöllistä tarkkailua. /2/

### 3.1 Neliömassan mittaaminen

Neliömassan mittaaminen on tärkein yksittäinen laatumittaus paperikoneella. Neliömassan mittaaminen perustuu radioaktiivisen  $\beta$ - tai  $\gamma$ -säteilyn absorptioon mittaamiseen. Rainan läpi lähetetystä säteilystä osa absorboituu kuituihin, täyteaineisiin ja päällysteeseen. Säteilyn absorboitunut osuus on verrannollinen neliömassaan. Paperin läpi mennyt jäännössäteily mitataan ilmaisimella. /2/

Jäännössäteilyn ilmaisimena käytetään ionisaatiokammiota. Kammiossa on ionisaation mittauselektrodi ja sinne johdetaan sähkövirta. Ilmaisimelle joutuneet elektronit aiheuttavat siellä ionisoitumisen. Kammiossa olevan sähkökentän johdosta ionisoitumiseen verrannollinen sähkövirta kulkeutuu elektrodille. Nanoampeerialueella oleva mittausviesti johdetaan vahvistimelle ja suodatetaan. Analogi-digitaalimuunnoksen jälkeen saadaan neliömassaan verrannollinen signaali. Vastaanottimena toimiva ionisaatiokammio havaitsee jäännösintensiteetin Beerin lain mukaisesti. /1, 2/

$$I = I_0 e^{-um} \quad (2)$$

jossa,

I	säteilyn jäännösintensiteetti
$I_0$	säteilylähteen intensiteetti
u	paperin $\beta$ - säteilyn absorptiokerroin
m	paperin neliömassa

Säteilyn jäännösintensiteetti on kääntäen verrannollinen paperin neliömassaan. Suurilla neliömassoilla vastaanotindetektorilla saa pienen jäännösintensiteetti-signaalin. Neliömassamittareissa käytetään säteilylähteinä kryptonin ( $\text{Kr}^{85}$ ), strontiumin ( $\text{Sr}^{90}$ ), prometiumin ( $\text{Pm}^{147}$ ) ja americiumin ( $\text{Am}^{243}$ ) radioaktiivisia isotooppeja. /1, 2/

### 3.2 Vesimassan mittaaminen

Paperin vesimassan mittaamiseen on käytettävissä useita menetelmiä. Käytetyin menetelmä perustuu infrapunavalon absorptioon. Muita menetelmiä ovat resistiivinen mittausta, kapasitiiviset menetelmät ja mikroaaltomittaus. /2, 4/

Infrapunakosteusanturit perustuvat veden molekyylien aiheuttamiin resonanssi-värähtelyihin. Nämä värähtelyt näkyvät infrapuna-alueen absorptiospektrissä. Mittauksessa infrapunavaloa kohdistetaan paperirainaan. Vedelle herkkä osa valosta absorboituu paperiin ja vedelle epäherkkä osa heijastuu takaisin tai menee paperin läpi. Absorboituva osuus on verrannollinen paperin vesimäärään. Mitä enemmän valoa absorboituu, niin sitä märempiä paperi on. /2/

Kosteusanturissa mitataan valon intensiteetin muutoksia. Mittauksessa käytetään vedelle herkkää aallonpituutta ja vertailuaallonpituutta, jota vesi ei absorboi. Taajuudet saadaan aikaan suodattimilla. Mittauksessa käytettävät aallonpituudet käyttäytyvät muiden paperin raaka-aineiden kanssa samalla tavalla. Vesipitoisuus määritetään mittaus- ja vertailutaajuuksilla vastaanotettujen intensiteettien suhteesta. /2/

Kosteusprosentti saadaan laskettua, kun mitataan paperin neliömassa ja vesimassa. Kosteusprosentti saadaan laskettua yhtälön 3 mukaisesti. /5/

$$\text{kosteus \%} = \frac{\text{vesimassa}}{\text{neliömassa}} * 100\% \quad (3)$$

Paperin kosteudella tarkoitetaan paperin vesimolekyylien suhteellista massaprosenttiosuutta (%) kokonaismassasta. /2/

Metso on tuonut markkinoille 2000 luvun alussa IQ-Insight -kosteusmittarin. Tämä mittari mittaa koko radan leveydeltä vesimassan sekä kone- että poikkisuunnassa. Mittaraami kiinnitetään alkukuivatusosalle 1. kuivatusryhmään vac - sylinteriä vasten. Vesimassa mitataan, kun rata kulkee vac - sylinterin

pinnalla. Mittaaminen perustuu infrapunatekniikkaan niin kuin traversoivissakin kosteusmittareissa. Mittari ottaa korkearesoluutioisia ja korkeataajuisia kuvia paperiradan vesimassasta. Usean mittauspisteen ja suuren mittausnopeuden takia tällä menetelmällä saadaan radasta mitattua paljon suurempi osuus kuin perinteisellä traversoivalla mittarilla. /6/

### **3.3 Kuivamassa**

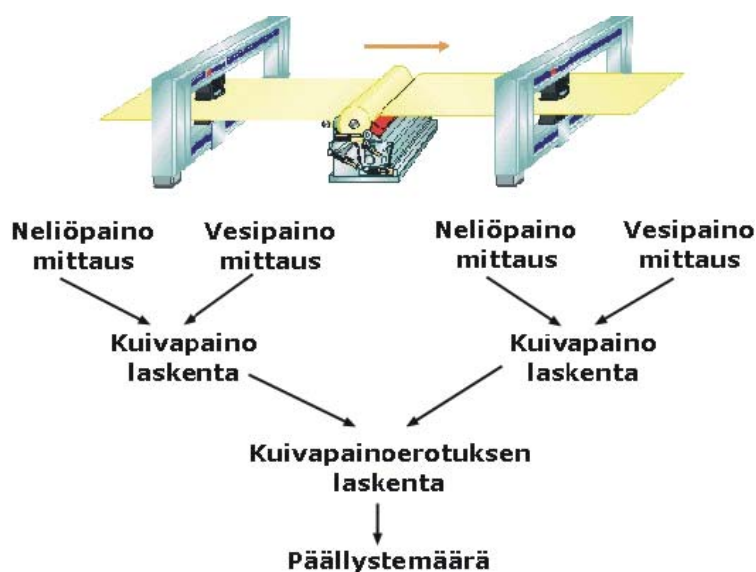
Kuivamassa on laskennallinen suure. Se saadaan laskettua, kun mitataan paperin neliömassa ja kosteus. Kuivamassa saadaan laskettua yhtälön 4 mukaisesti. /7/

$$\text{kuivamassa} = \text{neliömassa} - \text{vesimassa} \quad (4)$$

### **3.4 Päälystemäärän mittaaminen**

Päälystemäärän mittaaminen voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Käytetyin menetelmä on päälystysaseman molemmin puolin laskettujen kuivamassojen erotuksesta laskettu päälystemäärä. Muita vaihtoehtoja ovat tuhkaeron mittaaminen, röntgenfluoresenssimenetelmä ja infrapuna-absorptio. Suora päälystemäärän mittaaminen infrapuna-absorptiolla on yleistymässä. /1, 4/

Kuivapainomenetelmällä mitattu päälystemäärä saadaan neljän mittauksen laskennallisena tuloksena. Menetelmässä mitataan kuvan 2 mukaan neliömassa ja kosteus ennen ja jälkeen päälystysaseman. /4/



Kuva 2. Kuvassa esitetään päällystemäärän mittaamisen periaate kuivapainomenetelmällä. /4/

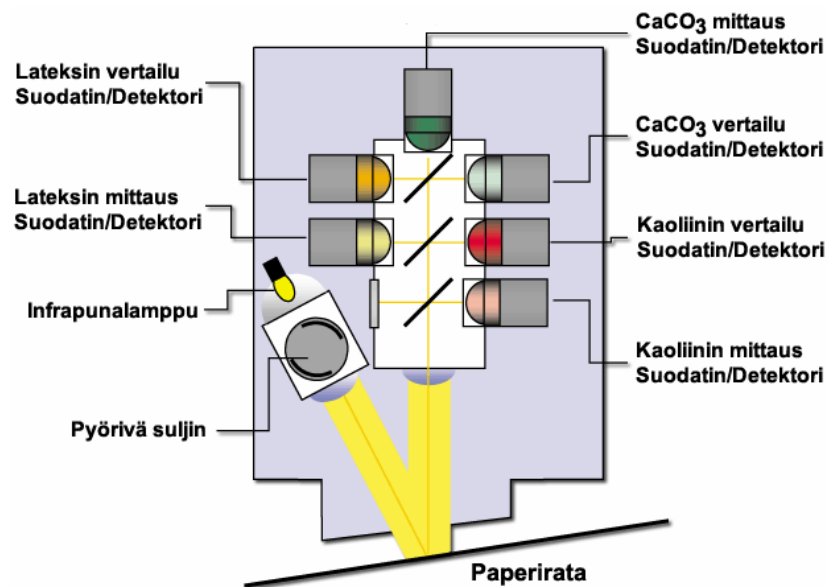
Mittaustulos on siis neljän anturin mittauksista laskettu arvo. Usean anturin käyttäminen lisää mittauksen epävarmuutta. Menetelmän etuna on sen yksinkertaisuus ja riippumattomuus pastareseptistä. /4/

Tuhkamittausta voidaan myös hyödyntää päällystemäärämittauksessa. Menetelmässä ei mitata absoluuttista tuhkamäärää vaan gammasäteilyn intensiteetin vaimenemista päällystysaseman molemmin puolin. Mittaustulokseen liittyy myös kosteusmittaus. Se ei kuitenkaan ole laskenta-algoritmissa mukana koko painoarvolla. /4/

Päällystemäärän suora mittaaminen perustuu joko infrapuna-absorption tai röntgenfluoresenssin mittaamiseen. Röntgenfluoresenssimenetelmässä mitataan atomin viritystilan muutoksen aiheuttamaa fluoresenssisäteilyä. Käytetympi suora päällystemäärän mittaamenetelmä on myös kosteuden mittaamisessa käytetty infrapuna-absorption mittaaminen. Tässä menetelmässä mitataan kunkin pastakomponentin infrapuna-absorptiota. Kun tunnetaan pastaresepti, niin voidaan laskea päällysteen kokonaismäärä. /4/

Mittauksessa paperirataan kohdistetaan infrapunavalo. Valo heijastuu radasta takaisin. Ilmaisimessa on jokaiselle mitattavalle aineelle oma detektori. Ilmaisimessa on myös vähintään yksi referenssidetektori. Jokainen detektori on

varustettu kaistanpääsuodattimella, joka päästää lävitseen vain mitattaville päällystyskomponenteille ominaisia aallonpituuksia. Kuvassa 3 esitetään infrapuna-absorptioon perustuvan päällystemäärämittarin toimintaperiaate. /4/



Kuva 3. Kuvassa esitetään päällystemäärän mittaamisen periaate infrapuna-absorptioon avulla. /4/

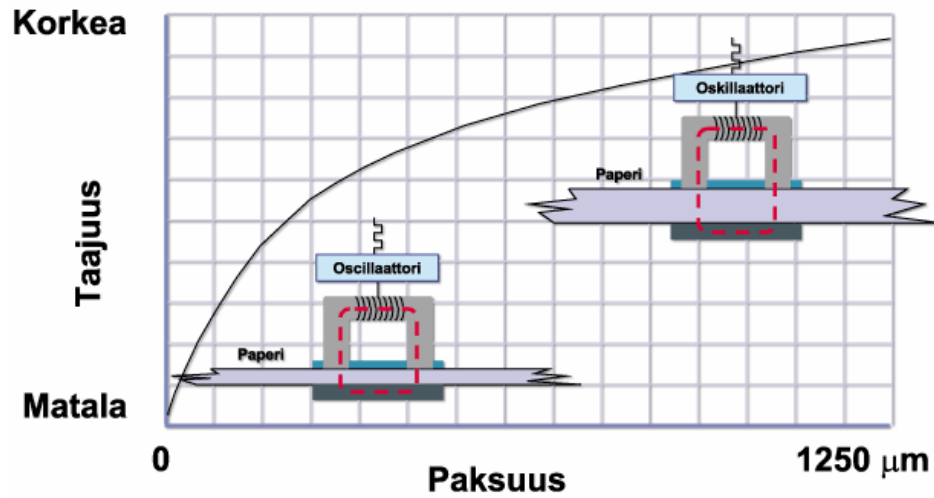
Päällystemäärä voidaan mitata myös transmissiomenetelmällä. Sen erona heijastusmenetelmään on se, että ilmaisimien on radan toisella puolella. Päällystemäärän suorassa mittaamisessa ei tarvita kuin yksi mittari. Suoralla mittaamenetelmällä saadaan erotettua eri puolten päällystemäärät, jos molemmat puolet päällystetään samanaikaisesti. Suoran mittaamenetelmän haittapuolena on sen sidonnaisuus pastareseptiin. /4/

### 3.5 Paksuusmittaus

Paksuuden mittaaminen perustuu sähkömagnetismiin. Anturipäät sijaitsevat paperin molemmilla puolilla. Toinen tai molemmat anturit koskettavat paperirataa. Mittarin rautasydämen ympärille käämityksessä kelassa kulkee sähkövirta. Antureiden etäisyyden muuttuessa muuttuu magneettipiirin reluktanssi (kuva 4).

/2/





Kuva 4. Kuvassa esitetään oskillaattorin taajuuden muutos paperin paksuuden muuttuessa. /4/

Magneettinen kokonaisvastus paksuusanturin kelassa ja paperissa voidaan laskea yhtälön 5 mukaan. /2/

$$R_{\text{mkok}} = R_{\text{mFe}} + R_{\text{mpap}} = \frac{l - 2s}{\mu_{\text{Fe}} A} + \frac{2s}{\mu_{\text{pap}} A} \quad (5)$$

jossa,

$R_{\text{mkok}}$	magneettinen kokonaisvastus paperissa
$R_{\text{mFe}}$	magneettinen vastus kelassa
$R_{\text{mpap}}$	magneettinen vastus paperissa
$l$	magneettivuon kulkema matka
$s$	anturipäiden välinen etäisyys
$A$	rautasydämen poikkipinta-ala
$\mu_{\text{Fe}}$	raudan permeabiliteetti
$\mu_{\text{pap}}$	paperin permeabiliteetti

Paksuusmittauksen ongelmana on koskettava mitta-anturi. Paperissa olevat viat esimerkiksi likatäplät tai pienet reiät voivat korostua, kun paksuusmittari koskettaa niihin ylittäessään rataa. Pahimmassa tapauksessa tästä voi aiheutua ratakatko.

Laitetoimittajat ovat kehittäneet myös koskettamatonta paksuusmittaria. Se perustuu lasertekniikkaan. Honeywell on ainakin tuonut jo markkinoille oman versionsa tästä mittaustuloksesta. /8/

### **3.6 Muut laatumittaukset**

Muita laatumittauksia, joita voidaan mitata online- mittareilla, ovat tuhkapitoisuus, paperin optiset ominaisuudet, kuituorientaatio, formaatio, sileys ja kiilto. Paperin optisten ominaisuuksien mittaaminen on tärkeää lopputuotteen laadun kannalta. Tuhkapitoisuuden mittaaminen on myös tärkeää, sillä tuhkapitoisuudella on vaikutusta myös paperikoneen ajettavuuteen. Sileys ja kiilto mittareita käytetään erityisesti superkalantereilla. /2, 4/

## **4. PAPERIN POIKKISUUNTAISET SÄÄDÖT**

Paperin laadun tasaisuuteen vaikutetaan poikkisuuntaisilla säädöillä. Mittavaunu kulkee radan poikki mittapalkkia pitkin ja mittapäät mittaavat kaiken aikaa paperin eri laatuominaisuuksia. Mittauksista lasketaan algoritmien avulla poikkiprofiili. Mittaustietoja joudutaan suodattamaan, jotta huonot mittaustulokset saadaan suljettua pois. Tätä saatua poikkiprofiilia verrataan haluttuun tavoiteprofiiliin. Laatusäätöjärjestelmä pyrkii pitämään toimilaitteiden avulla profiilivirheen mahdollisimman pienenä. /9/

Säädön toiminnassa joudutaan kompromissiin, kun halutaan reagoida nopeasti muuttuviin tilanteisiin mutta ei haluta reagoida epäilyttäviin mittaustuloksiin. Epäilyttävien mittaustulosten vaikutusta vähennetään suodatuksella. Jos suodatus jätetään pois tai se on liian vähäistä, niin säätöprofiili muuttuu kaiken aikaa. Tämä johtaa toimilaitteiden huojumiseen, kun ne yrittävät korjata alati muuttuvaa profiilia. /9, 10/

Säätöliikkeet eivät vaikuta ainoastaan vain omaan laatusuureeseensa. Esimerkiksi kosteusprofiilissa tapahtuva muutos näkyy myös neliömassaprofiilissa. Tämän

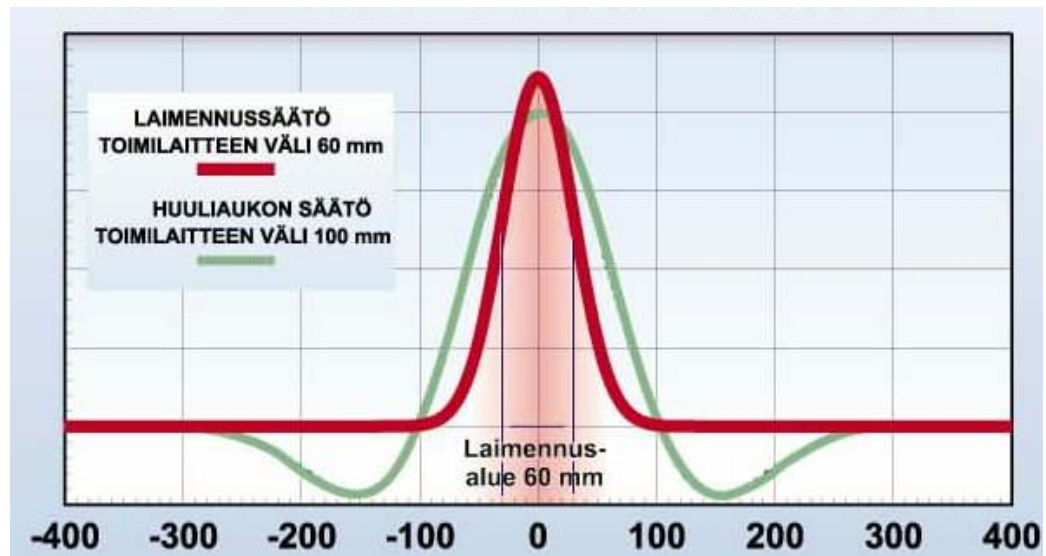
vuoksi kaikkien profiilien tulee olla mahdollisimman tasaisia, jotta lopputuotteesta saadaan paras mahdollinen. /9/

#### **4.1 Neliö- ja kuivamassasäätö**

Neliömassan konesuuntainen säätäminen suoritetaan massan määrällä. Massan määrää voidaan säätää neliömassaventtiilillä tai muuttamalla perälaatikon syöttöpumpun kierrosnopeutta.

Poikkisuuntainen säätäminen tehdään kuivamassaprofiilin perusteella. Kosteuden vaikutusta ei huomioida. Kuivamassaprofiilia voidaan säätää perälaatikon huuliaukkoa tai massan sakeutta muuttamalla. Huuliaukon säätämiseen käytetään säätökaroja, jotka on kiinnitetty tasaisin välein ylähuuleen. Säätökarojen toiminta perustuu askelmoottoriin, lämpösauvaan tai hydraulikkaan. Sakeuden säätäminen suoritetaan laimennusvesiventtiileillä, jotka laimentavat massan paikallisesti perälaatikon lähestymisputkistossa. /4, 9, 11/

Huuliaukkoa säädettäessä vaikutetaan kuivamassaprofiilin lisäksi myös kuituorientaatioon. Massan poikittainen virtausnopeus muuttuu, kun huuliaukkoa muutetaan paikallisesti. Tämä vaikuttaa kuitujen orientoitumiseen. Lisäksi huuliaukkosäädössä vaste ei ole niin terävä kuin laimennusvesisäädössä. Huuliaukkosäädössä yhden toimilaitteen liike vaikuttaa selvemmin myös viereisten toimilaitteiden alueelle. Kuvassa 5 esitetään laimennusvesiventtiilin ja säätökaran vasteet. /11/



Kuva 5. Kuvassa on esitetty laimennusvesiventtiilin ja säätökaran vasteen erot. Kapea ja terävä vaste on laimennusvesiventtiilin vaste. Leveämpi ja aaltoileva vaste on huuliaukon säätökaran antama vaste. /4/

Laimennusvedellä säädettäessä kuivamassaprofiilia voidaan huuliaukko pitää suorana, tällöin ei vaikuteta kuituorientaatioon. Laimennusvesisäätö antaa mahdollisuuden säätää myös kuituorientaatioprofiilia. Kuituorientaatioprofiilin säätämiseen voidaan käyttää huuliaukkoa, kun kuivamassaprofiili säädetään laimennusvedellä. Laimennusvesisäätö antaa terävemmän vasteen kuin huuliaukkosäätö, koska laimennusvesiventtiilit saadaan aseteltua tiuhemmalla jaolla kuin huuliaukon säätökarat. Laimennusvesiventtiilien huulikaroja tiuhempi toimilaittejako vaatii toimiakseen tarkempaa poikkisuunnan mittausresoluutiota. /9, 11/

#### 4.2 Kosteussäätö

Paperin loppukosteuden säätämiseen käytetään useita eri laitteita ja prosessivaiheita. Veden poisto aloitetaan heti perälaatikon jälkeen viiraosalla. Tämän jälkeen vettä poistetaan puristinosalla ja lopuksi kuivatusosalla. Paperin kosteusprofiilin vaihtelu voi johtua useista eri syistä. Kuivatusosan lämpötilan ja kosteuden pitää olla tasainen koko radan leveydeltä, jotta paperi saadaan kuivattua tasaisesti. Sylinterien pintalämpötilan vaihtelut voivat johtua lauhteenpoisto-ongelmista tai sylinterien pintojen likaantumisesta. Kuivatusosan taskujen kosteustason muutokset johtuvat heikosta taskutuuletuksesta. /12/

Poikkisuuntaisen kosteusprofiilin säätämiseen käytetään höyrylaatikkoa, infrakuivaimia, puristinosan telojen vinokuormia ja bombeerauksia sekä kuivatusosalla puhalluslaatikoita. Paperi voidaan myös kostuttaa paikallisesti uudelleen höyryn tai veden avulla. Kostutusta käytetään lähinnä lisäämään paperin kalanteroitavuutta superkalanteroinnissa. Höyrylaatikolla kuumennetaan rataa halutusta kohtaa ja parannetaan puristinosalla tämän kohdan vedenpoistoa. Kuuma höyry laskee veden viskositeettia ja parantaa sitä kautta mekaanista vedenpoistoa. Höyrylaatikon käyttö vähentää myös höyrynkulutusta kuivatusosalla. Puhalluslaatikon avulla voidaan säätää kuivatusosan taskujen kosteustasoa. Tämä säätö on hyvin karkeaa ja sillä voidaan vaikuttaa vain hyvin leveän alueen kosteusmuutoksiin. /9, 12/

Automaattinen kosteussäätö ohjaa yleensä höyrylaatikon että infrakuivaimien toimilaitteita. Puristinosan kuormia ja telojen bombeerauksia ohjataan yleensä käsisäädöllä. Operaattorit käyttävät tietysti mitattua kosteusprofiilia apuna tässä työssä. Paperin kosteusprofiili on kuivatusosan jälkeen hyvin pitkälti samanmuotoinen kuin kuivatuksen alussa. Kosteusprofiili on useimmiten neliömassaprofiilin kaltainen. /12/

### **4.3 Päällystemääräsäätö**

Päällystemäärän säätö tehdään suurkulmapäällystyksessä teräpaineen avulla. Pienkulmapäällystyksessä päällystemäärää säädetään teräkulmaa muuttamalla. Suurkulmapäällytys on käytetympi päällystysmenetelmä. Tässä menetelmässä päällystemäärään vaikuttaa teräpaineen lisäksi teräkulma ja koneen nopeus. /9, 13/

Päällysteen poikkisuuntaisen vaihtelu voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, joille kaikille on olemassa korjaustapa. Päällystemäärä voi olla vino koko radan läpi. Tällaisessa tapauksessa teräpalkki on vinossa. Se suoristetaan kuormitustunkkien avulla. Toinen mahdollinen profiilivirhe on kaareva tai kupera päällysteprofiili. Tällaisessa tapauksessa teräpalkki on taipunut. Teräpalkin taipumaa kontrolloidaan lasermittauksella, joka ohjaa palkin lämpötilansäätöjärjestelmää. Uusimmissa teräpalkeissa on myös paineilmatyynyt, joiden avulla pidetään

teräpalkki suorana. Kolmas pääluokka on satunnainen päällysteprofiilin vaihtelu. Tätä vaihtelua kontrolloidaan terää paikallisesti painavien karojen avulla. Laatusäätöjärjestelmä ohjaa päällystemäärän mittauksen pohjalta profiilin-säätökaroja. /13/

#### **4.4 Paksuussäätö**

Paperin paksuutta säädetään kalanterilla. Paperin konesuuntaiseen paksuuteen vaikutetaan muuttamalla kalanterin kuormitusta tai telojen lämpötilaa. Kuormituksen säätö on käytetympi tapa, koska sen vaste on huomattavasti nopeampi kuin lämpötilamuutoksen vaste. Myös telojen materiaalilla on vaikutusta kalanterointitulokseen. Kova nippi kalanteroi paperia enemmän kuin pehmeä nippi. Puristinosalla tapahtuvalla puristamisella on myös vaikutusta paperin paksuuteen. /14/

Kalantereihin on saatavana erilaisia toimilaitteita paperin poikkisuuntaisen paksuuden hallitsemiseksi. Vyöhykesäädetyillä teloilla voidaan säätää loivaa paksuusvaihtelua. Uusimmilla vyöhykesäädetyillä teloilla voidaan korjata paperin paksuusvaihtelua joidenkin tutkimusten mukaan yhtä hyvin kuin ulkoisilla säätölaitteilla. Ulkoiset säätömenetelmät pystyvät kuitenkin korjaamaan epäsäännöllistä ja terävää paksuusvaihtelua vyöhykesäädetyjä teloja paremmin. Ulkoiseen säätöön käytetään kalanterin telan tai telojen lämpötilan muuttamista paikallisesti. Kalanterin telaa kuumennetaan tai jäädytetään halutusta kohtaa. Lämpötilamuutoksella vaikutetaan telan halkaisijaan ja sen myötä nippipaineeseen. Lämpötilan muutos voidaan tehdä ilman avulla tai induktiomenetelmällä. Ilmalla voidaan joko lämmittää tai jäädyttää telan pintaa. Induktiomenetelmällä lämmitetään telaa paikallisesti. Induktiomenetelmän vaste on huomattavasti nopeampi kuin kuuman tai kylmän ilman mutta sekään ei ole niin nopea kuin vyöhykesäädetyin telan vaste. /14/

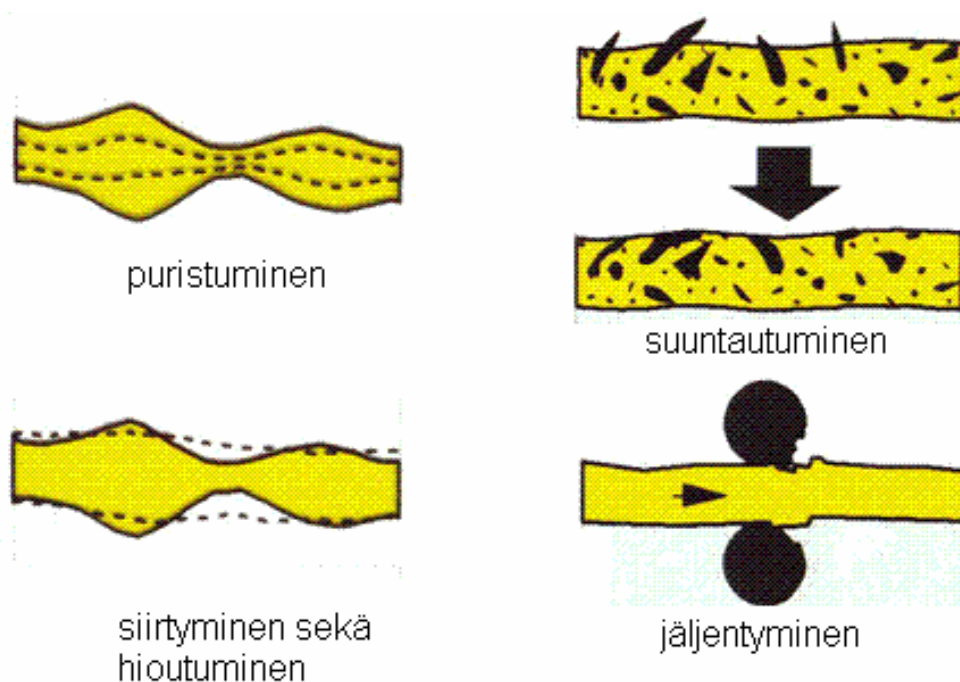
## 5. KALANTEROINTI

Paperin kalanteroinnissa pyritään saavuttamaan tietty sileys, kiilto tai paksuus paperille. Kalanterointi suoritetaan erilaisilla kalantereilla eri prosessivaiheissa. Pääsääntöisesti paperi kalanteroidaan, jotta saadaan paperille paremmat painettavuusominaisuudet. Välikalanteroinnilla tasataan paperin paksuus- ja sileysvaihteluja ennen päällystystä. Kalantereista on useita erilaisia sovelluksia, joita ovat muun muassa: konekalanteri, softkalanteri ja superkalanteri. Tässä työssä keskitytään lähinnä softkalanterointiin, koska PK 7:llä käytetään kaksi nippistä softkalanteria. /14, 15/

Kalanterointi vaikuttaa joihinkin paperitekniisiin ominaisuuksiin myös negatiivisesti. Kalanterointiprosessi onkin kompromissi eri ominaisuuksien suhteen. Kalanterointi parantaa siis paperin pintaominaisuuksia. Paperin kiilto ja sileys paranevat kalanteroinnin yhteydessä. Kalanteroinnissa menetetään paperin bulkkia, jäykkyyttä ja repäisylujuutta. Kalanteroinnilla on negatiivista vaikutusta myös paperin optisiin ominaisuuksiin, joista eniten kalanterointi vaikuttaa opasitetiin. /16/

## 5.1 Kalanteroitumismekanismit

Kalanteroitumismekanismeja ovat puristuminen, siirtyminen sekä hioutuminen, suuntautuminen ja jäljentyminen. Kuvassa 6 esitetään eri kalanteroitumismekanismit. /16/



Kuva 6. Neljä kalanteroitumismekanismia. /4/

Puristumista tapahtuu paperin poikkisuunnassa joka kohdassa kuitenkin niin, että paksummat kohdat puristuvat enemmän kasaan kuin ohuemmat kohdat. Siirtymistä ja hioutumista tapahtuu paperin pintakerroksessa. Siirtyminen voi olla joko plastista muodonmuutosta tai hioutumista. Siirtymisen aikana paperin paksummista kohdista siirtyy ainetta pintahuokosiin. Paperin pinnassa voi tapahtua myös hioutumista, jolloin partikkelit hioutuvat pois. Tämä voi johtaa pölyämiseen ja siksi siirtyminen pitäisi saada tapahtumaan plastisen muodonmuutoksen avulla. Suuntautumisen vaikutuksesta päällystyspigmentit kääntyvät paperin tason suuntaisesti. Tämä parantaa valonsirontaa ja lisää paperin kiiltoa. Jäljentymisessä on kyse kopioinnista. Sileän telan pinta kopioituu paperin pintaan. /16/



## 5.2 Kalanterointimuuttujat

Kalanterointitulokseen vaikuttaa neljä päätekijää. Nämä ovat nippipaine, viipymäaika, paperin plastisuus ja telan pintamateriaali. Paperin plastisuuteen vaikuttavat paperin kosteus, lämpötila, massasuhteet, päällyste ja formaatio. Kalanterin ajotavalla voidaan myös vaikuttaa paperin plastisuuteen. Telojen lämpötilalla ja höyrytyksellä on vaikutusta kyseiseen asiaan. Kalanteroinnissa tapahtuvaan mekaaniseen työhön vaikuttavia tekijöitä ovat nippipaine, nippien lukumäärä, nopeus, telojen materiaali sekä karheus ja telojen halkaisija. /14, 15/

### 5.2.1 Paperin plastisuus

Paperin plastisuudella kuvataan paperin muokattavuutta, kuinka paljon paperin epämuotoisuutta voidaan muokata. Paperi sisältää erilaisia amorfisia polymeerejä riippuen paperilaadusta. Päällystämättömissä papereissa on selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä. Päällystetyt laadut sisältävät näiden lisäksi pastan sideaineita, jotka muodostuvat amorfisista polymeereistä. Kaikki polymeerit ovat tyypillisesti viskoelastisia ja pehmenevät lämpötilan ja kosteuden noustessa. /14/

Kaikilla viskoelastisilla polymeereillä on lasisiirtymälämpötila. Paperin sisältämällä polymeereillä tämä lämpötila vaihtelee huoneen lämpötilasta aina 250 °C. Paperin kuidut saavuttavat lasisiirtymälämpötilan vasta melko korkeissa lämpötiloissa. Ligniinin lasisiirtymälämpötila on matalin noin 130 °C, hemiselluloosan lasisiirtymälämpötila on 175 – 200 °C ja selluloosan lasisiirtymälämpötila on kaikkein korkein 200 – 250 °C. Kyseiset lämpötilat on mitattu kuivista polymeereistä. Pastoissa käytettävien lateksien lasisiirtymälämpötilat vaihtelevat paljon. Lasisiirtymälämpötilan vaihteluun vaikuttaa lateksin rakenne. Lasisiirtymälämpötilassa alkaa polymeerin pehmeneminen, jolloin paperin muokattavuus helpottuu. Tehokkaamman kalanterointituloksen saavuttamiseksi kaikki polymeerit olisi saatava lasisiirtymälämpötilaan. Vesi on hyvin tehokas pehennin osalle paperin polymeereistä. Varsinkin tärkkelyksen lasisiirtymälämpötilaan kosteudella on suuri vaikutus. Tärkkelyksen lasisiirtymälämpötila laskee huomattavasti

kosteuden noustessa. Kosteuden nousu laskee myös muiden paperin polymeerien lasisiirtymälämpötiloja. /14/

### **5.2.2 Lämpötila ja kosteus**

Lämpötilalla ja kosteudella on suuri vaikutus paperin muokkautuvuuteen kalanteroinnissa. Helpoin tapa vaikuttaa kalanteroitavan paperin lämpötilaan, on muuttaa kalanterin termotelojen lämpötilaa. Korkeammalla lämpötilalla saavutetaan tietty sileyttaso pienemmällä mekaanisella työllä. Kosteus helpottaa paperin muokkattavuutta kalanteroinnissa. Paperin kosteuden noustessa lasisiirtymälämpötila laskee ja paperin muokattavuus paranee kalanteroinnissa. /14/

Lämpötilaa ja kosteutta nostettaessa voidaan puhua myös gradienttikalanteroinnista. Kalanteroinnissahan paperi muokataan paineen avulla haluttuun sileys-, paksuus- tai kiiltotasoon. Paine on siitä huono työkalu, että se vaikuttaa z-suunnassa koko paperin läpi. Gradienttikalanteroinnin tavoitteena on saada paperin pinnat muokkautumaan minimaalisella tiheyden kasvulla. Tämä tarkoittaa siis sitä, että paperiin muodostuu tiheysgradientti. Eli paperin pinnat ovat kalanteroinnin jälkeen tiheämmät kuin paperin sisäosa. /14, 16/

Tämä on mahdollista saavuttaa tekemällä paperin pintaosat plastisemmiksi kuin paperin sisäosa. Eli paperin pintaan kohdistetaan suuri lämpötila tai kosteus. Tämän johdosta paperiin tulee kosteus tai lämpötilagradientti mutta se ei ole pysyvä. Aika onkin tärkeä tekijä gradienttikalanteroinnissa. Paperin pintojen lämpötilan tai kosteuden nostaminen on tehtävä juuri oikealla hetkellä, ettei paperin pintojen ja keskiosan välinen ero ehdi tasoittua. Pinnan suuremman lämpötilan tai kosteuden ansiosta paperin pinnassa olevat kuidut muokkautuvat enemmän kuin paperin keskellä olevat kuidut. Gradienttikalanteroinnilla saavutetaan parempi sileyttas samalla bulkki tasolla tai samaan sileyteen kalanteroitaessa säästetään paperin bulkkia. /14, 16, 17/

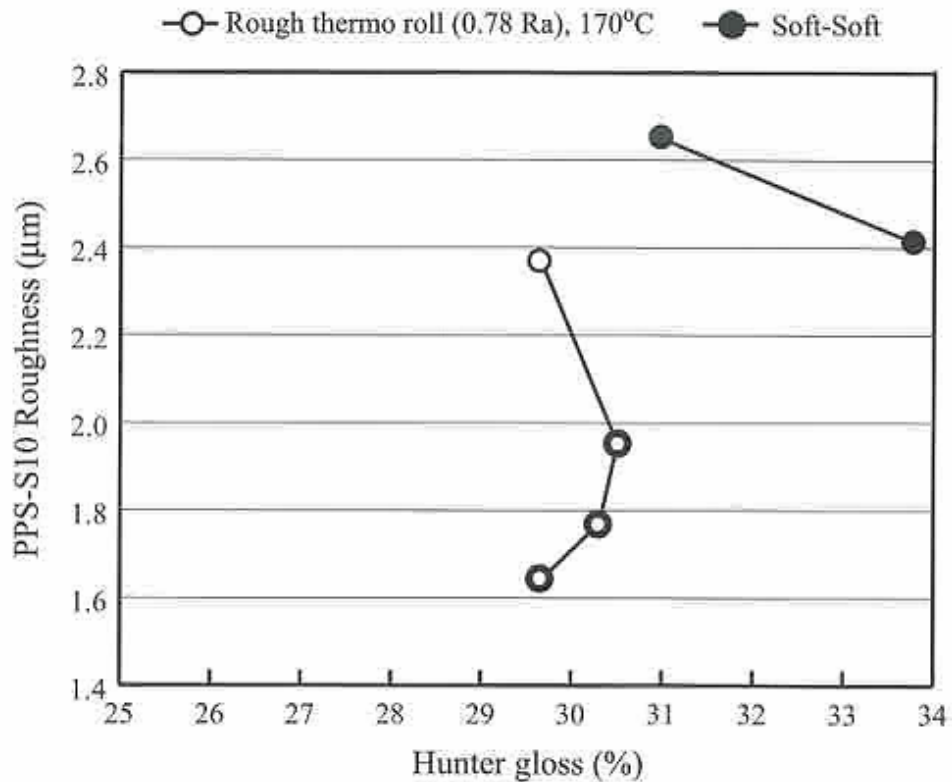
### **5.2.3 Viivakuorma ja nippien lukumäärä**

Viivakuorma on käytetyin kalanterin säätöparametri. Sen ja lämpötilan avulla säädetään paperin haluttu laatuominaisuus oikealle tasolle. Viivakuorma vaikuttaa nippipaineeseen ja kalanteroinnissa tapahtuvaan mekaaniseen työhön. Nippipaineeseen vaikuttaa viivakuorman lisäksi nipin pituus ja telojen materiaali. Kovasa nipissä nippipaine kasvaa suuremmaksi kuin pehmeämmässä nipissä. Viivakuorman muutokset vaikuttavat myös nipin pituuteen. Suuremmalla kuormalla nippi puristuu enemmän kasaan ja nipin pituus kasvaa. /14, 17/

Nippien lukumäärällä voidaan vaikuttaa myös kalanterin tekemään mekaaniseen työhön. Nippejä lisäämällä saadaan pienemmällä viivakuormalla tehtyä sama työ kuin yhdessä nipissä suurella viivakuormalla. Useammalla nipillä päästään tietysti myös korkeampiin kiiltoarvoihin ja saadaan sileämpää paperia. Kalanterin nopeus vaikuttaa myös kalanterointitulokseen. Siis nopeus on myös yksi kalanterin säätöparametri. Sitä voidaan käyttää lähinnä off-line -kalantereissa. Nopeudella vaikutetaan viipymäaikaan nipissä. Pidemmällä viipymäajalla saadaan paremmat pintaominaisuudet paperille. /14, 17/

### **5.2.4 Telojen pinnan karheus**

Telojen pinnan karheudella on merkittävä vaikutus paperin pinnan ominaisuuksiin. Telan karheuden vaikutus tulee esiin, kun telan pinta jäljentyy paperiin kalanterin nipissä. Etenkin lämmitettävän kokillitelan karheudella voidaan vaikuttaa paperin kiiltotasoon. Sileämpi tela antaa kiiltävämmän paperin kuin karheampi tela. Mattakalanteroinnissa pyritään pitämään paperin kiilto alhaisella tasolla vaikka paperista tehdäänkin sileää. Kuvassa 7 esitetään paperin kiilto sileyden funktiona. /14/



Kuva 7. Kahdella eri telaparilla kalanteroidun mattapaperin kiilto sileyden funktiona. Kalanterin nippi on muodostettu karheapintaisesta termotelasta ja pehmeästä telasta sekä kahdesta pehmeäpintaisesta telasta. /14/

Kuvasta 7 havaitaan, että karhealla termotelalla kalanteroidun paperin kiilto alkaa laskea vaikka sileyden paranee edelleen. Pehmeillä teloilla muodostetulla nipillä paperin kiilto kasvaa sileyden kasvaessa.

### 5.2.5 Päälystyspasta

Paperin päälystyspasta koostuu pigmenteistä ja sideaineista. Pigmenttien partikkelien muoto ja kokojakauma vaikuttavat kalanterointitulokseen. Levymäinen kaoliini antaa kiiltävämmän paperin kuin pyöreämuotoinen karbonaatti. Pienempikokoiset karbonaattipartikkelit kiillottuvat paremmin kuin suuremmat partikkelit. Sideaineina käytetyt lateksit ja tärkkelys vaikuttavat myös kalanterointitulokseen. Esimerkiksi SB-lateksien lasisiirtymälämpötilat vaihtelevat suuresti niiden rakenteesta riippuen. Lasisiirtymälämpötilan saavuttamisella kalanteroinnin aikana on suuri merkitys paperin muokkautuvuuteen. /14/

### 5.3. Softkalanterointi

Softkalanteroinnin erona perinteiseen konekalanterointiin on, että ainakin toinen nipin muodostavista teloista on pehmeä. Mattapapereita kalanteroidaan myös sellaisilla kalantereilla, joiden nippi muodostetaan pehmeistä teloista. Pehmeä tela muuttaa kalanterointiprosessin oleellisesti. /16/

Kalanterin nippi muuttuu huomattavasti, kun toisena telana käytetään pehmeää telaa. Nippipaine laskee verrattuna kahden kovan telan muodostamaan nippiin. Pehmeä tela muotoutuu puristuksessa, jonka seurauksena nippi pitenee ja viipymäaika kasvaa. Myös lämmönsiirtyminen paranee nipin pitenemisen johdosta. /14, 17/

Softkalanterointi tasoittaa paperin tiheysvaihtelut. Paperin paksuusvaihtelut eivät tasaannu kokonaan tässä prosessissa. Kovalla nipillä kalanteroitaessa tapahtuma on päinvastainen. Paperista tulee tasapaksua mutta sen tiheys vaihtelee. Softkalanteroinnin katsotaankin tarjoavan monta etua perinteiseen konekalanterointiin nähden. Yhdenmukainen tiheys tasoittaa paperin absorptiota ja painotulos on yhdenmukaisempi. Painettujen kuvien mottling vähenee, koska paperin paksuimpia kohtia ei kalanteroida niin kovasti. Paperi saadaan kalanteroitua sileämmäksi ilman kalanteroitumismustuman riskiä, koska nippipaine on matalampi. Myös paperin lujuusominaisuudet pysyvät parempana softkalanteroinnissa pienemmän nippipaineen vuoksi. /14, 17, 18/

Päällystetyn hienopaperin kalanteroinnissa mattalaadut ovat lisääntyneet kaiken aikaa. Silmä näkee paperin pinnan mattapintaisena silloin, kun paperin kiilto on alle 35 %. Alhaisen kiiltotason takia kalantereiden lämpötilat ja viivakuormat ovat matalia. Mattapaperin tavoitteena on olla siis mahdollisimman sileäpintaista mutta se ei saa kiiltää. Tämä yhdistelmä tuo oman haasteensa kalanteroinnille. Mattapaperin tekemisessä päällysteen vaikutus on merkittävä. Pastan pigmentit pitää olla oikein valittu. Oikeilla pigmenteillä voidaan helposti vaikuttaa kiiltoon ja sileyteen. Myös karheapintaisesta kokillitelasta voi olla etua mattapaperin valmistuksessa. /14/

## **6. KALANTERIN TELAT**

Softkalanterien nipit koostuvat joko kahdesta pehmeästä telasta tai lämmitettävästä kokillitelasta ja pehmeästä telasta. Toinen teloista on aina taipumakompensoitu, jotta kalanterin viivakuorma saadaan tasaiseksi. PK 7:n kalanteri muodostuu kahdesta erillisestä nipistä, joissa teloina käytetään kokillitelaa ja taipumakompensoitua polymeeripinnoitteista telaa. /14, 16/

### **6.1 Taipumakompensoidut telat**

Taipumakompensoidut telat ovat kehittyneet vuosien saatossa huomattavasti. Aluksi viivakuorma saatiin tasaiseksi vain yhdellä viivakuormalla, kun toinen teloista oli bombeerattu kompensoimaan kuormituksen aiheuttama taipuma. Tänä päivänä on saatavilla vyöhykesäädetyjä teloja, joilla voidaan korjata myös paperin paikallisia paksuusvaihteluja. /14/

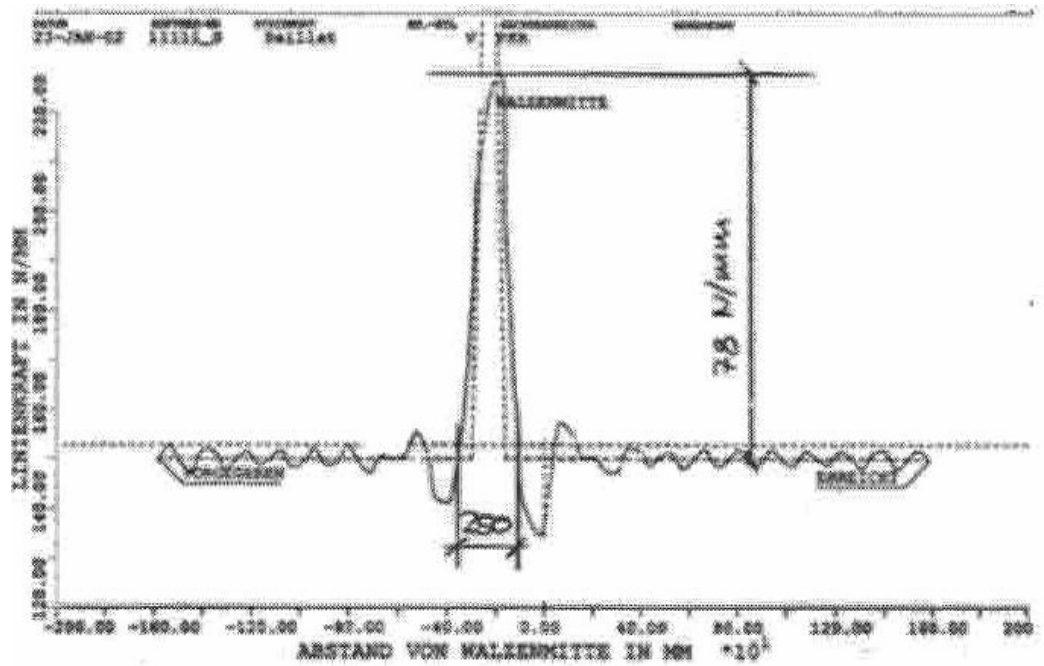
Bombeeratun telan jälkeen kehitettiin ensimmäinen varsinainen taipumakompensoitu tela, joka sisäisen paineen muutoksen avulla bombeeraa telan joko päistä tai keskeltä enemmän kuormittavaksi. Tällaisella telalla voidaan kompensoida viivakuormituksen aiheuttama taipuma ja lisäksi vaikuttaa nippipaineeseen hyvin laajalla alueella. Tämä tela ei kuitenkaan pysty tasaamaan paperissa olevia paikallisia paksuusvaihteluja. /14/

Paksuusvaihtelujen korjaamiseksi on tuotu markkinoille vyöhykesäädetyjä teloja. Ensimmäiset vyöhykesäädetyt telat oli jaettu 6-8 lohkokoon, joita voitiin kuormittaa erillisinä. Tällaisella telalla voidaan korjata loivaa paksuusvaihtelua. Lisäksi vyöhykesäädetyt telat on se, että kuormituselementit toimivat hyvin värinän vaimentimina. Viimeisin versio taipumakompensoidusta telasta on profiilinsäätötela. Tässä telassa kuormituselementit toimivat itsenäisesti. Näin ollen pystytään korjaamaan pienemmällä alueella tapahtuvaa paksuusvaihtelua. Paksuusprofiilia pystytään hallitsemaan jopa yhtä hyvin kuin erillisillä profiilinsäätölaitteilla. /14/

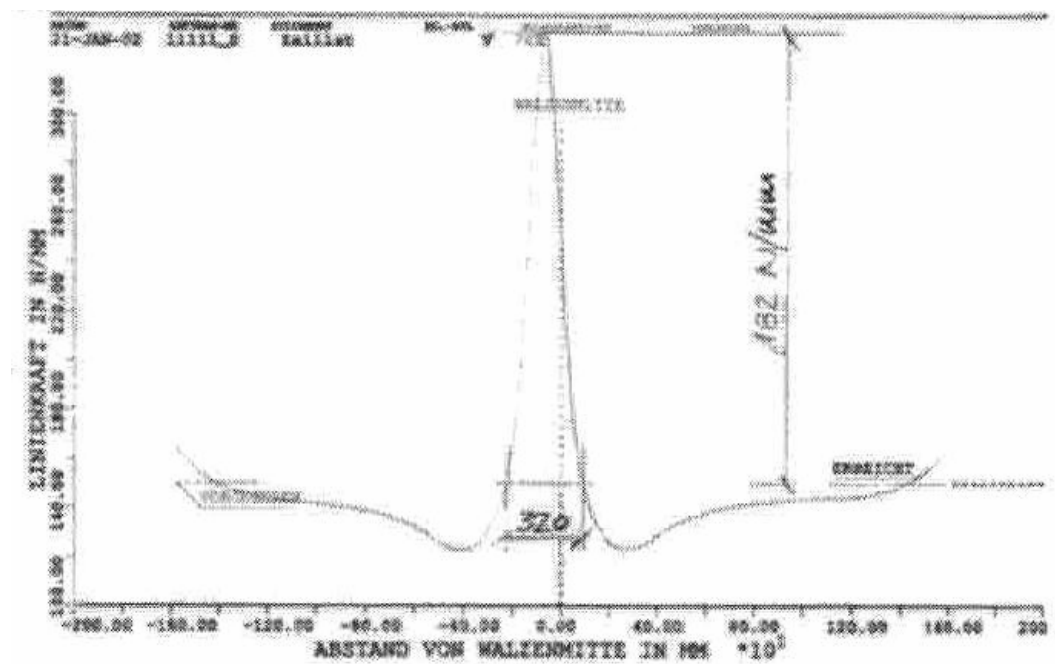
### 6.1.1 Profiilinsäätötelan vasteet

Profiilinsäätötelojen vasteet ovat kehittyneet, kun toimittajat ovat kehittäneet taipuisampia telamateriaaleja ja näin pystyneet kaventamaan vyöhykkeiden leveyksiä. Vanhemmissa vyöhykesäädetyissä teloissa vaipan materiaalina käytettiin valurautaa. Nyt on kehitetty uusia paremmin taipuvia materiaaleja. Telan vaipan taipumiseen vaikuttaa oleellisesti myös telan pituus. Pidempi tela taipuu paremmin kuin lyhyempi tela. Valurautaisilla profiilinsäätöteloilla päästään korjaamaan paperin paksuusvaihtelua 1-3 µm riippuen vyöhykkeiden leveydestä. Leveämmällä vyöhykkeellä saadaan suurempi paksuusmuutos aikaan. Tehtäessä suurimpia paksuuskorjauksia vaikutetaan radan paksuuteen 460 mm leveällä alueella. Profiilinsäätötelan vaste on nopeampi kuin ulkoisesti induktiolla tai ilmalla tehty säätövaste. Erään tutkimuksen mukaan katkon jälkeisen paksuuspatin korjaamiseen kuluu aikaa profiilinsäätötelalla vain muutama minuutti, kun taas ulkoisella profiilinsäätölaitteella aikaa kuluu yli 18 minuuttia. /19, 20/

Uusien joustavampivaipallisten profiilinsäätötelojen vaste on hiukan kapeampi kuin induktiomenetelmällä suoritettuna säädön vaste. Induktiomenetelmällä saadaan aikaan yli kaksinkertainen nippipaineen muutos verrattuna uusimpiin profiilinsäätöteloihin. Kuvissa 8 ja 9 esitetään sekä vyöhykesäädetyin telan että induktiomenetelmän vaikutus kalanterin nippipaineeseen. /19/



Kuva 8. Nipcorect MR<sup>TM</sup> vyöhykesäätötelan vaikutus kalanterin nippipaineeseen. /19/



Kuva 9. Induktiomenetelmän vaikutus kalanterin nippipaineeseen. /19/



## 6.2 Termotelat

Lämpötilan säätö on yksi kalanteroinnin avaintekijöitä. Lämmitettävien termotelojen päätehtävä onkin siirtää lämpöä telan pinnasta tasaisesti ja riittävästi paperiin. Teloihin tehdään lämmityskierto kahdella tavalla. Toinen tapa on porata telan keskelle reikä lämmitysnestettä varten. Reikä on melko pieni ja neste ohjataan sisään telan toisesta päästä ja ulos toisesta päästä. Tällainen tela lämpenee huonosti, koska telan vaippa on paksu. Tämän vuoksi telan lämmönsiirtokyky on heikko. Toinen ja yleisemmin käytetty tapa on periferiaporattu tela. Tällaisissa teloissa on telan vaippaan porattu reikiä. Reikien etäisyys telan pinnasta on 20 – 60 mm. Porauksista on useita erilaisia sovelluksia. Niiden erona on se kuinka lämmitettävä aine kiertää poratuissa rei'issä. Telan lämmittäminen voidaan tehdä kuumalla vedellä, höyryllä tai kuumalla öljyllä. Lämmittämiseen käytettävä aine riippuu halutusta lämpötilasta. Kuumaa vettä voidaan käyttää matalissa alle 120 °C lämpötiloissa. Kuumalla öljyllä päästään korkeimpiin yli 220 °C lämpötiloihin. PK 7:n kokillitelat ovat periferiaporattuja tri-pass -teloja. Teloja lämmitetään öljykierron avulla. Tri-pass -telassa öljy kiertää kahta reikää pitkin ja palaa näiden välistä reikää samalle puolelle telaa, josta se on syötetty sisään. /14, 21/

### 6.2.1 Termotelan reuna-alueen lämpötila

Kalanterin termotelat aiheuttavat helposti lämpötilapiikin reuna-alueella ellei telaparin hionta ole oikeanlainen. Jos kuuma tela pääsee suoraan kosketukseen toisen telan kanssa, niin lämpötilapiikki muodostaa kuormituspiikin kalanterin reuna-alueelle. Tämä kuormituspiikki sotkee tietysti paksuusprofiilin hallinnan, kun paperi pääsee liian ohueksi suuren nippipaineen vuoksi. Liiallinen jäähtyminen aiheuttaa päinvastaisen reaktion eli nippipaine jää liian matalaksi ja paperi puolestaan paksuksi reuna-alueella. Liitteessä I on esitetty kuvasarja reuna-alueen lämpötilan vaikutuksesta telan laajenemiseen ja nippipaineen muutokseen. /21/

## 7. PAKSUUSPROFIILIHÄIRIÖT JA NIIDEN SEURAUKSET

Kalanterointiongelmia on useita erilaisia. Suurin osa niistä ei johdu itse kalanterista mutta ne havaitaan kalanteroinnin jälkeen. Kalanterointiongelmat voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti: profiili-, rullaus-, laatu-, ilma-, telojen kunnossapito-ongelmat ja katkot. Eniten ongelmia kalanteroinnissa aiheuttaa profiilien hallinta. /14/

Kalanteroinnissa syntyvä profiiliongelmia voi johtua monesta eri tekijästä. Kalanterille tulevan paperin profiilivaihtelut voivat olla niin suuria, ettei niitä pystytä enää kalanterilla korjaamaan. Kalanterin nippipaine voi olla epätasainen tai nipin lämpötilaprofiilissa saattaa olla heittoa. Nämä molemmat syyt voivat aiheuttaa profiiliongelmia. Väärin hiotut tai likaiset telat voivat myös johtaa profiiliongelmien. /14/

Profiiliongelmia syntyy useimmiten, kun kalanteriin tulevan paperin profiilivaihtelut ovat liian suuria. Softkalanteroinnissa tulevan paperin profiilien tasaisuus on tärkeämpää, koska paksuusprofiilin muuttaminen softkalanterissa on hankalampaa kuin kovanippisessä konekalanterissa. /23/

Profiiliongelmien korjaamiseen on käytössä erilaisia profiilinsäätölaitteita. Induktiomenetelmällä toimiva Calcoil on yksi yleisimmistä kalanterin profiilinsäätölaitteista. Muita vaihtoehtoja on kuumen tai kylmän ilman puhaltaminen telan pinnalle sekä vyöhykesäädettyjen telojen käyttö. Kaikki säätölaitteet muuttavat paikallisesti telan halkaisijaa ja sen myötä kyseisen kohdan nippipainetta. /9, 15, 24/

Induktiomenetelmän on todettu olevan hyvin tehokas ja melko nopea profiilien korjaaja. Se myös nostaa telan pintalämpötilaa verrattuna vain sisältäpäin lämmitettyjen telojen pintalämpötilaan. Calcoilia voidaan siis käyttää myös telan lämmittämiseen ja osa sen tehosta hyödynnetään profiilin säätöön. Näin ollen Calcoilista saadaan enemmän hyötyä, kun kalanterointitulokset paranevat kuumemman telanpinnan ansiosta. Toisaalta paikallinen telan lämmittäminen saattaa johtaa

kalanteroinnissa kiiltolaikullisuuteen ja sileysvaihteluihin. Näiltä asioilta vältytään, kun käytetään vyöhykesäädettyä profiilinsäätötelaa. /15, 19/

Profiiliongelmia pitää pyrkiä ratkaisemaan askel askeleelta. Usein joudutaan keräämään paljon informaatiota kaikista mitatuista profiileista, kalanterin nippipaineista, telojen lämpötilaprofiileista ja telojen profiileista ennen sekä jälkeen telan vaihdon. Profiiliongelman ratkaisemisen jälkeen on tärkeää muistaa tarkistaa myös laatusäätöjärjestelmän toiminta. Säädöt on viritettävä ja säätöprofiilin kohdennus on tarkistettava. Jos tämä jää tekemättä, niin edessä voi olla uusi profiiliongelman selvittely. /14/

## **7.1 Rullaviat**

Eri paperilajeilla esiintyy erilaisia rullausvikoja. Näiden erilaisten vikojen syntymekanismit ovat hyvin samankaltaisia mutta erot rullattavassa materiaalissa tuovat nämä viat näkyviin eri tavalla. Kaikki rullaviat aiheuttavat hylkyä ja heikentävät konelinjan tehokkuutta. /4/

Yksi syy rullavikojen syntymiseen on paperin profiilien epätasaisuus. Varsinkin paperin paksuudessa tapahtuvat muutokset aiheuttavat rullavikoja. Paperin poikkisuuntaisessa profiilissa tapahtuva äkillinen muutos johtaa vanan tai paksuuspatin syntymiseen. Poikkisuuntainen paksuusvaihtelu voi johtaa myös patapäisen rullan syntymiseen. Patapäinen rulla syntyy pituusleikkurissa, kun paperin profiilivian takia rulla alkaa työntämään viereistä rullaa. /4/

Astetta pahempana ilmiönä rullien patapäisyydestä voidaan pitää niin sanottua bouncingia. Tämä ilmiö on mahdollinen vain kantotelaleikkureilla. Bouncingin esiintyessä rullat alkavat heilua kantotelojen päällä. Myös rullausistukat heiluvat. Heilumisen seurauksena syntyy epäkeskeisiä rullia. Pahimmassa tapauksessa muutto voi lentää leikkurista ulos. Bouncing aiheutuu vierekkäisten rullien halkaisijaeroista eli paperin paksuusvaihtelusta. /4/

Rullan päädyissä voi esiintyä tähtikuvioita. Tähtikuvion syntyminen johtuu rullauksessa tapahtuvista kireysvaihteluista. Rullan löysän kerroksen päälle rullataan kireä kerros, jolloin kireä kerros painaa löysän kerroksen kasaan. Toinen mahdollinen syy tähtikuvion syntymiselle on ohuet radan reunat. Radan reunan ohut ja pitempi kohta romahtaa kasaan ja rullan päähän syntyy tähtikuvio. /4/

Lisäksi profiiliongelmista johtuen kantotelaleikkurissa rullat voivat mennä ristiin, kun paperiradat heittelevät sivusuunnassa epätasaisen profiilin takia. Huonot profiilit aiheuttavat myös paperin rynkylle menon rullauksen aikana.

## KOKEELLINEN OSA

### 8. KOKEELLISEN OSAN TAVOITTEET

Työn tavoitteena oli löytää syyt PK 7:n heikkoon paksuusprofiiliin ja kehittää ajomalli, jolla paperin paksuusprofiilin vaihtelut saadaan hallintaan. Pyrkimyksenä oli myös vähentää profiilivioista johtuvan rullahylyn määrää.

Työssä tutkittiin karheuden vaikutusta paksuusmittaukseen. Heikkoon paksuusprofiilin etsittiin syitä myös kalanterin, päällystysasemien ja laatusäätöjärjestelmän toiminnoista. Karheuden vaikutusta paksuus- ja rullan kovuusprofiileihin tutkittiin koesarjan avulla, jossa konerullien kovuusprofiilit mitattiin pituus-leikkurilla ennen jokaista leikattavaa muuttoa. Myös kaikkien valmistuvien asiakasrullien kovuusprofiilit mitattiin. Konerullista mitattiin lisäksi karheus- sekä paksuusprofiilit Tapio-analysaattorilla ja pinopaksuutena. Paperikoneen online- paksuusmittauksen tulokset kerättiin profiilinkeruujärjestelmällä. Mitattujen profiilien muotoja verrattiin toisiinsa ja niiden välille laskettiin korrelaatiot.

Laatusäätöjärjestelmän toimintaa tutkittiin profiilien keräämisen avulla. Kalanterin ja päällystysasemien toiminta varmistettiin lämpötila-, paine- ja taipumamittauksilla. Osan mittauksista suorittivat laitetoimittajat. Tutkimusten perusteella muodostetun ajomallin mukaan ajettiin koeajo. Koeajon aikaisen rullahylyn määrää verrattiin vuoden 2005 tammi – lokakuun väliseen rullahylyn määrään.

## 9. MITTAUSMENETELMÄT

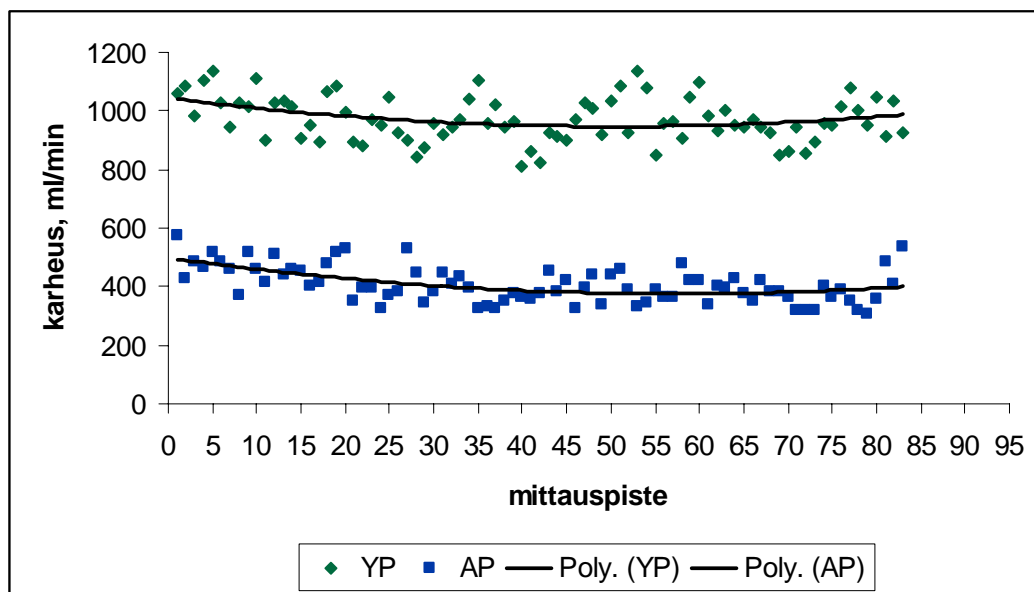
Paperin paksuutta tutkittiin El-Sensorin LabProfiler mittarilla sekä L & W:n mikrometrillä. Lab-Profilerilla saadaan mitattua paperin paksuusprofiili 1 cm askelin. Mittauksissa ajettiin 20 arkkia LabProfilerin läpi ja ohjelman mittaustulosten käsittelyssä suoritettiin rinnakkaisnäytteiden tulosten käsittely. Mikrometrillä mitattiin paperin paksuusprofiilia 20 arkin pinopaksuutena. Paksuusprofiilin mittaamiseen pinopaksuuden avulla käytettiin viiden ja kymmenen cm:n askelta. Karheusmittaukset tehtiin käsimitauksena L & W:n Bendsen karheusmittarilla. Karheus mitattiin Bendsen mittarilla viiden ja kymmenen cm:n askeleella. /25, 26/

Tarkempia profiilitutkimuksia suoritettiin Lappeenrannan tutkimuskeskuksen Tapio- analysaattorilla. Tapio- analysaattori mittaa näytteestä korkearesoluutioisia profiileja. Tapio- analysaattorilla saadaan mitattua taajuusvälillä 0,003 – 40 000 Hz tapahtuvaa vaihtelua. Käytännössä tämä kattaa koko paperikoneen aiheuttamat taajuusvaihtelut. Tapio- analysaattoriin syötettävän näytteen pituudet voivat vaihdella 17 – 7000 m riippuen mitattavan paperin neliömassasta. Tapio- analysaattorilla tehdyt mittaukset suoritettiin aina 30 poikkiratanäytteestä ja mitta-askel oli 0,8 mm. /27/

Kone- ja asiakasrullien kovuuksia mitattiin sekä Tapio Technologiesin Roll Quality Profiler -mittarilla (RQP) että Parotester 2 -mittarilla. Tapio Technologiesin RQP- mittarin toiminta perustuu iskun hidastuvuuden mittaamiseen. Mittapää isketään jousivoimalla mitattavan rullan pintaan ja iskun hidastuvuus mitataan. Mitä suurempi hidastuvuus on, sitä kovempi rulla. Lisäksi mittari mittaa sitä siirrettäessä matkan ja muodostaa rullan kovuusprofiilin. RQP- mittarin mitta-askel oli yksi cm. Parotester 2 -mittalaite mittaa jousivoimalla laukaistun iskurin liikenopeutta. Liikenopeus mitataan sekä iskuvaiheessa että paluuvaiheessa. Parotester ilmoittaa rullan kovuuden kovuusarvona L, joka saadaan isku- ja paluuvaiheen nopeuksien suhteesta. Mitä suurempi luku L on, sitä kovempi rulla. /28, 29/

## 10. KARHEUSPROFIILIN MUODON KARTOITUS

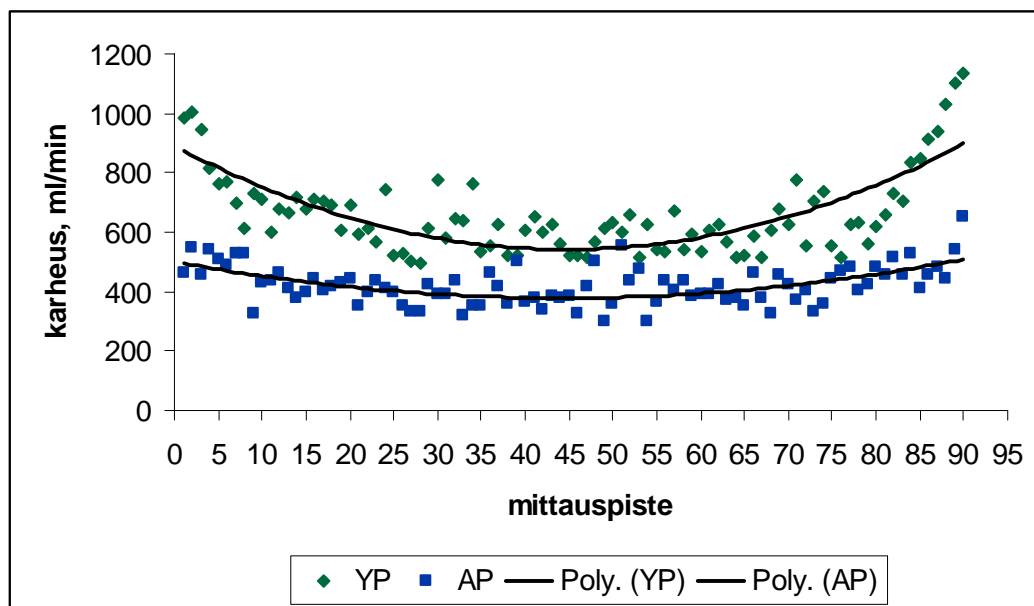
PK 7:llä pohjapaperin karheusprofiili on melko suora. Reuna-alueiden karheus korostuu esipäällistyksen jälkeen. Kuvassa 10 esitetään pohjapaperin karheusprofiili.



Kuva 10. Pohjapaperin karheusprofiili. Lopputuotteen neliömassa 130 g/m<sup>2</sup>. Kuvaan on sovitettu mittauspisteiden välille polynominen suuntaviiva. Kuva on piirretty ilman rinnakkaismääriä. Mittaus on aloitettu 3, 5 cm etureunasta.

Ala- ja yläpuolen välillä on selkeä karheusero. Alapuoli tulee sileämmäksi puristinosalla, kun se kulkee sileää keskitelaa vasten. Mittauksen mukaan pohjapaperin karheusprofiili on melko suora. Radan reunoissa on havaittavissa lievää karhentumaa jo pohjapaperissa.

Reunojen karheus korostuu, kun paperi esipäällystetään filminsiirtopäällystimellä. Tämän jälkeen reuna-alueet ovat karheampia. Reunojen karheus säilyy myös lopputuotteessa. Kuvassa 11 esitetään esipäällystetyn paperin karheusprofiili.

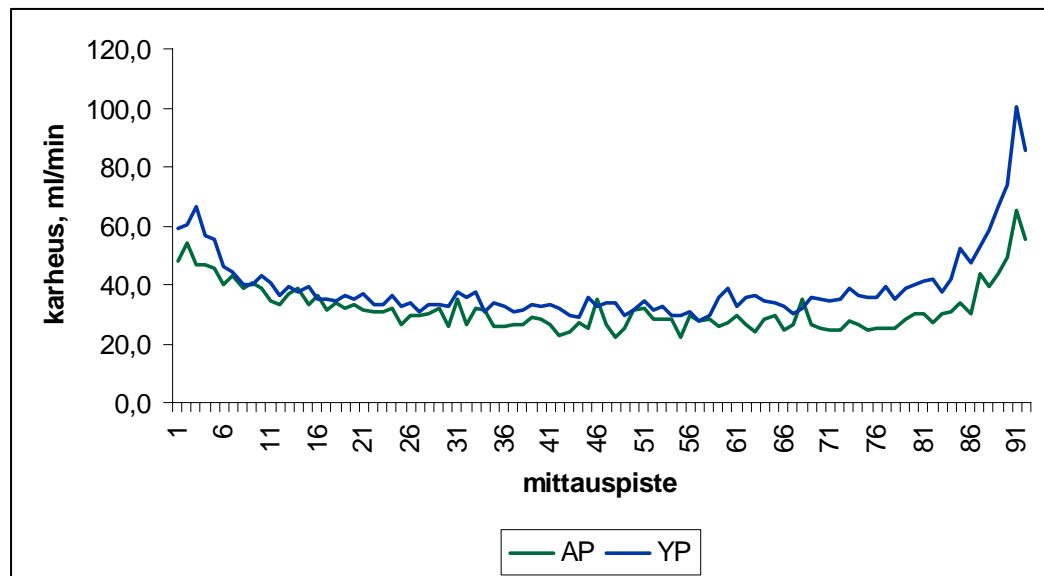


Kuva 11. Kuvassa esitetään PK 7 esipäällystetyn paperin karheusprofiili. Lopputuotteen neliömassa 130 g/m<sup>2</sup>. Kuvaan on sovitettu mittauspisteiden välille polynominen suuntaviiva. Kuva on piirretty ilman rinnakkaismääriä. Mittaus on aloitettu 3,5 cm etureunasta.

Esipäällystys korostaa selvästi reuna-alueiden karheutta. Varsinkin yläpuolen reunat jäävät selvästi radan keskiosaa karheammiksi. Tämä muoto säilyy karheusprofiilissa pintapäällystyksessä ja lopputuotteessakin.

Lopputuotteen karheusprofiili myötäilee aikaisempien prosessivaiheiden profiileja (Kuva 12). Paperissa säilyy reuna-alueiden karheus kalanteroinnista huolimatta. Takareunan karheus nousee selvästi viimeisen 50 cm matkalla. Takareunan karhentuman tuntee myös selvästi kädellä tunnustelemalla valmistuvasta konerullasta.





Kuva 12. PK 7:n 115 g/m<sup>2</sup> paperin karheusprofiili. Mittaus on aloitettu 4 cm etureunasta.

Kalanterointi tasoittaa selvästi paperin ala- ja yläpuolen karheuseroa. Silti lopputuotteessa on selvä karheusero ala- ja yläpuolen välillä. Reuna-alueet jäävät karheammiksi kuin radan keskikohta. Etureunassa karheus muuttuu tasaisemmin kuin takareunassa, jossa se muuttuu voimakkaasti radan viimeisen 15 cm alueella.

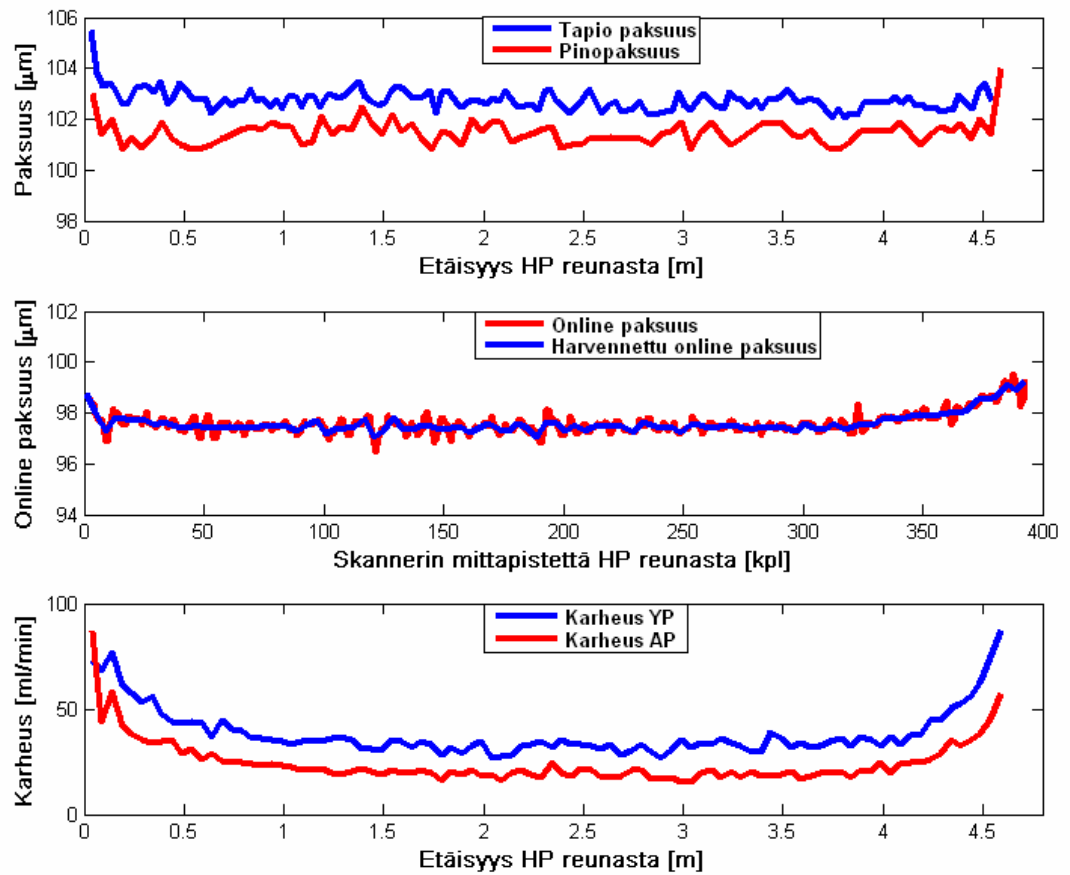
Paperin karheuserot aiheutuvat pohjapaperista. Liitteessä II esitetään mikroskooppikuvia paperin pinnasta. Kuvien mukaan lopputuotteessa olevat epätasaisuudet ovat samanlaisia kuin pohjapaperin epätasaisuudet. Eli pohjapaperin karheusvaihtelut eivät peity kokonaan päällystyksessä vaan ne näkyvät myös lopputuotteessa. Teräpäällystys tasoittaa paperia huomattavasti.

Reuna-alueiden karheus vaikuttaa sekä teräsemien päällysteprofiilin säätämiseen että paksuusprofiilin säätämiseen. Päällysteprofiilia on hankala saada pidettyä reunoilta tavoitearvossa, kun karheampi paperi pyrkii ottamaan pastaa vastaan enemmän kuin sileämpi paperi. Paperin karheus vaikuttaa myös paksuusprofiilin mittaustulokseen ja sitä kautta paksuusprofiilin hallintaan.

## 11. KARHEUDEN VAIKUTUS ONLINE- PAKSUUSMITTAUKSEEN

Tutkimusten aikana ajettiin paperikoneen paksuusprofiilia suoralla tavoiteprofiililla. Tämä johti konerullan päätyjen liialliseen pehmenemiseen ja rullahylyn syntymiseen sekä suuriin vaikeuksiin pituusleikkurilla. Konerullan kovuusprofiili oikaistiin aluksi välittämättä paksuuden online- mittarin mittaustuloksesta. Operaattorit koputtivat konerullaa puukapulalla ja ajoivat radan reuna-alueiden paksuusprofiilisäätöä kovuusprofiilin avulla. Online- mittari mittasi silloin, kun kovuusprofiili oli korvakuulon mukaan tasainen, radan reunat paksummiksi. Tämän seurauksena ruvettiin etsimään online- paksuusmittarin mittausrvirhettä ja löydettiin karheusprofiilin ja online- paksuusprofiilin välinen yhteys.

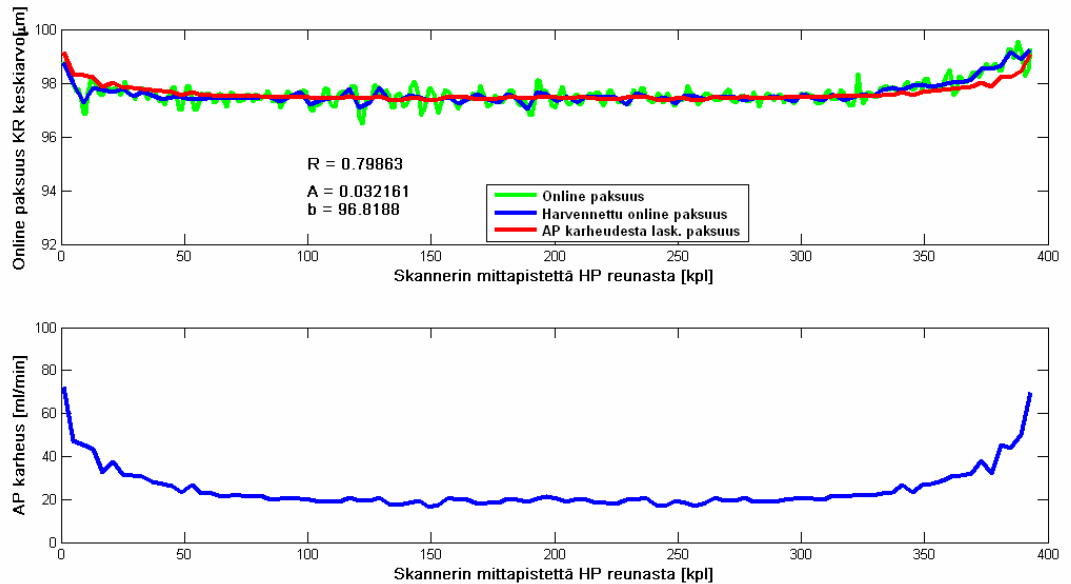
Radan reuna-alueiden karheus korreloi selvästi paksuuden online-mittauksen kanssa. Karheus suurentaa paksuuden online-mittaustulosta. Eli koneen online-mittari mittaa radan karheammat reunat paksummiksi kuin mitä ne todellisuudessa ovat. Laboratoriossa suoritettujen paksuusprofiilimittausten perusteella paperin paksuusprofiili on tasainen läpi radan, vaikka reunat on ajettu online-mittarin mukaan paksummiksi. Kuvassa 13 on esitetty paperin paksuusprofiilit eri mittaamenetelmillä ja sekä ala- että yläpuolen karheusprofiilit.



Kuva 13. PK 7:n karheus- ja paksuusprofiilit. Mittaukset on tehty 4.4.2006 valmistuneesta konerullasta 29. Lopputuotteen neliömassa 115 g/m<sup>2</sup>.

Kuvasta 13 havaitaan reunojen karheuden vaikutus online-mittarin tulokseen. Online-mittarin mukaan etureuna ajetaan 1 µm paksummaksi kuin radan keskikohta ja takareunassa rata on 2 µm paksumpi kuin keskikohta. Radan takareuna paksune online-mittarin mukaan melko tasaisesti radan karheuden kasvaessa. Etureunassa karheuden vaikutus ei ole yhtä selvästi havaittavissa. Tarkemmalla mittapäällä ja hitaammalla ratanopeudella Tapio-analysoijalla mitattaessa radan paksuus muodostuu tasaiseksi läpi radan. Pinopaksummittari mitattu paksuusprofiili antaa myös tulokseksi tasaisen paksuusprofiilin. Tapio-analysoijasta ja pinopaksummittarista mitataan aivan radan reunaan paksumman kohdan, joka on hyvin kapea. Terävä paksuusmuutos johtuu teräasemien reunarajoittimien toiminnasta.

Paperikoneen paksuusmittarin ja paperin karheuden välille saadaan selvä yhteys. Kuvassa 14 esitetään paperin alapuolen karheuden korrelaatio paperikoneen paksuusmittauksen kanssa.

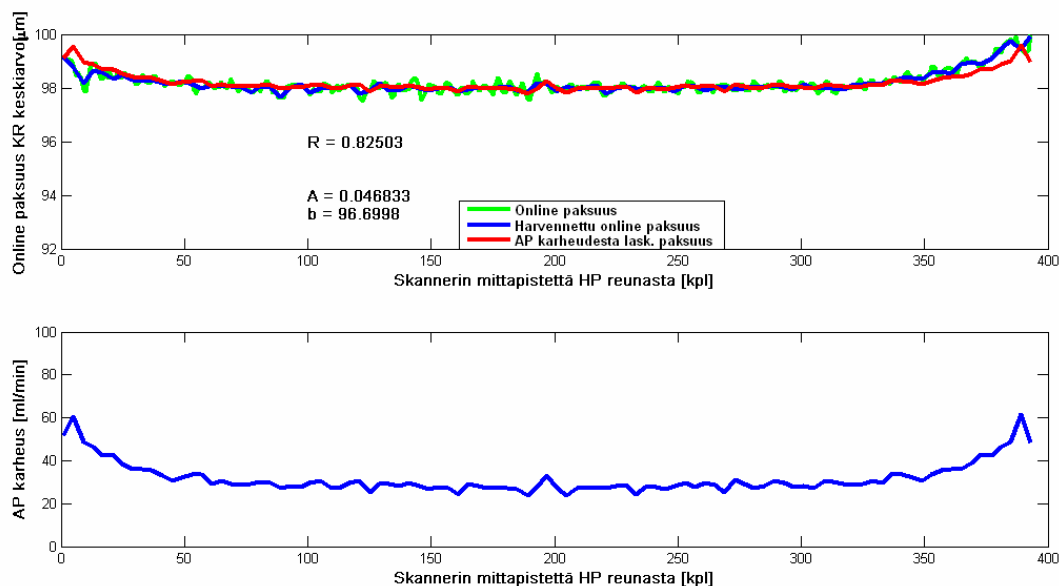


Kuva 14. Yläkuvassa esitetään online-mittarin mittaama paksuusprofiili ja paperin alapuolen karheudesta laskettu paksuusprofiili. Alakuvassa on paperin alapuolelta mitattu karheusprofiili. Mittaukset on tehty 4.4.2006 valmistuneesta konerullasta 29. Lopputuotteen neliömassa 115 g/m<sup>2</sup>.

Kuvan 14 mukaan paperin karheusprofiilissa on sama muoto kuin paksuusprofiilissakin. Etureunassa on suurin poikkeama paksuusmittarin ja karheuden välillä, mutta profiilit myötäilevät hyvin toisiaan, kun tarkastelee niiden karkeaa muotoa. Paperin alapuolen karheuden ja paksuuden välille saadaan hyvä korrelaatio, R on 0,798.

Online-mittarin mittaustiheys on jouduttu harventamaan samalle tasolle karheuden mittaustiheyden kanssa, jotta mittauspisteiden välille saadaan laskettua korrelaatio. Myös konerullan aikana suoritetuista paksuusmittauksista osa on poistettu, koska niiden mitta-alue poikkesi huomattavasti laskentaan mukaan hyväksytyistä mittauksista. Lisäksi radan aivan reunassa olevat paksuuspatit johtuvat teräsemien terän läpilaskusta reuna-alueella. Tämä läpilaskusta aiheutuva paksuuspatti jätettiin huomioimatta korrelaatiolaskuissa.

Karheuden ja online- paksuusmittarin välille saadaan yhteys toisenkin konerullan osalle. Kuvassa 15 on esitetty vastaava korrelaatio konerullasta 31.



Kuva 15. Yläkuvassa esitetään online-mittarin mittaama paksuusprofiili ja paperin alapuolen karheudesta laskettu paksuusprofiili. Alakuvassa on paperin alapuolelta mitattu karheusprofiili. Mittaukset on tehty 4.4.2006 valmistuneesta konerullasta 31. Lopputuotteen neliömassa 115 g/m<sup>2</sup>.

Paperin alapuolen karheuden ja online-paksuuden välille löytyy korrelaatio myös konerullasta 31, R on 0,825. Sekä konerullan 29 että 31 korrelaatiot ovat hyviä. Suoran sovituksessa käytetty kerroin A muodostuu samansuuntaiseksi molemmissa konerullissa (KR 29 A=0,032 ja KR 31 A=0,047), joten paperin karheus ja online-paksuusmittaus korreloivat hyvin. Paksuuden online- mittarin mittausvirhe on kompensoitava, jotta paperin todellinen paksuus saadaan suoraksi.

Paperin yläpuolen karheus korreloi myös paperin online- paksuusmittarin kanssa. Konerullista 29 ja 31 laskettujen paperin yläpuolen karheusprofiilien korrelaatiot online- paksuusprofiilien kanssa olivat: konerulla 29, R on 0,785 ja konerulla 31, R on 0,830.

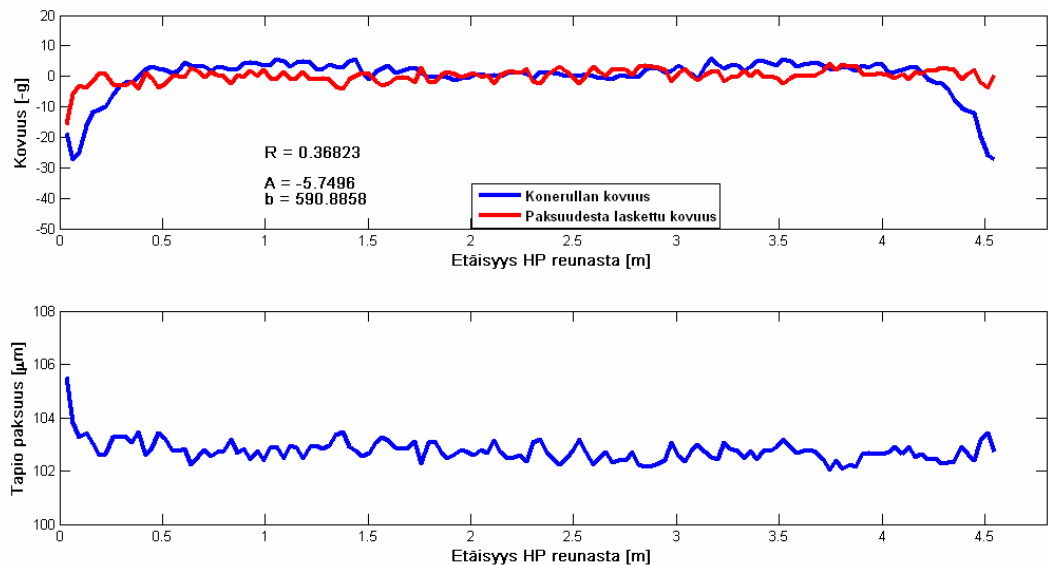
Selvästä karheusprofiilin ja online- paksuusmittarin korrelaatiosta huolimatta ei ole varmaa johtuuko online- mittarin mittausvirhe karheusprofiilista. Varsinkin paperin yläpuolen pinnasta otetuissa mikroskooppikuvissa (liite II) näkyy konesuuntaisia uria paperin pinnassa. Ura ei voi suoranaisesti paksuntaa paperin online- paksuusmittauksen tulosta. Todennäköisesti urainen paperin pinta johtaa

reuna-alueille ilmapatjan, jonka päällä paksuusmittari leijuu ja mittaustulos on suurempi kuin tasaisella paperin alueella.

### 11.1 Kovuusprofiili

Paperin paksuusprofiili vaikuttaa muodostuvan rullan kovuusprofiiliin. Paperin paksummat kohdat muodostavat kovemman kohdan rullaan kuin paperin ohuet kohdat. Muodostuvan rullan kovuuden on oltava tasainen, jotta rulla toimii hyvin jatkokäsittelyssä.

Konerullien kovuusprofiilin ja laboratoriossa mitatun paksuusprofiilin välille laskettiin myös korrelaatiot. Kovuusprofiili muodostuu kuperaksi ja radan reuna-alueet ovat hieman pehmeämmät kuin keskikohta. Kuvaan 16 on piirretty Tapio-analysaattorin paksuusprofiili ja konerullan kovuusprofiili.



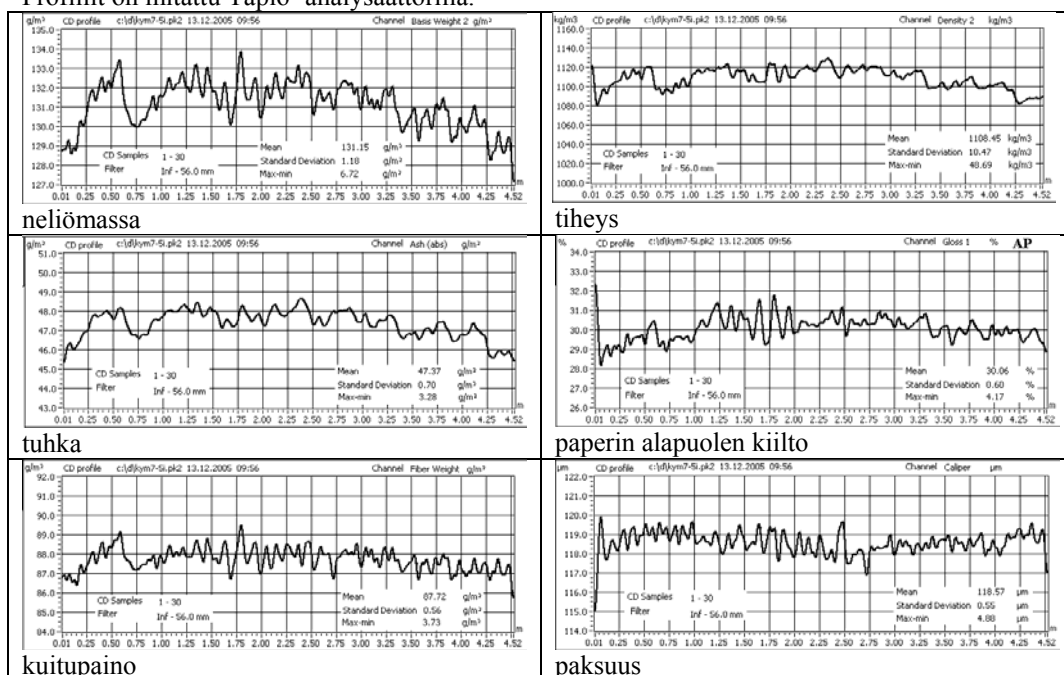
Kuva 16. Yläkuvassa esitetään konerullan mitattu kovuusprofiili ja Tapio-analysaattorin paksuusprofiilista laskettu kovuusprofiili. Alakuvassa on Tapio-analysaattorilla mitattu paksuusprofiili. Kuva on piirretty 4.4.206 valmistuneen konerullan 29 profiileista. Lopputuotteen neliömassa 115 g/m<sup>2</sup>.

Konerullan kovuus ei kuitenkaan muodostu paksuusprofiilin mukaiseksi. Eikä Tapio analysaattorin mittaaman paksuusprofiilin ja konerullan kovuusprofiilin välille löydy korrelaatiota. Suoran sovituksen käytetty kerroin A on kuvassa 16 negatiivinen. Tämän mukaan paksumpi kohta paperissa tuottaa pehmeän kohdan

rullaan. Tämä asia on ristiriitainen teorian kanssa. Korrelaatiolaskujen tulokset olivat yhtä heikkoja myös konerullan 31 tuloksista. Pinopaksuuden ja kovuuden välisessä korrelaatiossa oli niin ikään samanlainen ristiriitaisuus. Kuperasta kovuusprofiilista huolimatta konerullien leikkaaminen sujui pituusleikkurilla moitteettomasti, eikä mitatuista konerullista aiheutunut hylkyä pituusleikkurilla. Tämän mukaan konerullan päiden pehmeneminen on niin lievää, ettei se aiheuta ongelmia pituusleikkurilla. Tulevaisuudessa on hyvä selvittää konerullan päiden pehmenemiselle kriittiset raja-arvot.

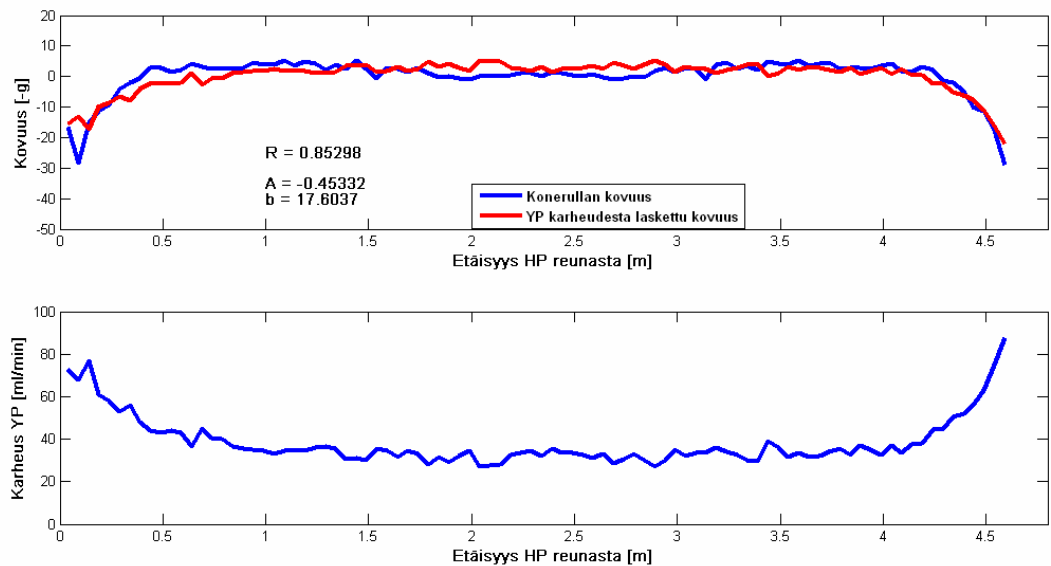
Kovuusprofiilin ja laboratoriossa mitattujen paksuusprofiilien väliselle heikolle korrelaatiolle ei löydetty selvää selittäjää. Tapio- analysaattorilla tehdyissä mittauksissa profiilit olivat melko suoria. Taulukossa I esitetään Tapio-analysaattorilla mitattuja profiileja.

Taulukko I. Taulukossa esitetään kuvia PK 7:n 130 g/m<sup>2</sup> lopputuotteesta mitatuista profiileista. Profiilit on mitattu Tapio- analysaattorilla.



Taulukossa I olevien kuvien mukaan PK 7 paperin profiilit ovat melko tasaisia. Raskailla neliömassoilla neliömassaprofiiliin tulee jo hieman hajontaa. Kuitupainoprofiilissa näkyy lievää vanaisuutta, joka näkyy edelleen paksuusprofiilissa. Näiden profiilien perusteella konerullan pehmeneminen ei johdu konerullassa tapahtuvasta tiheysmuutoksesta tai materiaalin puutteesta.

Konerullan kovuusprofiilin ja karheusprofiilin välille löydettiin korrelaatio. Kovuuden ja karheuden välinen korrelaatio on hyvä. Sen perusteella ei voida osoittaa konerullan reuna-alueiden lievän pehmenemisen johtuvan ainoastaan karheudesta. Kuvassa 17 esitetään kovuus- ja karheusprofiilin korrelaatio.

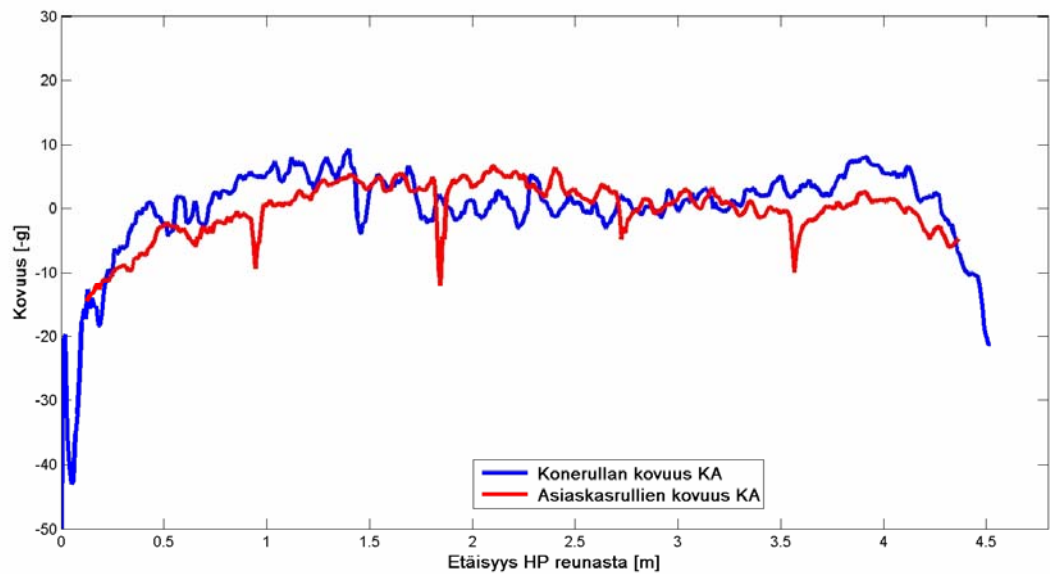


Kuva 17. Yläkuvassa on mitattu konerullan kovuusprofiili ja paperin yläpuolen karheusprofiilista laskettu kovuusprofiili. Alakuvassa on paperista mitattu yläpuolen karheusprofiili. Kuvan profiilit on piirretty 4.4.2006 valmistuneesta konerullasta 29. Lopputuotteen neliömassa 115 g/m<sup>2</sup>.

Konerullan reunojen kovuus alkaa laskea samassa kohtaa, missä radan karheus alkaa muuttua. Karheammalla alueella kovuuden muutos on suurempaa. Karheuden ja kovuuden karkeat muodot vastaavat toisiaan ja niiden välinen korrelaatio on hyvä, R on 0,85. Myös paperin alapuolen karheusprofiili korreloi hyvin kovuusprofiilin kanssa.

Konerullan kovuus säilyy jatkokäsittelyssä pituusleikkurilla. Konerullasta leikattujen asiakasrullien kovuusprofiilit ovat muodoltaan samanlaisia kuin kyseisen kohdan kovuusprofiili on konerullassa. Kuvassa 18 on konerullan ja siitä leikattujen asiakasrullien kovuusprofiilien keskiarvot.





Kuva 18. Kuvaan on piirretty PK 7 konerullan ja siitä leikattujen asiaskasrullien 0-keskiarvoistetut kovuusprofiilit. Mittaus on suoritettu 4.4.2006 valmistuneesta konerullasta 29. Lopputuotteen neliömassa 115 g/m<sup>2</sup>. Kuvassa on asiaskasrullat erotettu toisistaan alaspäin osoittavilla piikeillä.

Asiaskasrullien kovuusprofiili myötäilee selvästi kyseisen kohdan konerullan kovuusprofiilia. Pituusleikkuri ja siinä tapahtuva rullaus ei vaikuta valmistuvan asiaskasrullan kovuusprofiiliin.

Konerullan rakenne vaikuttaa kovuusprofiilin tasoon. Konerullan pohja rullataan kireämmälle ja sen jälkeen rullan kireys laskee pintaa kohti. Kireyden kasvaessa myös rullan kovuus kasvaa. Kireyden vaikutus kovuuteen havaitaan hyvin konerullien kovuusprofiileista. Konerullan kireys laskee pintaa kohti ja tämä näkyy selvästi kovuuden mittaustuloksissa. Ennen ensimmäistä muuttoa tehty kovuusmittaus on tasoltaan huomattavasti muita mittauksia matalampi. Tason selvä lasku johtuu mittaustavasta. Kovuusmittaukset suoritettiin pituusleikkurilla ennen jokaista leikattua muuttoa. Pituusleikkurin päänviennin jälkeen paperirata ei ole yhtä kireällä kuin muissa mittaustilanteissa. Kuitenkin konerullan rakenteen vaikutus näkyy muissakin mittaustuloksissa. Konerullan kovuus kasvaa pohjalle päin mentäessä, kun rullauskireys lisääntyy. Liitteessä III ja IV esitetään konerullien ja niistä leikattujen asiaskasrullien kovuusprofiilit.

Konerullien reunojen lievä pehmeneminen voi johtua useasta eri tekijästä. Radan kireysprofiili voi muuttua kosteuden, kuivatuskutistuman tai levitystelan vaikutuksesta. Löysät radan reunat rullautuvat löysemmälle ja tämä näkyy konerullan kovuusprofiilissa. Myös paperin z- suuntainen rakenne voi olla erilainen radan reuna-alueilla kuin keskellä ja tämä voi johtaa kovuusprofiilin pehmenemiseen radan reuna-alueilla.

## **12. KALANTEROINNIN VAIKUTUS PAKSUUSPROFIILIIN**

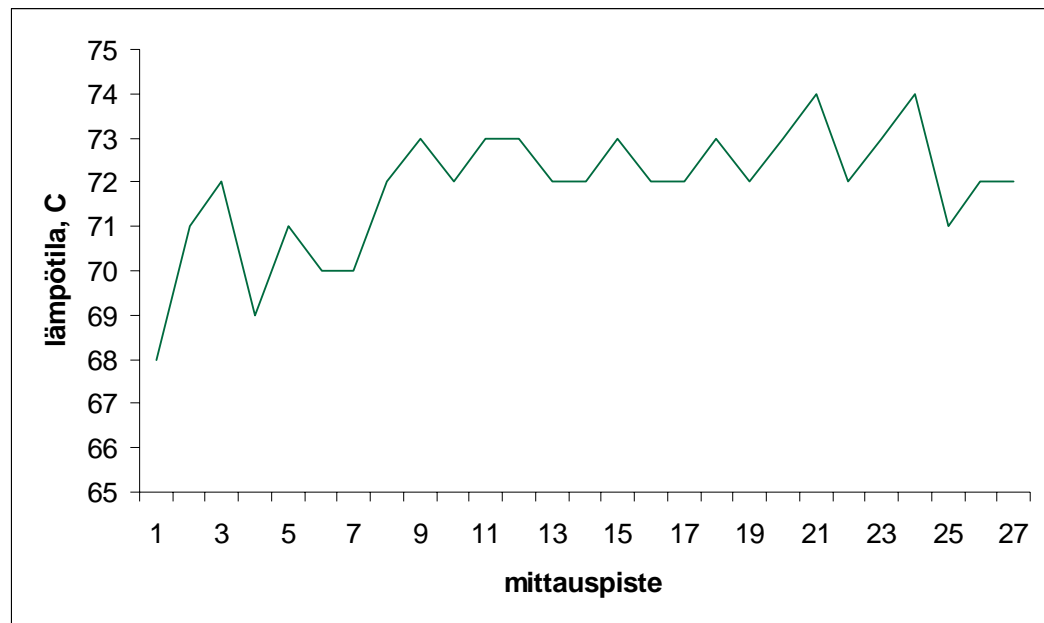
Paperi kalanteroidaan PK 7:llä kaksinippisellä online-softkalanterilla. Kalanteri on Valmetin valmistama SC 2000 softkalanteri. Molemmat nipit koostuvat öljyllä lämmitettävästä kokillitelasta ja taipumakompensoidusta polymeeritelasta. Ensimmäisessä nipissä kokillitela on yläpuolella ja polymeeritela alapuolella. Toinen nippi on päinvastainen. Kalanteriin on lisätty paksuusprofiilin säätöä varten ensimmäiseen nippiin Calcoil vuonna 2003. PK 7:llä paperi kalanteroidaan joko yhdellä tai kahdella nipillä. Kevyet neliömassat 70 ja 80 g/m<sup>2</sup> kalanteroidaan kahdella nipillä ja raskaat neliömassat kalanteroidaan ainoastaan yhdellä nipillä. 90 g/m<sup>2</sup> neliömassa on kalanterin ajotavassa muutoslajina. Sitä ajetaan joko yhdellä tai kahdella nipillä tilanteesta riippuen. Kalanterin viivakuormia säädetään sileystavoitteiden perusteella. Paksuusprofiilin hallinta on parempaa, kun kalanteria ajetaan kahdella nipillä. Kahta nippiä käytettäessä paperi puristuu kasaan enemmän kuin yhdellä nipillä ja paksuusprofiilista tulee tasaisempi.

Kalanterin ensimmäisen nipin kuormituspainetta tutkittaessa havaittiin, että matalilla viivakuormilla ajettaessa kuormituksen muutoksen asettuminen kestää huomattavasti kauemmin kuin korkeammalla viivakuormalla ajettaessa. Taipumakompensoidun telan paine seuraa hyvin kuormituspainetta kaikissa ajotilanteissa. Työn aikana kalanterin 1. nipin ohjaukseen tehtiin muutos. Kalanteriin lisättiin vinokuormituksen ajomahdollisuus. Kalanterin ohjausmuutoksen jälkeen tehdyssä mittauksessa myös matalalla viivakuormalla tehty kuormitusmuutos asettui lähes yhtä nopeasti kuin korkeammalla viivakuormalla ajettaessa. Kalanterin ohjausmuutoksen voidaan olettaa myös vaikuttaneen viivakuorman säätöön matalilla viivakuormilla ajettaessa. Ennen

ohjausmuutosta kalanterissa oli yksi proportionaaliventtiili, joka jakoi hydrauliiikan paineen hoito- ja käyttöpuolelle. Nyt ohjausmuutoksen jälkeen sekä hoito- että käyttöpuolta ohjataan omalla proportionaaliventtiilillä. Liitteessä V on esitetty kuormituspainneiden mittaustulokset.

Kalanterin nippiprofiilit mitattiin laitetoimittajan avustuksella. Nippiprofiilien muodot olivat suorat kalanterin molemmissa nipeissä. Nippiprofiileja mitattiin usealla eri viivakuormalla mutta mitään poikkeavaa ei tutkimuksissa havaittu. Liitteessä VI esitetyissä nippiprofiilin mittaustuloksissa on kalanterin toisen nipin mittaustulokset virheellisiä. Mittausmaton leveys oli virheellinen mittausohjelmassa.

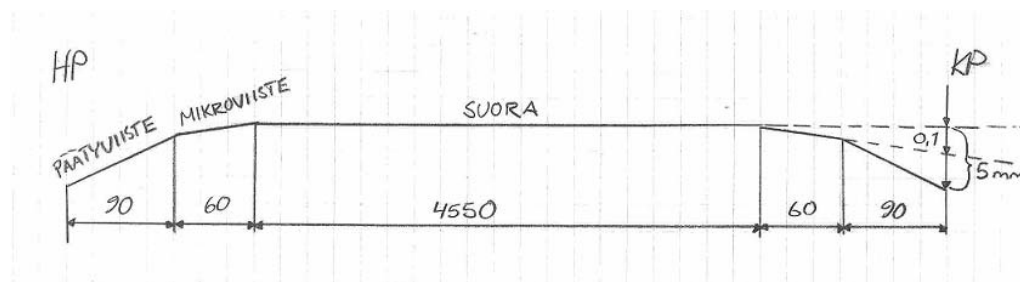
Kalanterin ensimmäisen nipin kokillitelan lämmitys toimii myös moitteettomasti. Periferiaporattu tri pass -tela lämpenee tasaisesti (kuva 19).



Kuva 19. PK 7:n kalanterin ensimmäisen nipin kokillitelan lämpötilaprofiili. Mitattu katkon yhteydessä. Mittaus on aloitettu koneen etureunasta.

Lämpötilaprofiilin muodossa näkyy Calcoilin toimilaitteiden vaikutus. Ajotilanteessa toimilaitteiden kuormat kohosivat käyttöpuolelle päin. Etureunan ensimmäiset toimilaitteet eivät lämmittäneet telaa ollenkaan ja takareunassa viimeisten toimilaitteiden tehoja oli pudotettu käsisäädöllä.

Kalanterin polymeeritelojen hionnan takia paperirata pitää kohdistaa tarkasti keskelle kalanteria. Kuvaan 20 on piirretty polymeeritelan muoto.



Kuva 20. PK 7:n mattakalanterin polymeeritelan hiontamuoto.

Polymeeritelan suora osuus on 4550 mm, jonka jälkeen alkaa molemmissa reunoissa 60 mm:n mikroviisteet. Jos paperirata ei ole tarkasti keskellä kalanteria, niin toinen reuna kulkee silloin mikroviisteiden päällä, eikä kalanteroidu samalla tavalla kuin suoralla oleva paperin osuus. Raskailla, 130 ja 150 g/m<sup>2</sup> neliömassoilla, rata on jo niin leveä, että paperin teräasemilla päällystämättä jääneet reunat kulkevat kalanterilla aivan mikroviisteiden ja suoran osan rajalla tai osittain jo mikroviisteiden puolella.

Kaikki kalanteriin kohdistetut tutkimukset osoittivat kalanterin toimivan moitteettomasti. Ainoa epäkohta oli kuormituspaineen pidempiaikainen asettuminen ajettaessa vanhalla ohjausjärjestelmällä matalilla viivakuormilla.

### 13. PÄÄLLYSTYSASEMIEN VAIKUTUS PAKSUUSPROFIILIIN

Paperi päällystetään PK 7:llä kahteen kertaan molemmilta puolilta. Esipäällystys suoritetaan molemmille puolille samanaikaisesti Voithin Speed-Siser päällystysyksiköllä ja pintapäällystys tehdään Voith-Sulzerin JetFlow päällystysasemilla. Kokonaispäällystemäärä vaihtelee välillä 24,5- 46 g/m<sup>2</sup>.

### **13.1 Esipäällystys**

Esipäällystys suoritetaan siis filminsiirtopäällystyksenä. Yläpuolelle ajetaan päällystettä hieman enemmän. Tämä tehdään radan hallinnan takia. Esipäällystimellä ei ole automaattista päällystemäärän profiloitijärjestelmää. Sauvoja voidaan profiloida käsin käännettävillä karoilla. Koneella on käytetty päällysteprofiilin säätämisessä yhtenä työkaluna myös filminsiirtopäällystimen sauvojen säätökaroja.

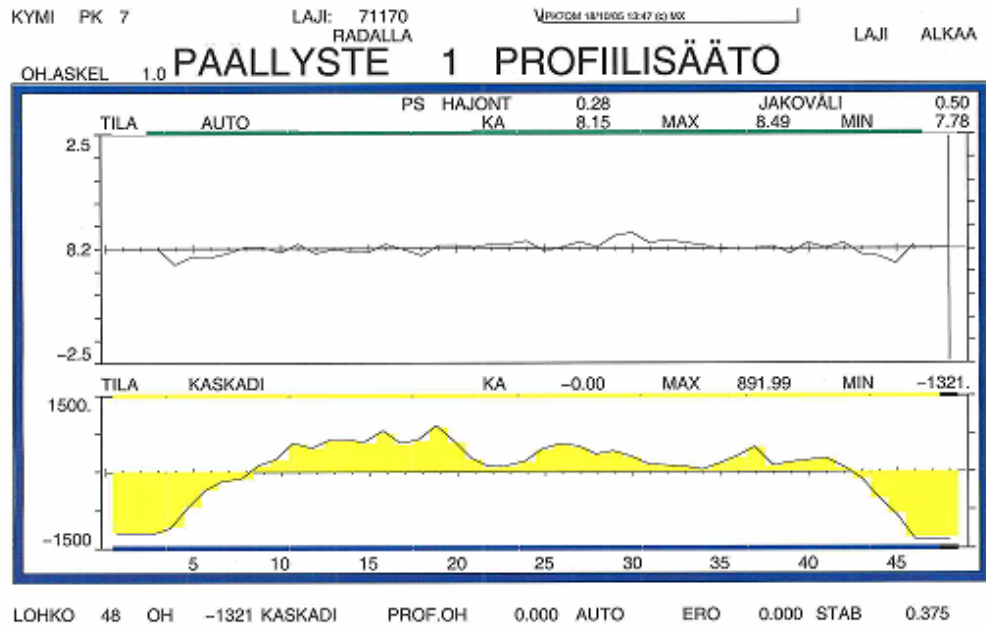
Heikon päällysteprofiilin hallittavuuden ja vaikeasti tavoitettavien suurien päällystemäärien takia koneella muutettiin esipäällystyksen tavoitetta raskaammilla neliömassoilla. Esipäällystyksen kokonaispäällystemäärän tavoitetta pudotettiin 2 g/m<sup>2</sup>. Nykyiset päällystemäärät vaihtelevat esipäällystyksessä 10 - 16 g/m<sup>2</sup>. Aikaisemmin poikkisuuntaisessa päällysteprofiilissa tapahtui suuria vaihteluja, kun tavoiteltiin suuria päällystemääriä ja käännettiin profiilin säätökaroja. Päällystemäärämuutoksen kanssa samanaikaisesti lopetettiin myös filminsiirtopäällystimen sauvojen profilointi. Nämä muutokset ovat rauhoittaneet esipäällystystä. Poikkisuuntainen profiili on näiden muutosten jälkeen aiempaa tasaisempaa. Vieläkin päällysteprofiilin hallinta heikkenee, kun päällystemäärä kasvaa yli 15 g/m<sup>2</sup>.

### **13.2 Pintapäällystys**

Teräasemilla ongelmana on ollut reuna-alueiden päällystemäärän hallinta. Reuna-alueilla päällystemäärä pyrkii ylittämään tavoitearvon ja paperin reunoissa neliömassa kasvaa jyrkästi. Paperin reuna-alueiden karheus vaikeuttaa osaltaan reuna-alueiden hallintaa. Karheampi paperin alue ottaa päällystettä vastaan enemmän kuin paperin sileämpi kohta. Tämän vuoksi terää joudutaan kuormittamaan entistä enemmän reuna alueilta. Tämä reuna-alueen ongelma ilmenee vielä pahempaan toisella asemalla, jossa päällystetään paperin alapuoli.

Ensimmäisellä asemalla päällysteprofiilin säädön toimilaitteet pysyvät toimialueellaan. Useimmissa ajotilanteissa silläkin asemalla reuna-alueen

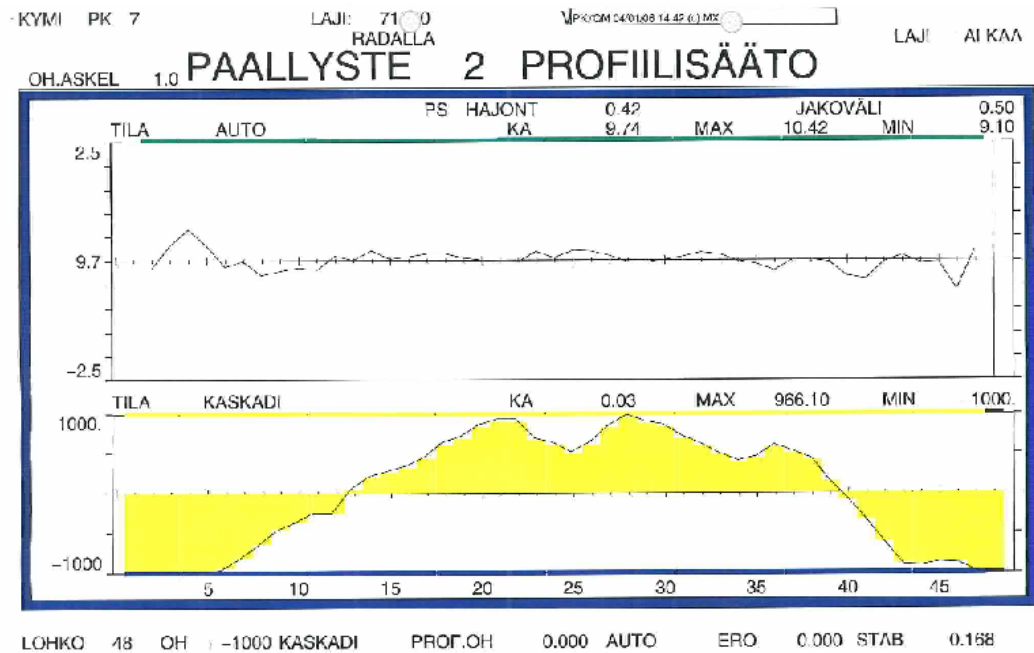
toimilaitteet painavat terää voimakkaasti. Ensimmäisen päällystysaseman päällystemäärän säätö- ja tavoiteprofiili on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. PK 7 laatusäätöjärjestelmän kuvaruudun näyttö ensimmäisen aseman päällystemäärän profiilisäädöstä. Yläkuvassa esitetään päällysteprofiili ja tavoiteprofiili. Alakuvassa esitetään toimilaitteprofiili.

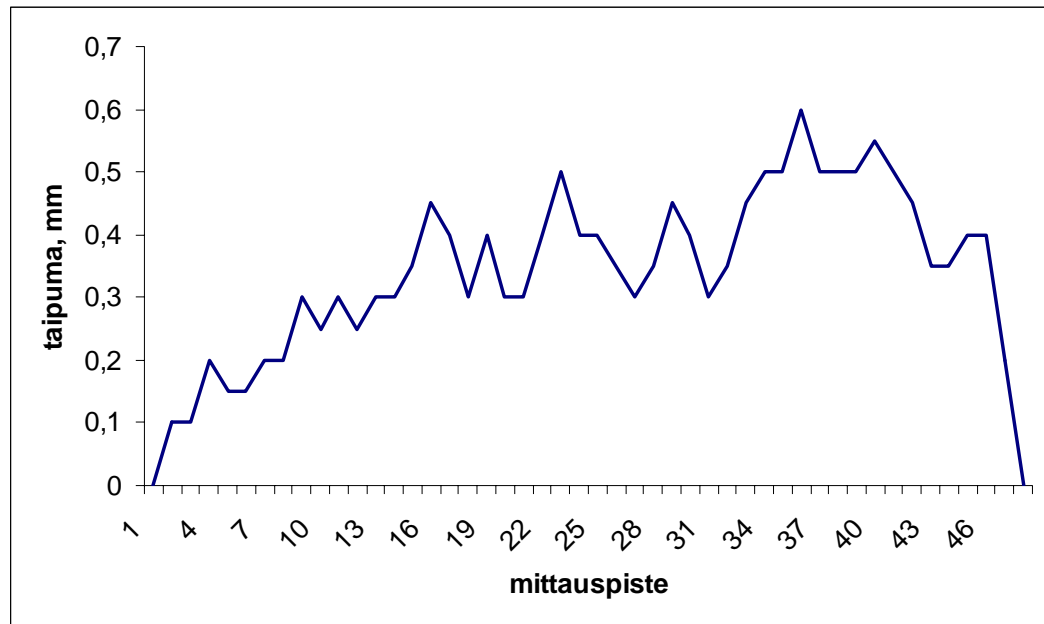
Kuvasta 21 nähdään, että reuna-alueiden toimilaitteet painavat terää voimakkaasti. Molempien reunojen kolme reunimmaista toimilaitetta käyttävät melkein koko toimialueen, jotta päällystemäärä saadaan pidettyä radan reunoissa halutulla tasolla.

Toisella päällystysasemalla päällysteprofiilin hallintaa on vaikeuttanut lisäksi profiilinsäätötoimilaitteiden kapeampi toimialue. Toimialue on rajattu  $\pm 1000 \mu\text{m}$  alueelle. Toimilaitteet ajautuvat lähes poikkeuksetta kuvan 22 osoittamaan tilaan.



Kuva 22. PK 7 laatusäätöjärjestelmän kuvaruudun näyttö toisen aseman päällystemäärän profiilisäädöstä. Yläkuvassa esitetään päällysteprofiili ja tavoiteprofiili. Alakuvassa esitetään toimilaitteprofiili.

Kuvassa 22 reuna-alueiden toimilaitteet kuormittavat terää niin paljon kuin säädön toimialue antaa myöden. Samoin radan keskellä terää keventävät toimilaitteet ovat kahdessa kohdassa toimialueen reunassa. Kun toimilaitteet ovat ajautuneet toimialueen reunoihin, niin säätö ei pysty enää korjaamaan päällysteprofiilia, minkä vuoksi profiilin vaihtelut lisääntyvät. Toisen päällystysaseman reunojen kuormittamista lisää reunojen karheuden lisäksi myös teräpitiimen muoto. Teräpidin on kuperan muotoinen vastatelaan nähden (kuva 23).



Kuva 23. PK 7:n toisen päällystysaseman teräpitimen vaakasuuntainen taipuma. Positiivinen suunta on vastatelaan päin. Mittaus on suoritettu profiilinsäätökarojen jaon mukaisesti eli 10 cm välein /30/.

Kuvan 23 mukaan toisen päällystysaseman teräpidin on selvästi taipunut kuperaksi vastatelaan nähden. Reunat ovat kauempana telasta kuin teräpitimen keskikohta. Mittaus ei kerro teräpitimen etäisyyttä vastatelasta vaan ainoastaan sen muodon. Mittauksessa nollakohdaksi on otettu ensimmäinen mittauspiste.

Teräpalkin lämpötilan muutoksilla ei ollut vaikutusta toimilaitteprofiiliin. Teräpalkkiin ei saada tarpeeksi suurta lämpötilaeroa, jotta se taipuisi ja teräpitimen muoto korjaantuisi. Kyseisessä teräpalkissa on vain yksi lämminvesikierto, joka tasaa palkin lämpötilan asetusarvoon. Teräpalkin taivuttamiseen lämpötilaeron avulla tarvittaisiin kaksi erillistä lämminvesikiertoa.

Kaavinterän materiaalilla voidaan myös vaikuttaa profiilinsäätöön. Koneella kokeiltiin karbiidipinnoitteisia kaavinteriä molemmilla päällystysasemilla. Terän kovan pinnan ja hitaan kulumisen vuoksi profiilinsäätölaitteet pysyivät ajon aikana huomattavasti kapeammalla säätöalueella kuin koneella normaalisti käytettävillä peltiterillä. Peltiterillä ajettaessa päällysteprofiilisäädön toimilaitteet ajautuvat hyvin nopeasti teränvaihdon jälkeen säätöalueen reunoihin radan reuna-alueilla. Koeajon aikana kummankaan päällystysaseman profiilinsäätötoimilaitteet



eivät ajautuneet toimialueen reunoihin. Liitteessä VII on esitetty laatusäätöjärjestelmän päällystesäädön näytöt yhdeltä koeajon hetkeltä.

## **14. LAATUSÄÄTÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA**

PK 7:n laatusäätöjärjestelmänä on Honeywelin toimittama MX- Open. Suurimpana ongelmana on ollut etureunan mittaaminen riittävän läheltä radan reunaa. Tämä ongelma johtuu päänvientinaruista. Mittavaunu ei pääse päänvientinarujen takia ylittämään rataa kokonaan etureunassa ja osa paperiradasta jää mittaamatta.

Mittavaunut säädettiin mahdollisimman lähelle päänvientinaruja jokaisella mittapalkilla. Paksuusprofiili saatiin mitattua tämän jälkeen riittävän läheltä myös etureunaa. Neliömassamittauksissa tuli ongelmia kahdella mittapalkilla. Osittaisen radan ylityksen takia neliömassa-anturi mittasi etureunassa välillä ilmaa. Tämä virheellinen mittaus aiheutti heiluntaa kuivapainosäätöön sekä ensimmäisen päällystysaseman päällysteprofiilin säätöön.

### **14.1 Päällystemääräsäätö**

PK 7:llä on säädetty pintapäällysteen konesuuntainen päällystemäärä käsisäädöllä. Ajotapaan on päädytty aikanaan, kun konesuuntaisen säädön toiminnassa oli epäkohtia.

Konesuuntaisen säädön teräkuormalle oli aseteltu liian suuri säätöikkuna. Säätö kevensi tai kuormitti terää liian paljon tietyissä ajotilanteissa, jonka seurauksena tuli tuotantohäiriöitä. Konesuuntaisen päällystemääräsäädön säätöikkunaa kavennettiin, jotta tuotantohäiriöiltä vältyttäisiin ja säätö voitaisiin ottaa käyttöön.

Päällysteprofiilin säädön toimilaitteita voidaan ajaa päällystysasemilla joko keskiarvon mukaan tai ilman keskiarvoa. Keskiarvoasettelu pitää toimilaitteiden keskiarvon asetellussa arvossa. Keskiarvo pysyy asetusarvossa, kun joku toimilaite kuormittaa terää niin vastaavasti toinen toimilaite keventää terää.

Tämän säätötavan ollessa päällä voidaan toimilaitteiden tasoa muuttaa niin, että niiden profiilimuoto säilyy. Keskiarvoa muuttamalla voidaan siirtää reunaan ajautuneet toimilaitteet taas toimialueelle.

Ilman keskiarvoasetusta ajettaessa toimilaitteet pitävät säätöprofiilin mahdollisimman lähellä tavoiteprofiilia. Toimilaitteiden liikettä rajoittaa silloin säätöalue sekä taivutusraja.

Työn aikana kokeiltiin molempia ajomalleja päällystysasemien profiilinsäätötoimilaitteille. Merkittävää eroa ei havaittu. Varsinkin toisella päällystysasemalla toimilaitteet ajautuivat säätöikkunan reunoihin molemmissa ajomalleissa. Toisen päällystysaseman säätöikkuna suurennettiin samaksi kuin ensimmäisellä päällystysasemalla, jotta päällysteprofiili hallittaisiin radan reunoissa paremmin.

## **14.2 Paksuussäätö**

Etureunan mittauseron lisäksi paksuussäädön toimilaitteiden liikkeet olivat hyvin nopeita. Säätö pyrki korjaamaan jokaista paksuusprofiilin muutosta. Vastekokeiden tulosten perusteella toimilaitteiden liikkeitä hidastettiin.

Katkon jälkeistä toimintaa muutettiin myös paksuussäädön osalta. Säätöön tehtiin viive, jonka jälkeen toimilaitteet vasta alkavat korjata paksuusprofiilia. Sitä ennen kokillitella lämmitetään ennen katkoa olleen toimilaitteeprofiilin mukaan. Säätö jäi aikaisemmin helposti huojumaan katkon jälkeen, kun se alkoi heti korjata paksuusprofiilia. Säädön huojunta aiheutui tilanteissa, joissa mitattiin kalanteroimattoman paperin paksuusprofiilia. Säätö sai kalanteroimattomasta paksuusprofiilista eli paksuista reunoista tiedon ja reagoi siihen aggressiivisesti, kun kalanterointi ja paksuusprofiilin säätäminen aloitettiin.

### **14.3 Kosteus- ja kuivamassaprofiilien tarkastus**

Laatusäätöjärjestelmän kosteusprofiilien mittaustulokset tarkistettiin lämpökameran avulla. Lämpökameran lämpötilaprofiilin muoto täsmää kosteusprofiilin muodon kanssa eli kosteusmittaus toimii oikein.

Kuivapainon säädössä muutettiin reunimmaisat toimilaitteet seuraamaan viimeistä säädön mukaan toimivaa toimilaitetta. Tällä toimenpiteellä tasoitettiin huulen jyrkkiä muutoksia reunoissa ja niistä aiheutuvia virtauseroja.

## **15. AJOMALLIN KEHITTÄMINEN**

Tutkimusten pohjalta muodostettiin koeajoa varten koneelle seuraavanlainen ajomalli:

- Paksuusprofiili ajetaan reuna-alueilla paksummaksi
- Laatusäätöjärjestelmä ohjaa kaikkia Calcoilin toimilaitteita, myös reuna-alueiden toimilaitteita.
- Käytetään kalanterin vinokuorman säätöä.
- Esipäällystyksessä ei käytetä sauvojen profiloitinkaroja
- Päällystysasemien konesuuntainen päällystemäärän säätö pidetään päällä
- Muutetaan päällystysasemien profiilinsäätölaitteiden keskiarvoa, jos toimilaitteet ovat ajautuneet säätöalueen reunaan

Tällä ajomallilla pyritään pitämään kalanterille tulevan paperin profiilit mahdollisimman tasaisena. Paksuuden online- mittarin mittausvirhe kompensoidaan reunoilta paksunevalla paksuusprofiilin tavoitteella.

Koeajon aikana valmistui kalanterin vinokuorman ajomahdollisuus, joten koeajon viimeisellä viikolla operaattoreilla oli mahdollisuus säätää paksuusprofiilia myös kalanterin vinokuorman avulla. Aikaisemmin vinokuorman säädön teki kunnossapitohenkilöstö.

## 16. TULOKSET UUDELLA AJOMALLILLA

Tutkimusten pohjalta laaditulla ajomallilla ajettiin kuukauden koeajojakso. Ajojakson aikaisen rullahylyn määrää verrattiin vuoden 2005 tammi - lokakuun väliseen rullahylyn määrään. Referenssijakso valittiin siten, etteivät mitkään työssä tehdyt toimenpiteet ja kokeet vaikuttaneet referenssijakson tuloksiin.

Tuloksissa verrataan rullahylkyä, joka on syntynyt paperin profiilivikojen takia. Tulokset on laskettu tehtaan tehdasjärjestelmän ja tuotantoraporttien tietojen pohjalta. Rullahylyissä olevat erot johtuvat kahdesta eri tietolähteestä. Tehdasjärjestelmä käsittelee leikkurilla hylättyjä rullia laskennallisten tonnien pohjalta. Tuotantoraporteissa rullahylyn laskenta perustuu pituusleikkurilla mitattujen metrien määrään. Tehdasjärjestelmään perustuvissa tiedoissa huomioitiin ainoastaan pituusleikkurilla hylätyt rullat, kun taas tuotantoraporttien pohjalta lasketuissa pituusleikkurin hylkyprosentteissa on huomioitu kaikki pituusleikkurilla kirjatut hylät.

Vuoden 2005 tammi - lokakuun välisenä aikana pituusleikkurilla profiilivioista johtuneen rullahylyn keskiarvo oli 1,57 %. Kuukausien välille saadaan keskihajonnalla laskettua profiilivioista johtuvan rullahylyn vaihteluväliksi 0,77 %. Referenssijakson aikana profiilivioista johtuva rullahylky on vaihdellut  $1,57 \pm 0,77$  %. Referenssijakson aikana kuukausien välillä on ollut suuria eroja.

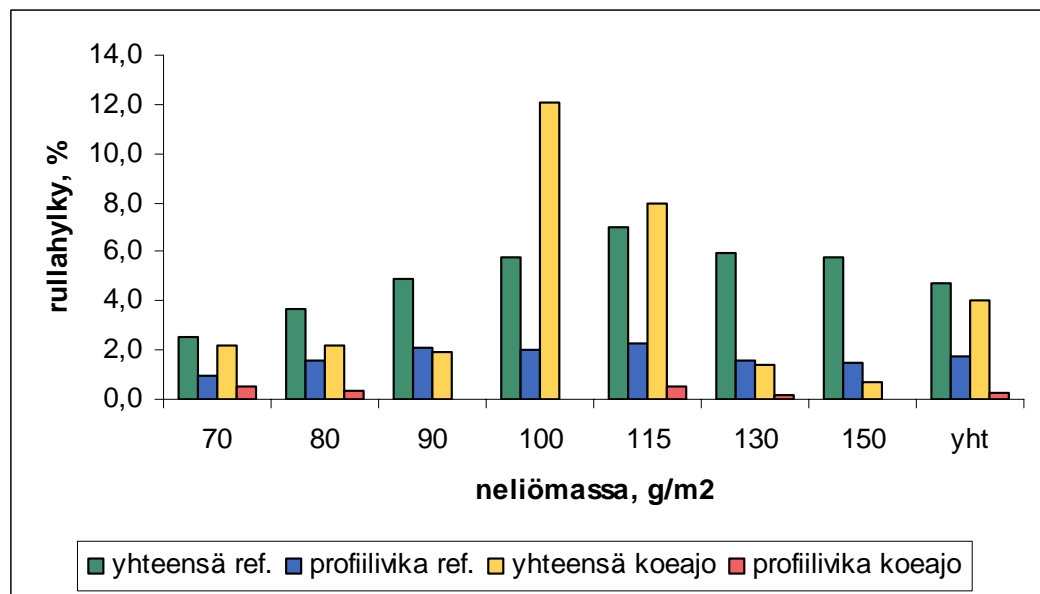
Kuukauden koeajon aikana profiilivioista johtuvaksi rullahylyksi muodostui 0,3 %. Koeajon rullahylkymäärä jäi siis pienemmäksi kuin referenssijakson. Koeajon rullahylkymäärä on niin pieni, että se on selvästi jopa referenssijakson hajonnan ulkopuolella.

Vertailujakson aikana pituusleikkurin hylkyprosentin keskiarvo oli 8,95 %. Luku sisältää kaiken hyllyn, mikä kirjautuu tuotantoraporttiin pituusleikkurilla muodostuneeksi. Pituusleikkurin hylkyprosentti sisältää rullahylyn lisäksi esimerkiksi automaattisen leveyshylyn sekä automaattisen konerullien pohjahylyn. Pituusleikkurin hylkyprosentti on vaihdellut vertailujakson aikana

keskihajonnan mukaan  $8,95 \pm 4,3$  %. Kuukausien väliset erot näkyvät selvästi myös pituusleikkurin hylkyprosentin suurena hajontana.

Koeajojaksolla pituusleikkurin hylkyprosentiksi muodostui 10 %. Pituusleikkurin hylkyprosentti oli koeajon aikana samalla tasolla kuin vertailujakson hylkyprosentti, kun vertailujakson hajonta huomioidaan.

Tarkasteltaessa rullahylkyä ainoastaan pituusleikkurilla hylättyjen rullien pohjalta nähdään myös positiivinen kehitys profiilivioista johtuvan rullahylyn suhteen. Pituusleikkurin kokonaisrullahylky pysyi koeajon aikana referenssijakson tasolla. Koeajon aikana joidenkin lajien rullahylky nousi huomattavasti korkeammaksi kuin referenssijakson rullahylky. Kuvassa 24 esitetään koeajon ja referenssijakson rullahylkyjen määrät.

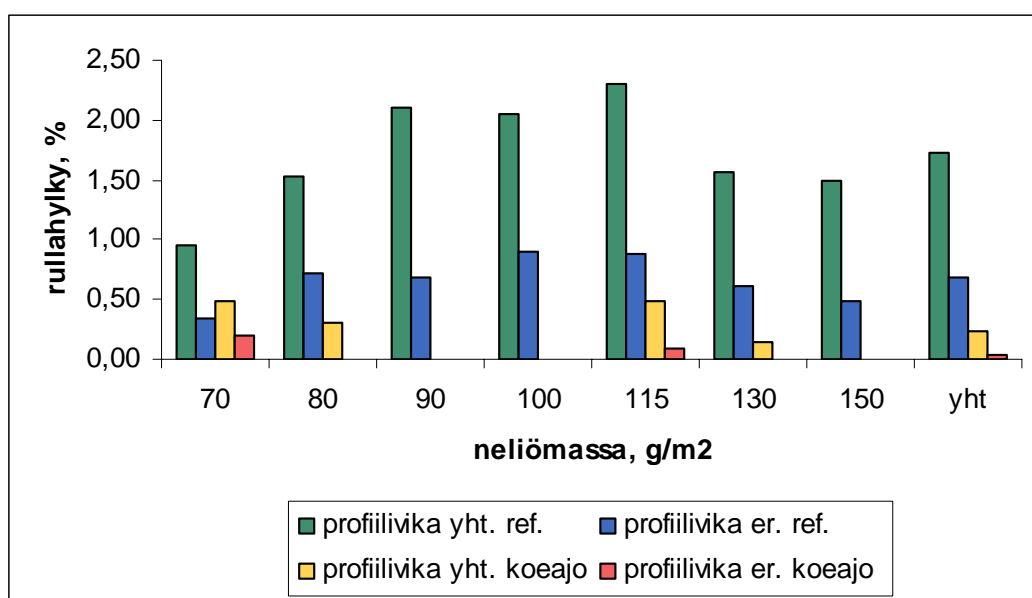


Kuva 24. Kuvassa esitetään pituusleikkurin kokonaisrullahylky ja profiilivioista johtuva rullahylky.

Koeajon aikana oli ongelmia viirutuksen kanssa. Ongelmapäivänä ajettiin 100 g/m² paperia ja nämä ongelmat näkyvät selvästi tämän neliömassan kohdalla rullahylyn kokonaismäärässä. Lajikohtaisia eroja ei voida todeta tämän kokeen perusteella, vaikka 90 ja 100 g/m² neliömassoilla ei tullut ollenkaan profiilivioista johtuvaa rullahylkyä. Profiilivioista johtuvassa rullahylyn määrässä on tapahtunut

huomattava parannus. Referenssijakson aikana rullahylyn määrästä 1,72 % johtui profiilivioista. Koeajon aikana vastaava luku oli 0,23 %.

Paperikoneella hylättiin aikaisemmin paljon rullia etureunasta. Tässä työssä etureunan alue on rajattu pituusleikkurin ratapaikka 1 mukaan. Referenssijakson aikana pituusleikkurilla hylättiin profiilivikaisista rullista 40 % ratapaikalta 1. Kuvassa 25 esitetään profiilivioista johtuva rullahylyn määrä ja etureunasta profiilivikojen vuoksi hylättyjen rullien määrä.



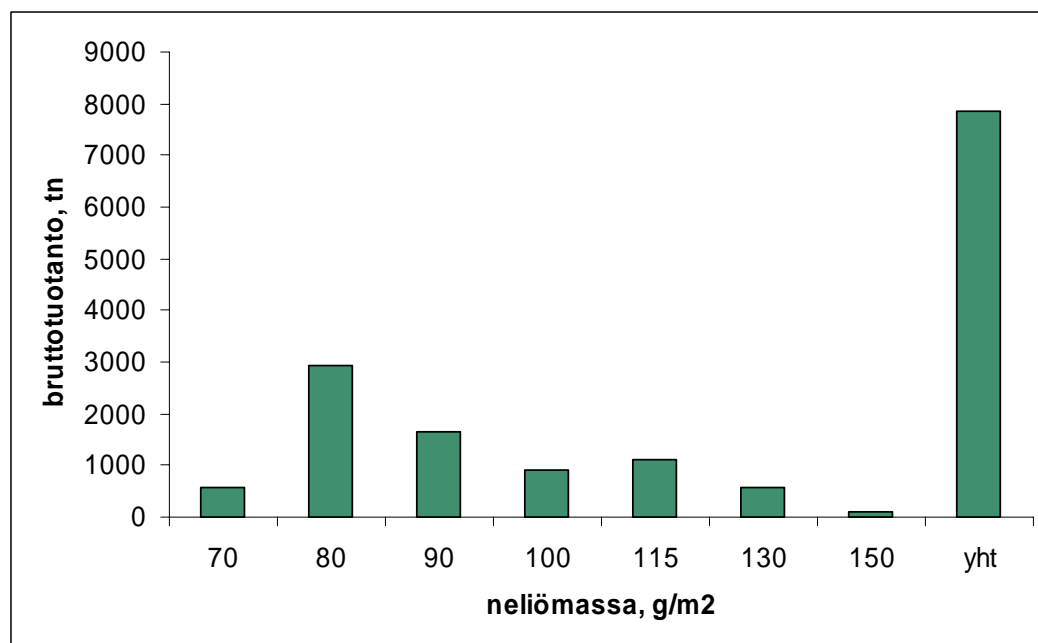
Kuva 25. Kuvassa esitetään profiilivioista johtuva rullahylyn määrä sekä etureunan profiilivioista johtuva rullahylyn määrä.

Etareunan hallinta on parantunut koeajon aikana. Useilla lajeilla ei ole hylätty koeajon aikana etareunasta rullia profiilivikojen takia lainkaan ja on myös lajeja joilla ei ole syntynyt profiilivioista johtuvaa rullahylyä laisinkaan. Koeajon aikana rullahylystä johtui 0,03 % etareunan profiilivioista. Referenssijakson aikana vastaava luku oli 0,69 %. Lajikohtaisia eroja ei voida todeta etareunan osaltakaan, vaikka joillakin neliömassoilla ei syntynyt etareunasta profiilivioista johtuvaa rullahylyä.

Koeajossa käytetyllä ajomallilla on saatu selvää parannusta profiilivioista johtuvan rullahylyn määrään. Koeajojakson aikana rullahylystä 0,23 % johtui profiilivioista, kun vastaava luku oli referenssijakson aikana 1,72 %. Etureunan hallintakin parani koeajon aikana. Koeajon aikana etureunasta johtuvan rullahylyn määrän muutos oli 0,69:sta 0,03:een %.

### 16.1 Tulosten luotettavuus

Koeajon tuloksia voidaan pitää hyvin suuntaa näyttävinä. Kuitenkin tuloksien selvään parannukseen pitää suhtautua tietyllä varauksella. Koeajojakso oli vain kuukauden mittainen ja sen käyntiaste jäi hyvin alhaiseksi. Koeajojakson käyntiaste oli vain 58 %. Referenssijakson hajontojen mukaan kuukausien välillä on suuria eroja. On mahdollista, että koeajojakso osui tasaisemman kuukauden kohdalle. Lisäksi lajikohtaisten erojen osoittaminen on mahdotonta, koska neliömassat jakautuivat hyvin epätasaisesti koeajon aikana. Kuvassa 26 esitetään koeajon aikainen bruttotuotanto.



Kuva 26. PK 7:n bruttotuotanto koeajojakson aikana.

Koeajojakson aikana tehtiin paperia kaikkiaan 7838 tonnia. Tästä määrästä suurimman osan muodostavat 80 ja 90 g/m<sup>2</sup> neliömassat. Niiden osuus nousee 58 %:iin bruttotuotannosta. Suurien erojen ja joidenkin neliömassojen pienien määrien vuoksi lajien välistä vertailua ei voida tehdä.

Paperikoneella on ollut kaksi isoa laatuongelmaa, joiden parissa on työskennelty tämän työn aikana. Toinen on ollut tämä profiilivioista johtuva hylky ja toinen päällystyksestä ja viirutuksesta johtuva hylky. Leikkurilla on katsottu hyvin tarkasti asiakasrullien laatua. Varsinkin viirutukseen on kiinnitetty huomiota. Profiiliviat on muutenkin selvemmin havaittavissa kuin viirujen aiheuttama rullahylky. Pituusleikkurin laaduntarkkailu on ollut työn aikana hyvällä tasolla ja kirjattuja hylkymääriä voidaan pitää luotettavina.

Tehdasjärjestelmän ominaisuuden vuoksi tuloksissa voi olla myös virhettä. Tehdasjärjestelmään ei voi antaa kuin yhden hylkäyssyn asiakasrullalle. Koeajon aikana on voinut olla rullia, joissa on sekä viiru- että profiilivikaa. Nämä rullat on voitu hylätä viirun takia, koska viirujen valvontaan on kiinnitetty paljon huomiota.

## **17. JOHTOPÄÄTÖKSET**

Työn tavoitteena oli löytää syyt PK 7:n heikkoon paksuusprofiiliin ja saada paksuusprofiilin vaihtelut hallintaan. Tätä kautta pyrittiin myös vähentämään profiilivioista johtuvaa rullahylkyä.

Syitä heikkoon paksuusprofiiliin haettiin kalanterin, päällystysasemien ja laatusäätöjärjestelmän toiminnoista. Lisäksi työssä tutkittiin karheusprofiilin vaikutusta paksuusmittaukseen.

Työssä löydettiin selvä yhteys paperikoneen paksuusmittarin muodostaman paksuusprofiilin ja paperin karheusprofiilin välille. Sekä paperin ala- että yläpuolen karheusprofiilit korreloivat hyvin paperikoneen paksuusmittarin muodostaman paksuusprofiilin kanssa. Paperin reuna-alueiden karheus vaikuttaa



suurentavasti paperikoneen paksuusmittauksen mittaustulokseen. Paksuuden online- mittarin mittausvirhe on kompensoitava, jotta paperin todellinen paksuusprofiili saadaan suoraksi. Kirjallisuudesta ei löydy julkaistuja tutkimuksia karheuden vaikutuksesta paksuuden online-mittaukseen. Laitetoimittajat myöntävät, että karheusprofiililla on vaikutusta koskettavan online- paksuusmittarin mittaustulokseen.

Paksuusprofiili vaikuttaa muodostuvan rullan kovuusprofiiliin. Kompensoimalla paperikoneen paksuusprofiilin mittausvirhe saatiin paperin todellinen paksuusprofiili suoraksi. Kompensointi tehtiin muuttamalla paperikoneen paksuusprofiilin tavoitetta. Konerullista mitattuja kovuusprofiileja ei kuitenkaan saatu korreloimaan todellisen paksuusprofiilin kanssa. Konerullan päät tulivat pehmeiksi, vaikka paksuusprofiili oli suora. Paperikoneella syntyvän konerullan kovuusprofiilin pitää olla tasainen, jotta pituusleikkurilla vältetään ongelmilta ja rullahylyn syntymiseltä. Varsinkin äkkinäiset ja jyrkät muutokset konerullan kovuusprofiilissa johtavat suuriin ongelmiin pituusleikkurilla. Todellisen paksuusprofiilin ollessa suora, konerullan päiden pehmeneminen oli niin lievää huonosta korrelaatiosta huolimatta, että paperin pituusleikkaus sujui hyvin eikä rullahylkyä muodostunut.

Laatusäätöjärjestelmän suurimpana ongelmana oli etureunan mittaaminen. Päänvientinaruista johtuen mittavaunu ei päässyt tarpeeksi lähelle etureunaa ja osa radasta jäi mittaamatta. Jokaisen mittavaunun mittausalue maksimoitiin työn aikana. Suurin muutos saatiin paksuusmittaukseen, kun mittavaunua ajettiin lähemmäksi päänvientinaruja. Tämän jälkeen paksuusprofiili saatiin mitattua myös riittävän läheltä etureunaa.

Kalanterille tulevan paperin profiilit ovat melko tasaisia. Radan reunoihin pyrkii muodostumaan päällystysasemilla neliömassapatit. Radan karheampi reuna ottaa päällystettä paremmin vastaan kuin sileämpi keskikohta. Tämän vuoksi sivelyterää joudutaan kuormittamaan radan reunoissa enemmän kuin keskellä. Profiilinsäätölaitteet ajautuvat välillä radan reuna-alueilla säätöalueen reunaan eivätkä pysty korjaamaan päällysteprofiilia. Säätöalueen reunaan ajautuneet

toimilaitteet voidaan palauttaa tietyissä ajotilanteissa toimialueelle, kun niiden keskiarvoasetusta muutetaan. Myös karbiidipinnoitteisten sivelyterien käyttö parantaa päällysteprofiilin hallintaa. Hitaamman terän kulumisen vuoksi säädön vaste on parempi kuin peltiterällä. Päällysteprofiilisäädön toimilaitteet eivät ajaudu säätöalueen reunoihin yhtä nopeasti kuin peltiterää käytettäessä. Tämä päällysteprofiilin reuna-alueen säätöongelma esiintyy vielä pahempana toisella päällystysasemalla, jossa päällystetään paperin alapuoli.

Osaltaan toisen päällystysaseman ongelmaa lisää päällystysaseman teräpitimen kuperaus. Teräpidin on kuperan muotoinen vastatelaan nähden. Teräpitimen reunat ovat kauempana vastatelasta kuin keskusta. Teräpalkkia yritettiin taivuttaa lämpötilaeron avulla. Kyseisessä palkissa ei ole kuin yksi lämminvesikierto. Lämminvesikierto tasaa teräpalkin lämpötilan asetusarvoon. Sillä ei kuitenkaan saada riittävän isoa lämpötilaeroa aikaiseksi, jotta teräpalkki taipuisi ja teräpitimen kupera muoto korjaantuisi.

Tutkimusten pohjalta koeajoa varten laadittu ajomalli pohjautui pitkälti paksuuden online- mittarin mittausvirheen kompensointiin. Paperikoneen paksuusprofiilin tavoite muutettiin reunoilta nousevaksi. Lisäksi päällystysasemien reunojen hallintaa pyrittiin parantamaan muuttamalla päällysteprofiilin toimilaitteiden keskiarvoasetusta, kun toimilaitteet olivat ajautuneet säätöalueen reunaan. Koeajojakson tulokset olivat positiivisia ja paperikoneen profiilivioista johtuvan rullahylyn määrää saatiin vähennettyä merkittävästi. Koeajojakson aikana profiilivioista muodostuvan rullahylyn muutos oli 1,72:sta 0,23:een %. Etureunan hallinta parani koeajon aikana. Etureunasta johtuvan rullahylyn määrän muutos oli 0,69:sta 0,03:een %.

Koeajon tuloksia voidaan pitää hyvin suuntaa antavina. Niihin pitää kuitenkin suhtautua tietyllä varauksella. Koeajojakso oli yhden kuukauden mittainen ja sen käyntiaste oli matala, 58 %. Koeajon aikana ajettiin koko lajiskaala läpi mutta lajit jakaantuivat hyvin epätasaisesti. Tämän vuoksi lajien välisiä eroja ei voitu todeta koeajon perusteella.

Työssä saavutettiin hyvin sille asetetut tavoitteet sekä löydettiin jatkotutkimuskohteita. Paksuusprofiilin hallinnan ongelmaksi paljastui online-paksuusmittarin mittausvirhe. Tutkimusten perusteella laaditulla ajomallilla saatiin hyviä tuloksia rullahylyn suhteen. Koeajon aikaisen ajomallin käyttämistä voi suositella tämän tutkimuksen perusteella.

## **18. EHDOTUKSIA JATKOTOIMENPITEIKSI**

Jatkotutkimuksissa pitää selvittää syyt kovuusprofiilin ja todellisen paksuusprofiilin heikkoon korrelaatioon. Konerullan kovuusprofiili muodostui reunoilta hieman pehmeäksi, vaikka paperin todellinen paksuusprofiili oli tasainen. On mahdollista, että paperiradan kireysprofiili muuttuu löysemmäksi reuna-alueella ja tämän seurauksena konerullan reunat rullautuvat löysemmälle. Tämä näkyy edelleen kovuusprofiilissa reunojen pehmenemisenä. Kireysprofiilin muuttuminen voi olla peräisin kuivatuskutistumasta tai kosteusprofiilin muutoksista. Työssä tehdyn selvityksen pohjalta ei kosteusprofiilissa havaittu virhettä, mutta asiaa kannattaa jatkossa tutkia tarkemmin. PK 7:n paperista Tapio-analysointorilla mitatuissa profiileissa ei havaittu suuria heittoja. Sekä kuitupaino- että tuhkaprofiilit olivat pääasiassa suorina. Raskaammilla neliömassoilla neliömassaprofiilin hajonnat suurenevät. Konerullan päiden pehmeneminen ei johdu tutkimusten mukaan materiaalin puutteesta. Konerullasta mitattu tiheysprofiili oli myös tasainen, eikä se viittaa rullan reunojen pehmenemiseen.

Tärkeää on myös muistaa, että mittauksissa havaittu konerullan kovuusprofiilin kupera muoto ei johtanut ongelmiin paperin jatkokäsittelyssä. Sen takia on tärkeää selvittää kovuuden vaste, kun paperin paksuusprofiili ajetaan suoraksi paksuuden online-mittarin mukaan. Tällä kokeella varmistetaan karheuden vaikutus paksuuden online-mittariin. Jos uuden RQP- kovuusmittarin ja paksuusprofiilin välille saadaan selvä yhtälö, niin RQP- mittaria voidaan jatkossa hyödyntää nopeana työkaluna paksuusprofiilin ongelma-tilanteiden ratkaisussa.

Karheusprofiilin muodostuminen olisi hyvä selvittää. Koneelta viimeaikoina mitatuissa orientaatioprofiileissa kulmat ovat olleet suuria radan reuna-alueella. Erityisen heikko orientaatioprofiili voi vaikuttaa osaltaan karheuden syntymiseen. On myös mahdollista, että reuna-alueiden karheus syntyy ainoastaan kuivatuskutistuman seurauksena. Koneella ei ole orientaation hallintaan muita työkaluja kuin suihku-viira suhde ja huuliaukko. Huuliaukkoa kaventamalla reuna-alueella vaikutetaan kuivamassaprofiiliin ja sitä kautta myös paksuusprofiiliin. Tämän vuoksi on vaikeaa löytää keinoa, jolla vaikutetaan ainoastaan karheusprofiiliin.

Koneella kokeiltuja karbiidipinnoitteisia sivelyteriä ja niiden vaikutusta päällysteprofiilin hallintaan kannattaa jatkossa tutkia. Kovapintaisilla ja hitaasti kuluvilla sivelyterillä voidaan vähentää teränvaihtokatkoja ja saavuttaa tasaisempi päällysteprofiili.

## LÄHDELUETTELO

1. Uusitalo, J., Poikkiprofilin mittaaminen ja säätäminen, POHTO, Lappeenranta, 14-15.5.2002
2. Mäkelä, M., Paperin laatusuureiden mittaaminen ja säätö, 2. painos, Suomen Automaatioseura Ry, Helsinki 2003, 110s.
3. Karjalainen, L., Tilastomatematiikka, 7. painos, Pii-kirjat, Jyväskylä 2000, 224s.
4. UPM-Kymmene/Kymi, Intranet, KnowPap 6,0 (5/2004)
5. Aumala, O., Teollisuusprosessien mittaukset, 4. painos, Pressus Oy, Tampere, 1990, 376 s
6. Putkinen, P., Nuyan, S., Mäntylä, M., Instantaneous Moisture Measurement System Solves Wet End Stability Problems, Optimises Pressing, and Improves Runnability, Pulp and Paper Conference 2004: efficiency, Helsinki, 1-3.6.2004.
7. Blumberg, R., Uncertainties in dynamic calibration of on-line quality measurements on a paper machine, Diplomityö, Åbo Akademi, 2000, 95 s
8. Honeywell process solutions, Laser caliper measurement, saatavissa: <http://hpsweb.honeywell.com/Cultures/en-US/IndustrySolutions/PulpPaperPrinting/PaperMeasurement/LaserCaliperMeasurement/default.html>,[viitattu 17.10.2005]
9. Leiviskä, K. , Nyberg, T., Process control in paper mills. Papermaking Science and Technology, book 14, Process Control (ed. K. Leiviskä), Fapet Oy, Helsinki, 1999, 297 s
10. Jokinen, R. , suullinen tiedonanto, 2005
11. Norman, B., Web forming. Papermaking Science and Technology, book 8, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End (ed. H. Paulapuro), Fapet Oy, Helsinki, 2000, 461 s
12. Kiiskinen, H., Paltakari, J., Pakarinen, P., Drying and paper quality. Papermaking Science and Technology, book 9, Papermaking Part 2, Drying (ed. M. Karlsson) Fapet Oy, Helsinki, 2000, 496 s

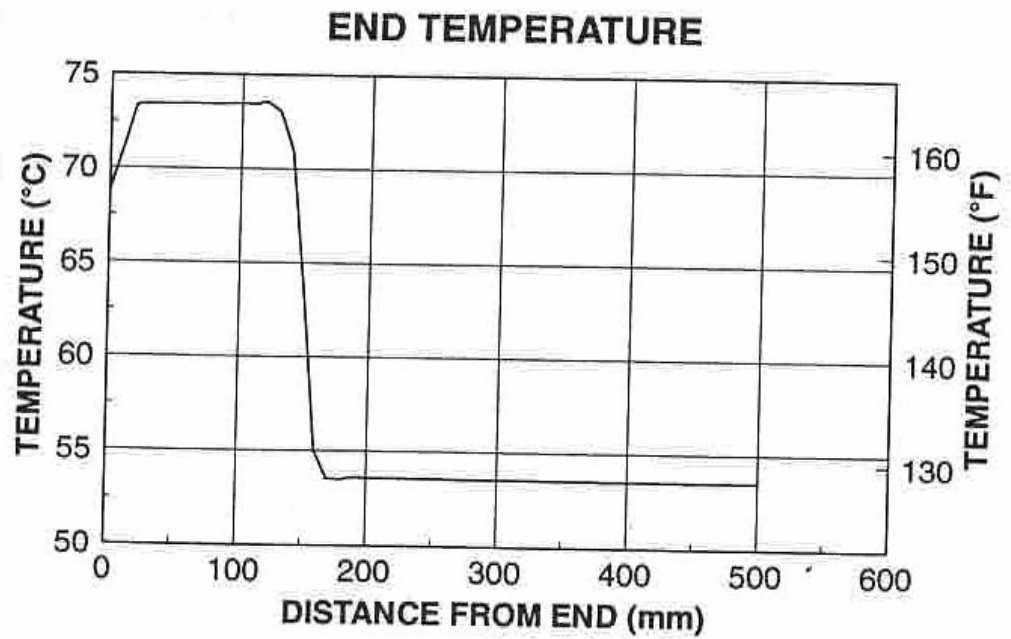
13. Linnonmaa, J., Trefz, M., Pigment coating techniques. Papermaking Science and Technology, book 11, Pigment Coating and Surface Sizing of Paper (ed. E. Lehtinen), Fapet Oy, Helsinki, 2000, 810 s
14. Ehrola, J., Hernesniemi A., Kuosa, H., Kyytsönen, M., Linnonmaa, P., Mäenpää, T., Pietikäinen, R., Stapels, R., Tani, M., Vuorikari, H., Celendering. Papermaking Science and Technology, book 10, Papermaking Part 3, Finishing (ed. M. Jokio), Fapet Oy, Helsinki, 1999, 361s
15. Vyse, B., Steele, T., Neill, P., Practical Improvements in Paper Calendering and Finishing, IPPTA Conventtion Issue, (2003), s.23-30.
16. Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P., Paperin ja kartongin valmistus, Opetushallitus, Helsinki, 2000, 280s
17. Tuomela, J., Kempainen, M., Kalanteroinnin paperiteknologiaa, Kalanteri- ja telaseminaari, Karhula, 17.6.2003
18. Svenka, P., Die richtige Glätttechnik für gute Bedruckbarkeit, Science and Technplogy, Das Papier, ipw, (2005), 3, s.45-49
19. Hoelzel, P., CD-Caliper Profile Improvement with a new powerfull Multi-Zone Controlled Calender Roll, 91 st Annual Meeting Preprints-Book C, Congres Annuel ATPPC, 10.2.2005
20. Svenka, P., Brendel, B., CD-Caliper Control in Hard and Soft Nip Calenders, International CD Symposium ' 97 cross Directional Web Measurements, Controls and Actuator System in Paper Machines, Tampere, 4-5.6.1997
21. Moore, R.H., Crowns and Cross-Machine loading variations, Tappi Engineering Conference Book 2, Dallas, 11-14.9.1995
22. Kumpulainen, A., Kalanteriusinnat, Kalanteri- ja telaseminaari, Karhula, 17.6.2003
23. Vyse, B., King J., Hilden, K., CD Caliper Control on Soft Nip Calenders, 79e Congres annuel section technique association canadienne des pates et papiers, Montreal, 26-27.1.1993
24. Fujimoto, K., The benefits of high temperature induction heated calender rolls, 54th Appita Annual Conference, Melbourne, 3-6.4.2000
25. El-Sensor, Tekninen seloste, 1997
26. Lorentzen&Wettré, Mikrometri, käyttöohje, 1993
27. Tapio paper machine analyzer (PMA) and Tapio TS profiler for paper quality measurements, saatavissa: [http://www.tapiotechnologies.fi/paper\\_machine\\_analysis.html](http://www.tapiotechnologies.fi/paper_machine_analysis.html), [viitattu 16.3.2006]

28. Tapio RQP, Roll Quality Profiler, saatavissa:  
[http://www.tapiotechnologies.fi/paper\\_roll\\_hardness.html](http://www.tapiotechnologies.fi/paper_roll_hardness.html),[viitattu 16.3.2006]
29. Proceq, S.A., Parotester 2, käyttöohje, Oy Elbecon Ab, 1997
30. Kolehmainen, J., PK 7 Voith Jetflow-asemien teränpitimien linjausmittaukset, Metso Paper Service, Raportti 136/364250, 23.3.2006
31. Kaskinen, V., Stowe Woodward, mittausraportti, 15.11.2005

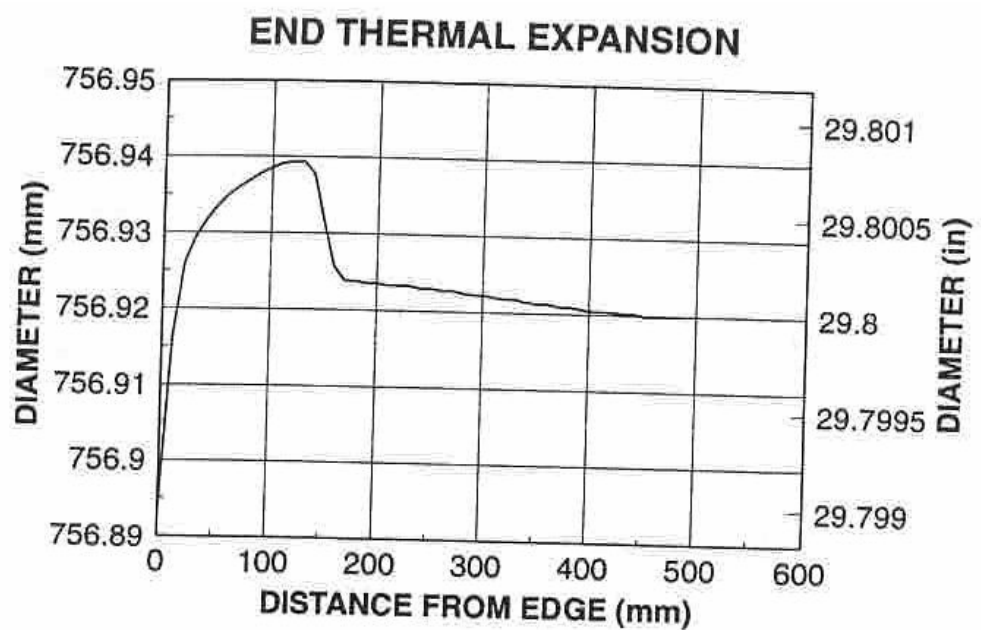
## LIITELUETTELO

- LIITE I Kuvasarja kalanterin reuna-alueen lämpötilan vaikutuksesta telan laajenemiseen ja nippipaineeseen
- LIITE II Mikroskooppikuvat paperin pinnasta
- LIITE III Konerulla 29 kovuusmittauksien kuvaajat
- LIITE IV Konerulla 31 kovuusmittauksien kuvaajat
- LIITE V Kalanterin kuormituspainneiden mittaustulosten kuvaajat
- LIITE VI Kalanterin nippiprofiilien mittaustulosten kuvaajat
- LIITE VII Laatusäätöjärjestelmän päällysteprofiilin säätökuvat, kun ajossa oli karbiidipinnoitteiset kaavinterät
- LIITE VIII Konerulla 29 karheusmittauksen tulokset
- LIITE IX Konerulla 31 karheusmittauksen tulokset
- LIITE X Konerulla 29 pinopaksuusmittauksen tulokset
- LIITE XI Konerulla 31 pinopaksuusmittauksen tulokset

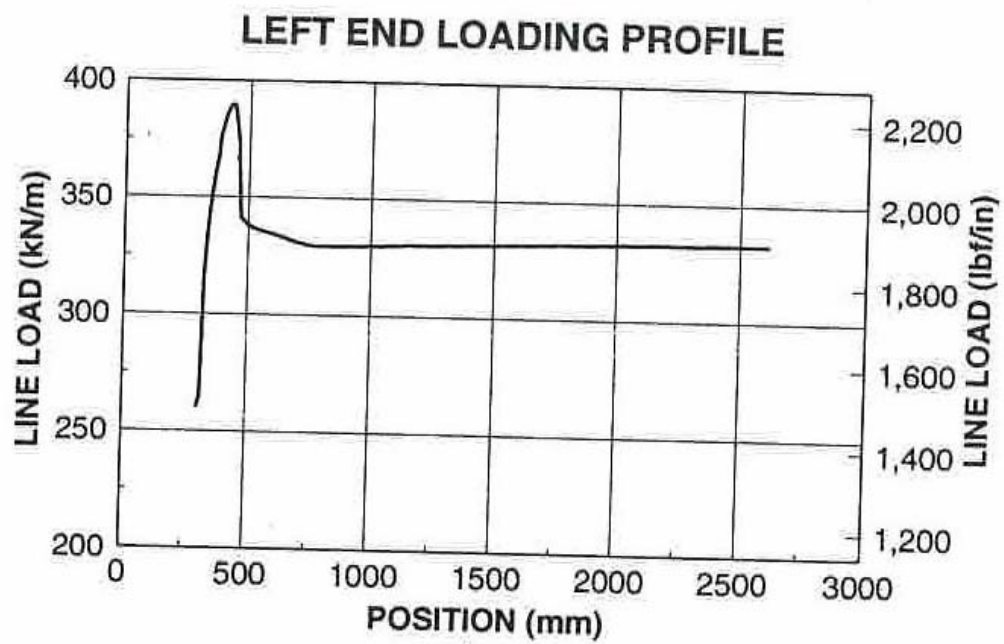




Kuva 1. Reunan lämpötilamuutos, kun paperirata loppuu ja kuuma tela lämmittää suoralla kosketuksella kalanterin polymeeritela. /21/.



Kuva 2. Telan laajeneminen reuna-alueella lämpötilan vaikutuksesta /21/.



Kuva 3. Telan laajenemisen vaikutus kalanterin nippipaineeseen reuna-alueella /21/.



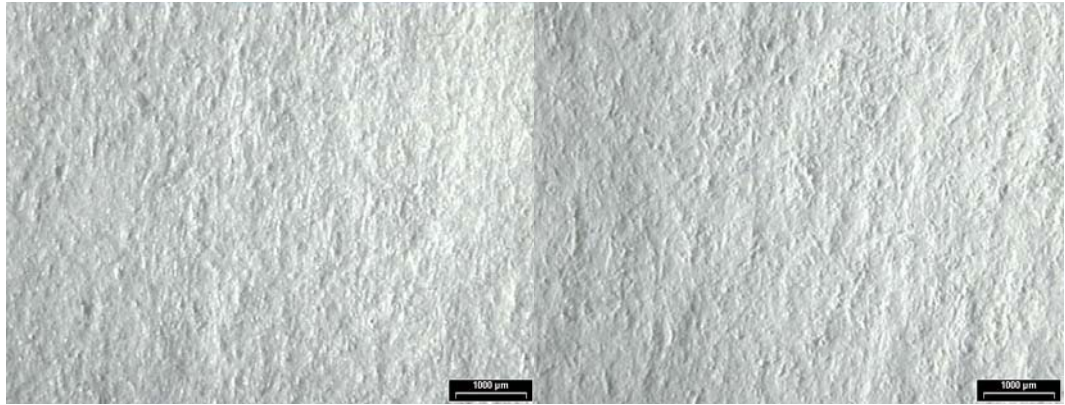
Kuva 1. Kuvassa on mikroskooppikuvia PK 7 paperin pinnasta. Vasemmalla puolella on pohjapaperin pinta. Oikealla on esipäälyllystetyn paperin pinta. Kuvat on otettu takareunasta ja paperin yläpuolelta. Valo ohjattiin kuvaushetkellä paperin pintaan kuvan oikeasta reunasta. Kuvat ovat 6 x suurennoksia.



Kuva 2. Kuvassa on mikroskooppikuvia PK 7 paperin pinnasta. Vasemmalla puolella on kahteen kertaan päälyllystetyn paperin pinta. Oikealla on valmiin kalanteroidun paperin pinta. Kuvat on otettu takareunasta ja paperin yläpuolelta. Valo ohjattiin kuvaushetkellä paperin pintaan kuvan oikeasta reunasta. Kuvat ovat 6 x suurennoksia.



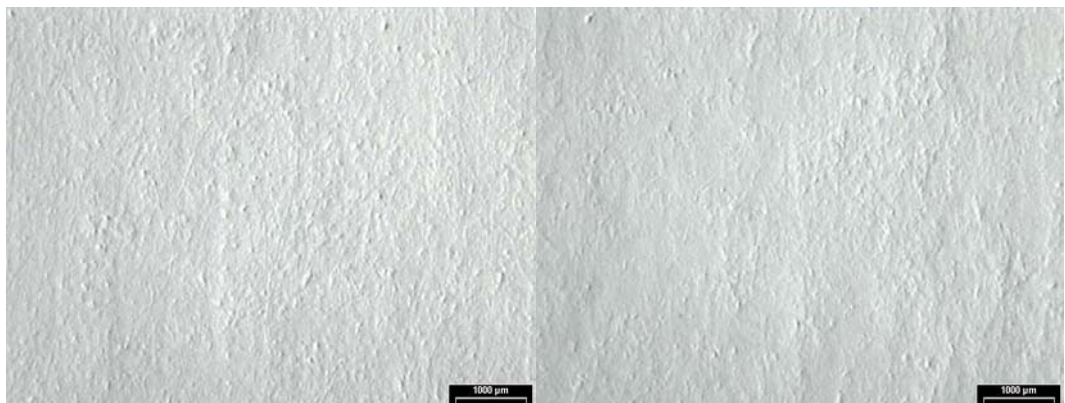
Kuva 3. Kuvassa vasemmalla on mikroskooppikuva paperin yläpuolen pinnasta. Kuva on otettu metrin päästä takareunasta. Oikealla on kuva paperin yläpuolen pinnasta käyttöpuolen reunasta. Valo ohjattiin kuvaushetkellä paperin pintaan kuvan oikeasta reunasta. Kuvat ovat 6 x suurennoksia.



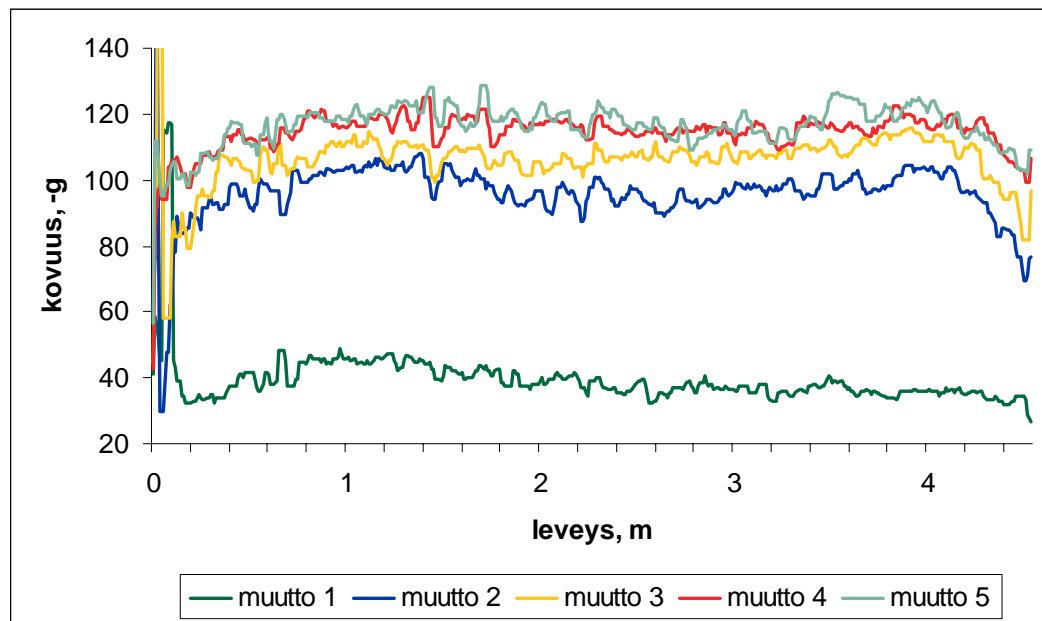
Kuva 4. Kuvassa on mikroskooppikuvia PK 7 paperin pinnasta. Vasemmalla on pohjapaperin pinta. Oikealla on esipäälystetyn paperin pinta. Kuvat on otettu takareunasta ja paperin alapuolelta. Valo ohjattiin kuvaushetkellä paperin pintaan kuvan oikeasta reunasta. Kuvat ovat 6 x suurennoksia.



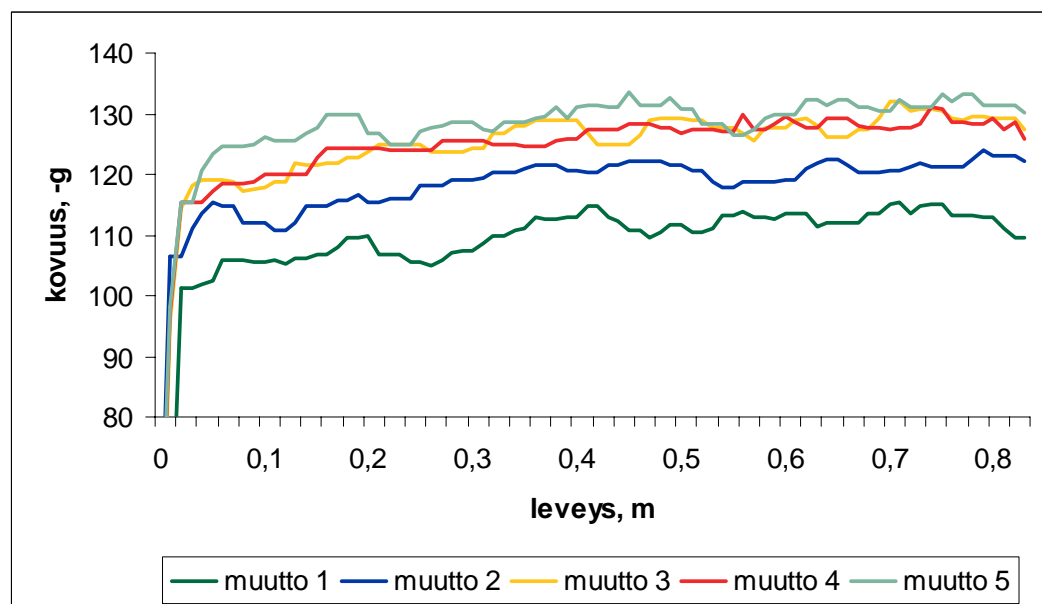
Kuva 5. Kuvassa on mikroskooppikuvia PK 7 paperin pinnasta. Vasemmalla on kahteen kertaan päälystetyn paperin pinta. Oikealla on valmiin kalanteroidun paperin pinta. Kuvat on otettu takareunasta ja paperin alapuolelta. Valo ohjattiin kuvaushetkellä paperin pintaan kuvan oikeasta reunasta. Kuvat ovat 6 x suurennoksia.



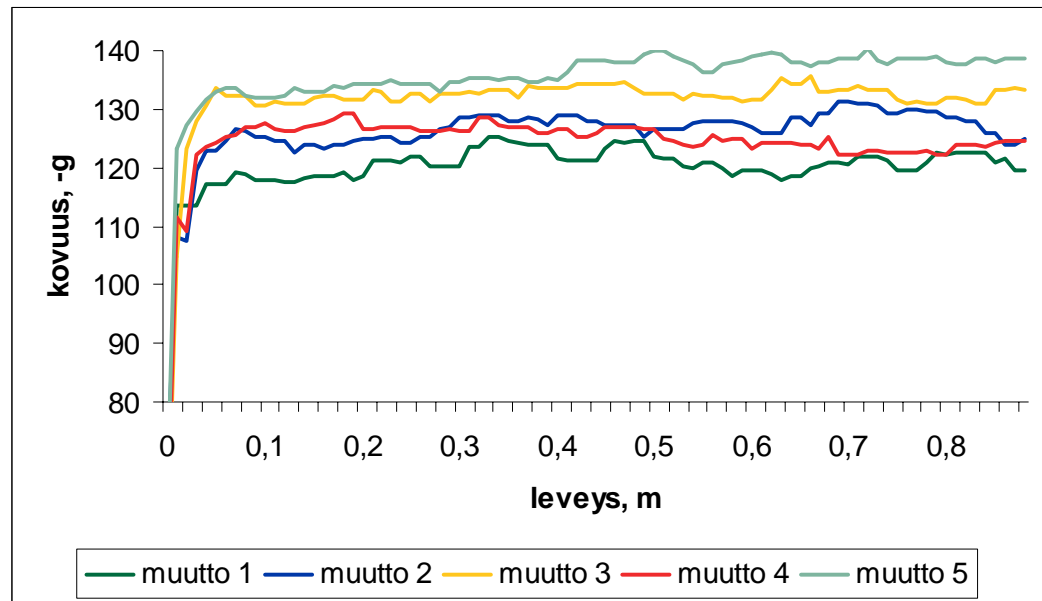
Kuva 6. Kuvassa vasemmalla on mikroskooppikuva paperin alapuolen pinnasta. Kuva on otettu metrin päästä takareunasta. Oikealla on kuva paperin alapuolen pinnasta käyttöpuolen reunasta. Valo ohjattiin kuvaushetkellä paperin pintaan kuvan oikeasta reunasta. Kuvat ovat 6 x suurennoksia.



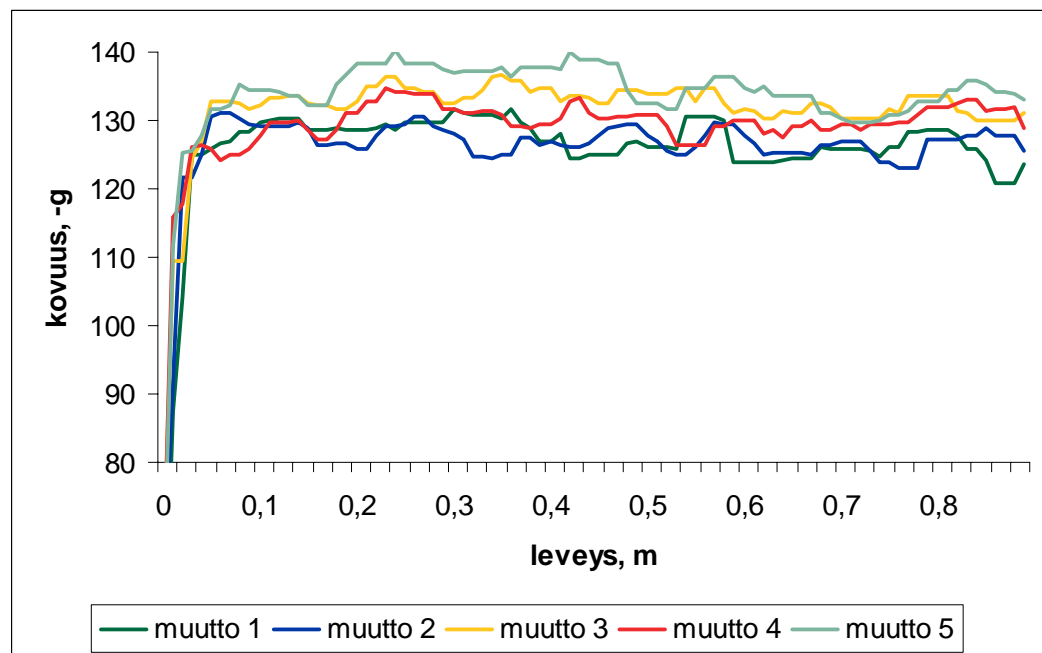
Kuva 1. Konerulla 29 kovuudet. Kovuus on mitattu ennen jokaista muuttoa. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



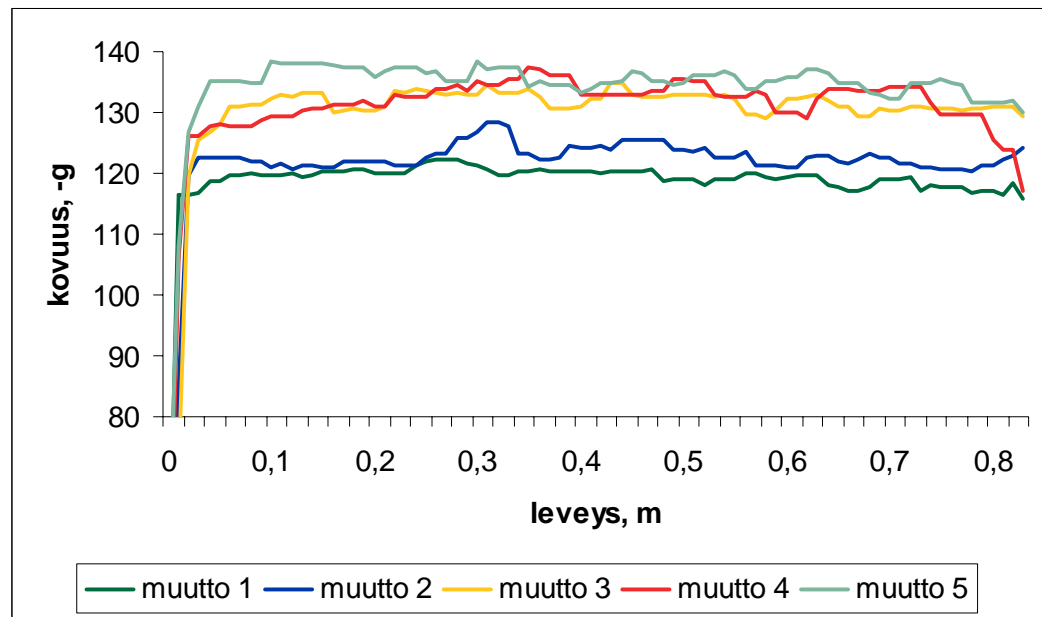
Kuva 2. Kuvassa esitetään konerullasta 29 ratapaikalta 1 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



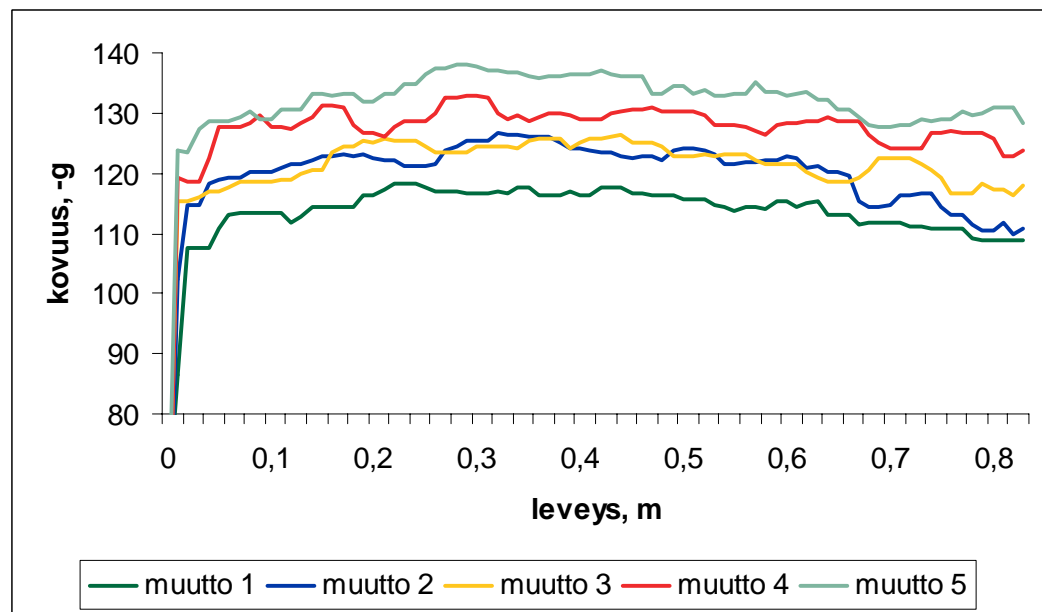
Kuva 3. Kuvassa esitetään konerullasta 29 ratapaikalta 2 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



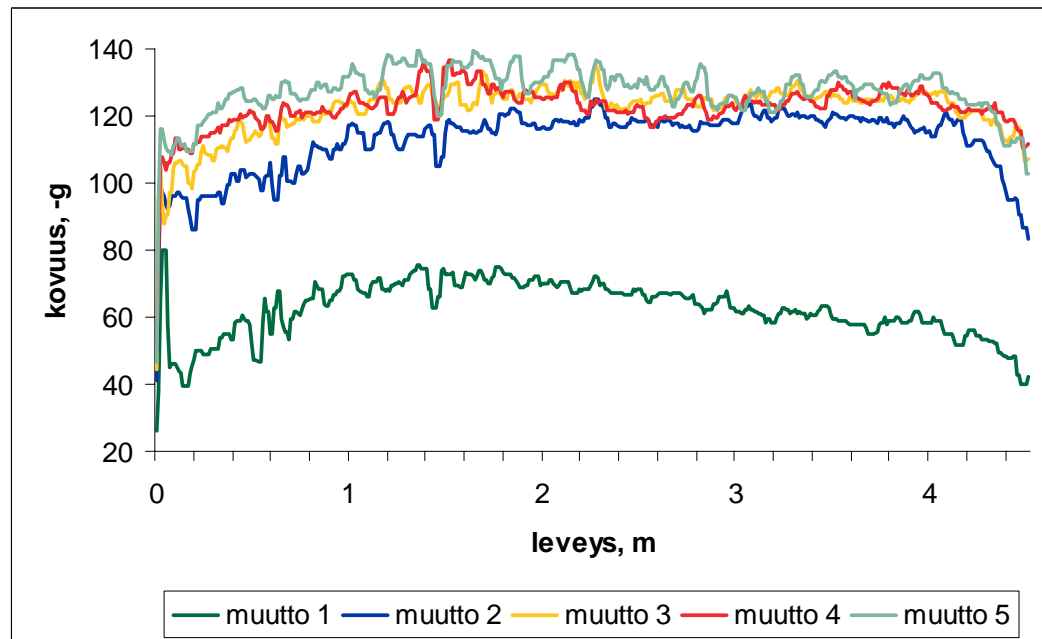
Kuva 4. Kuvassa esitetään konerullasta 29 ratapaikalta 3 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



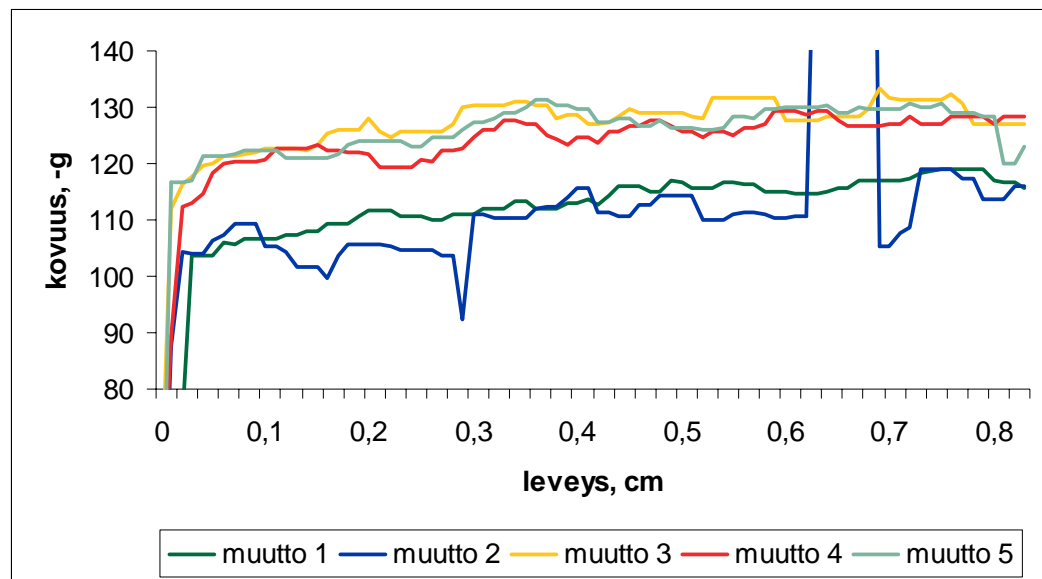
Kuva 5. Kuvassa esitetään konerullasta 29 ratapaikalta 4 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



Kuva 6. Kuvassa esitetään konerullasta 29 ratapaikalta 5 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.

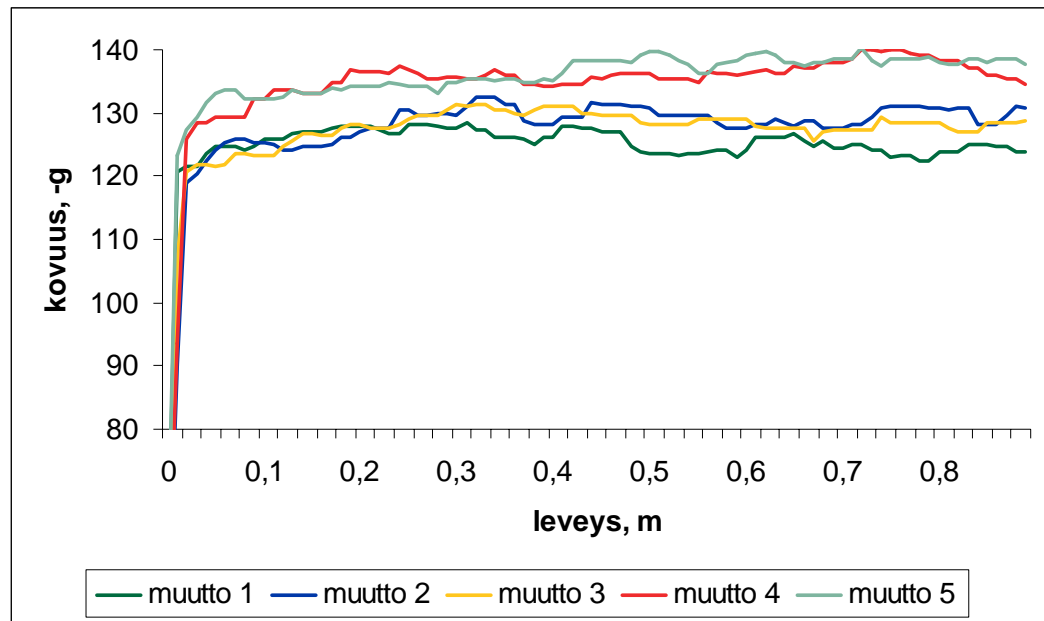


Kuva 1. Konerulla 31 kovuudet. Kovuus on mitattu ennen jokaista muuttoa. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.

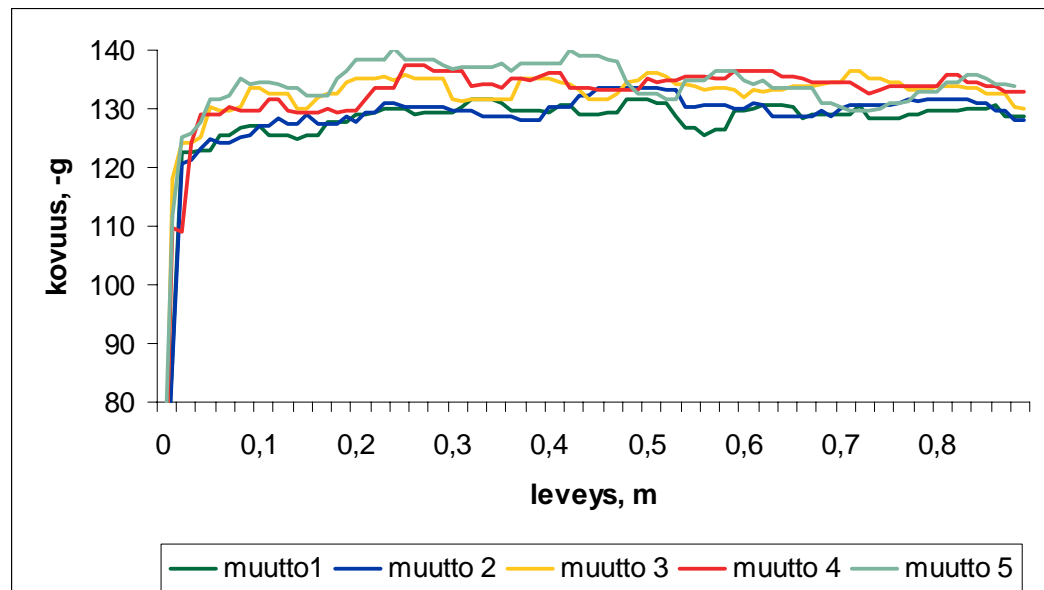


Kuva 2. Kuvassa esitetään konerullasta 31 ratapaikalta 1 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.

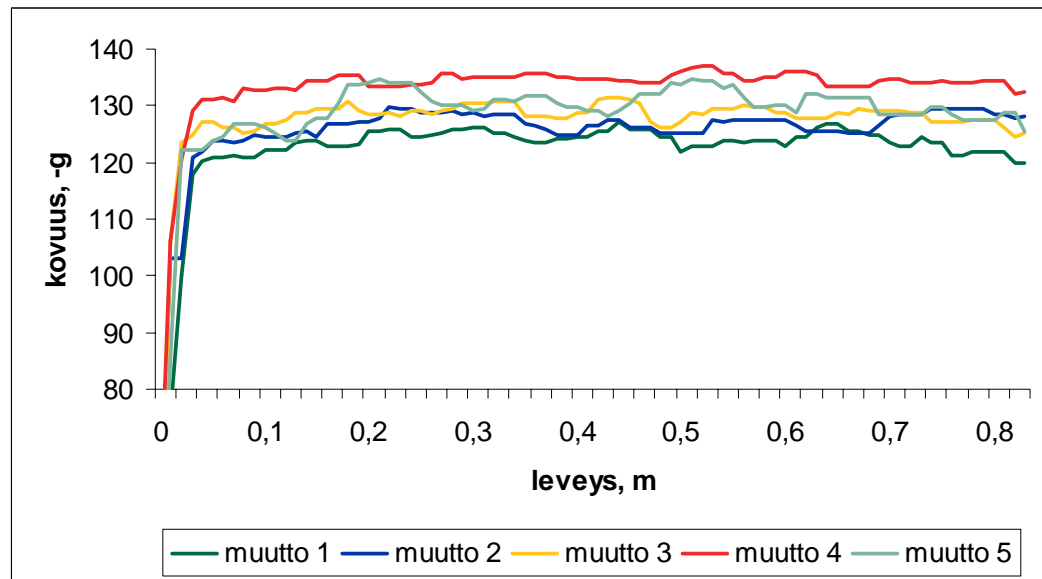




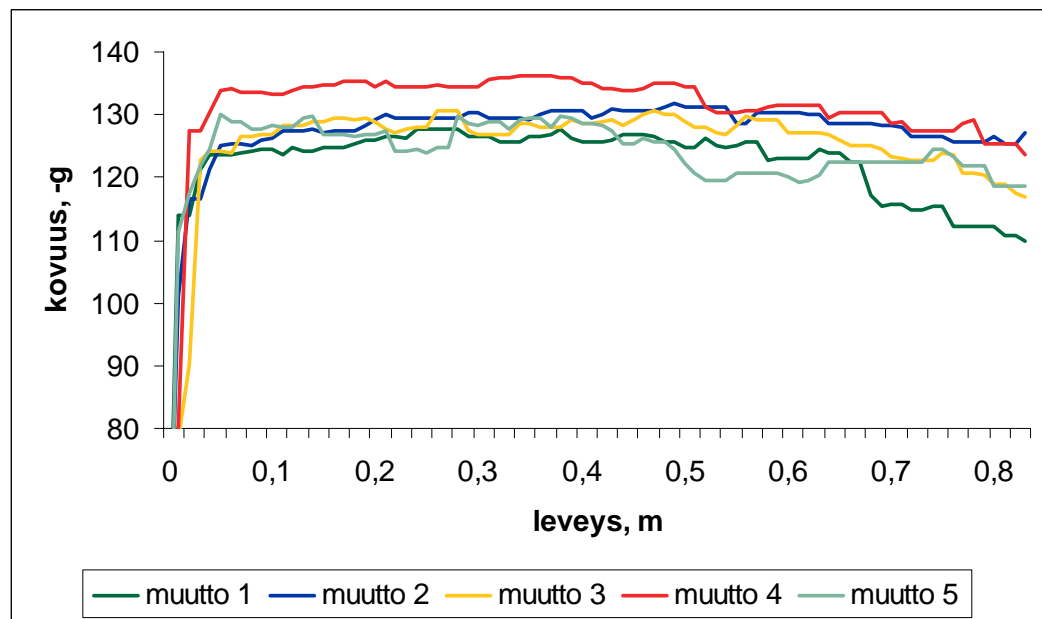
Kuva 3. Kuvassa esitetään konerullasta 31 ratapaikalta 2 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



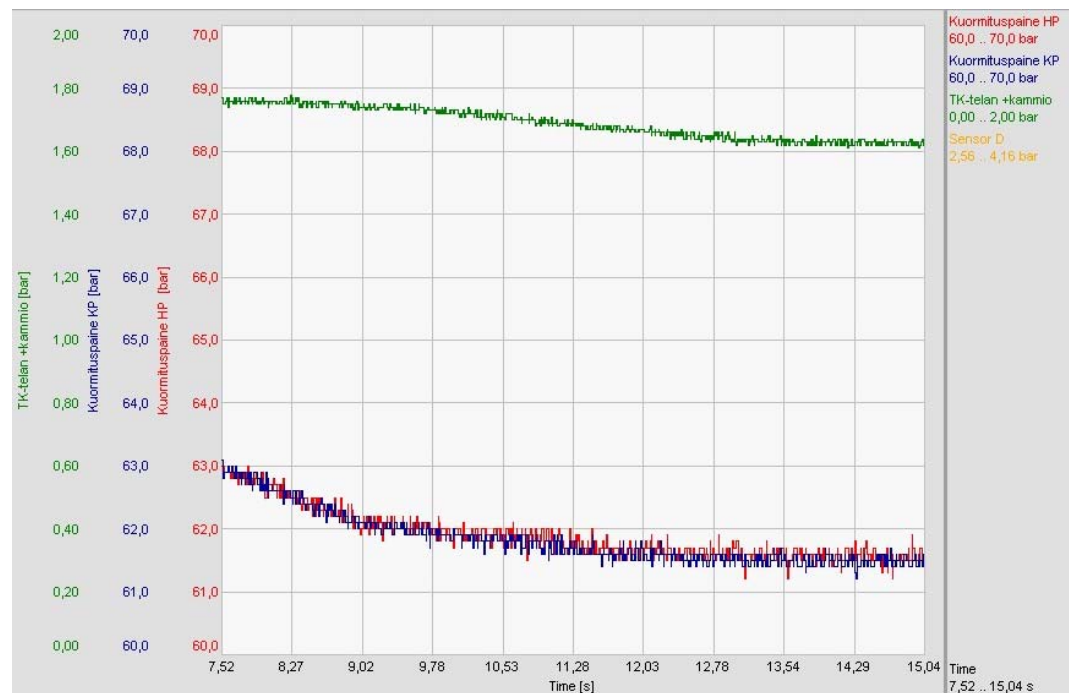
Kuva 4. Kuvassa esitetään konerullasta 31 ratapaikalta 3 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



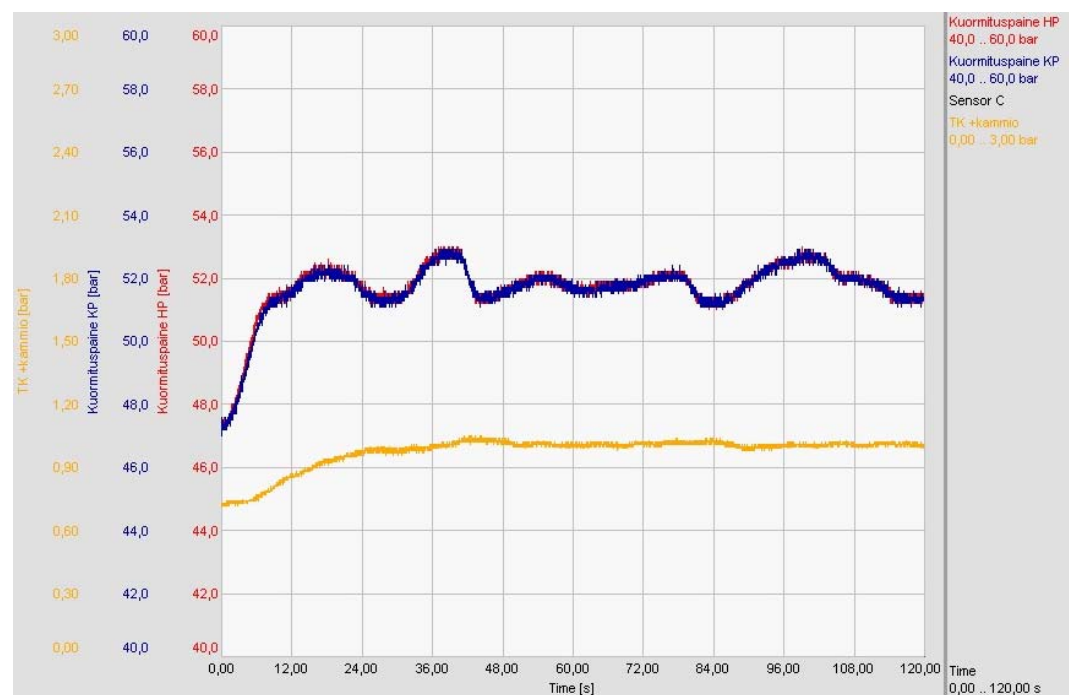
Kuva 5. Kuvassa esitetään konerullasta 31 ratapaikalta 4 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



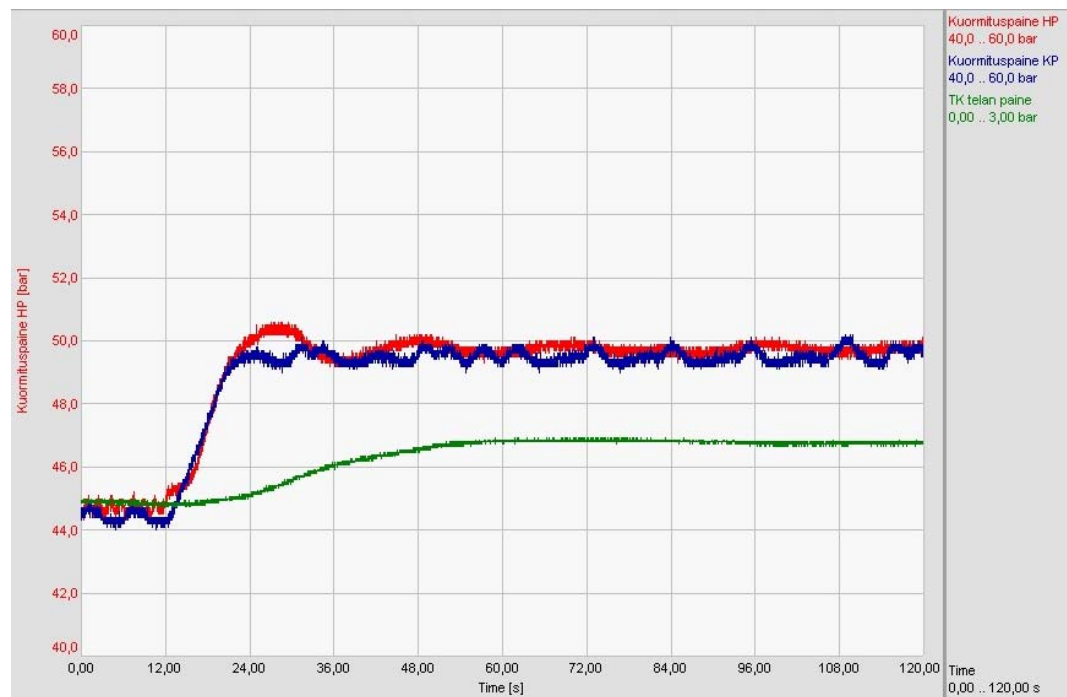
Kuva 6. Kuvassa esitetään konerullasta 31 ratapaikalta 5 valmistuneiden asiakasrullien kovuudet. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006. Etureunassa olevat pystysuorat piikit johtuvat mittauksesta eivätkä ole todellisia.



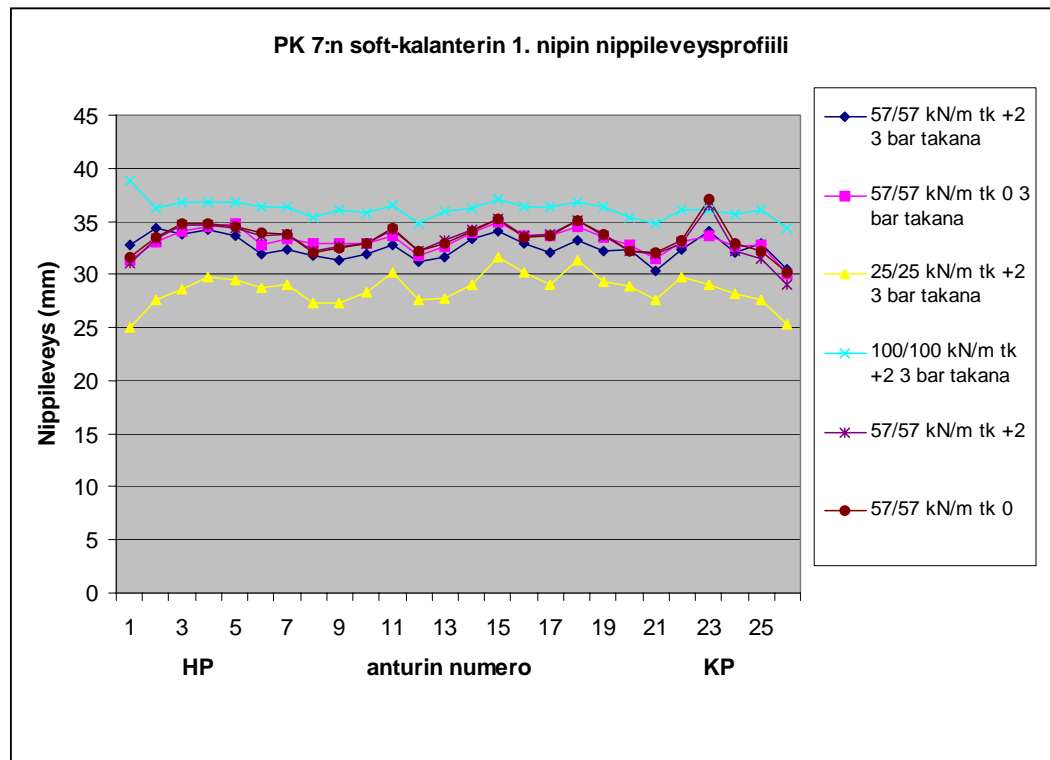
Kuva 1. Kalanterin ensimmäisen nipin kuormituspaineet, kun kalanterin viivakuormaa on pudotettu mittauksen alussa 65 kN/m → 55 kN/m. Kuvassa punainen on HP:n kuormituspaine, sininen on KP:n kuormituspaine ja vihreä on TK-telan + kammion paine. Mittaushetkellä kalanterissa oli vanha ohjausjärjestelmä.



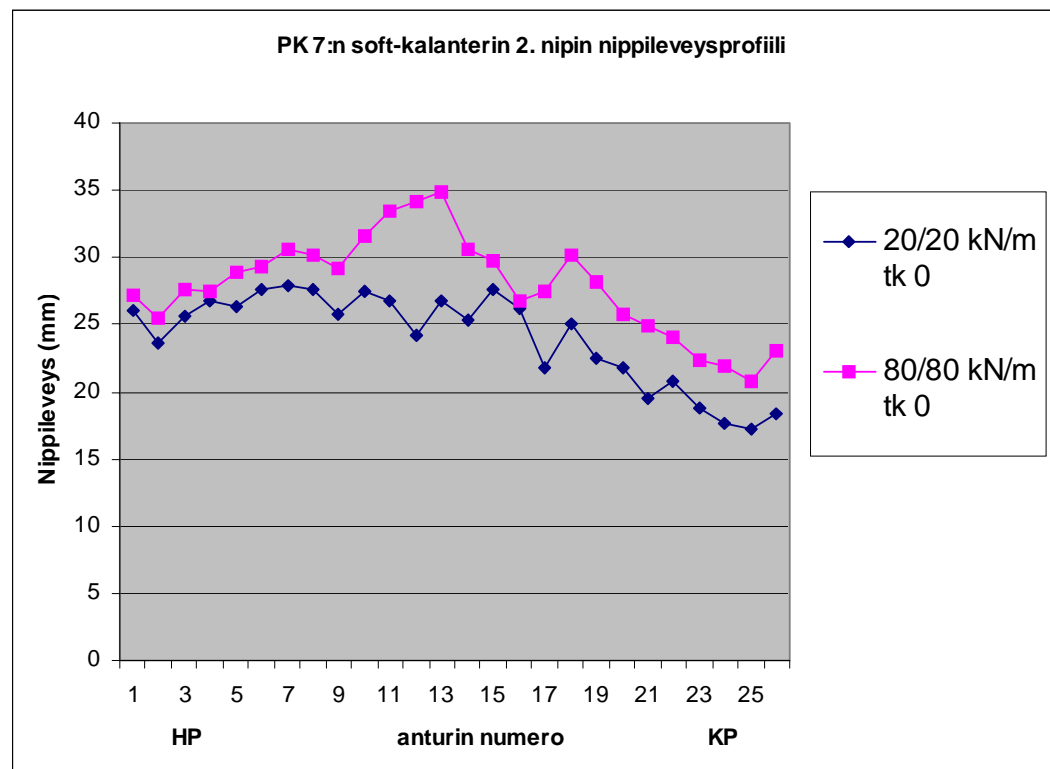
Kuva 2. Kalanterin ensimmäisen nipin kuormituspaineet, kun kalanterin viivakuormaa on nostettu mittauksen alussa 22 kN/m → 32 kN/m. Kuvassa punainen on HP:n kuormituspaine, sininen on KP:n kuormituspaine ja keltainen on TK-telan + kammion paine. Mittaushetkellä kalanterissa oli vanha ohjausjärjestelmä.



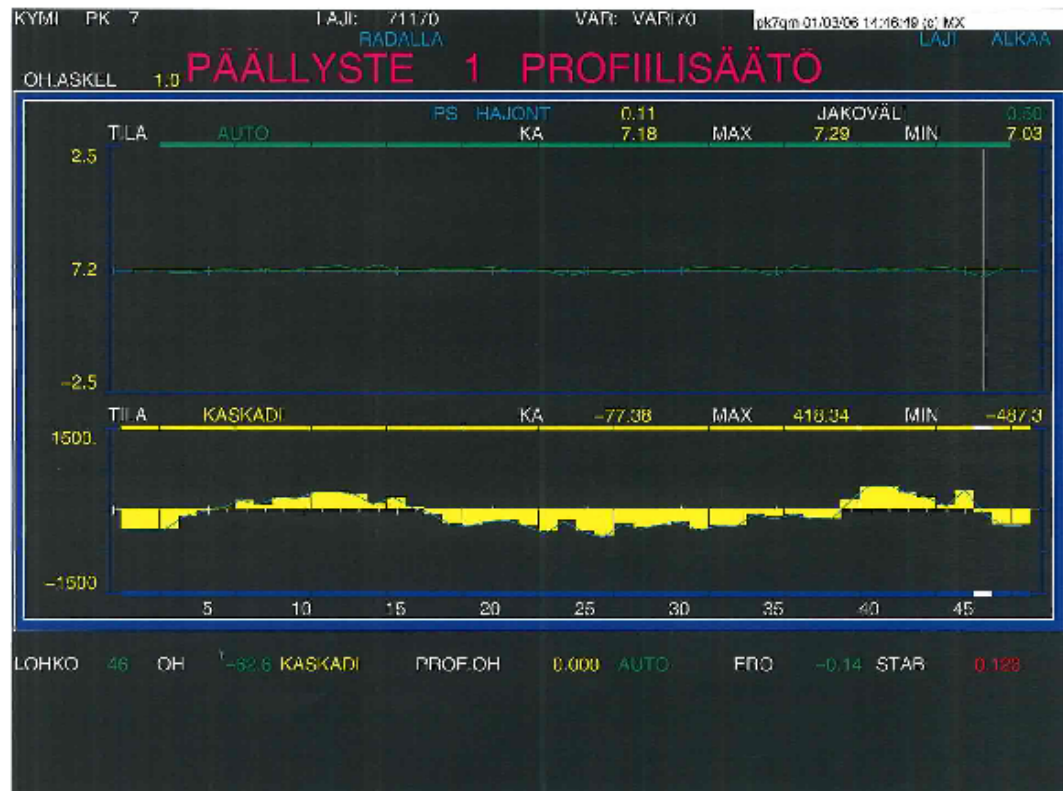
Kuva 3. Kalanterin ensimmäisen nipin kuormituspainet, kun kalanterin viivakuormaa on nostettu mittauksen alussa 22 kN/m → 32 kN/m. Kuvassa punainen on HP:n kuormituspaine, sininen on KP:n kuormituspaine ja vihreä on TK-telan + kammion paine. Mittaushetkellä kalanterissa oli uusi ohjausjärjestelmä.



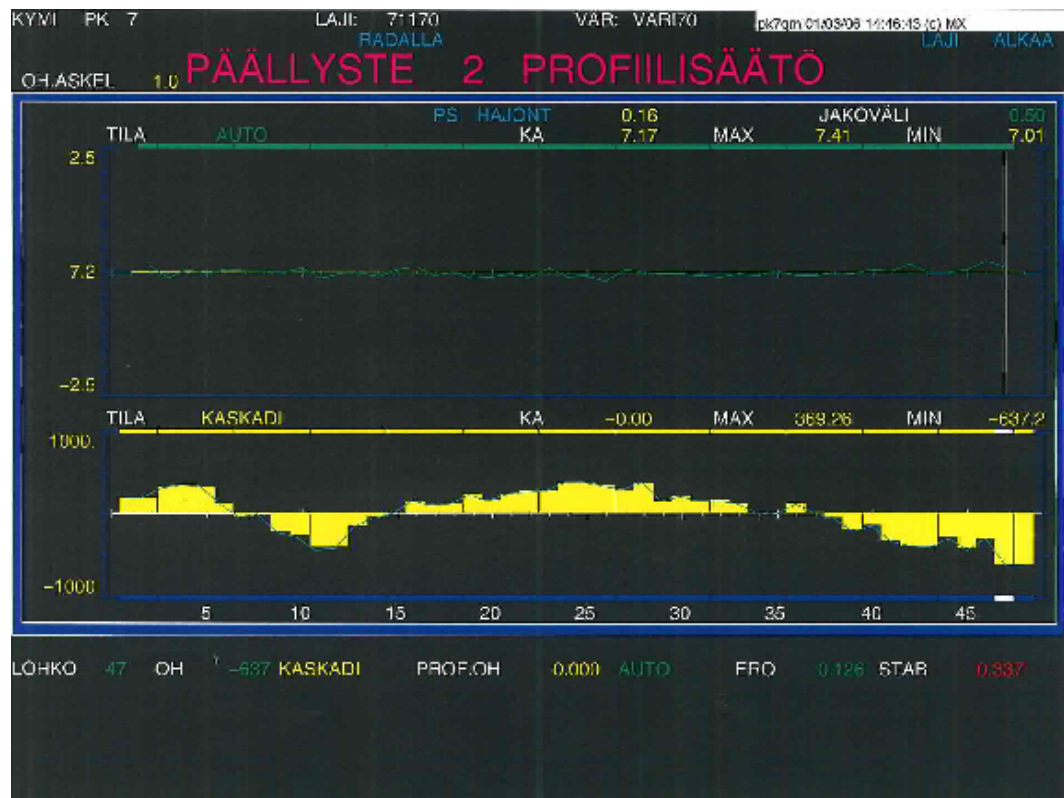
Kuva 1. Kalanterin 1. nipin nippiprofiilin muodot. Selityksiin on merkattu viivakuorma, Tk-telan bompeeraus ja kunnossapidon asettama vinokuorma /31/.



Kuva 2. Kalanterin 2. nipin nippiprofiilin muodot. Selityksiin on merkattu viivakuorma ja Tk-telan bompeeraus. Nippiprofiilin vinous johtuu mittausvirheestä /31/.



1. Kuvaruutokopio PK 7:n laatusäätöjärjestelmästä. Kuvassa on ensimmäisen päällystysaseman päällysteprofiilin säätö. Ylemmässä kuvassa esitetään tavoite- ja säätöprofiili. Alemmassa kuvassa esitetään toimilaitteprofiili. Kuva otettu karbiidipinnoitteisten terien koeajosta, kun terät olivat olleet koneessa 3 tuntia.



Kuva 2. Kuvaruutukopio PK 7:n laatusäätöjärjestelmästä. Kuvassa on toisen päällystysaseman päällysteprofiilin säätö. Ylemmässä kuvassa esitetään tavoite- ja säätöprofiili. Alemmassa kuvassa esitetään toimilaitteprofiili. Kuva otettu karbiidipinnoitteisten terien koeajosta, kun terät olivat olleet koneessa 3 tuntia.

Taulukko I. Taulukossa on esitetty konerullan 29 alapuolen karheusmittauksen tulokset. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006.

leveys, cm	karheus, ml/min	leveys, cm	karheus, ml/min
4	86,74	234	24,52
9	44,22	239	19,92
14	58,2	244	18,06
19	41,56	249	21,48
24	38,06	254	20,76
29	35,22	259	17,82
34	33,68	264	17,84
39	34,6	269	18,5
44	35,42	274	21,1
49	28,96	279	21,18
54	30,98	284	16,56
59	26,12	289	16,6
64	28,8	294	17,46
69	25,58	299	15,46
74	25	304	15,32
79	25,04	309	19,92
84	23,86	314	21,3
89	23,32	319	17,7
94	24,02	324	20,18
99	23,38	329	17,36
104	22,8	334	20,52
109	21,24	339	18,26
114	21,22	344	18,34
119	21,76	349	19,1
124	19,82	354	20,54
129	18,58	359	17,12
134	20,52	364	18,34
139	21,82	369	19,54
144	20,18	374	19,44
149	18,84	379	20,4
154	20,86	384	17,4
159	19,34	389	20,82
164	19,96	394	20,2
169	21,16	399	24,26
174	19,26	404	19,94
179	16,06	409	23,92
184	20,14	414	24,92
189	18,86	419	24,32
194	21,36	424	26,36
199	18,34	429	28,82
204	18,86	434	35,32
209	16,4	439	32,28
214	19,54	444	35,46
219	20,98	449	38,38
224	18,56	454	45,32
229	17,68	459	57,54



Taulukko II. Taulukossa on esitetty konerullan 29 yläpuolen karheusmittauksen tulokset. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006.

leveys, cm	karheus, ml/min	leveys, cm	karheus, ml/min
4	73,14	234	32,02
9	68	239	35,74
14	76,72	244	33,42
19	60,9	249	33,46
24	57,78	254	32,4
29	52,96	259	31,04
34	56,06	264	33,1
39	47,8	269	28,4
44	44	274	30,74
49	43,14	279	33,3
54	43,84	284	29,98
59	43,02	289	26,86
64	36,56	294	30,28
69	44,84	299	35,28
74	40,28	304	31,94
79	39,94	309	33,6
84	36,36	314	33,4
89	35,76	319	36,1
94	35,14	324	34,24
99	34,64	329	32,42
104	33,28	334	29,98
109	34,76	339	29,82
114	34,74	344	38,86
119	34,52	349	36,2
124	36,22	354	31,46
129	36,48	359	33,72
134	35,62	364	31,48
139	30,78	369	32,22
144	30,92	374	34,34
149	30,34	379	35,84
154	35,54	384	32,5
159	34,46	389	36,86
164	31,58	394	35,24
169	34,8	399	32,48
174	33	404	36,88
179	28,14	409	33,44
184	31,54	414	37,56
189	29,2	419	38
194	32,26	424	44,4
199	34,68	429	44,44
204	27,02	434	50,32
209	27,58	439	52,24
214	28,06	444	55,8
219	32,38	449	62,76
224	33,38	454	74,8
229	34,78	459	87,62

Taulukko I. Taulukossa on esitetty konerullan 31 alapuolen karheusmittauksen tulokset. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006.

leveys, cm	karheus, ml/min	leveys, cm	karheus, ml/min
4	47,88	234	26,76
9	53,88	239	22,22
14	46,66	244	25,04
19	46,6	249	31,14
24	45,66	254	32,16
29	39,94	259	28,38
34	43,38	264	28,06
39	38,54	269	28,5
44	40,58	274	22,14
49	38,54	279	29,8
54	34,32	284	28
59	33,16	289	28,56
64	36,88	294	26,14
69	38,8	299	26,8
74	33,08	304	29,28
79	36,32	309	26,24
84	31,58	314	24,02
89	33,62	319	28,3
94	31,9	324	29,52
99	33,4	329	24,46
104	31,34	334	26,54
109	30,68	339	35,32
114	30,72	344	26,26
119	31,96	349	25,22
124	26,22	354	24,62
129	29,68	359	24,68
134	29,74	364	27,94
139	29,92	369	26,48
144	31,98	374	24,62
149	25,96	379	25,5
154	34,9	384	25,42
159	26,28	389	25,34
164	32,1	394	28,58
169	31,58	399	30,04
174	26,1	404	30,46
179	25,98	409	27,06
184	26,6	414	30,38
189	26,44	419	30,76
194	29	424	34,06
199	28,3	429	30,26
204	26,3	434	43,74
209	22,64	439	39,34
214	24,14	444	43,7
219	26,8	449	49,52
224	25,46	454	65,14
229	35,38	459	55,44

Taulukko II. Taulukossa on esitetty konerullan 31 yläpuolen karheusmittauksen tulokset. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006.

leveys, cm	karheus, ml/min	leveys, cm	karheus, ml/min
4	59,2	234	33,6
9	60,54	239	33,84
14	66,66	244	29,34
19	56,84	249	31,3
24	55,56	254	34,4
29	46,4	259	31,48
34	44,58	264	32,5
39	39,98	269	29,84
44	40,3	274	29,42
49	42,96	279	31,02
54	40,9	284	27,9
59	36,36	289	29,34
64	39,52	294	35,5
69	37,38	299	38,86
74	39,24	304	32,82
79	35,18	309	35,46
84	35,24	314	36,18
89	34,18	319	34,2
94	36,46	324	33,84
99	35,36	329	32,48
104	37,22	334	29,98
109	33	339	32,28
114	33,24	344	35,92
119	36,32	349	35,32
124	32,92	354	34,74
129	33,56	359	35,18
134	30,48	364	39
139	33,42	369	36,14
144	33,38	374	35,82
149	32,76	379	35,7
154	37,3	384	39,36
159	35,94	389	34,8
164	37,24	394	38,48
169	30,98	399	39,72
174	33,88	404	41,04
179	32,36	409	41,96
184	30,8	414	37,26
189	31,52	419	41,58
194	33,26	424	52,4
199	32,4	429	47,14
204	33,1	434	53,08
209	32,04	439	58,32
214	29,56	444	66,22
219	28,7	449	73,64
224	35,78	454	100,6
229	32,32	459	85,58

Taulukko I. Taulukossa esitetään konerullan 29 pinopaksuusmittauksen tulokset. Pinopaksuus mitattiin 20 arkin pinosta. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006.

leveys, cm	paksuus, um	leveys, cm	paksuus, um
4	2060	234	2033
9	2028	239	2018
14	2039	244	2020
19	2015	249	2020
24	2026	254	2026
29	2017	259	2024
34	2026	264	2026
39	2037	269	2023
44	2024	274	2024
49	2020	279	2024
54	2016	284	2019
59	2017	289	2027
64	2019	294	2030
69	2024	299	2037
74	2028	304	2016
79	2032	309	2030
84	2033	314	2038
89	2031	319	2027
94	2038	324	2019
99	2034	329	2023
104	2034	334	2030
109	2020	339	2036
114	2022	344	2035
119	2042	349	2037
124	2028	354	2028
129	2033	359	2026
134	2031	364	2031
139	2050	369	2022
144	2037	374	2015
149	2028	379	2018
154	2043	384	2022
159	2029	389	2029
164	2035	394	2030
169	2025	399	2029
174	2016	404	2029
179	2029	409	2037
184	2027	414	2028
189	2020	419	2020
194	2039	424	2028
199	2029	429	2033
204	2037	434	2030
209	2038	439	2035
214	2021	444	2023
219	2025	449	2040
224	2027	454	2028
229	2032	459	2079

Taulukko I. Taulukossa esitetään konerullan 31 pinopaksuusmittauksen tulokset. Pinopaksuus mitattiin 20 arkin pinosta. Laji 07111150. Konerulla valmistui 4.4.2006.

leveys, cm	paksuus, um	leveys, cm	paksuus, um
4	2048	234	2030
9	2028	239	2006
14	2038	244	2011
19	2018	249	2026
24	2035	254	2022
29	2031	259	2032
34	2033	264	2044
39	2024	269	2024
44	2023	274	2035
49	2030	279	2015
54	2024	284	2026
59	2024	289	2019
64	2021	294	2030
69	2030	299	2021
74	2022	304	2021
79	2038	309	2018
84	2044	314	2024
89	2037	319	2020
94	2033	324	2024
99	2035	329	2019
104	2030	334	2023
109	2029	339	2020
114	2026	344	2018
119	2032	349	2013
124	2013	354	2015
129	2027	359	2016
134	2023	364	2018
139	2038	369	2018
144	2038	374	2011
149	2029	379	2011
154	2026	384	2012
159	2036	389	2024
164	2038	394	2022
169	2032	399	2019
174	2028	404	2019
179	2031	409	2029
184	2020	414	2013
189	2025	419	2018
194	2019	424	2011
199	2021	429	2013
204	2027	434	2001
209	2026	439	2018
214	2026	444	2018
219	2024	449	2020
224	2018	454	2013
229	2034	459	2063