

Sami Uhlbäck

TAPIO RQP HYÖDYNTÄMINEN PAPERIN LAADUNVALVONNASSA

Insinöörityö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2008



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä Sami Uhlbäck	
Työn nimi Tapio RQP hyödyntäminen paperin laadunvalvonnassa	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tietokoneavusteinen tuotanto ja kunnossapito	Ohjaajat Ilkka Hyrkstedt, UPM Kajaani Mikko Heikkinen, Kajaanin AMK
	Toimeksiantaja UPM Kajaani
Aika Vuosi 2008	Sivumäärä ja liitteet 63 + 30 s.
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia Tapio RQP -kovuusmittalaitteen hyödyntämiselle paperirullien laadunvalvonnassa. Lisäksi keskeisiä tavoitteita työssä oli selvittää eri paperisuureiden vaikutus kovuuden muodostumiseen ja rullien optimikovuus rullaseurannan ja asiakasreklamaatioiden tueksi.</p> <p>Työn aikana seurattiin rullien ajettavuutta painotalovierailujen aikana. Ajettavuuden pohjalta määritettiin rajat PK2:n rullien optimikovuudelle. Työn aikana kehitettiin lisäksi rullien säännöllistä seurantaa ja tutkittiin kovuusmittauksen hyödyntämismahdollisuuksia rullakireysmittausten tukena. Rullan kovuuksia mitattiin työssä kone-rullista ja asiakasrullista.</p> <p>Rullauksen ja käytettävien rullausparametrien todettiin vaikuttavan rullan sisälle syntyviin jännityksiin. Yhdessä profiilivaihteluiden kanssa ne antavat erityispiirteensä rullan kovuuden muodostumiselle. Profiilien, etenkin paksuuden vaihtelut ovat merkittäviä katkojen aiheuttajia painotaloissa.</p> <p>Mittalaitteen käyttö mahdollistaa tulevaisuudessa profiileiltaan tasalaatuisemmat rullat jolloin tuotantokatkot ja ajettavuusongelmat jatkojalostuksessa vähenevät. Kovuusmittauksia tulee jatkossa hyödyntää, jotta kyettäisiin ehkäisemään ajo-ongelmia sekä parantamaan laatumainetta asiakkaiden keskuudessa.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Kovuus, kireys, profiilit
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Faculty of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author Sami Anssi Uhlbäck	
Title Utilization of Tapio RQP for Paper Quality Control.	
Optional Professional Studies Computer Aided Production and Maintenance	Instructors Ilkka Hyrkstedt, M.Sc Mikko Heikkinen, M.Sc
	Commissioned by UPM Kajaani
Date Year 2008	Total Number of Pages and Appendices 63 + 30
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to determine the possibility for utilizing the Tapio RQP -hardness measuring device in paper quality control. The essential targets of this study were also to determine the effect of different features of roll hardness and the optimum hardness to support roll quality control and customer claims cases.</p> <p>To examine the effects of roll hardness, the runnability of paper rolls was monitored in the printing houses. The limits of PM2 optimum roll hardness were determined using the runnability information provided. Regular roll control and roll tension measurements were also developed. Roll hardness was measured from tambours and customer rolls.</p> <p>Winding and used parameters were discovered to have an effect on stress and tension inside the roll. Together with profile variations they provide special characteristics when paper roll hardness is formed. Variation in profiles, especially thickness variation, causes significant breaks in the printing process.</p> <p>In the future, the use of Tapio RQP will enable better roll profiles and decrease breaks in production and runnability problems in the printing house. Roll hardness measurements should be more effectively utilized to prevent problems and to improve quality reputation among customers.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Hardness, tension, profiles
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty UPM, Kajaanin toimeksiannosta 2.1.2007 - 30.1.2008 välisenä aikana.

Työn ohjaajana toimi automaatio-insinööri Ilkka Hyrkstedt jolle haluan antaa kiitoksen ohjauksesta ja mielenkiinnosta työtä kohtaan. Erityiskiitoksen haluan antaa Jyrki Laarille Tapio Technologies Oy:ssä. Apusi mittalaitteen teknisiin yksityiskohtiin liittyen sekä mittaustiedostojen käännoistyössä, on ollut korvaamaton. Kiitokset myös Klaus Jernströmille, työn valvojalle Mikko Heikkiselle sekä kaikille arvokasta tietämystään työhön antaneille jotka olette mahdollistaneet työn syntymisen.

Suurimmat kiitokseni haluan antaa kuitenkin vaimolleni Anne-Maarialle jonka tuki, kannustus ja ymmärtäväisyys ovat olleet ensiarvoisen tärkeitä opiskelujen aikana.

Lisäksi haluan kiittää myös kotijoukkoja sekä appivanhempia kannustuksesta opiskeluaikana.

Kajaanissa 27.2.2008

Sami Uhlbäck

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 PAPERIN VALMISTUS	2
3 RULLAUS JA PITUUSLEIKKAUS	5
3.1 Rullaimet	5
3.2 Pituusleikkaus	6
3.2.1 Kantotelaleikkurit	7
3.2.2 Keskiörollainleikkurit	7
3.3 Rullausparametrit	8
3.4 Rullan rakenne	9
3.4.1 Rullan sisäiset jännitykset	10
3.4.2 Paperin ominaisuudet	11
3.5 Rullautuvuus	12
3.6 Rullauksen vaikutus kovuuden muodostumiseen	12
3.7 Rullaviat	12
4 KOVUUDEN MITTAUS RULLAN RAKENTEEN MÄÄRITYSMENETELMÄNÄ	19
4.1 Tapio RQP	19
4.1.1 Mittapään rakenne ja toiminta	19
4.1.2 Mittaustekniikka ja tarkkuus	20
4.1.3 Toistettavuus ja luotettavuus	22
4.1.4 Tulosten analysointi	22
4.2 Muita kovuuden mittaustapoja	24
5 KOKEELLISEN OSAN JOHDANTO	26
6 KOVUUDEN MITTAUS JA KOVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	29
6.1 Tapio RQP -mittausten kyvykkyys	29
6.2 Kuljetus ja käsittely	31
6.3 Kitka	33
6.4 Lujuudet	33
6.5 Rypyt ja veki	33
6.6 Paperin runko- ja pintarakennetta kuvaavat suureet	34

6.7 Kalanteroinnin ja telojen kunnan merkitys	37
6.8 Kosteuden ja telojen lämpötilojen vaihtelut	38
6.9 Rullaus	40
7 KOVUUKSIEN VAIKUTUS AJETTAVUUTEEN PAINOKONEELLA	42
8 RULLAKOVUUKSIEN SEURANTA	47
9 KOVUUS RULLAKIREYSMITTAUSTEN TUKENA	50
9.1 Rullakireysmittaukset sanomalehtipaperilla	51
9.2 Rullakireysmittaukset SC-paperilla	53
10 POHDINTAA JA PARANNUSEHDOTUKSIA	55
11 YHTEENVETO	61
LÄHTEET	62
LIITTEET	
LIITE 1 Tapio RQP -käyttöohje	
LIITE 2 Rullakireyspukin piirrokset	
LIITE 3 Rullankireyden mittausohjeet	
LIITE 4 Rullaseurantalomake	
LIITE 5 PK4:n korrelaatioprofiilit	
LIITE 6 PK2:n korrelaatioprofiilit (SC)	
LIITE 7 PK2:n kireys (IQ)	
LIITE 8 PK2:n ajettavuus	
LIITE 9 ja 10 PK4:n rullankireysmittaukset (sarjat 1 ja 2)	
LIITE 11 PK2:n rullankireys mittaukset	
LIITE 12 PK2:n palautusrulla	

1 JOHDANTO

Kilpailu paperiteollisuudessa on kovaa. Kiristynyt markkinatilanne vaatii paperiteollisuudelta jatkuvasti tehokkaampia valmistusprosesseja. Paperikoneiden nopeuksien kasvun myötä lisääntyvät kuitenkin myös paperisuureiden vaihtelut, jolloin tuotteiden laatu voi merkittävästi heikentyä. Paperin hyvä laatu onkin noussut entistä merkittävämpään asemaan. Kasvavien laatuvaatimuksien vuoksi on paperikoneen laadun seuraaminen yhä tärkeämpää.

Kovuusprofiilien vaihtelut ovat merkittäviä katkojen aiheuttajia painotaloissa. Paperin hyvä laatu on UPM Kajaanin tehtaalle erityisen tärkeää, joten tehtaalle hankittiin kolme vuotta sitten Tapio RQP -kovuusmittari. Tavoitteena oli, että mittalaitteen avulla kyettäisiin valmistamaan kovuudeltaan ja profiililtaan tasalaatuisia rullia, jotta tuotantokatkoja ja muita ajettavuusongelmia painokoneella ja jatkojalostuksessa pystyttäisiin ehkäisemään.

Insinööriytyössä selvitetään kovuuden merkitystä vaihteluiden selvittämiseksi profiileissa. Ensimmäisenä tavoitteena työssä oli tutkia kovuuden mittauksen hyödyntämismahdollisuuksia rullien mittauksissa sekä selvittää eri paperisuureiden vaikutus kovuuden muodostumiseen. Tämän avulla oli mahdollisuus määrittää rajat paperikone 2:n rullien optimikovuudelle säännöllisen rullaseurannan sekä asiakasreklamaatioiden tueksi.

Toisena tärkeänä tavoitteena oli tutkia kovuuden hyödyntämisen mahdollisuuksia rullakireysmittausten tukena. Tavoitteiden lisäksi tehtävänä oli myös kovuusmittalaitteen ohjeiden laatiminen toimintajärjestelmään sekä kehittää tehokkaat ja luotettavat kovuuden mittauksiin liittyvät mittaustavat ja mittaustekniikat. Työssä selvitetään kovuusmittausten kannattavuus ja mittaustulosten oikeellisuus siten, että tulevaisuudessa kyettäisiin ehkäisemään ajo-ongelmia tehtaalla ja painotalossa sekä parantamaan laatumainetta asiakkaiden keskuudessa.

Työssä perehdytään kovuusmittaukseen ja analyyseihin, rullaukseen, leikkaukseen, rullan kireysmittauksiin, paperilaadun mittausmenetelmiin sekä tulosten analysointiin. Mittaukset suoritettiin vuoden 2007 aikana.

2 PAPERIN VALMISTUS

Paperinvalmistus on monivaiheinen prosessi. Paperin valmistusprosessissa sekoitetaan sopivasti valitut ja käsitellyt raaka-ainekomponentit vesipitoiseksi massaseokseksi. Paperin tärkeimpiä raaka-aineita ovat kuidut, jotka yleisimmin ovat puukuituja. Lisäksi raaka-aineita ovat täyteaineet, liima-aineet sekä kemialliset lisäaineet. Raaka-aineet ja lisäaineet ja niiden käsittely valitaan valmistettavan paperilajin vaatimusten mukaan mahdollisimman edullisesti. [1]

Perälaatikolla seos levitetään viiraosalle tasaiseksi massarainaksi ja lujitetaan poistamalla siitä vettä sihtinä toimivan viirakudoksen läpi. Rainalla tulee olla riittävän korkea kuiva-ainepitoisuus, jotta rainan siirto viiralta puristimelle on helppoa ja puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus. Paperille tärkeät rakenneominaisuudet, kuten neliömassavaihtelu, orientaatio, ja formaatio määräytyvät rainanmuodostusosalla sen osien yhteisvaikutuksena. Myös rainanmuodostuksen menetelmät ja konekonseptit vaihtelevat lajeittain. [1]

Tämän jälkeen rainaa puristetaan voimakkaasti puristinosalla. Puristinosan tehtävä on poistaa rainasta mahdollisimman paljon vettä ja samalla tiivistää sitä. Puristimella pyritään saavuttamaan riittävän suuri märkälujuus, jotta rainan siirto kuivatusosalle onnistuu katkoitta. Märkäpuristus vaikuttaa voimakkaasti paperin ominaisuuksiin, kuten sileyteen, hienoainejakamaan, pölyävyyteen, kosteusprofiileihin, huokoisuuteen sekä bulkkiin. Puristingeometria, telat ja huovat on valittava sopiviksi valmistettavan lajin ja ajonopeuden mukaan. [1]

Puristinosan jälkeen paperia kuivataan kuivatusosalla. Kuivatusosan tehtävä on poistaa rainasta vettä haihduttamalla. Haihduttamisen tulee tapahtua tehokkaasti, taloudellisesti, tasaisesti sekä laatua huonontamatta. Kuivatuksella vaikutetaan paperin laatuun kuten kosteusprofiileihin sekä pinta- ja lujuusominaisuuksiin. [1]

Paperikoneen jälkeen tehtävä jälkikäsittely riippuu valmistettavasta lajista ja sen vaatimuksista. Kaikille lajeille tehdään kuitenkin tyypillisesti pituusleikkaus sekä tarvittavat rullaukset. Lisäksi tuote voidaan vaatimuksista riippuen esimerkiksi pintaliimata, päällystää tai kalanteroita. [1] Kuvassa 1 on esitelty paperin valmistusprosessi pääpiirteissään.



Kuva 1 Paperinvalmistus yleisesti [2]

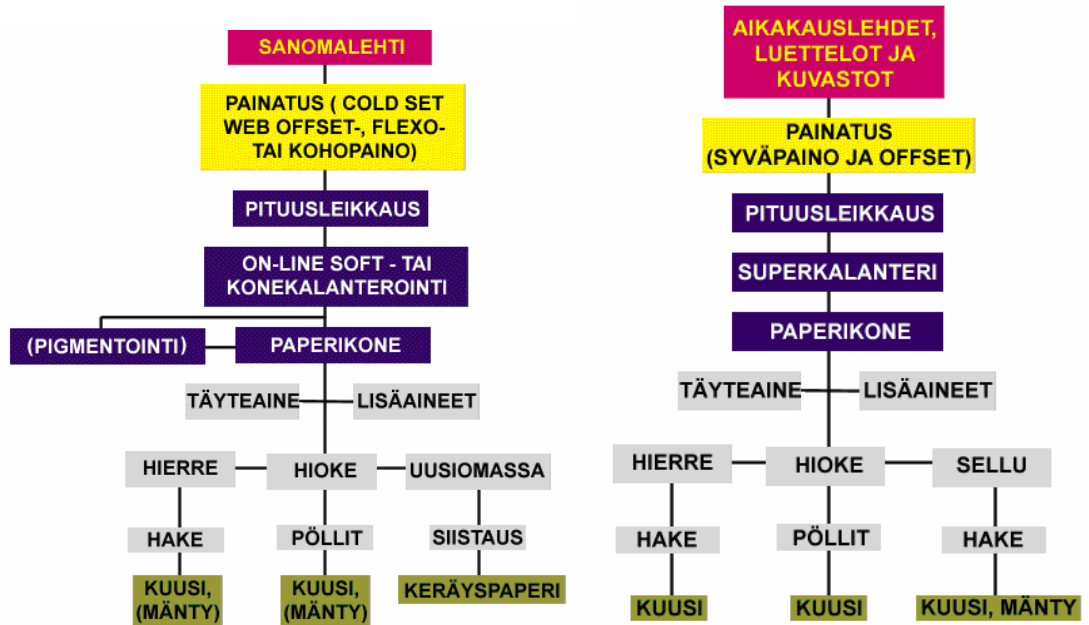
Paperin valmistus kohdetehtaalla

UPM on yksi maailman johtavia paperiyhtiöitä. Kajaanin paperitehdas on yksi UPM-Kymmene Oyj:n tuotantolaitoksista. Kajaanin paperitehdas aloitti toimintansa vuonna 1917. Nykyään tehtaalla valmistetaan paperia kolmella koneella noin 600 000 tonnia vuodessa. Paperikone 2 (PK2) tuottaa superkalanteroituja aikakauslehtipaperilajeja. Paperikone 3 (PK3) tuottaa erikoissanomalehtipaperia, ja paperikone 4 (PK4) tuottaa sanomalehtipaperia.[3] [4]

Sanomalehtipaperi on eniten valmistettu paperilaji. Sanomalehtipaperi valmistetaan pääasiallisesti mekaanisesta massasta sekä täyte- ja lisäaineista. Nykyään valmistuksessa käytetään myös uusiomassaa. Sanomalehtipaperi on päällystämätöntä paperia, joka tyypillisesti kalantroidaan paperikoneen yhteydessä olevalla kone- tai softkalanterilla ja leikataan sitten pituusleikkurilla asiakasrulliksi. [1] Sanomalehtipaperin ja aikakauslehtipaperin valmistuksen erot on esitetty kuvassa 2.

Aikakauslehtipaperi (SC) valmistetaan mekaanisesta massasta, sellusta ja täyte- ja lisäaineista. SC lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista super calendered eli superkalanteroitu. Superkalanteri on paperikoneesta erilleen sijoitettu kalanteri. SC-paperille on ominaista, että se on

päällystämätön paperi ja valmistukseen käytetään paljon täyteaineita. Korkean täyteainemäärän, hienojakeisen mekaanisen kuidun ja voimakkaan superkalanteroinnin vuoksi paperi on tiivis, sileä ja kiiltävä ja käy näin ollen vaativaankin syväpainatukseen. Kalanteroidut konerullat leikataan pituusleikkurilla asiakasrulliksi.



Kuva 2 Valmistuksen erot sanomalehti- ja aikakauslehtipaperilla [1]

3 RULLAUS JA PITUUSLEIKKAUS

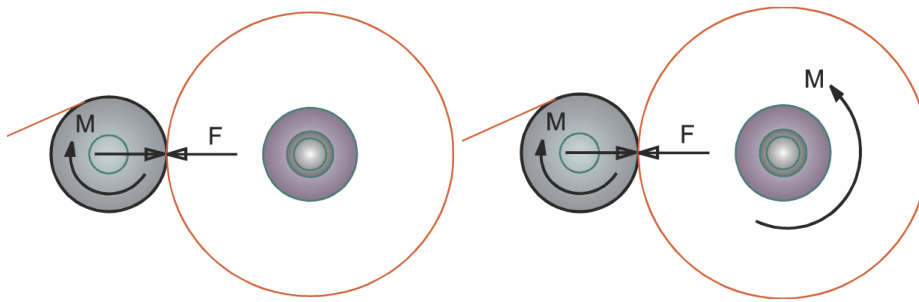
Rullauksen tarkoituksena on muuntaa tasomaiseksi valmistettu paperi helpommin käsiteltävään muotoon. Paperikoneen jälkeen paperiraina on rullattuna konerullaksi. Konerullan raina on täyslevyinen ja pitkä, joten raina leikataan pituusleikkurilla ja rullataan hylsyjen ympärille, asiakkaalle sopivan levyisiksi ja pituisiksi osarainoiksi, joita kutsutaan asiakasrulliksi. Rullien tulee olla pyöreitä ja riittävän tiukkoja. Rullan tiukkuuden tulee olla suunnilleen samansuuruinen hylsytä ulkohalkaisijalle asti. Rullilta edellytetään hyvää ajettavuutta painokoneella sekä kestävyyttä ja käsiteltävyyttä kuljetuksessa ja varastoinnissa. [1]

3.1 Rullaimet

Paperikoneen jälkeen paperia voidaan rullata useita kertoja ennen kuin se on valmis lopputuote. Mahdollisia rullauimia ovat välirullain, päällystyskoneen auki- ja kiinnirullaimet, kalanterin auki- ja kiinnirullaimet (esim. superkalanteri), pituusleikkurin aukirullain, uudelleenrullaimen aukirullain, arkkileikkurin aukirullain (esim. kopiopaperit) sekä painokoneen aukirullain. [1]

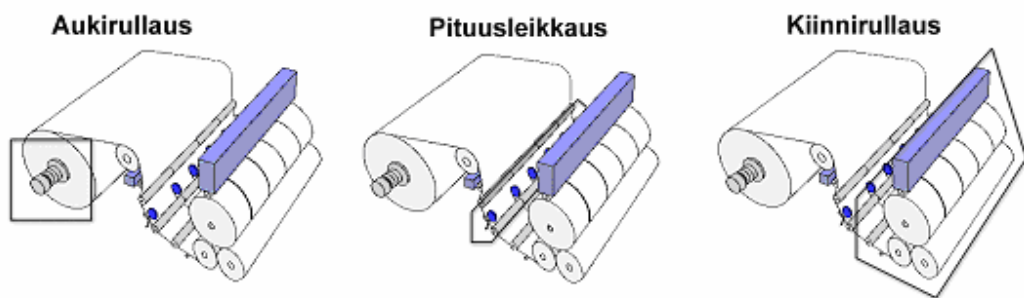
Tärkeä osa paperikonekokonaisuutta on paperikoneen kiinnirullain. Kiinnirullaimella rata kierretään tampoauraudan ympärille rullainsylinteriä vasten. Rullaimessa on yleensä automaattinen tampoaurin vaihto sekä automaattinen ratakireyden, nippivoiman ja kehävoiman säätö, joilla voidaan säätää optimaalinen konerullan rakenne. [1]

Pope-rullain on vanhin nykyisin käytettävistä rullaintyypeistä. Toiminta perustuu yhteen käytettyyn telaan eli rullaussylinteriin ja sitä vastaan painettavaan rullaan jolloin rulla pyörii rullaussylinterin sekä paperin välisen kitkan avulla. Nykyisin kehittyneemmissä versioissa voidaan rullaimella säätää myös keskiömomenttia. Tämä mahdollistaa paremman rullan rakenteen ja suuremmat rullat kuin pintaveto (kuva 3). [1]



Kuva 3 Pintavedon ja keskiöveto-pintavedon ero [1]

Pituusleikkurirullauksen tavoitteena on rullata rulla, jonka rakenne kestää rullien kuljettamisen ja mahdollistaa häiriöttömän jatkojalostuksen. Rullien tulee olla pyöreitä ja riittävän tiukkoja. [1] Kuvassa 4 on esitetty esimerkki pituusleikkauksen rullausten kulusta.



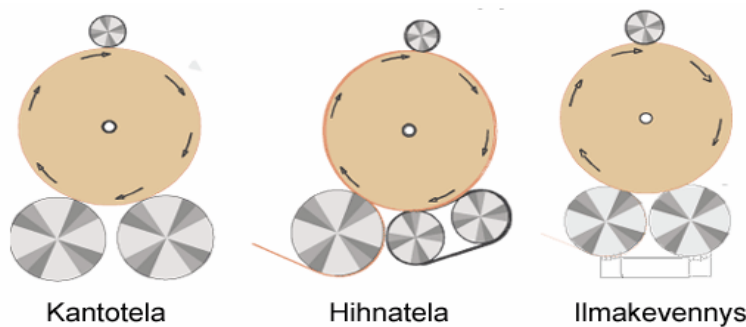
Kuva 4 Esimerkki pituusleikkurin rullausten kulusta [1]

3.2 Pituusleikkaus

Pituusleikkurin tehtäviä ovat pituusleikkaus ja rullan muodostus sekä rainan huonon reunaosan poistaminen. Rainan ajettavuus joutuu ensimmäisen kerran koetukselle pituusleikkurissa [1]. Pituusleikkurilla voidaan vaikuttaa rullan kovuuden ja tasaisuuden muodostumiseen [5, s. 171.]. Pituusleikkureita on kahta perustyyppiä: kantotelaleikkurit ja keskiörollainleikkurit. Kantotelaleikkureista on lisäksi modifioituja malleja, joissa on ilma- tai hihnakannatus [1].

3.2.1 Kantotelaleikkurit

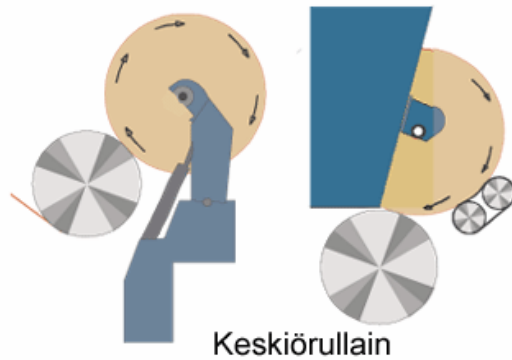
Kantotelaleikkurien rullaustapa on pintavetorullaus. Siinä rullaa painetaan käytöllistä telaa vasten, joka pyörittää rullaa. Rulla muodostuu kahden metallitelan päälle. Rullaa tuetaan sekä sivusuunnassa hylsilyukoilla että päältä painotelalla. Nippikuormien kasvu rullakoon kasvaessa voi aiheuttaa rullausongelmia tietyillä laaduilla. Modifioitu versio kantotelaleikkurista on WinAir-pituusleikkuri, jossa rullaustelojen väliin syntyvä ilmatyyny vähentää viivakuormaa rullan ja rullaustelan välissä. Tämä mahdollistaa normaalia suuremmat rullakoot. Toinen kantotelaleikkurista kehittynyt versio on WinBelt-pituusleikkuri. Siinä toinen metallitela on korvattu hihnatelastolla. Hihnojen kireyttä voidaan muuttaa ja näin tehokkaasti säätää rullan rakennetta. Nippivoimien hallinnan avulla myös tämä leikkurityyppi mahdollistaa suuret rullakoot. Kuvassa 5 on esitelty kantotelatyypiset leikkurirakenteet. [1]



Kuva 5 Kantotelaleikkurit [1]

3.2.2 Keskiörollainleikkurit

Keskiörollainleikkurien rullaustapa on yhdistetty keskiö- ja pintavetorullaus. Pintavetorullauksessa rullaa painetaan käytöllistä telaa vasten pyörittäen rullaa. Keskiövetorullauksessa rullaa kannatetaan ja vetomomentti syötetään hylsältä. Rullaustavat voidaan yhdistää, jolloin saadaan keskiö- ja pintavetorullaus. Keskiörollaimessa kukin rulla rullataan omalla rullausasemallaan, joten rullaustapahtumaa voidaan säätää rullakohtaisesti. Lisäksi WinRoll-pituusleikkurikonseptissa voidaan tukea rullaa painotelayksiköitä käyttäen, jolloin suurempien rullakokojen käyttö mahdollistuu. Keskiörollain leikkurirakenteet on esitelty kuvassa 6. [1]

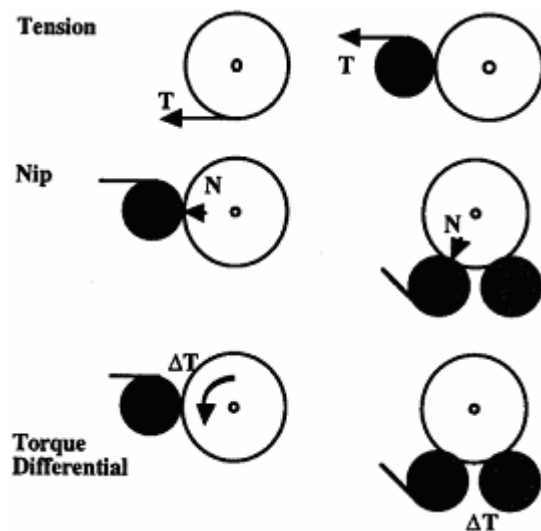


Kuva 6 Keskiörullainleikkurit [1]

3.3 Rullausparametrit

Optimirullan saavuttamiseksi täytyy eri paperilaaduilla käyttää erilaisia rullausparametrejä. Parametreilla säädetään asiakasrullan laatua, rullan sisäisiä jännityksiä sekä kovuustasoa. Rullausparametrit valitaan rullaimella paikallisten olojen mukaan. Vaikuttavia tekijöitä ovat paperin ominaisuudet, kuten sileys, jäykkyys, venyvyys, kokoonpuristuvuus, kitka, rullan koko, käsittelytapa, varastointiaika ja ajonopeus. [1]

Roisum on käsitelty teoksessaan ns. TNT-käsitettä, joka on esitetty kuvassa 7. Lyhenne TNT muodostuu rullaukseen vaikuttavista parametreista eli rainan kireydestä, nippikuormasta ja rullausvoimasta. [6, s. 6.]



Kuva 7 TNT [6, s. 6.]

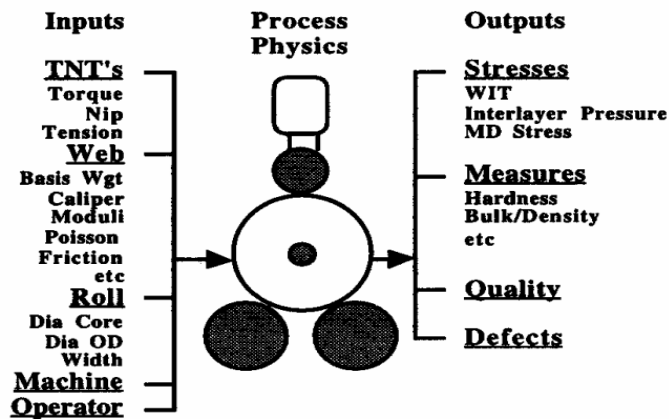
Ratakireys määritellään keskimääräisen rataan kohdistuvan konesuuntaisen voiman suhteena radan leveyteen. Nippikuormalla tarkoitetaan keskimääräistä viivakuormitusta rullan ja telan välillä, ja siihen vaikuttaa rullan paino sekä mahdollinen lisäkuormitus. Käsitteellä rullausvoima käsitetään eri asioita eri leikkurityypeistä puhuttaessa. Kantotelaleikkurista puhuttaessa käsitetään rullausvoimalla kantotelojen momenttiero, kun taas esimerkiksi keskiörullainleikkurilla rullausvoima tarkoittaa keskiökäytön momentin ja rullaussylinterin välistä momenttiero. Eroista johtuen työssä käytetäänkin yleisesti termiä rullausvoima. [6, s. 6 -12.]

Kantotelaleikkureissa rullan tiukkuus muodostuu pääasiassa nippikuormien avulla. Rullauksen alussa rullausvoima on merkittävä tiukkuuden muodostuksessa ja rainankireys vaikuttaa tasaisesti koko rullauksen ajan. Hihnatelaleikkurissa riittävä tiukkuus saavutetaan rullausvoiman avulla. Rullan halkaisijan kasvaessa riittävän suureksi, siirtyy pääosa rullan kasvavasta painosta hihnatelaston kannatettavaksi. Keskiörullainleikkureissa rullan tiukkuus tehdään pääasiassa rullausvoiman avulla. Nippikuormat ovat suhteellisen pienet, sillä rullaa kannatellaan hylsyistukoilla. [1]

3.4 Rullan rakenne

Rullan rakenne muodostuu rullaan vaikuttavien voimien ja paperin ominaisuuksien vaikutuksesta. Rullan hyvä pohja muodostaa perustan koko rullan perustamiselle. Rullan pohjan tulee olla sopivan tiukka, jotta hylsy ei luista rullan sisällä. Liian tiukka pohja voi aiheuttaa kuitenkin suuresta puristusaineesta johtuvia murtumia. Liian löysä pohja voi aiheuttaa kokoonpuristuessaan tähtikuviota. Rullan rakenteen tulee olla muutoinkin pohjasta pintaa kohti tiukkuudeltaan tasainen. Tällöin vältetään löysien kerrosten aiheuttamilta liukumisilta ja rynkyiltä. [7, s. 221.] Hyvä rullan tunnusmerkkeihin kuuluu lisäksi, että paperiprofiilit ovat tasaiset läpi rullan. Etenkin paksuusprofiilin merkitys korostuu. [5, s. 94.] Hyvä rulla on muutoinkin rakenteeltaan ja muodoiltaan moitteeton ja kestää kuljetuksen ja varastoinnin vaikutukset.

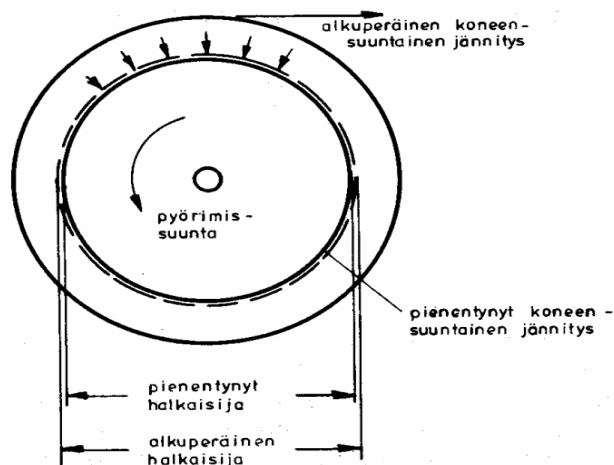
Roisum esittää kirjassaan rullaukselle yksinkertaisen mallin, joka on esitetty kuvassa 8. Kuvassa vasemmalla on rullaukseen vaikuttavia tekijöitä ja oikealla valmiin rullan ominaisuuksia.



Kuva 8 Rullaukseen vaikuttavia tekijöitä ja rullan ominaisuuksia [6, s. 14.]

3.4.1 Rullan sisäiset jännitykset

Arjas esittää teoksessaan rullan sisäisten jännitysten teoriaa. Rullan muodostamisessa venyvää rainaa rullataan kokoonpuristuvan sydämen ympärille. Jokainen lisäkierros aiheuttaa rullassa säteen suuntaisen puristuspaineen lisäyksen ja alla olevien kerrosten kokoonpuristumisen. Kuvasta 9 näkyy, kuinka kerrosten joutuessa rullan sisempiin osiin niiden ympäräsmitta pienenee. Tiettyä ympäräsmittaa vastaa tietty venymä, eli kun venymä pienenee, pienenee myös rainan jännitys. Kun rullauksessa vallinnut rainan jännitys on vakio, saavutetaan rullan sisemmissä osissa tasapainotila, jossa rullan säteen suuntainen puristusjännitys ja tangentin suuntainen vetojännitys saavuttavat vakioarvon. [8, s. 1228.]



Kuva 9 Konesuuntaisen jännityksen pienentyminen alla olevan rullan puristuessa kokoon [8, s. 1228.]

3.4.2 Paperin ominaisuudet

Neliömassa on paperin paino pinta-alayksikköä kohti. Neliömassan yksikkö on g/m^2 . Neliömassaan sisältyvät sekä paperinkuivamassa että vesi. Neliömassa vaikuttaa lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi paperin lujuuksiin. [7, s. 78.]

Kosteus vaikuttaa myös lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin. Kosteuden nousu aiheuttaa muun muassa neliömassan ja venymän kasvun. Kosteus määritetään punnitsemalla $105\text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa kuivatetun arkin painohäviöalkuperäiseen painoon verrattuna. Kosteuden muutokset profiilissa aiheuttavat usein ongelmia. [7, s. 80.]

Paksuus on yhden arkin pintojen välinen etäisyys. Paksuuden yksikkö on μm . Paksuusmittaus suoritetaan lievässä puristuksessa tietyllä vakiopaineella. Paksuuden merkitys on tärkeä etenkin poikkisuunnan profiileissa. Huono paksuusprofiili voi aiheuttaa muun muassa rynnkyjä ja repeämiä. [7, s. 82.]

Paperin bulkki ja tiheys ovat rakenteellisia ominaisuuksia, jotka voidaan laskea paksuuden ja neliömassan avulla. Tiheydellä ilmoitetaan paperin paino tilavuusyksikköä kohti. Tiheyden yksikkö on g/m^3 . Bulkki on tiheyden käänteisarvo, ja sen yksikkö cm^3/g . Bulkin kasvaessa kasvaa myös paperin paksuus. Pieni tiheys eli suuri bulkki on paperilla usein toivottava ominaisuus, jos muut kriittiset ominaisuudet ovat riittävät. [7, s. 83.] [9]

Kokoonpuristuvuus kuvaa paksuuden pienenemistä tai sileyden lisääntymistä sileyden funktiona. Hyvä kokoonpuristuvuus vähentää paksujen kohtien aiheuttamia profiilivirheitä rullassa. Tällöin paksu kohta rullautuu tiiviimmin eikä muodosta pattia. Sileys (karheus) kuvaa paperin pinnan korkeusvaihteluita. Sileyden mittaaminen perustuu yleisimmin virtaavan ilmamäärän mittaamiseen paperin ja tasaisen metallipinnan välistä, jolloin yksikkö on ml/min . Sileyden parantaminen tapahtuu usein bulkin kustannuksella. [7, s. 84.] [9]

Paperin kitka kertoo paperin pinnan "liukkaudesta." Kitka määritetään vetämällä kahta samanlaista paperia toisiaan vasten tietyllä voimalla. Mitä nihkeämmin paperi liukuu, sitä suurempi kitka on.

Venymällä tarkoitetaan paperin reologista käyttäytymistä rasituksen alaisena. Paperi on viskoelastinen materiaali. Kun paperia kuormitetaan, se venyy. Kun kuormitus lopetetaan,

osa venymästä palautuu heti, osa jonkin ajan kuluessa ja osa muodonmuutoksesta ei palaudu. Tila riippuu siitä, kuinka suuri esim. kokonaisvenymä rasituksessa on. [1]

3.5 Rullautuvuus

Rullautuvuudella tarkoitetaan radan ominaisuuksien vaikutusta rullaustulokseen eli rullan rakenteeseen ja rullausvikaherkkyyteen. Paperilajien rullautuvuutta voidaan tarkastella paperiteknisten ominaisuuksien avulla (neliömassa, paksuus, kosteus, lujuudet yms.). Yksittäistä radan rullautuvuutta kuvaavaa suuretta ei ole, vaan rullautuvuus muodostuu eri ominaisuuksista. Yleisesti ottaen rullattavan materiaalin ominaisuuksiin pohjautuvat rullausongelmat johtuvat jonkin ominaisuuden liian alhaisesta tai korkeasta tasosta tai paikallisesta profiilihäiriöstä. Häiriöt aiheuttavat laatuhylyä ja rullausongelmia. [1]

3.6 Rullauksen vaikutus kovuuden muodostumiseen

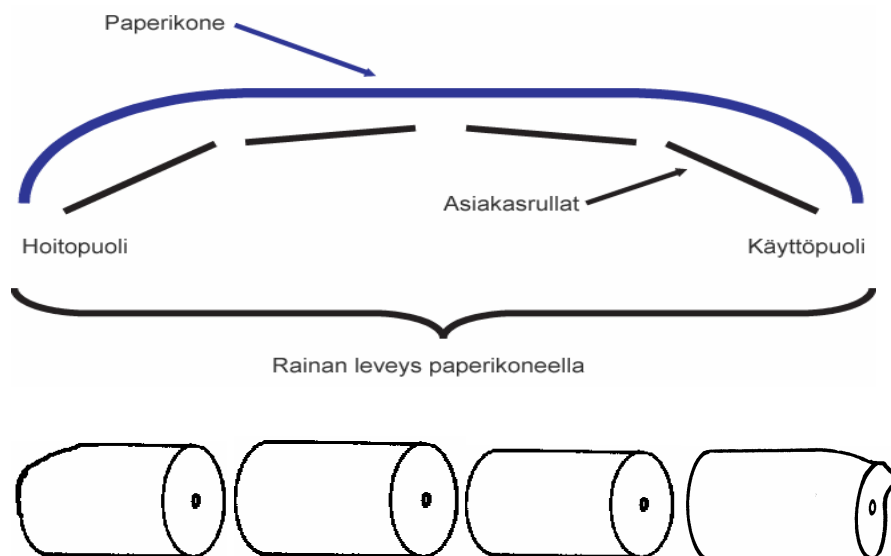
Kovuus muodostuu useista tekijöistä. Tärkeimpiä tekijöitä ovat paperikoneella syntyvät paperin ominaisuudet, kuten paksuus, kosteus ja neliömassa. Rullahalkaisijan kasvun aiheuttamat sisäiset paineen ja kireyden tilat sekä käytettävä rullausmenetelmä vaikuttavat myös kovuuden muodostumiseen. Lisäksi kovuuden muodostumiseen vaikuttavia merkittäviä tekijöitä ovat venymä, kitka sekä kokoonpuristuvuus. Tekijöiden vaihtelu rullausten aikana aiheuttaa epätasaisen vaihtelun jännitys jakaumassa eri kohdissa rullaa vaikuttaen koko rullan ominaisuuksiin. Aukirullauksessa nämä kireysheitot aiheuttavat paperin katkeamista tai löysytymistä ja siten katkoja ja ajettavuusongelmia painossa. [1]

3.7 Rullaviat

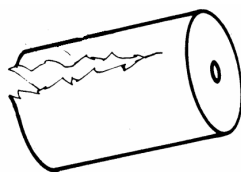
Eri paperilajeilla ilmenee erilaisia rullausvikoja. Syntymekanismit ovat vioilla usein hyvin samanlaisia, mutta eroja syntyy rullattavan rainan ominaisuuksista. Rullavioista osa on havaittavissa jo tehtaalla. Hankalimpia ovat rullan sisällä olevat viat, jotka ilmenevät vasta asiakkaalle aiheuttaen ongelmia. Rullausvian seurauksena voidaan joutua jopa kokonaisia asiakasrullia hyllyttämään, jolloin paperinvalmistuslinjan tehokkuus heikkenee [1]. Rullausvikoja voi-

daan ehkäistä tasaisilla profiileilla, rullausparametrien muutoksilla sekä oskilloinnilla. Oskilloinnissa konerullaa siirrellään rullauksen aikana, jolloin voidaan profiilivirheitä tasata sivusuunnassa [5, s. 98.]. Oskillointi voidaan suorittaa aukirullaimella, kiinnirullaimella tai molemmilla.

Kuvassa 10 on esitelty tyypillinen rullankovuusprofiiliongelmaksi eli löysät reunat. Löysä reuna johtuu yleensä paksuudenmuutoksesta radan reunoissa ja näkyy radan pehmenemisenä reunoja kohti mentäessä. Rulla voi olla myös kauttaaltaan liian pehmeä. Jos radan profiili on hyvin epätasainen, voi useampikin muuton rullista tulla liian pehmeäksi. [5, s. 173.] Pitäisyydellä voidaan kireämmällä rullauksella ja reunanauhan leikkauksen avulla parantaa tilannetta reunarullilla. Muuttamalla leikkausformaattia ja kireyttä voidaan joskus välttää kokonaan pehmeät rullat [5, s.97]. Paperia kuitenkin liikaa kiristettäessä voi aiheutua repeytymiä (kuva 11) [5, s. 100.]. Rullissa voi esiintyä myös kovapäisyyttä. Kova pää muodostuu, kun rullan reunassa esiintyy etenkin tiukassa rullassa profiilissa paksummat kohdat rullan päissä. Kovapäisyys voi aiheuttaa halkaisijan kasvua reunarullilla.



Kuva 10 Tyypillinen kovuuden profiiliongelmaksi [5, s. 96.]



Kuva 11 Liian kireä rulla [5, s. 97.]

Kovuusprofiilissa esiintyvät piikit ovat yksittäisiä pehmeitä tai kovia kohtia. Jos kovuus laskee koko rullan matkalla tasaisesti (Kuva 12), voi ”porkkanamaisuus” johtaa rullan hylkäykseen. [10] Muutoksen ollessa pieni ja loiva, ei ongelmia välttämättä esiinny lainkaan.

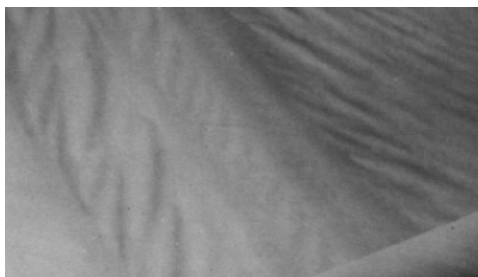


Kuva 12 Porkkanamaisuutta profiilissa [10]

Jyrkät, äkilliset muutokset profiilissa voivat aiheuttaa kuitenkin vaikeuksia. [10] Erilaiset vanat, pannaat ja patit syntyvät helposti profiililtaan poikkeavaan radan kohtaan, kuten nähdään kuvassa 13. Pannaat ja patit johtuvat usein paksuuspiikistä rullassa, jolloin kohta muodostuu kovaksi. Vana muodostuu helpommin kireisiin kuin pehmeisiin rulliin [5, s.98.]. Vana muodostuu usein pehmeän ja kovan kohdan välimaastoon tai kohtaan, jossa kosteus vaihtelee voimakkaasti (kuva 14).



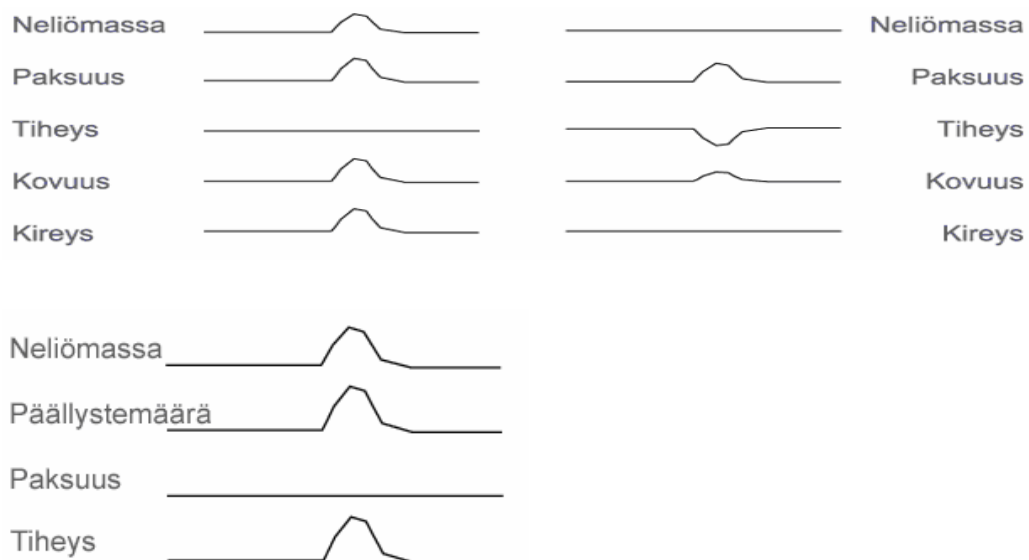
Kuva 13 Rullissa voi esiintyä pantoja [5, s. 98.]



Kuva 14 Kosteusheittojen aiheuttaman eriaikainen kuivuminen ja venyminen [1]

Profiilista tutkimalla on vaikea sanoa, tuleeko asiakasrullaan esimerkiksi pantaa tai vanaa vai onko se virheetön. Turpeinen toteaa tutkimuksessaan, että tutkimusaineistossa on paljon tapauksia, joissa esimerkiksi kovuusprofiili on todella huono mutta hylkyä ei kuitenkaan muodostunut. Toisaalta taas mitättömältä vaikuttavasta kovuusheitosta voi aiheutua hylkyä. [11, s. 71.]

Kuvassa 15 on esitetty esimerkkejä mahdollisten profiilihäiriöiden keskinäisistä vaikutuksista. [1] Neliömassan ja paksuuden kasvaessa yhtä aikaa, pysyy tiheys vakiona. Syntyy patti joka näkyy kovuudessa. Paksuuden kasvaessa ilman neliömassamuutosta, tiheys putoaa. Kireyden pysyessä vakiona, voi kovuudessa näkyä pieni patti. Jos taas neliömassa kasvaa esimerkiksi päällystemäärän kasvun seurauksena ja paksuus ei kasva, näkyy tiheyden nousun myötä kovuudessa selvä pahka.

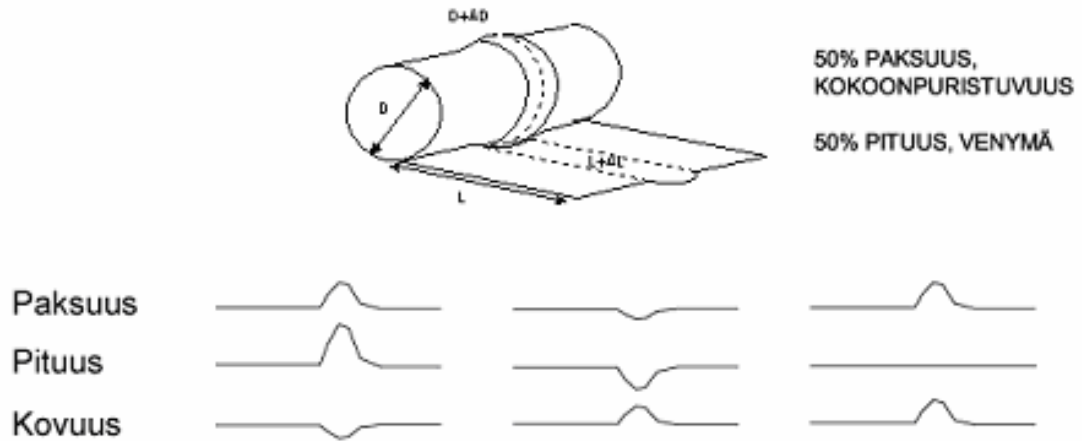


Kuva 15 Profiilivaihteluiden keskinäisiä vaikutuksia [1]

Kuvassa 16 on kuvattu pituus- ja paksuusvaihteluiden vaikutus rullan jännitysten tasaisuuteen poikkisuunnassa. Paperin paksuuden tulisi olla tasainen rullassa vallitsevassa puristus-paineessa. Jännitysten tasaisuuteen vaikuttavat kuitenkin paksuuden ja kokoonpuristuvuuden lisäksi myös rainan pituus ja venymä. Kaavan 1 avulla voidaan osoittaa, että kun rullassa on rainan pituusvaihtelun ja paksuusvaihtelun suhde on π , voidaan todeta rullassa olevan tasainen jännitys akselin suunnassa.

$$\frac{\Delta L}{\Delta D} = \pi \quad (1)$$

Kaavassa 1 on kuvattu ΔD - ja ΔL -suhteen vaikutusta kovuuteen. Jos jälkimmäisen muutos on suurempi, muodostuu löysiä. Päinvastaisessa tilanteessa kovuus kasvaa. [8, s. 1231.]



Kuva 16 Pituus- ja paksuusvaihteluiden vaikutus rullan kovuuteen [1]

Rullien ajettavuus riippuu siis paljon profiilien tasaisuudesta, kuten paksuudesta ja neliömas-
sasta, kosteusmuutoksista ja elastisesta käyttäytymisestä. Erityisesti ongelmia esiintyy ohuilla
lajeilla, joilla rullan poikkisuunnassa esiintyy paksuudesta aiheutuvia kovuusvaihtelusta. [24]

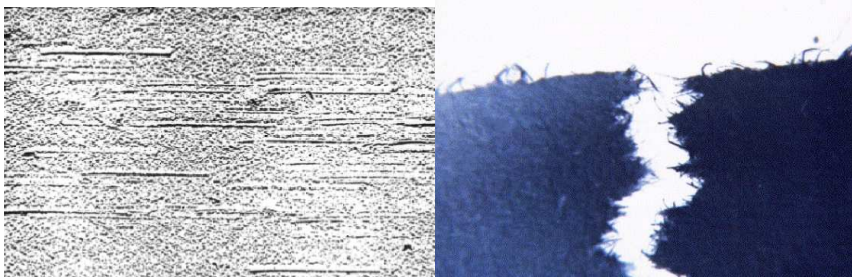
UPM:n sisäisen tutkimuksen mukaan jo 10 %:n vaihtelu kovuudessa vaikeuttaa ajettavuutta.
Vaihtelun ollessa yli 25 % puhutaan jo merkittävästä vaihtelusta, joka vaikeuttaa painamista.
Voimakkaat vaihtelut aiheuttavat radan liikettä löysästä kireämmän pään suuntaan, lepatusta
löysässä päässä sekä aaltoilua tiukasta päästä löysään päin. Lisäksi kokonaiskovuuden kasva-
essa vaihtelut nousevat merkittävämpään asemaan ongelmien aiheuttajana. [12]

Rullaviat voivat näkyä muutoinkin kuin kovuusvaihteluna. Kreppiryngky syntyy, kun löysä
paperikerros menee kasaan, "krepille". Se on osoitus liian löysästä rullauksesta, ja siitä pääs-
tään eroon ratakireyttä muuttamalla. Tyypillisesti tampoerista kuuluu narinaa kerrosten liik-
kuessa ja mennessä ryngkylle. "Satikaksi" kutsutaan pidemmälle jalostunutta kreppiryngkyä.
Tunnusomaista satikalle on sileäksi hioutunut katkoreuna. Paperikerrosten liikahtelun seura-
uksena satikan harja hankautuu rikki, jolloin paperiradan vetolujuus pienenee merkittävästi ja
aukirullattaessa voi rata katketa. Satikan ja kreppiryngyn ero on havaittavissa kuvasta 17. [1]



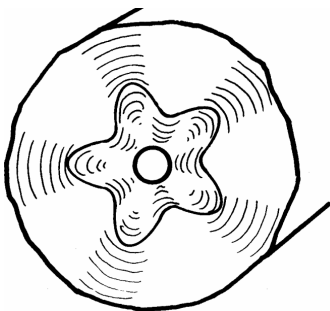
Kuva 17 Kreppiryngyn ja satikan ero [1]

Paperiin syntyvät pintaviat, kuten naarmut, markkeeraus ja kiiluvaiset johtuvat yleensä siitä, että kerrokset pääsevät luistamaan keskenään. Aluetta, missä markkeerausta esiintyy, täytyy kiristää. Kiiluvaiset näkyvät aukirullautuvasta tampoerista välkehtimisena toimien myös satikka-indikaattorina. Kiiluvainen on esitetty vasemmalla kuvassa 18. Reunarisa tai murtuma syntyy, jos tampoeri on rullattu liian tiukaksi. Löysäämällä tampoerin pohjaa murtumien tulisi hävitä. Reunarisa on esitetty oikealla kuvassa 18.



Kuva 18 Kiiluvainen ja reunarisa [1]

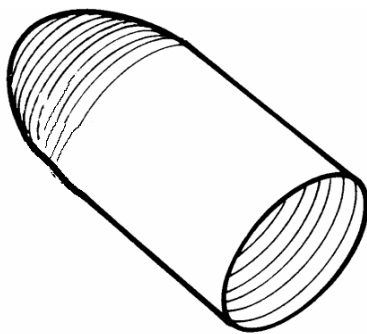
Tähtikuvio aiheutuu, kun rullataan tiukkaan rullattu kerros löysästi rullatun kerroksen päälle. Tällöin tiukka kerros puristaa löysän kerroksen kasaan. Kuvio voi ulottua pohjasta pintaan, kun koko rulla on rullattu liian löysästi. Kuvion muoto on havainnollistettu kuvassa 19.



Kuva 19 Rullan päädyssä esiintyviä säteitä [5, s. 99.]

Bouncing eli hylsyn epäkeskeisyys esiintyy vain kantotelatyyppisessä rullauksessa suurikitkaisuilla paperilajeilla. Se ilmenee rullauksen aikana rullien heilumisena rullaustelalta toiselle ja hylsylvukkojen vatkamisena. Rullien heiluminen voi aiheuttaa epäkeskeisiä rullia ja epätasaisia, jopa palaneita rullan päätyjä. Epäkeskeisyyttä aiheuttavat rullien väliset halkaisijaerot, vierekkäisten rullien päätykosketukset ja rainakerrosten välinen suuri kitka. Ongelmaa voidaan vähentää parantamalla rainan paksuusprofiili mahdollisimman tasaiseksi koko konerullan leveydeltä. Paksuusprofiilia ei saada kuitenkaan täysin tasaiseksi, joten se pyritään saamaan reunoilta ohuemmaksi kuin keskeltä.

Kuvassa 20 on esitelty patapäinen rulla, jossa toinen pääty on kupera ja toinen kovera. Rullien patapäisyys johtuu monien syiden, kuten paperin suuren kokoonpuristuvuuden, rainan pienen kitkan tai poikkisuuntaisen paksuusvaihtelun yhteisvaikutuksesta. Myös liian suuri rullausnopeus ja liian pieni tai liian suuri rainankireys edistävät patapäisyyttä. Patapää muodostuu, kun rulla työntää viereistä rullaa poikkisuunnassa ja tämä rulla työntää seuraavaa rullaa. Patapäisten rullien määrää voidaan vähentää säätämällä rullausparametrien arvoja ja parantamalla rainan paksuusprofiili tasaiseksi koko koneen leveydeltä paperikoneella.



Kuva 20 Patapää [5, s. 100.]

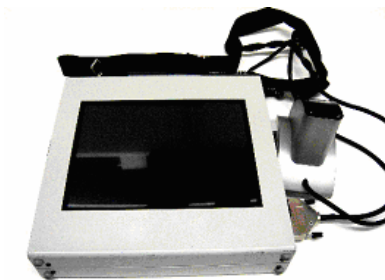
Pohjarepeämää esiintyy leveillä ja painavilla syväpainorullilla, joiden kitkakerroin on 0,3–0,5. Pohjarepeämässä paperi repeää konesuuntaisesti ja revenneet osat työntyvät torvena ulos rullasta painokoneen aukirullaimella. Riekaleinen paperi aiheuttaa usein joko reunarisan tai rainankatkon. Ongelmaa voidaan estää huolellisella tiukalla alkurullauksella pituusleikkurilla ja paperin kitkalla. [1]

4 KOVUUDEN MITTAUS RULLAN RAKENTEEN MÄÄRITYSMENETELMÄNÄ

Koneen tuotantokatkot ovat rullauksessa tavallinen ongelma, joka voidaan minimoida käyttämällä tasaisesti rullattuja rullia. Laadun parantamiseksi on kehitelty useita eri mittaussmenetelmiä, mm. rullien kovuuden mittaamiseksi.

4.1 Tapio RQP

Tapio Roll Quality Profiler on Tapio Technologies Oy:n valmistama kovuusmittalaite. Mittalaitteeseen kuuluu tablet-PC, mittapää, tiedonsiirtokaapeli sekä verkkokaapeli (kuva 21). Mittapää välittää tiedonsiirtokaapelia pitkin mittaustietoa tietokoneen Windows-pohjaiselle Roll Quality Profiler -ohjelmistolle. Mittapään etuna aikaisempiin kovuusmittausmenetelmiin verrattuna on matkanmittaus, joka auttaa esimerkiksi yksittäisten profiilivikojen paikannuksessa konerullasta.

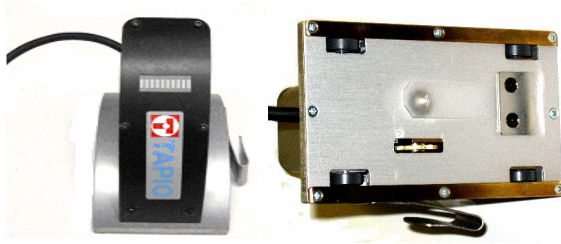


Kuva 21 Tapio RQP kokoonpano

4.1.1 Mittapään rakenne ja toiminta

Mittapää on kaksitoista senttimetriä korkea mittaajan käteen muotoiltu laite. Mittapäässä on kymmenen valon rivistö osoittamassa mittaussnopeutta mittauksen aikana (kuva 24). Mittapään pohjassa on neljä pientä pyörää, joiden varassa mittapää kulkee tasaisesti paperin pintaa pitkin. Pohjassa on myös matkapyörä, joka mittaa mittapään kulkeman matkan metreinä. Mittapäässä on muoviliuskalla suojattu iskurimainen mittaussanturi. Mittaussanturin osuessa kohtisuoraan rullan pintaa vastaan saadaan selville rullan kovuus. Mittaussanturi iskee vakio-
taajuudella 10 Hz eli kymmenen mittausta sekunnissa. Kuvassa 22 näkyvä muoviliuska

suojaa paperin pintaa ja ehkäisee löysän paperikerroksen vaikutusta rullan pinnalla. Liuskalla myös varmistetaan, että mittaussnopeus ei vaikuta mittaustulokseen. [13]



Kuva 22 Tapio RQP -mittapää

Mittaus perustuu mittausanturin hidastuvuuteen mittakaran osuessa rullan pintaan. Mittauksen yksikkö on hidastuvuus. Mitä kovempi pinta, sitä suurempi on hidastuvuus eli negatiivinen kiihtyvyys. Kiihtyvyyden yksikkö on g (m/s^2). Palautuksen kiihtyvyys ei vaikuta saatuaan tulokseen. Arkikielessä ei kovuudelle paperirullia mitattaessa ole yksikköä, vaan eri mittalaitteiden käyttämät yksiköt ovat erilaisia käännöksiä, kuten RQP:ssa hidastuvuus [13]. Työssä onkin käytetty kuvaajissa yksikkönä yksinkertaisesti ”kovuus”. Se on havainnollisempi arkikielessä kuin esimerkiksi hidastuvuus.

4.1.2 Mittaustekniikka ja tarkkuus

Mittalaite painetaan rullan pintaan mahdollisimman reunaan niin, että mittapään kaikki pyörät ovat rullan päällä. Matkapyörän painautuessa pohjaan mittausanturi alkaa iskeä koh-tisuoraan rullan pintaa kohti. Mittalaitetta työnnetään rullan pintaa pitkin toiseen päähän. Mittaus pysäytetään rullan reunaan. Reunoista jää näin pari senttiä mittaamatta. Mittapäätä ei vedetä rullan reunan yli. [13]

Mittauksen tarkkuutta voidaan säätää mittapään työntönopeudella rullan pinnalla.

Nopea mittaus → 1 m/s, yksi mittaus jokaisella kymmenellä sentillä.

Tyypillinen → 0,5 m/s, yksi mittaus jokaisella viidellä sentillä

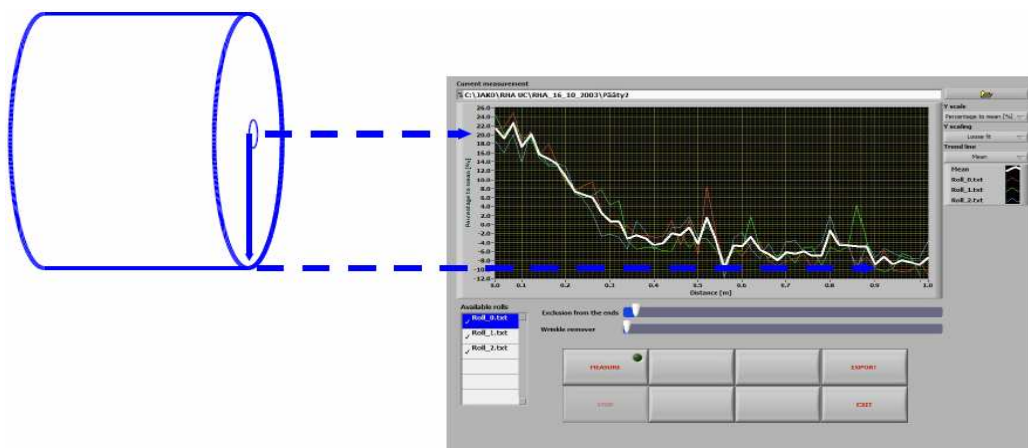
Tarkka → 0,1 m/s, yksi mittaus jokaisella sentillä [10]

Mittaustiedostossa arvot ovat aina sentin välein riippumatta mittausnopeudesta. Mittausnopeuden ollessa alhaisempi kuin 10 cm/s lasketaan yhden senttimetrin matkalle osuneista yksittäisistä pisteistä keskiarvo. Esimerkiksi 2 cm/s mittausnopeudella tuloksissa yksittäinen arvo on viiden lyönnin keskiarvo. Jos mittausnopeus ylittää 10 cm/s, annetaan perättäisillä pisteille sama arvo. Esimerkiksi 20 cm/s mittausnopeudella kahdella peräkkäisellä pisteellä on aina sama arvo, eli resoluutio on oikeasti 2 cm, vaikka tiedostossa onkin pisteitä sentin välein. [13]

Mittausuunta kannattaa valita paperikoneen hoitopäästä käyttöpäähän päin. Mittapään valovivistö osoittaa mittapään työntönopeuden. Maksimiresoluutio saavutetaan, kun mittapäätä liikutetaan korkeintaan kymmenen cm/s ja tällöin valo on punaisella. Sopiva mittausnopeus on haettava kokeilemalla. [13]

Tarkimmalla mittausresoluutiolla saavutetaan paremmin rullissa esiintyvät poikkeamat kuten vanat. Lisäksi hyvä erotuskyky antaa paremman kuva poikkeamien määrästä. Hyvä erotuskyky vähentää myös mittauspisteiden keskiarvostamista [14, s. 212.]. Kuitenkin haettaessa esimerkiksi vain profiilin perusmuotoa visuaalista tarkastelua varten on mittausnopeus syytä hakea tapauskohtaisesti.

Mittalaitteella voidaan mitata kovuutta myös z-suuntaan (kuva 25). Mittaus ei vahingoita rullaa. [10] Kovuuden mittauksella rullan päädyistä voidaan kuvata mm. kokoonpuristuvuuden vaikutusta rullan rakenteeseen.



Kuva 23 z-suuntainen kovuusmittaus [10]

4.1.3 Toistettavuus ja luotettavuus

Suomisen tutkimuksen mukaan mittaukseen vaikuttavat häiriötekijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään: mittaajasta, rullasta ja mittalaitteesta riippuvat häiriöt [15, s. 26.]. Mittaajasta johtuvat virhelähteet voidaan helposti poistaa mittalaitteen vakaalla ja huolellisella käsittelyllä. Mittapään kaikkien pyörien tulee olla rullan päällä koko mittauksen ajan, jotta tulokset ovat luotettavia. Mittapäätä ei vedetä rullan reunan yli, sillä se vaatii harjoittelua ja vakaata kättä. [13]

Yleisin rullasta johtuva virhelähde on löysä arkki. Vaikka mittaussnopeuksilla ei ole vaikutusta mittaustulokseen, voi joillakin paperilajeilla rullassa kuitenkin olla kerrosten välissä ilmaa joka poistuu mittapään iskiessä rullan pintaan. Mitattaessa hitaalla nopeudella jolloin yhden mittapisteen arvo on keskiarvo useammasta yksittäisestä iskusta, voidaan saada suurempi kovuus kuin nopeasti mittapäätä liikuttaessa. Ilman poistuessa paperikerrosten välistä toinen isku samaan kohtaan voi antaa suuremman kovuuden kuin ensimmäinen. Löysät arkit voivat myös muodostaa ns. vekkejä mittapään kulkiessa paperin pinnalla. Mittalaitteen hypätessä vekin yli tulee mitatuista arvoista todellista pienempiä. [15, s. 26.]

Mittalaitteesta johtuvia häiriöitä ei juuri ole. Kuitenkin yhdessä rullasta johtuvien häiriöiden kanssa ongelmia voi syntyä. Mitattaessa rullan reunoja voi tulla ns. hukka-arvoja. Hukka-arvolla tarkoitetaan pistettä, joka poikkeaa suuresti muusta profiilista. Arvoista päästään kuitenkin eroon painamalla mittapäätä rullan reunaa vasten kaksi sekuntia mittapään stabiloinnin ajan ennen mittapään työntöä. [13]

Mittausten toistettavuus on Suomisen mukaan erittäin hyvä. Toistomittauksien profiilit ovat lähes yhteneväiset vaihtelevassakin profiilissa. Mitattaessa sama rulla useaan kertaan saadaan profileista hyvin yhteneväiset. [15, s. 29.]

4.1.4 Tulosten analysointi

Mittaustulokset analysoidaan Roll Quality Profiler -ohjelmalla. Näkymä sovelluksesta on esitetty kuvassa 24. Ohjelma sisältää mittaustietojen suodatuksen työkalut joilla mahdolliset virheet suodatetaan pois. Ohjelmassa on mm. mahdollisuus päiden poistoon. Erityisiä suodatusparametrejä ei käytetä, vaan päistä leikataan haluttu määrä mittaustietoa pois. Oletukse-

na työkalu poistaa yhden senttimetrin. Käyttäjä voi kuitenkin halutessaan poistaa dataa päistä aina 50 senttimetriin asti.

Mitattaessa saattaa esiintyä profiileissa suuria piikkejä. Piikit voivat olla virhemittauksia. Ohjelmasta löytyy työkalu myös piikkien suodatukseen. Piikkien suodatusparametrit on koodattu ohjelmaan. Kun perättäisten pisteiden ero on erittäin suuri, suodatetaan alhainen piste pois. Piikkien suodatus poistaa ainoastaan alaspäin menevät piikit, ylöspäin oleviin piikkeihin se ei vaikuta. [13]

Ohjelmasta löytyy muitakin profiilien tutkimiseen tarvittavia työkaluja. Useampia mittauksia sisältävää mittausdataa voidaan käsitellä esimerkiksi profiili kerrallaan tai useampia yhdessä jolloin ohjelma laskee keskiarvon valituille mittauksille. Keskiarvon lisäksi voidaan profiilien hyvyttä arvioida raja-arvosäätimen avulla, jossa säätöalue on välillä $\pm 0-25\%$. Keltaisella katkoviivalla merkityt raja-arvot on laskettu suhteessa keskiarvoon.

Ohjelma tarjoaa kaksi esiasetettua skaalausmallia. Skaalaus on myös vapaasti asetettavissa. Valituilla asetuksilla ohjelma esittää numeerisena profiilin pisteiden ääriarvot sekä keskiarvon. Mittausyksikkönä käytetään tyyppillisesti hidastuvuus. Profiilin vaihtelu voidaan esittää myös suhteellisena prosenttiosuutena keskiarvoon nähden keskiarvon ollessa 0 % tai vaihteluna luvun yksi suhteen.

Tulokset voidaan viedä ohjelmasta xls- ja txt-formaattiin. Suodatustyökalujen käyttö vaikuttaa tällöin myös tulosten vientiin. Viety mittausdata on siis sama, joka näkyy ruudulla. [16] Ohjelma on rakennettu LabView-sovellusympäristöön, joten esimerkiksi kaaviolajin muuttaminen on lisäksi mahdollista.



Kuva 24 Tapio Roll Quality Profiler –sovellus [10]

4.2 Muita kovuuden mittaustapoja

Ensimmäinen ja yleisin kovuuden mittaukseen käytetty työkalu on Billy Club, tunnetummin "pulikka". Mittauspatukalla lyödään eri kohtiin rullan pintaan, ja syntyneiden äänien perusteella päätellään kovuuden vaihtelut. Mittauksesta ei saa lukuarvoja, vaan mittaus perustuu kokemusperäiseen äänen tulkintaan. [6, s. 20.]

Toinen tunnettu menetelmä on Schmidt Hammer, joka tunnetaan paremmin nimellä Schmidt vasara (kuva 25 vasemmalla). Mittauksessa iskuri painetaan rullan pintaa vasten. Tarpeeksi painettaessa jousi laukaisee pienen karan kohti iskuria, ja karan kimmotessa takaisin voidaan kimpoamismatka iskurista lukea asteikolta. [6, s. 22.]

Kovuutta mitataan yleisesti myös Parotesterin avulla. Laitteen toiminta perustuu iskurin liikenopeuden mittaamiseen. Jousivoimalla viritetty iskuri laukaistaan rullan pintaa vasten (kuva 25 oikealla). Iskurin kimmahdus- ja iskunopeudet mitataan. Kimmahdus- ja iskunopeuksien suhteesta (v_R , v_I) saadaan PAROtester -mittarin kovuusarvo L kaavasta 2.

$$L=1000*v_R/v_I$$

[2]

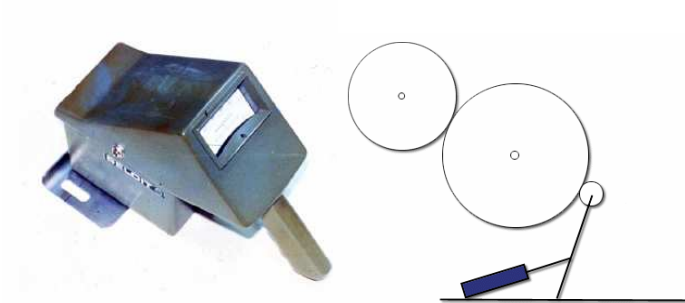


Kuva 25 Schmidt-vasara ja Parotester [1] [16]

Rhometer on esitelty vasemmalla kuvassa 26. Sen on sanottu olevan mittauspatukan sähköinen versio. Kiihtyvyyssanturiin kytketty iskuri laukaistaan ja rullan pintaan osuessa kimmokkeen suuruus mitataan. Mittausyksikkö on Rho ($1 \text{ Rho} = 3 \text{ G}$, $G =$ maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyyys). [6, s. 21.]

Usein käytetty laite kovuuden mittauksiin on myös Backtender's friend. Mittalaitteessa toiminta perustuu pintapaineen mittaamiseen pienellä pyörällä, joka näkyy oikealla kuvassa 26. Pyörän kehällä on pietsokideanturi, joka pyörii tampuurin mukana sen pintaa vasten painettuna ja tunnistaa pienellä kehän osalla vaikuttavan pintapaineen. Anturipyörä voi olla koko

konerullan valmistumisen ajan painettuna rullan pintaa vasten. Kovassa kohdassa anturin kosketuspinta tampuuriin on pieni, jolloin pietsokide toteaa korkean ja kapean pintapaine-
von. Pehmeässä rullassa piikki on sitä vastoin matala ja leveä. [1] [14, s. 201.]



Kuva 26 Rhometer ja Backtender's friend [1] [14]

Acoustic Time-of-Flight perustuu ääniaaltojen etenemiseen materiaalissa. Ääniaaltojen eteneminen riippuu materiaalin kimmokertoimesta ja jännityksistä. Menetelmän käyttö rullien mittaamisessa tuo haasteita mittauslaitteille, sillä ääniaaltojen hyväksikäyttö on mutkikasta paperin impedanssista ja aaltojen pituudesta johtuen. Ääniaaltojen tehokkaampi hyödyntäminen on kuitenkin mahdollista [6, s. 22.]. Ääniaaltoja hyödynnetään nykyisin esimerkiksi kireysmittauksissa. [1]

5 KOKEELLISEN OSAN JOHDANTO

Kokeellisen osan mittaukset suoritettiin vuoden 2007 aikana. Mittauksia tehtiin PK2:lla ja PK4:lla valmistuneista konerullista sekä pituusleikkurilta valmistuneista asiakasrullista. Työssä mitattiin sekä hyvälaatuisia että hylkyyn meneviä rullia. Mittauksissa tutkittiin laitteen ominaisuuksia ja kovuusprofiilien vaihteluja sekä laitteen herkkyyttä reagoida erilaisiin häiriöihin, vaihteluihin ja poikkeamiin profiileissa. Mittaukset pyrittiin tekemään erilaisista tilanteista jotta saataisiin selville laitteen kvykykyys mahdollisimman monipuolisesti. Mittauksissa tutkittiin aluksi mittausten tarkkuutta ja toistettavuutta. Tämän jälkeen siirryttiin varsinaisiin mittauksiin.

Haasteena rullan kovuuden mittauksessa on, että rullan pinnassa ei saa olla löysiä arkkeja, jotka voivat vääristää mittausta. Kovuuden mittausta on haastavaa, kun rullissa päällimmäiset arkit ovat lähes poikkeuksetta löysiä. Mittaus tuleekin suorittaa konerullasta siten, että rullasta lusataan useita kymmeniä arkkeja poikki ja leikattujen arkkien pino jätetään rullan päälle painoksi mittauksen ajaksi. Sekä konerullien että asiakasrullien mittausta onnistuu vaivattomimmin, kun se suoritetaan muuton välistä pituusleikkurilla. Mittaus suoritetaan rataa katkaisematta ennen asiakasrullien luovutusta. Kovuusmittaus ei muuten sellaisenaan vaadi erikoisjärjestelyjä, koska se ei vahingoita rullaa.

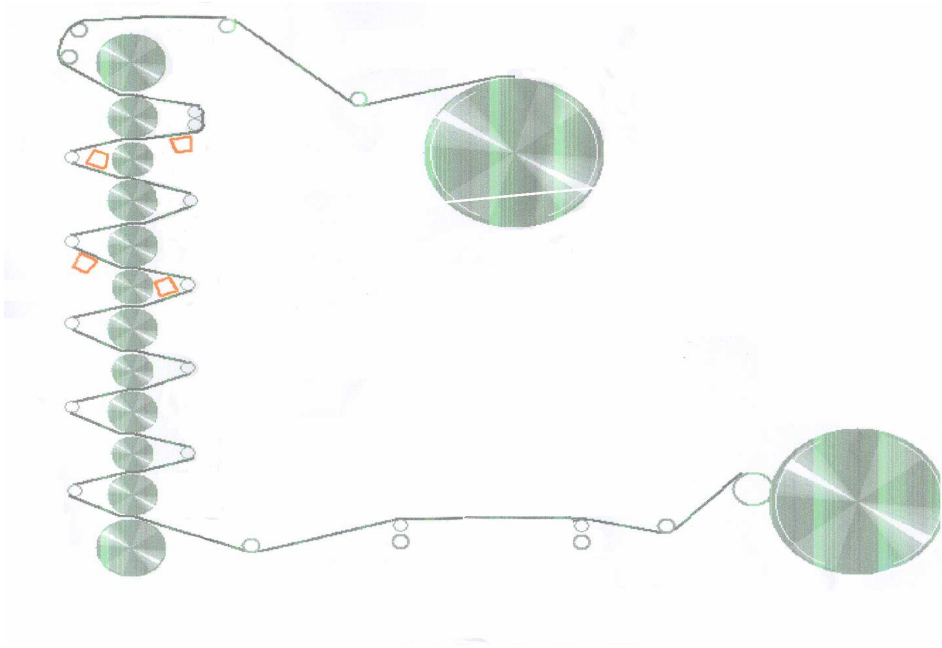
Rullan kireysmittaus sen sijaan vahingoittaa rullaa, ja kireysmittauksia tehtiin työssä huomattavasti vähemmän. Kovuusmittauksen hyödyntämistä tutkittiin aluksi PK4:n asiakasrullilla, joille rullankireysmittauksia tehdään säännöllisesti. Menetelmän soveltuvuutta tutkittiin sitten edelleen PK2:n asiakasrullilla, joille ei säännöllistä seuranta suoriteta. Työssä suunniteltiin lisäksi rullankireysmittauksia varten ns. rullankireyspukki, jotta mittaustulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Rullankireysmittausmenetelmät ovat useimmiten rullaa rikkovia ja rulla menee hylkyyn. Rullasta onkin järkevää ottaa mahdollisimman suuri hyöty irti monipuolisista mittauksista.

Tehtaalla ei ole käytössä Tapio-analysointiosasto, joten poikkiradat tuhkaa varten ajatettiin UPM Tutkimuskeskuksessa Lappeenrannassa. Kovuuden muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä tutkittiin mittaamalla kovuus konerullista hoitopäästä lähtien ja laskemalla mittauksista keskiarvo. Keskiarvoa verrattiin Tapio-analysointiosaston WinTapio-ohjelman korrelaatiolaskennan avulla. Korrelaatiota laskettaessa analysointialue ja käytetty suodatus vaikut-

tavat laskentaan. Isoilla otoksilla voidaan siten itseisarvoltaan pienemmätkin korrelaatiokerroimet tulkita merkitseviksi. Nyrkkisääntö on, että kun korrelaatiokerroin $>0,3$ tai $< 0,7$, muuttujien välillä on jonkin verran lineaarista yhteyttä. Jos taas korrelaatiokerroin $0,7$ tai suurempi, on muuttujien välillä selvä lineaarinen yhteys. Korrelaatioanalyysi antaa korrelaatiokerroimen lisäksi muuttujien välille selitysprosentin. Selitysprosentilla tarkoitetaan korrelaatiokerroimen neliötä.

Työssä on Tapio-mittauksissa käytetty korrelaatiolaskentaan kolmenkymmenen poikkiradan keskiarvoprofilia ja koko radan leveyttä. Poikkiradat mitattiin $0,4$ mm:n välein. Keskiarvoprofiilit voidaan yli- tai alipäästösuodattaa jolloin päästään tutkimaan korrelaatioita eri tarkoituksissa. Koko profiilin muotoa tutkittaessa käytetään tyypillisesti > 64 mm aallonpituutta jolloin profiilin perusmuoto tulee selvemmin esille. Työssä on keskiarvoprofiili suodatettu 100 mm:n alipäästösuodatuksella. Korrelaatiolaskennassa on lisäksi huomioitava, että kovuus mitataan aina rullasta kun vertailuaineisto koostuu mittauksista yksittäisistä nauhoista. Rullalla olevien kerrosten määrä vaihtelee lajista riippuen, jolloin etenkin ohuilla lajeilla profiilivirheet voivat korostua. Piikit eivät satu lisäksi välttämättä aina päällekkäin eikä korrelaatiota havaita, sillä poikkiprofilissa esiintyvät poikkeamat saattavat hävitä muiden suureiden vaikutuksesta.

PK2:n näytteiden korrelaatiolaskentaa varten suoritettiin kalanterilla ajotapamuutoksia. Kosteuden on todettu vaikuttavan lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin, joten kosteusvaihtelun vaikutus vaihteluiden aiheuttajana haluttiin minimoida. Muutoksia tehtiin mm. kalanterin höyrylaatikolla. Kuvassa 28 on punaisella merkittynä kiillon säätöön tarkoitettut höyrylaatikot. Ylimpänä merkityt laatikot ovat yläpuolen kiillon säätöön ja alhaalla alapuolen säätöön. Radan ulkopuolelle jäävät laatikot ovat ns. vyöhykesäädettäviä gloss profiler -höyrylaatikoita joita ohjataan kiiltotavoitteen saavuttamiseksi. Taskuun jäävät laatikot ovat ns. gloss pipe -tasolaatikoita, joiden höyryprofiili on poikkisuunnassa suora. Kosteuden vaihtelun vaikutus poikkisuunnassa muihin mitattaviin paperisuureisiin pyrittiin minimoimaan ajamalla vyöhykesäädettävän höyrylaatikon profiili tasolaatikon tapaan suoraksi. Lisäksi kiinnirullauksessa tyypillisesti käytettävä, profiilihäiriöitä minimoiva oskillointi poistettiin käytöstä.



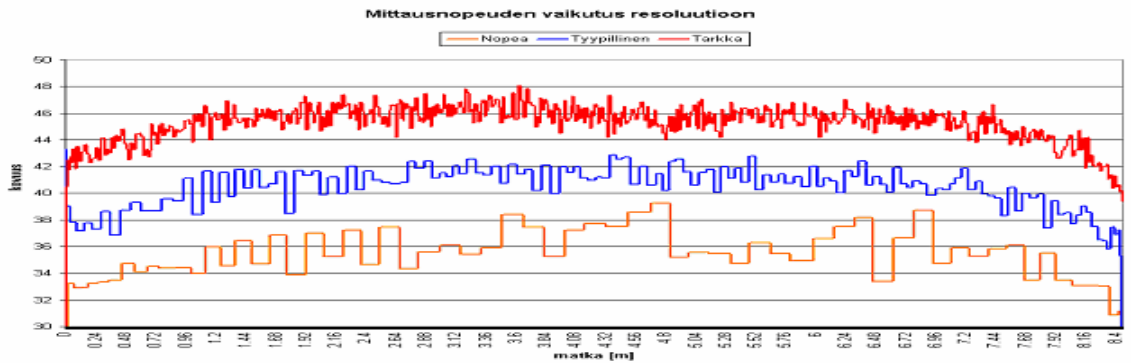
Kuva 28 Kalanterin rakenne [19]

6 KOVUUDEN MITTAUS JA KOVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kovuuden muodostumista eri paperityypeillä tutkittiin paperin runkorakennetta kuvaavien suureiden, kuten neliömassan ja tuhkan, sekä paperin pintaa kuvaavien suureiden kuten paksuuden ja kiillon avulla. Kovuuden mittaus on työn valmistumisen aikana ollut ajankohtainen etupäässä PK2:lla, joten työssä on keskitytty pääasiallisesti aikakauslehtipaperirullien kovuuden muodostumiseen. PK4:n sanomalehtipaperin kovuuden muodostumista ei jätetä kuitenkaan huomiotta. Kovuuden kehittymiseen rullalla vaikuttaa myös suuresti tekijöitä, joiden vaikutus ei ole suoraan mitattavissa. Kovuuden muodostumista käsitellään työssä mittausten ajoituksen kannalta huomioitavien asioiden ja rullien käsittelyn kannalta. Kovuuden mittauksista tarkastellaan lisäksi tarkkuuden ja toistettavuuden kannalta.

6.1 Tapio RQP -mittausten kyvykkyys

Mittausten tarkkuus määräytyy kovuusmittalaitteen mittapään työntönopeuden mukaan. Tarkkuutta tutkittiin mittaamalla samasta konerullasta kolme eri mittausta eri työntönopeuksilla. Mittausnopeuksiksi valittiin kirjallisuuden perusteella nopea (1 m/s), tyypillinen (0,5 m/s) ja tarkka (0,1 m/s). Mittausnopeutta seurattiin mittauksien aikana mittapään valorivis-tön avulla. Mittaukset piirrettiin samaan kuvaajaan, jolloin profiilit tulisi olla muotojen jyrkkyyttä lukuun ottamatta identtiset. Kuvasta 29 näkyy mittausnopeuden vaikutus resoluuti-oon. Tasoero johtuu piirrätyksestä, jolla profiilit saatiin erilleen toisistaan selvyiden vuoksi. Tyypillinen mittausnopeus on sopiva mitattaessa profiilin muotoa. Kuitenkaan tarkkuus ei siinä riitä etsittäessä esimerkiksi yksittäisiä kapeita vanoja, jolloin on syytä mitata tarkimmalla tavalla.

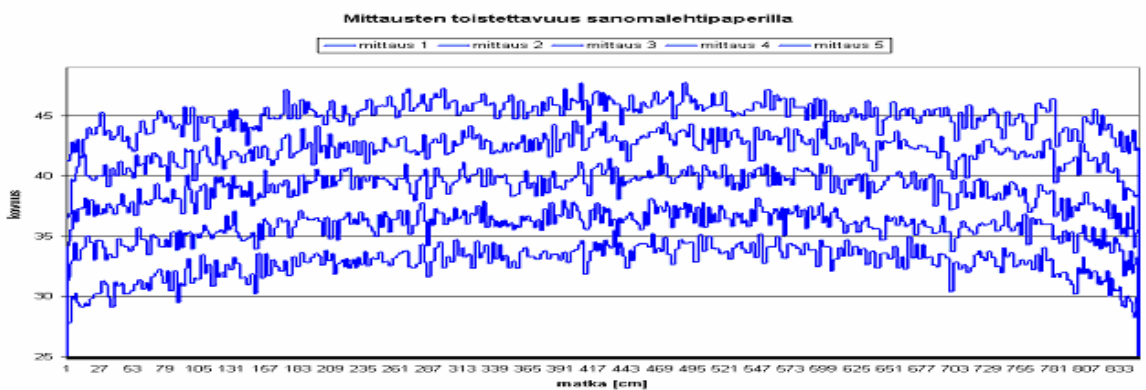


Kuva 29 Mittausnopeuden vaikutus mittaustarkkuuteen

Toistettavuutta tutkittiin mittaamalla kovuus samasta konerullasta useita kertoja peräkkäin. Menetelmässä käytettiin tarkkaa nopeutta. Mittaukset tehtiin sentin välein konesuunnassa, jotta iskuri ei samaan kohtaan iskiessään "tiivistä" rullan pintaa. Tiivistymisen takia ei siis mittausta voi suorittaa samasta pisteestä, joten toistettavuutta tarkastellaan vain visuaalisesti. Kovuutta mitattiin viisi kertaa, mikä on riittävä määrä kun on kyse samasta näytteestä.

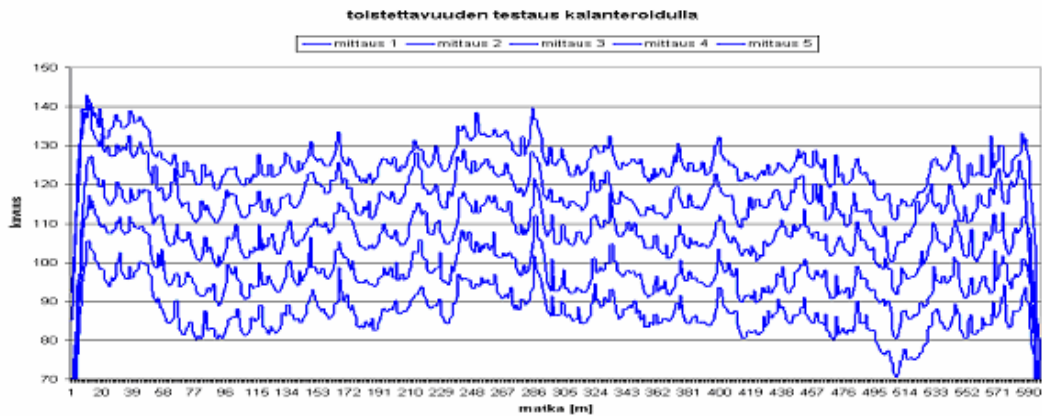
Menetelmällä on vaikeutena saada profiilit kohdakkain vertailua varten, jos otanta on suuri. Työntönopeudessa tulee käsimitauksessa aina eroa. Työntönopeuden muuttuessa alkaa vakiotaajuudella toimiva iskuri mitata eri kohdasta rataa konesuunnassa. Nopeutta osoittavan valon seurannasta huolimatta työntönopeudessa syntyy aina pieniä eroja etenkin mitatessa leveää rullaa. Mittauksen aloituspisteen paikan merkitys on suuri. Aloituspisteen paikka tulee merkitä rullan reunaan, jolloin lähtöpiste pysyy konesuunnassa vakiona.

Mittaus suoritettiin ensin sanomalehtipaperilla. Profileista saatiin lähes identtiset. Kuvasta 46 on nähtävissä profiilien muotojen samankaltaisuus. Visualisoinnin vuoksi profiilit on piirretty erilleen tasomuutoksin vaikka todellisuudessa profiilien taso on sama.

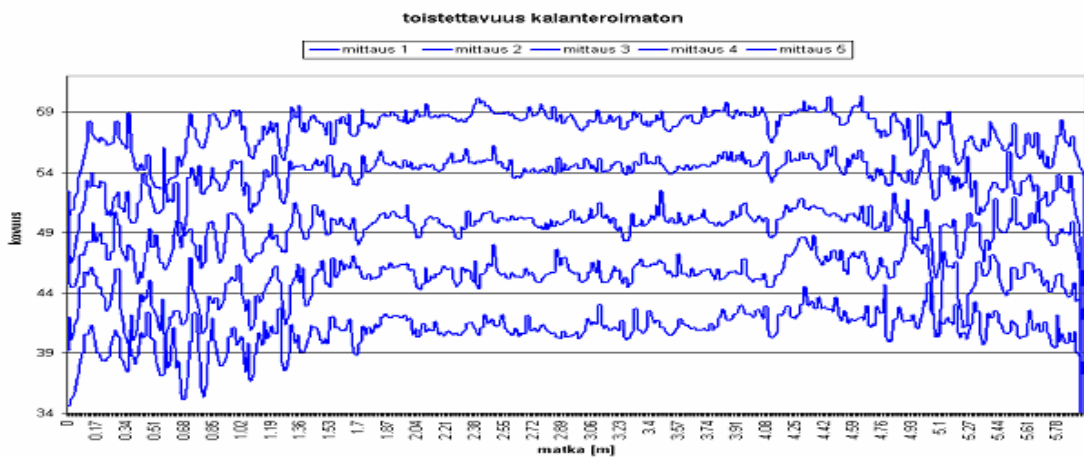


Kuva 30 Toistettavuus sanomalehtipaperilla

Mittaukset suoritettiin edelleen sekä karkealle että kalanteroidulle aikakauslehtipaperilla. Kuvissa 31-32 on nähtävissä mittalaitteen hyvä erottelukyky. Vaikka mittalaitteella pystyy mittaamaan myös kalanteroimatonta rullaa, jättää rullaussylinteri mittausta häiritsevän kuvion paperin pintaan rullan reunoilla.



Kuva 31 Toistettavuus kalanteroidulla aikakauslehtipaperilla



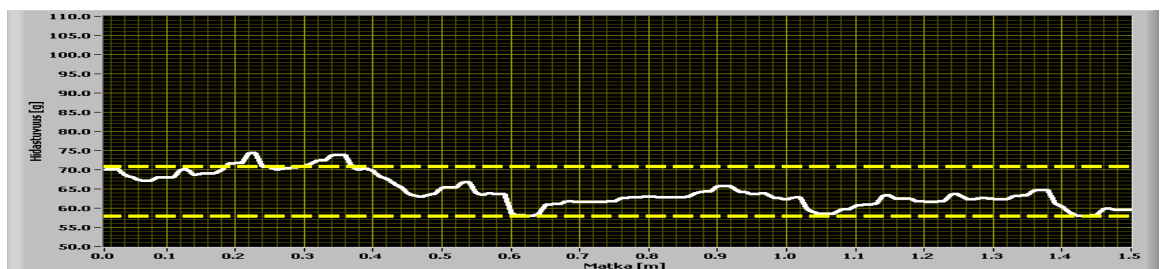
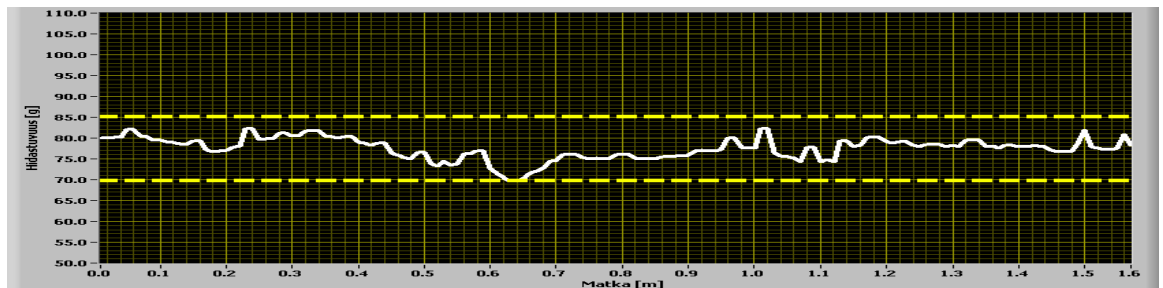
Kuva 32 Mittaustoistettavuus karkealla aikakauslehtipaperilla

6.2 Kuljetus ja käsittely

Kuljetuksen, erilaisten käsittelyjen ja varastoinnin vaikutuksesta rulla löystyy ajan mittaan ja kovuuden taso putoaa. Rullavarastoon kulkiessaan rullia siirretään pakkalinjalla useita kertoja

eri tavoin, jolloin rullan kerrokset pääsevät keskenään liukumaan ja rulla löystyy. Rullaan kohdistuu käsittelyssä voimakkaita pintaan kohdistuvia voimia, jolloin rulla löystyy voimakkaimmin juuri pinnasta. Pintakerrosten liikkeessa vapautuu tilaa myös rullan pohjalla tapahtuville kireysmuutoksille. Rullauksessa tuleekin suosia kireämpää pintaa, jotta rulla kestää kuljetuksesta ja varastoinnista johtuvat rasitukset.

Rullien muutoksia tutkittiin mittaamalla kahdenkymmenen PK2:n asiakasrullan kovuudet 16.11. leikkurilta valmistuessaan ja seuraavan kerran 21.11. painotalossa heti suojakääreen poiston yhteydessä ennen painokoneeseen laittoa. Kuvassa 33 näkyvä rulla on esimerkkinä muutoksesta. Profiilissa on huomioitava pieni ero rullan leveydessä. Painajan päässä rulla mitattiin seitsemän sentin päähän reunoista, kun tehtaalla rulla on mitattu kahden sentin tarkkuudella päistä. Painotalossa mitattu rulla on kuvattu alapuolella. Profiili on erosta huomimatta samankaltainen. Rullan kovuuden havaitaan pudonneen kuitenkin lähes 20 % viikon kuluessa. Osa terävimmistä huipuista perusmuodossa on tasoittunut. Tämä korostaa rullan mittaustarvetta jo tehtaalla, jolloin profiilin poikkeaviin muotoihin kytetään reagoimaan paremmin. Tällöinkin mittaus tulee suorittaa viipymättä heti leikkurin jälkeen, jotta kovuusmittausta voitaisiin käyttää profiilien arviointiin tehokkaasti.



Kuva 33 Rulla 2535871-1-01 ennen ja jälkeen kuljetuksen ja varastoinnin

6.3 Kitka

Kitkan merkitystä työssä käsitellään teoreettisella tasolla. Kitkan ei sellaisenaan voida todeta lisäävän tai vähentävän kovuutta rullalla. Kitkan lisääntyessä on paperikerrosten keskinäinen liikkuminen ja hioutuminen rullalla kuitenkin vähäisempää, joten rullan kireys säilyy paremmin suurikitkaisella lajilla vaikuttaen myös kovuuden kehittymiseen rullalla. Kitkan ei siis voida todeta vaikuttavan suoraan kovuuden muodostumiseen, vaan kitka toimii pikemminkin kovuuden säilymiseen myötävaikuttavana tekijänä rullalla.

6.4 Lujuudet

Lujuuksia käsitellään työssä lähinnä venymän kannalta. Venymällähän tarkoitetaan paperilla sen käyttäytymistä rasituksessa. Kuormitettaessa paperi venyy. Lopetettaessa kuormitus, riippuen venymän suuruudesta ja kestosta, osa palautuu heti, osa jonkin ajan kuluessa ja osa muodonmuutoksesta ei palaudu. Venymän merkitys on suuri, ajatellen ajettavuutta painossa. Profiilissa esiintyvä kova piikki edustaa kireää kohtaa rullalla. Kireä kohta rullalla aiheuttaa pikkuhiljaa virumista ja siten radan pituuden muuttumista kovan kohdan alueella. Tämä muutos näkyy sitten painajalla alhaisena ratakiireytenä. Löysän kohdan vaikutusta käsitellään työssä myöhemmin. Kovuuden kannalta paperin lujuuksillakin on siis suuri merkitys. Vetolujuus sekä poikki- että konesuuntaan sanelevat, millaisia rasituksia paperi kestää ilman pysyviä muodonmuutoksia.

6.5 Rypyt ja vekit

Rullan pinnan epätasaisuuksien vaikutusta tutkittiin muodostamalla aikakauslehtirullan pinta-arkkeihin vekkejä ja rypyjä. Rypyt eivät vaikuta varsinaisesti kovuuden muodostumiseen vaan mittaustulokseen. Mittalaite on erittäin herkkä pinnan epätasaisuuksille. Suodatuksella voidaan poistaa tulkintaa vaikeuttava, taitosten ja ryppyjen aiheuttama kohina pois profiilista. Jos kohinaa on paljon, tulee rullan pinnasta poistaa arkkeja reilusti, jotta rulla voidaan mitata luotettavasti. Yksittäinen löysä arkki ei muuta mittaustulosta, mutta jos arkkeja on useita, voi mittaustulos olla todellista arvoa pienempi. Suodatuksen käyttö onkin suositeltavaa.

Suodatustyökalulla ei kuitenkaan saada toivottua tulosta, jos arkin ja rullan väliin jää reilu ilmapatja. Tällöin rullan pinta-arkkien huono kunto on kuitenkin jo visuaalisesti havaittavissa ja mittausta paikasta ei suoriteta. Kuvassa 34 on esitetty suodatuksen merkitys. Alemmassa kuvassa datan suodatus on maksimiasetuksella, kun taas ylempi profiili on raakadataa. Maksimisuodatuksella datasta ei olennaista häviää mutta luettavuus paranee huomattavasti.



Kuva 34 Suodatuksella voidaan mittauksesta poistaa häiritsevä kohina

Yksi suurimmista ongelmista löysien piikkien aiheuttajana on ”piping”-ilmiö, joka tunnetaan kosteusmuutosten aiheuttamien pantojen synnystä rullan pintaan. Rullan pinnasta voidaan joutua poistamaan jopa viiden millimetrin kerros pois, eikä pintaa saada vieläköän kelvolliseksi luotettavaa mittausta varten. Mittausten suorittaminen tuleekin tehdä heti rullan valmistuksen jälkeen.

6.6 Paperin runko- ja pintarakennetta kuvaavat suuret

Luvussa käsitellään kovuuden kannalta tärkeitä, paperin runko- ja pintarakennetta kuvaavia suureita, kuten paksuutta ja neliöpainoa. Liitteissä 5-6 näkyvät Tapio-analysointorilla ajettuja korrelaatioanalyysit. Liitteessä 5 on verrattu korrelaatioanalyysillä PK2:n kiillotetusta kone- rullasta otettuja poikkirataprofiileja saman rullan pinnasta mitattuun kovuusprofiiliin. Suomen kielellä nimetyt kanavat kovuutta lukuun ottamatta edustavat raakaprofiilia. Poikkirata- näytteet korrelaatioanalyysia varten on kerätty ajankohtana, jolloin kovapaisuusongelma oli

pahimmillaan ja aiheutti valitustapauksia. Liitteessä 6 on korrelaatioita vastaavasti sanomalehtipaperilla. PK4:n korrelaatioanalyysin poikkiratanäytteet ovat tilanteesta, jolloin uuden IRoll - kireystelan käyttöönottoon liittyvissä tutkimuksissa ajettiin paksuusprofiili käsiajolla matalaksi. Näytteillä poikkeustilanteista haettiin profiileihin selkeitä muotoja ja siten selkeyttä analyysitulosten tulkintaan. Analyysituloksiin vaikuttavat näytteenottoajankohta, analysointialue, suodatuksessa käytetyt parametrit, suureiden keskinäinen riippuvuus ym. tekijät, joten tulokset ovat suuntaa antavia.

Kalanteroidun aikakauslehtipaperin paksuuden vaikutuksen voidaan sanoa olevan erittäin merkittävä vaihtelun aiheuttaja kovuusprofiilissa. Paksuus selittää yli 40 % kovuusvaihtelusta (liite 5/1). Neliömassa sen sijaan selittää profiilivaihteluista huomattavan vähän (liite 5/1). Poikkiratanäytteiden käsittelyn aikana voivat kosteuspiikit kuitenkin tasoittua ja todellista neliöpainoprofiilia ei tunneta. Neliöpainoon vaikuttavat kosteuden lisäksi kuivapainoprofiili sekä tuhkan osuus. Paperikoneella neliöpainoprofiili on yleensä säädön perässä ja pysyy vakaana. Eturunaan lukuun ottamatta profiili on kohtalaisen suora. Neliömassan korrelaatio kovuuden suhteen riippuu paljon siitä, muuttuuko paksuus neliöpainon suhteen. Kun neliöpaino on suora, paksuuden kasvaessa tiheys putoaa ja pienentyessä taas kasvaa. Paksuuden vaihtelu näkyykin voimakkaimmin juuri tiheysprofiilissa. Paksuuden ja tiheyden korrelaatio on hyvin voimakas, noin 54 % (liite 5/1). Neliöpainon todetaan kirjallisuudessa vaikuttavan kovuuden muodostumiseen. Lisäksi reunojen kevennyksellä perälaatikolla todettiin olevan vaikutusta paksuusprofiilin oikenemiseen ja siten kovapäisyyden rauhoittumiseen. Neliöpainolla on merkitystä lopputulokseen mutta korrelaatiolla ei voimakkuutta kuitenkaan voitu osoittaa.

Eturuneassa neliöpaino pienenee ja paksuus kasvaa samanaikaisesti. Tällöin tiheyden muutos on jo erittäin merkittävä ja reuna-alue on hyvin bulkkinen. Bulkki kasvattaa kokoonpuristuvuutta, jolloin paksun kohdan tulisi rullautua tiiviimmin vähentäen paksujen kohtien aiheuttamia profiilivirheitä rullassa. Etenkin keveillä lajeilla kantavia kerroksia on valmiilla rullalla paljon. Rullassa vallitsevien jännitysten vuoksi kerrokset kykenevät kantamaan toisiaan, joten korkeasta bulkista huolimatta päästä pystyy muodostumaan kova. Paksuuden kasvu reunoilla nousseekin kokoonpuristuvuutta suuremmaksi tekijäksi kovuuden mittauksen kannalta.

Tiheyteen voivat vaikuttaa myös täyteaineen osuuden muutokset kuivapainossa. Etenkin aikakauslehtipaperi voi sisältää yli 30 % täyteainetta. Paksuusprofiilin ollessa suora täyteaineen määrän kasvaminen vaikuttaa kiiltotavoitteen saavuttamiseen paremmin ja voi siten vaikuttaa

todennäköisesti ajan funktiona myös kovuuden kasvuun kalanterin kuormien mahdollisen kevennyksen kautta (liite 5/1). Täyteaine on lisäksi tyypillisesti kuitua tiheämpi ja kovempi materiaali, joten täyteaineen osuuden kasvun voi olettaa nostavan myös kovuustasoa. Täyteaineen määrällä ei rullien kovuusmittauksissa työn aikana kuitenkaan havaittu aiheuttavan eroa kovuuden tasoon eri lajien välillä. Täyteaine antaakin analysointialueesta ja suodatuksesta riippumatta aina negatiivisen korrelaation kovuuden kanssa (liite 5/2). Teoriassa ajettaessa neliöpaino suoraksi täytyy paikallisesti olla kuitua paperissa enemmän pisteissä, joissa täyteaineen määrä on pieni. Kuitu on lisäksi tyypillisesti mineraalia hydrofiilisempi. Kosteusvaihtelun ja kuivatus kutistumanvaikutuksesta voi kuituvoittoisilla alueilla paksuus siten kasvaa aiheuttaen kovuuden kasvun. Täyteaineen vaikutuksen selvittäminen vaatii kuitenkin jatkossa säännöllisiä poikkiratavertailuja täyteaineen ja kovuusprofiilin kesken.

Tiheyden todetaan olevan siis merkittävä rullan kovuutta selittävä tekijä. Raakapaperin tiheydellä sanotaan olevan myös merkitystä kovuuden kannalta. Tiheyden kasvun vaikutuksesta pehmeiden telojen odotetaan kuluvan nopeammin tiheämmältä kohden ja kuluneella kohdalla rata ei kalanteroidu kunnolla. Tämä tarkoittaa kuitenkin paksuuden kasvua ajan funktiona, jolloin tiheys alkaa taas pikkuhiljaa pienentyä. Tiheyden ja kovuuden välillä onkin negatiivinen korrelaatio ja selitysprosentti 42 % (liite 5/2). Kiillolla ja kovuudella on myös hyvin vahva negatiivinen korrelaatio (liite 5/2). Kiilto kasvaa kun nippikuormaa kalanterissa lisätään. Samalla pienenevät paksuus, kovuus sekä bulkki paperin tiivistyessä. Kiillon korrelaatio on suuri, yläkiillolla yli 68 % (liite 5/2). Profiilin perusmuodot ovat hyvin yhtenevät. Kiillolla reunat roikkuvat, etenkin etureuna. Telat ovat näytteenottohetkellä olleet jo erittäin kuluneet, jolloin kiiltoa ei saavuteta ja päistä muodostuu kovat.

Sanomalehdellä paksuusvaihtelu selittää kovuudesta jopa yli 60 % (liite 6/1). Aikakauslehden lailla paksuuden vaihtelut näkyvät tiheyden muutoksena. Neliöpainolle ei saatu lainkaan korrelaatiota suodatuksesta ja analysointialueesta riippumatta. Tiheyden selityskerroin oli 33 % (liite 6/1). Paksuuden voidaan tulosten valossa sanoa olevan dominoiva ja selkeästi havaittava ominaisuus kovuusprofiilin muodostumisessa sekä sanomalehdellä että SC:llä. Kovuuden mittausta voidaankin käyttää jatkossa paksuusmittauksen tukena molemmilla lajeilla. Tasaisen paksuusprofiilin voidaan olettaa takaavan tasaisen kovuuden rulliin eikä rullissa tällöin esiinny paksujen kohtien aiheuttamia kovan patteja ja siten haitallisia kireysheittoja.

Kalanterille tulevassa karkeassa paperissa on paksuus koholla. Paksuuden kasvu karkeassa johtuu kuivatuskutistumasta ja on tyypillistä SC-koneille. Paksuusvaihtelu voi osaltaan vai-

kuttaa telojen kulumiseen. Jatkossa tuleekin selvittää kuivatuskutistuman merkitys paksuuden kasvun voimakkaaseen kasvuun reunoilla.

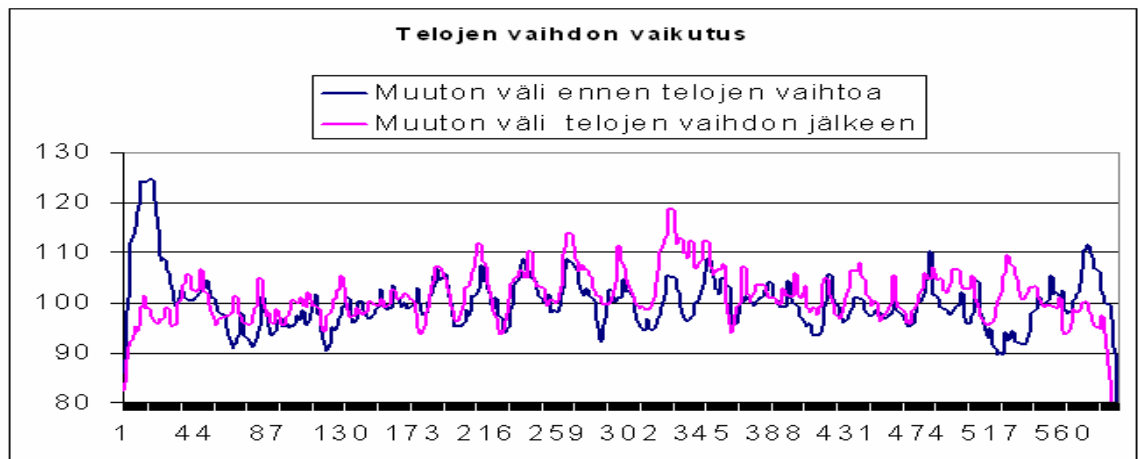
Tarkkaa kosteusprofiilia ei vertailussa ollut käytettävissä. Kalanterin ajotapamuutoksista huolimatta kosteuden käyttäytymistä ja kosteusmuutosten vaikutusta lopputulokseen ei tunneta. Kosteus vaikuttaa lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin, joten kosteusvaihtelut voivat muuttaa korrelaatioanalyysin tuloksia merkittävästi. Liiallisen kosteuden uskotaan toimivan lisäksi teloja kuluttavana tekijänä. Jatkossa tuleekin selvittää myös kosteusprofiilin vaikutus kovuuden muodostumisessa, etenkin jos rata on yleensä reunoilta kosteampi ennen kalanteria.

6.7 Kalanteroinnin ja telojen kunnan merkitys

Kalanteroinnilla on merkittävä vaikutus rullan kovuuden vaihteluun. Paksuus ja rullan kovuus korreloivat voimakkaasti. Kalanterilla kuormaa lisättäessä pienenee paksuus ja samalla rullan kovuus pienenee. Nippikuormaa lisättäessä pienenee samalla bulkki paperin tiivistyessä. Kalanterointiin vaikuttavat osaltaan myös kosteus ja kokoonpuristuvuus. Kalanteroinnin pitkä kesto ja voimakkuus voivat heikentää paperin kokoonpuristuvuutta, jolloin paperi menettää kykynsä kompensoida profiiliheittoja rullauksessa. Kalanteroinnin onnistuminen riippuu useimmiten raakapaperin profiilien tasaisuudesta. Raakapaperin profiiliheitot kopioituvat kuituteloihin ja siirtyvät edelleen virheettömiin rulliin telojen muodonmuutosten vuoksi. Tällöin telat on vaihdettava ja hiottava uudelleen käyttöä varten. Kuitutelat kuluvat nopeasti ja merkkeantuvat helposti etenkin ratakatkossa, jolloin telahalkaisijan muutokset voivat näkyä paperirullalla pieninä kovina pahkoina.

Profiilivaihteluiden aiheuttamaa kovapäisyyttä pyritään korjaamaan bombeeruksella. Voimakas nippikuorma kuitenkin aiheuttaa nopeamman telojen kulumisen. Tällöin ei bombeerus riitä eikä kovapäisyyttä välttämättä saada korjattua, vaan telojen käyttöikä saa nopeasti päätöksen. Paksuusprofiiliviati siten edesauttavat telojen nopeampaa kulumista, jolloin jäädyään yleensä kiiltotavoitteesta. Toisaalta kalanteroitessa kevyemmin on paperilla paremmat mahdollisuudet kompensoida profiiliheittoja suuremmasta kokoonpuristuvuudesta johtuen mutta paperi jää paksuksi ja kiiltoa ei saavuteta. Oikean nippikuorman säätäminen onkin kompromissi haettaessa mahdollisimman tasaista profiilia.

Jo yksittäisen telan vaihdon vaikutus vaikuttaa profiilien paranemiseen superkalanteroinnissa. Työssä telojen vaihdon vaikutusta tutkittiin SC22:lla, jossa vaihdettiin kerralla kaikkiaan viisi kuitutelaa positioihin 4, 6, 8, 9 ja 11. Kovuusprofiilit mitattiin kalanterilta valmistuvista rullista ennen ja jälkeen telan vaihdon. Kuormat säilytettiin telojen vaihdon jälkeen samana ja päiden painatusta kevennettiin -18:sta -5:een. Höyryn paineissa ja lämpötiloissa ei tehty merkittäviä muutoksia. Kuvassa 35 näkyy, kuinka kovapäisyys etureunasta saatiin reunojen kevennyksestä huolimatta pois. Telojen vaihdon vaikutuksella on erittäin suuri merkitys rullan kuvuuden kehittymisen kannalta.



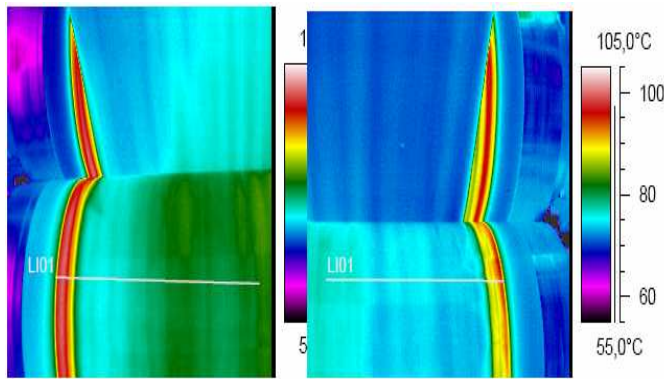
Kuva 35 Telojen vaihdon vaikutus rullan kuvuusprofiiliin

6.8 Kosteuden ja telojen lämpötilojen vaihtelut

Yksi profiileihin ja kalanterointiin vaikuttava tekijä on kosteuden vaihtelu. Kosteusvaihtelu voi toimia teloja jäähdyttävänä tekijänä etenkin kokilliteloilla ja vaikuttaa telahalkaisijan muutoksiin. Epätasainen lämpötilaprofiili voi aiheuttaa telahalkaisijan vaihtelua ja siten epätasaisen viivakuorman nipissä. Tämä voi puolestaan aiheuttaa epätasainen paksuusprofiilin papeeriin. Profiilin kannalta suurin merkitys on telojen päillä, joissa esiintyy suurimmat, jopa yli 20 °C:n erot radan ja sen ulkopuolisen alueen välillä.

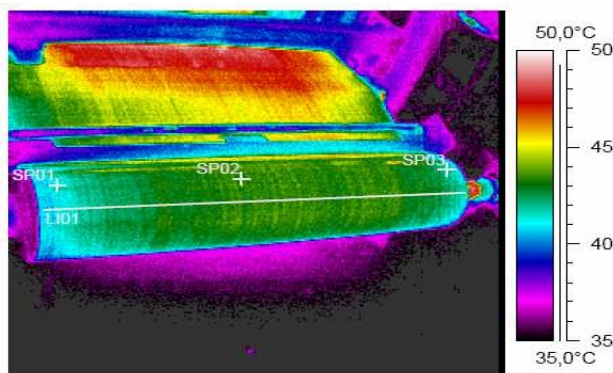
Rata vie lämpöä mennessään mutta päät jäävät kuumiksi. Nippi voi alkaa kantaa radan ulkopuolella, jolloin radan reuna-alueelle tulee lyhyelle matkalle alhaisempi paine, joka puolestaan edesauttaa kovien päiden syntymistä. Kovia päitä voidaan kuitenkin ehkäistä kuitutelojen päiden viisteillä, jotka on optimoitava ratalevyden mukaan tarkasti. [18]

Käytettäessä kalanteroinnissa vyöhykesäädettäviä ja tasolaatikoita kiiltotavoitteen saavuttamiseksi voivat paikalliset kosteuserot olla voimakkaat ja siten niiden vaikutus telojen käyttäytymiseen suuri. Halkaisijamuutoksiin telalla vaikuttavat telamateriaali, sen lämpölaajenemiskerroin sekä paperin lämpötila. Lämpötilamuutosten tarkkaa vaikutusta telahalkaisijan muutokseen on vaikea arvioida, mutta erojen voidaan sanoa olevan merkittävä tekijä kovapäisten rullien syntyä ajatellen. Metson suorittamien lämpökameramittausten mukaan (kuva 36), radan ulkopuoliset kohdat kuumenevat selkeästi enemmän kuin radan alue molemmilla reunoilla. Muutos havaittiin positioilla 6, 8, 9 ja 11. Positioilla 2 ja 4 ei eroja polymeeritelolla ilmennyt.



Kuva 36 Radan ulkopuoliset kohdat kuumenevat enemmän kuin radan alue [17]

Kuvassa 37 on kiinnirullaimella nähtävissä paperiradan alle jäävät reuna-alueet, jotka ovat selkeästi viileämmät kuin keskialue. Lämpötilaero voi johtua toisaalta päiden kantamisesta radan ulkopuolisilla alueilla tai telojen kulumisesta radan reuna-alueella. Tällöin nippipaine jää alhaiseksi ja rata viileämmäksi. Lämpötilaero voi selittyä myös höyryjen lisäyksestä reuna-alueilla, jossa jäädään kiiltotavoitteesta.

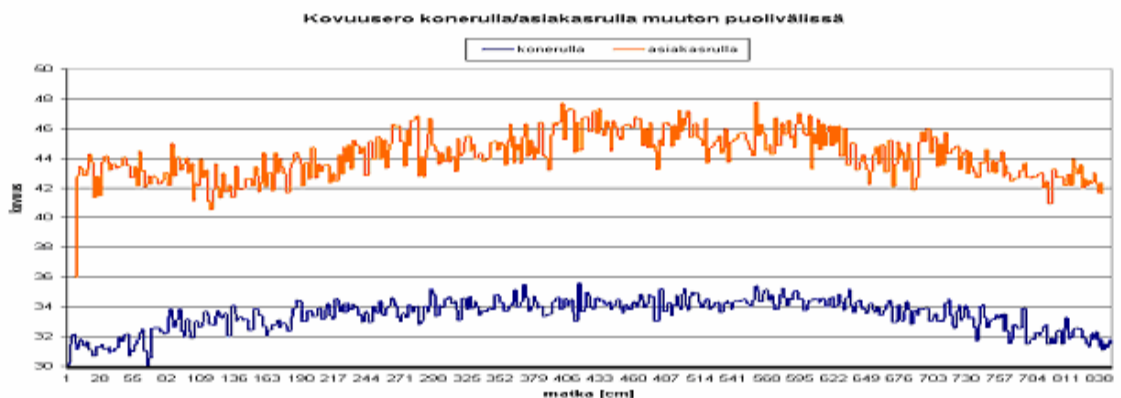


Kuva 37 Radan alle jäävät reuna-alueet ovat selkeästi viileämmät kuin keskialue. [17]

6.9 Rullaus

Radan kireys ja muut rullausparametrit vaikuttavat voimakkaasti rullan muodostuviin jännityksiin määräten samalla rullan kovuustason. Työssä ei tutkittu yksittäisten rullausparametrien vaikutusta, vaan tutkittiin yleisesti kovuuden muodostumista lähinnä erilaisten rullausten ja pituusleikkurirakenteiden vaikutuksen kannalta rullan kireyteen. Rullan kireydellä ja kovuudella tarkoitetaan usein arkikielessä samaa asiaa, kun puhutaan kiinnirullauksen jälkeisestä rullan kireydestä. Radan kireys vaikeuttaa sitä vastoin tulkintaa kovuuden ja kireyden välillä. Pehmeä kohta on useimmiten löysä, puhutaan sitten rullan tai radan kireydestä. Kova kohta ei kuitenkaan ole välttämättä vastaavasti kireä. Virumisen vaikutuksesta voi kovakin kohta paikallisesti venyä ja aiheuttaa alhaisen ratakiireyden.

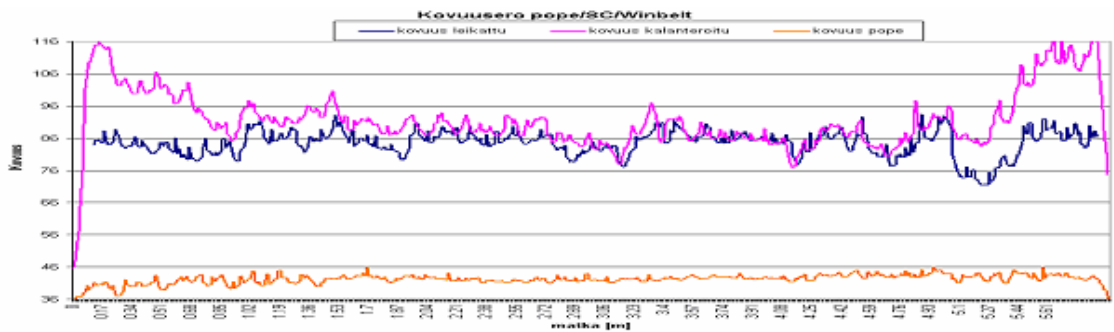
Kovuuden käyttäytymistä tarkasteltiin poperullaimen ja pituusleikkurirullauksen välillä sanomalehtipaperikoneen WinAir-tyyppisellä kantotaleleikkurilla. Mittaukset suoritettiin muuton välistä konerullan pinnasta ja asiakasrullien pinnasta nauhana rullien levätessä tiiviisti kantotelojen päällä. Asiakasrullaprofiilit on yhdistetty kuvassa 38. Kuvassa näkyy noin 25 % kovuuden tason nousu. Profilin muodot kopioituvat konerullasta asiakasrulliin. Kireämmässä rullassa mittalaite reagoi paksuusvaihteluun herkemmin ja piikkien voimakkuus on suurempi asiakasrullassa.



Kuva 38 Kovuuden tasoero konerullan ja asiakasrullan välillä sanomalehtipaperilla

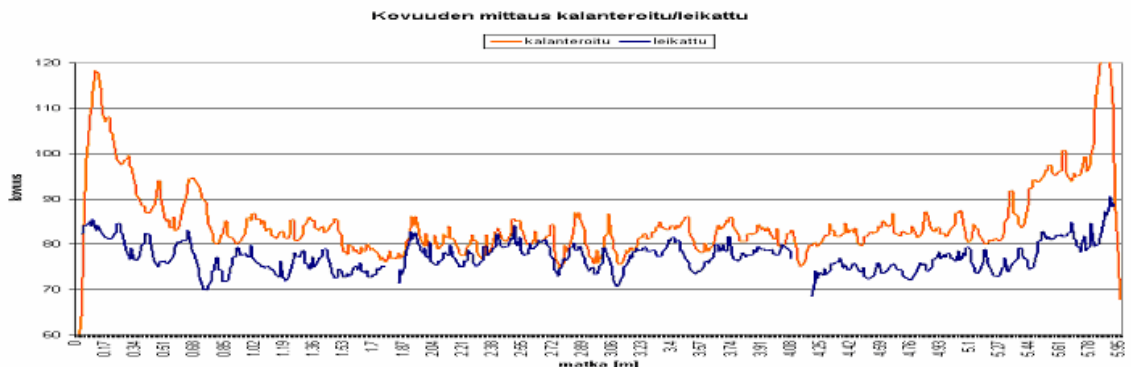
Rullauksen merkitystä kovuustasoon tutkittiin myös Winbelt-tyyppisellä kantohihnaleikkurilla aikakauslehtipaperilla. Rullan kovuus mitattiin kiillotetusta konerullasta sekä asiakasrullista. Leikatuista rullista mittaus suoritettiin yhtenä nauhana rullien levätessä tiiviisti kantohihnan päällä. Leikkurilla kireysasetus oli 460 N/m eli 160 N/m korkeampi kuin kalanterilla. Radan kireyshän ei kuitenkaan yksin selitä kovuuden syntyä, vaan rullan kovuus muodostuu rullaus-

parametrien yhteisvaikutuksesta. Kuvasta 39 nähdään, että reunoilla esiintyy voimakasta kovapäisyyttä ja ero keskelle rataa on jopa 30 %. Muuton reunarullissa havaittiin voimakasta halkaisijan kasvua, kovuuserojen samalla tasoittuessa. Reunarullien halkaisijaan tulee kymmenen millimetrin ero keskimmäisiin rulliin verrattuna, mikä tarkoittaa jo 1 %:n kasvua 1000 mm:n rullalla. Halkaisijan vaihteluita työssä ei tutkittu säännöllisesti. Paksuusprofiilivaihteluiden voidaan kuitenkin todeta aiheuttavan kovuuden lisäksi rullaan halkaisijavaihteluita jotka venyttävät rataa ja aiheuttavat pussitusta aukirullauksessa. Popella, jossa kireyden säätö tapahtuu kireyseroja sekä moottorivirtaa säätämällä, poikkeaa kovuuden taso huomattavasti kalanteroiduista rullista.



Kuva 39 Kovuuden tasoero rullausten välillä

Rullauksen vaikutusta kovuuteen tutkittiin edelleen myös keskiörollain-tyyppisellä leikkurilla. Kalanterin jälkeen rullassa näkyy kuvassa 40 erittäin suurta kovapäisyyttä. Suuri rullankireys lisäksi edesauttaa profiilivikojen näkymistä rullalla, kuvan tapauksessa reunoilla. Kovuuserot tasoittuvat leikkauksen aikana. Kovapäisyys on yleinen ongelma, joka vaatii tutkintaa jatkossakin. Profiiliin on yhdistetty kolme leikkurin positiota.



Kuva 40 Kovuuden ero keskiörollain leikkurilla

7 KOVUUKSIEN VAIKUTUS AJETTAVUUTEEN PAINOKONEELLA

Insinööriyön aikana toimitetun syväpainopaperin ajoa seurattiin kolmessa eri painotalossa. Ajojen aikana seurattiin rullien käyttäytymistä painossa ajettavuuden ja painettavuuden kannalta. Asiakasrullista mitattiin kovuusprofiili satunnaisesti ennen painokoneeseen menoa. Lisäksi rullista otettiin satunnaisesti kovuusprofiilien hyvyyden perusteella poikkiratanäytteet Tapio-analyysiä varten. Kaikkien rullien ajettavuutta ei luonnollisesti ollut mahdollista seurata; liitteessä 10 on esitetty profiilit mitatuista rullista. Liitteen kuvissa merkityt keltaiset rajat arvot on asetettu ± 10 %:iin. Kuvaotsikoihin on lisäksi merkitty havaintoja ajettavuudesta painokoneessa. Kovuusprofiilit pysyivät rullissa suurimmaksi osaksi putkessa. Ajojen aikana tapahtui vain yksi selvä paperista johtuva katko.

Kovuusprofiileja tutkimalla on vaikea ennustaa rullan käyttäytymistä painossa. Mitatuissa rullissa on havaittavissa profiilivikoja, joiden todennäköisyys toimia katkon aiheuttajana on suuri, mutta jotka kuitenkin menivät painosta ongelmitta läpi. Toisaalta taas pienet mitättömän tuntuisen profiiliheiton omaavat rullat aiheuttivat katkon. Poikkiprofiilin vaihteluiden yhteisvaikutus onkin merkitsevä. Jonkin poikkiprofiilin huonous voi kumoutua jonkin toisen suureen vaikutuksesta.

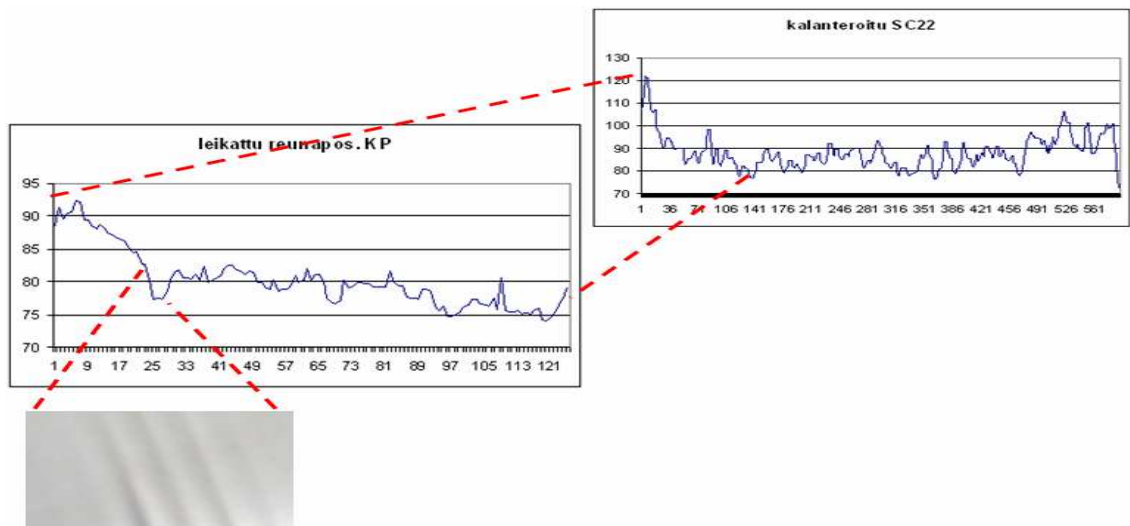
Katkon aiheuttajia on kuitenkin paljon. Lisäksi rullan kovuushan ei sellaisenaan toimi katkon aiheuttajana vaan on seurausta jonkin toisen suureen vaihtelusta. Ajettavuudesta havaitaan, että kovuuden vaihteluvälin ollessa yli 20 % voidaan rullan odottaa aiheuttavan ongelmia painajalle. Lisäksi kuvista on havaittavissa, että kovuuden keskitason kasvaessa rullalla, nousee rullan kovuusvaihtelun merkitys kriittisemmäksi. Kovassa rullassa pienikin vaihtelu voi toimia katkolähteenä, mutta vastaava vaihtelu löysällä rullalla ei aiheuta ongelmia painossa.

Kovuusmuutosten voimakkuuden lisäksi muutoksen jyrkkyydellä on merkitystä. Pelkkä vaihteluväli kovuusprofiilissa ei siten sellaisenaan ennusta ajettavuutta. Jos kyseessä on esimerkiksi porkkanarulla, jossa vaihtelu on tasaisesti päiden välillä, ei ongelmia välttämättä esiinny. Jos vaihtelu kasvaa suureksi lyhyellä välillä, ongelmia todennäköisesti aiheutuu. Jyrkkä piikki aiheuttaa paikallista löystymistä ja siten alhaisen ratakiireyden aukirullauksessa. Jyrkkä piikki profiilissa voi edesauttaa myös vieressä olevan löysän kohdan näkymistä vanana. Kova kohta

rullalla on usein paksuusvirheen aiheuttama. Rullan halkaisija on tällöin hieman suurempi kuin pehmeässä kohdassa.

Sylinteriä rullatessa radassa tapahtuu halkaisijaerosta johtuva pieni kiertymä siten, että pehmeässä kohdassa rata jää hieman jälkeen. Muutoskohtaan syntyy tällöin jonkinlainen harjanne. Köysikuvion suuntautuneisuudesta pystyy päättelemään, kummalla puolella vanaa kova kohta on. [18]

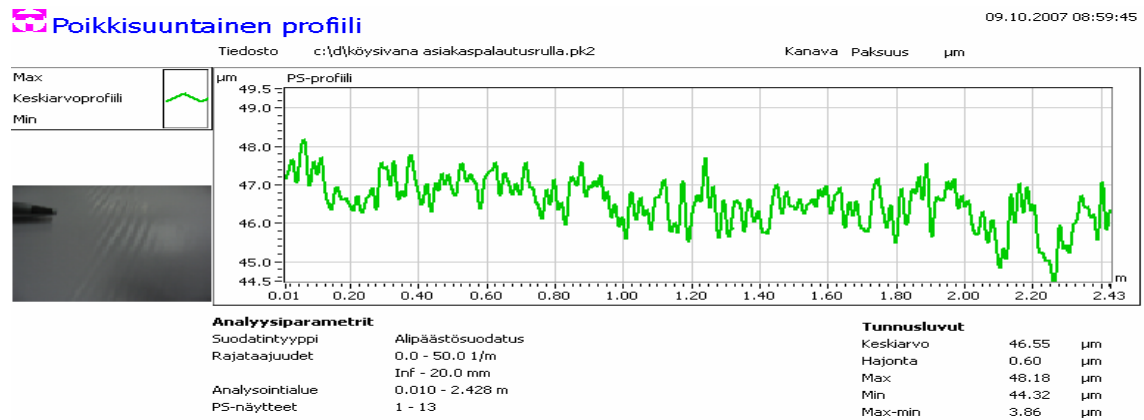
Vana näkyy köysimäisenä muutaman sentin levyisenä muodostelmana, joka vaikeuttaa ajettavuutta mm. laskosten ja siten katkojen muodossa. Vanan muodostumista on kuvattu kuvassa 41, jossa vanan sijainti määritettiin mitatun kovuusprofiilin ja mittanauhan avulla. Profiilissa on nähtävissä selvä löysä kohta, jonka vierestä perusmuoto profiilissa nousee jyrkästi aiheuttaen selvästi havaittavan kuvion.



Kuva 41 Jyrkät kovuusmuutokset indikoivat vanojen syntyä

Vanan muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä selvitettiin edelleen toisesta rullasta, joka katkesi painajalla. Katko tapahtui rullan pohjassa 200 millimetrin halkaisijassa vanojen seurauksena. Vanoja oli kaksi rinnakkain, ja ne sijaitsivat 100 mm:n välein noin puoli metriä rullan reunasta. Noin 80 senttimetrin päässä etureunasta havaittiin myös orastava vana, jota ei kuitenkaan painaja katkon aikana kommentoinut. Kuvassa 42 näkyy, kuinka vanat ovat aiheutuneet paksuusprofiilivirheen seurauksena. Suuri kontrasti löysän ja kireän välillä aiheuttaa selvästi havaittavat vanat. Kuvassa 43 nähdään vanarullasta mitattu kovuusprofiili. Vaihtelu rullalla on voimakasta ja vanat selvästi näkyvät. Kovuusprofiilin perusteella voi vanan syntypaikan

löytäminen aiheuttaa kuitenkin tulkintavaikeuksia. Kovuusprofiilista löytyy muotoja, joiden voidaan odottaa muodostavan vanan mutta vanaa ei synny.



Kuva 42 Paksuusprofiilivaihtelusta johtuvat 40 mm leveät vanat



Kuva 43 Vanarullan kovuusprofiili

Voimakkuuden ja kovuusmuutosten jyrkkyyden lisäksi profiiliheiton sijainnilla rullassa, on merkitystä ajettavuuteen painokoneella. Kireysvaihtelut voivat aiheuttaa radan levottoman liikehdinnän ja vaeltamisen. Ongelmia voi syväpainossa syntyä silloin kun rata leikataan kapeiksi liuskoiksi, jotka sitten ajetaan taittolaitteella päällekkäin nippuun. Ajettavuuden kannalta on painajan kannalta olennaista, missä kohti nippua löysä rata sijaitsee.

Kovuusmittausten hyödyntäminen kireysmittausten tukena painokoneella

Paperiradan kireys kuvaa, kuinka radan konesuuntainen jännitys jakautuu poikkisuunnassa. Kireys vaikuttaa kovuuden syntymiseen, ja paikalliset kireyserot voivat näkyä kovuusprofiilissa hyvin eri tavoin. Yhtenä painotalovierailujen tavoitteena oli löytää yhteys asiakasrullista

mitattujen kovuusprofiilien ja asiakkaan Metson IQ – Tension -kireyspalkin mittaamien kireysprofiilien välille.

Mittalaitteessa on koko palkin leveydeltä reikiä ja niihin liitettyjä paineantureita, jotka mittaavat paineen paperin ja palkin väliin muodostuneesta ilmapatjasta. Reiällä oleva paine riippuu vain ratakireydestä ja palkin pinnan kaarevuussäteestä. Palkin antamaan tulokseen voivat vaikuttaa mm. paperin huokoisuus ja alhainen nopeus, jolloin ilmapatja voi romahtaa ja paine pudota nolnaan. Kireystulokseen voi vaikuttaa myös reiän tukkeutuminen ja palkin pinnan kuluminen, etenkin jos kuluminen tapahtuu epätasaisesti. Lisäksi voi tuloksissa näkyä radan reunan mahdollinen sivuttaissiirtyily mittauspisteiden suhteen esimerkiksi rullan vaihdon aikana sekä telojen linjavirheet. Telan vinous voi näkyä kireydessä paikallisesti ja tasoittuu myötävirtaan, mitä enemmän teloja rata kiertää. [18]

Vertailujen kannalta tärkeä on, että kireysmittaus sijaitsee fyysisesti lähellä aukirullausasemaa ja kireysmittauspalkin kunnossapito on ajan tasalla. Rullien ajettavuuden ja vaihdon kannalta on olennaista että rullat ajettaisiin painossa positioittain jotta kireyserot kyettäisiin hallitsemaan tehokkaasti etenkin rullan vaihdoissa.

Kovuuksia mitattiin pistokokeina muutamasta rullasta, joiden keskiarvoprofiilit on esitetty liitteissä 7/1 - 7/6. Liitteissä näkyvät myös mitattujen rullien kireysmittaustulokset keskiarvopylväskuvaajana ja topografikuvana sekä 3D-kuvaajana että vaakaan levitettynä. Kireyden vaihtelua seurattiin normaalissa ajossa sekä reunojen käyttäytymistä erityisesti rullan vaihtojen aikana. Ajon aikana kiinnitettiin huomioita kireysmittausprofiilin reuna-alueelle, jossa kaksi kireysmittauspalkin paineantureista oli molemmilta reunoilta radan ulkopuolella. Mittapääät antoivat siitäkin huolimatta painelukemien vaihtelua.

Toinen kyseenalainen seikka huomioitiin palkin keräämässä mittausdatassa, joka tallentuu mittausjärjestelmään juoksevilla numeroinnilla muodossa d:\data\V207_0.960. Mittausdatahan tulisi kerätä positioittain jolloin mittausdatan tallentaminen positiolle katkeaa rullan vaihdossa ja uudelle alkaa. Tiedostonimen tulee muuttua siis jokaisessa rullan vaihdossa. Liitteessä 7/4 kuitenkin on havaittavissa että samasta mittaustiedostosta löytyy kahden position mittausdata. Liitteessä näkyvä kovuusmittaus on mitattu jälkimmäisestä rullasta eikä ole siten vertailukelpoinen keskiarvoprofiilia kuvaavan pylväsdiagrammin kanssa. Ongelmallisinta profiilien tulkinnassa on, että mittaja näkee rullan painohetkellä vain pylväskuvaajan, joka edustaa koko mittaustiedoston, siis jopa kahden rullan keskiarvoa. Mittaajan onkin huomioi-

tava rullan vaihdot myös mittaustiedoston nimessä. Kireydessä esiintyy lisäksi radan hetkellinen kireyden putoaminen lähelle nollaa, mikä näkyy liitteissä 7/2 – 7/3. Kysymyksiä ja tutkimusaiheita kireyspalkin luotettavan toiminnan suhteen heräsi siis useita työn aikana.

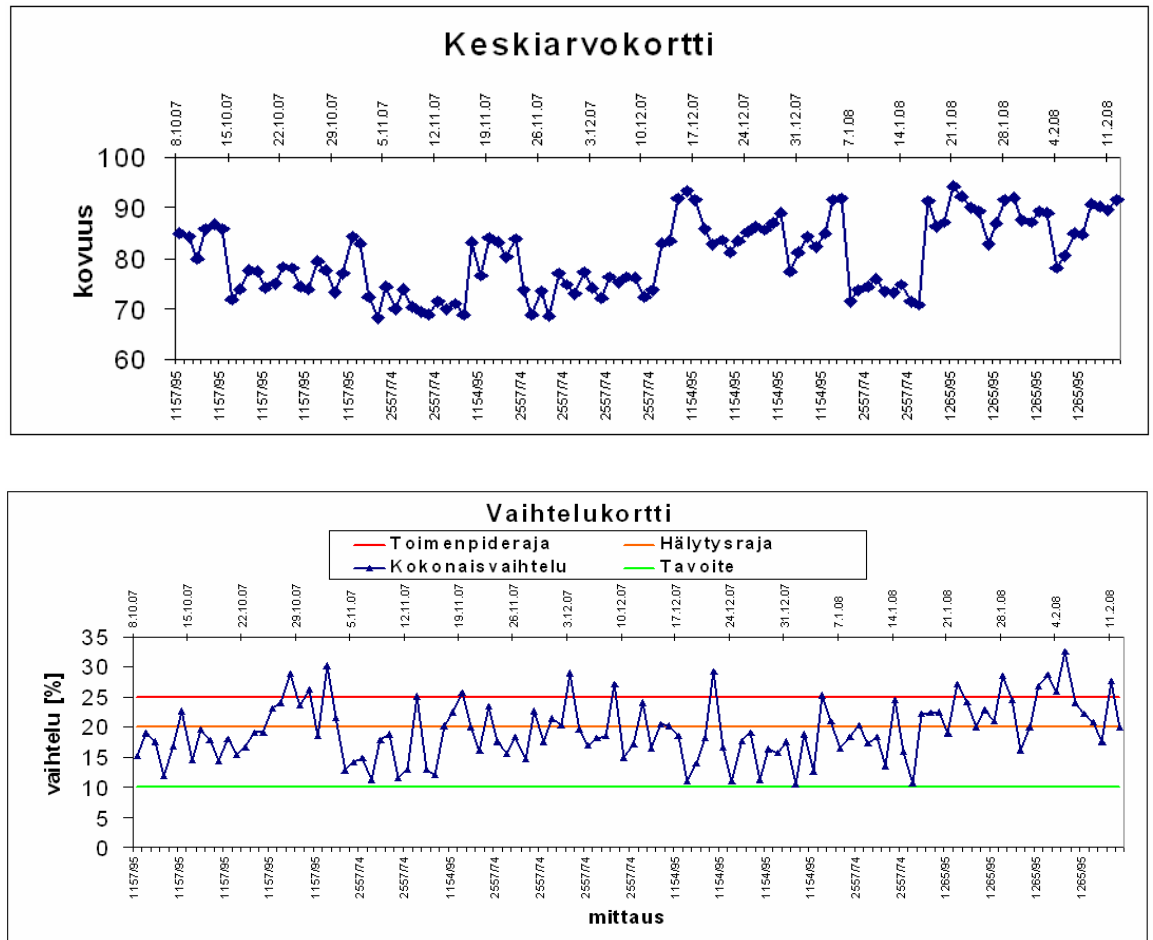
Rullat ajettiin satunnaisessa järjestyksessä. Liitteiden kuvissa on nähtävissä profiilin eläminen kireysprofiilin perusmuodoissa rullien välillä. Rullan sisällä kireys vaikuttaa pysyvän vakaana läpi rullan. Kireysprofileissa on pysyvä perusmuoto, joka on vino mutta kovuusmittauksen mukaan suora tai jopa porkkana vastakkaiseen suuntaan, kuten liitteessä 7/2. Kireyden ja kovuuden välillä mittausten perusmuodoissa näkyy paikallisia, hyvinkin samanlaisia muotoja mutta pääsääntöisesti profiilien välille ei saada yhteyttä. Tulkintaa vaikeuttaa virumisilmiöstä johtuva paikallinen venyminen ja piikkien pehmeneminen. Lisäksi rullan pinnan löystymisellä kuljetuksen ja varastoinnin jäljiltä on vaikutus tulkintaan. Kireysprofiilin vertaamista kovuusprofiiliin edelleen vaikeuttaa IQ-palkin resoluutio. Mittauspisteitä palkilla on tasaisesti viiden senttimetrin välein, mikä on resoluutio reuna-alueilla puolen metrin matkalla. Radan keskialueella resoluutio on vain kymmenen senttiä mikä johtuu mittauspisteiden putkittamisesta yhteen. Mittauksen näyttämä on siis radan keskialueilla kahden reiän keskiarvo. Resoluutio ei kireysprofiilissa ole siten riittävä yksityiskohtaiseen ratavikojen tulkintaan.

8 RULLAKOVUUKSIEN SEURANTA

Konerullien ja asiakasrullien laatua tulee valvoa erilaisten mittausten, esimerkiksi kovuuden avulla. Tavoitteena on, että rullat ovat laadukkaita ja mahdolliset laatupoikkeamat selviävät jo tehtaalla ennen valmiin rullan lähettämistä asiakkaalle. Perinteisesti valvontakorttien tavoitteena on prosessin valvonta tilastollisen prosessinohjauksen avulla. Valvontakorttia laatiessa on kuitenkin huomioitava, että korteista ei tule vaikeaselkoisia vaan tarkoitukseen sopivia.

Rullan kovuusprofiilin muodostuminen riippuu useasta tekijästä. Profiilin perusmuodon lisäksi merkitystä on paikallisten vaihtelujen jyrkkyydellä ja sijainnilla, joten rullan hyvyttä ei voi kuvata millään yksittäisellä tunnusluvulla. Työssä onkin tarkoituksena aikaansaada malli, jolla asiakasrullien kovuuksien kehittymistä pitkällä aikavälillä voidaan seurata. Tällöin mahdolliset koeajojen ja tutkimusten aikana tehdyt prosessimuutosten aiheuttamat vaihtelut lopputuotteeseen saadaan selville. Seurannan tarve huomataan yleensä vasta ongelmatilanteissa, jolloin pitkän ajan mittausdataa kyettäisiin hyödyntämään esimerkiksi valitustilanteissa. Seuranta voidaan myös jatkossa hyödyntää mittauspaikasta riippuen mm. haettaessa optimaalista ajotapaa kalanterilla.

Kun mittausdataa on runsaasti, voidaan kortteihin asettaa mahdolliset valvonta- ja toimenpiderajat konsernin sisäisistä tutkimuksista saadun tiedon ja oman kokemusperäisen tiedon perusteella. Kortilla voidaan seurata mm. rullan kovuusprofiilin keskiarvoa ja vaihteluväliä. Mittaustietoa rullista kerättiin liitteessä 4 esitetyn lomakkeen avulla. Lomakkeeseen kerättiin kovuusmittausten yhteydessä tarvittavat tiedot. Mittauksista piirretään kaksi kuvaajaa, keskiarvokortti ja vaihtelukortti. Keskiarvokortti kuvassa 44 kertoo rullan kovuusprofiilin keskiarvon vaihtelusta. Kortilla voidaan seurata kovuuden kehittymistä lajeittain ja neliöpainon perusteella. Keskiarvoista havaitaan mm., että kevyemmillä lajeilla keskiarvo on pääsääntöisesti koholla. Pienillä neliöpainoilla kerroksia rullalla on tyypillisesti enemmän, jolloin profiilivirheet korostuvat rullalla. Keskiarvokuvaaja kertoo jo sellaisenaan rullasta mittaajalleen. Otettaessa vielä tulkinnan tueksi käyttöön kuvassa esitetty vaihtelukortti voidaan rullan kuntoa arvioida paremmin ja hyödyntää päätöksenteossa.



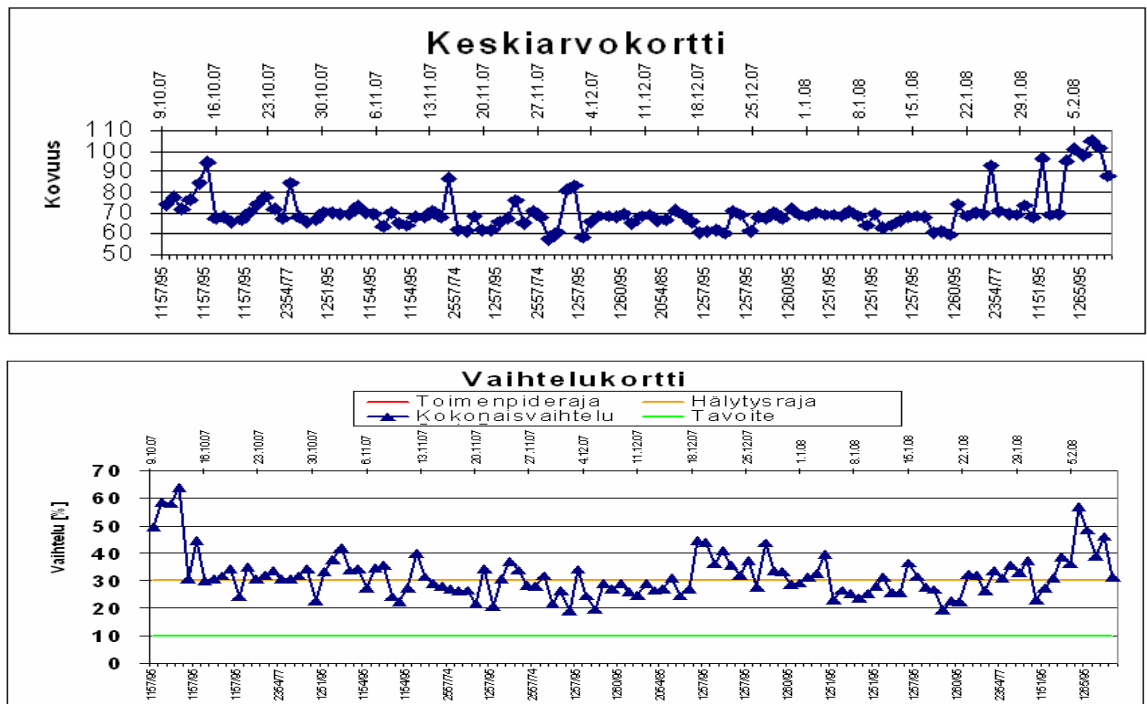
Kuva 44 Mallit seurantakorttien laatimiseen

Vaihtelukortissa tavoite kovuuden vaihtelulle voidaan asettaa esimerkiksi 10 %:iin sisäisten tutkimustulosten mukaan. Alemmat rajat voidaan asettaa kokonaisvaihtelun mukaan 20 %:n päähän mitattujen rullien keskiarvosta. Alemmasta rajasta voidaan käyttää nimitystä hälytysraja. Vaihtelun ylittäessä rajan tulee rullien laadun seuranta tehostaa ja mahdollisia muutoksia esimerkiksi kalanterin ajotavassa jo miettiä.

Ylempi raja voidaan asettaa esimerkiksi 25 %:n päähän mitattujen rullien keskiarvosta. Ylemmän, toimenpiderajan ylittyessä on rullien vaihtelu kriittistä. Rullat voidaan tällöin esimerkiksi siirtää syrjään ja tutkia mitatusta profilista vaihtelun luonne, onko kyse esimerkiksi kova-päisyydestä vai porkkanamaisesta rullasta. Voimakkuuden lisäksi muutoksen jyrkkyydellä on merkitystä, joten rullan profiili on tarkistettava tapaus kerrallaan. Pelkkä vaihteluväli kovuusprofiilissa ei siten sellaisenaan ennusta ajettavuutta. Jos kyseessä on esimerkiksi porkkanarulla, jossa vaihtelu on tasaisesti päiden välillä, ei ongelmia välttämättä esiinny. Rajatapauksissa voidaan mahdollisen hylkäyspäätöksen tueksi käyttää keskiarvokuvaajaa. Keskiarvon ollessa

rullalla koholla voidaan hylkäyspäättös rullalle tehdä. Jos keskiarvo on kuitenkin pieni, on rulla myyntikelpoinen, jos rulla on muutoin kunnossa.

Rullien laadun seuraaminen valvontakorttityyppisellä menetelmällä on yksinkertaista. Lisäksi vaihtelukortti on lajiriippumaton. Seurannan huono puoli on se, että menetelmä ei kerro kuin vaihtelun voimakkuuden. Kovuusmuutosten jyrkkyys on erikseen arvioitava rullakohtaisesti. Lisäksi, kuten aikaisemmin todettiin, profiiliheiton sijainnilla rullassa on merkitystä ajettavuuden kannalta. Perinteisillä valvontakorteilla ei siis voida arvioida rullan hyvyttä vaan jokainen rulla on yksilö. Rullien hylkääminen ei tunnuslukujen perusteella ole mielekäästä vaan jokainen profiili on tulkittava erikseen. Lisäksi luvussa 8 huomattiin, rullien seuraaminen valvontakorttein asettaa haasteita. Tärkeää on, että kovuuden mittaus suoritetaan aina samalla tavalla ja samasta prosessivaiheesta oikealla mittaustekniikalla. Seuranta voidaan jatkossa vastaavilla mallilla hyödyntää myös konerullien mittauksissa heti kalanterilta valmistuessaan. Kun mittaus suoritetaan rullan pinnan löystymisestä huolimatta samalla tavalla, voidaan ajotapoja tarvittaessa viipymättä muuttaa esimerkiksi kalanterilla kovapäisyyden ehkäisemiseksi. Tällöin on kuvassa 45 esitelty valvontamalli käyttäjälleen tarpeellinen. Tavoite ja mahdolliset rajat on tällöin laadittava erillisen suunnitelman mukaan hyödyntäen kokemuksesta saatua tietoa.



Kuva 45 Kortit kalanteroitujen konerullien valvontaan

9 KOVUUS RULLAKIREYSMITTAUSTEN TUKENA

Kovuusmittarin hyödyntämismahdollisuuksia tutkittiin myös rullankireysmittausten tueksi. Luotettavia rullan kireysmittauksia varten suunniteltiin ensin ns. rullankireysmittauspukki, jonka tehtävänä oli mm. estää rakotestissä arkin luistaminen rullan ja lattian välissä rullan oman painon ollessa pieni. Pukin avulla pystytään käsittelemään 1300 mm:n rullaleveyksiä. Leveämmissä rullissa rullan oma paino riittää pitämään ne paikallaan.

Pukista piirrettiin työkuvat 3D-mallinnuksiin suunnitellulla ProEngineer-ohjelmalla. Kuvien pohjalta työstettiin kuvassa 46 näkyvän telineen osat kajaanilaisen metallialan yrityksen sekä paperitehtaan korjaamon toimesta. Telineen molempiin päihin asennettiin lisäksi pikapuristin. Toinen leuka poistettiin, kiskon päähän porattiin Ø6:n reikä ja kiskon pää kiinnitettiin pultilla pukin läpi tulleen suksen läpi jolloin rulla saatiin puristettua telinettä vasten. Suunnittelukuvat on esitetty liitteessä 2. Rullakireysmittaukset suoritettiin liitteessä 3 olevien työohjeiden mukaan.



Kuva 46 Pikapuristin ja sen asentaminen

Kovuutta ja kireyttä vertailtaessa on edelleen muistettava, että kovuus ei synny pelkän kireyden myötä, vaan se muodostuu useista tekijöistä. Rullahalkaisijan kasvun myötä syntyvät sisäiset paineen ja kireyden tilat, venymä, kokoonpuristuvuus sekä muut tekijät vaikuttavat kovuuden syntyyn. Mittauksia tulisi tehdä säännöllisesti, jotta voidaan luotettavasti todeta rullan kireyden tyyppinen vaihtelu tietyllä leikkurityypillä ja ajoparametreilla.

9.1 Rullakireysmittaukset sanomalehtipaperilla

Rullakireysmittaukset suoritettiin kahdessa erässä sanomalehtipaperille PK4:n pituusleikkureilla. Koesarjojen aikana testattiin rullakireysmittauspukin toimivuutta ja haettiin oikeanlaista toiminta- ja työskentelytapaa. Koesarjojen tulokset on esitelty liitteissä 9 ja 10. Normaalisti määritettävien rullankireysmittausten lisäksi testattiin kovuuden mittausta sekä poikki- että z-suuntaan. Vetoliuskatestit suoritettiin kolmesta positiosta rullan keskeltä ja keskimmäisestä positiosta tehtiin lisäksi rakotesti, Smith-neulatesti sekä kovuusmittaukset.

Kovuuden mittaus z-suuntaan rullan päädyistä on haastava. Työntönopeus lyhyellä matkalla tulisi pitää stabiilina. Lisäksi aiempaa mittausdataa vertailua varten ei ollut saatavana, joten mittaus tulee suorittaa useampaan kertaan eri kohdista rullaa. Aloituspisteen paikan valinta asettaa mittaajalleen lisäksi ongelmansa, sillä profiilit tulee saada kohdistettua oikein keskenään. Kun z-suunnan mittaus mitataan hylsylvä pintaan, vertailuaineiston viimeinen mittauspiste on 150 mm halkaisijassa. Verrattaessa kovuusmittausta rullan rikkovaan neulamittaukseen molemmat mittaukset antavat samankaltaisen perusmuodon profiilille. Suurin ero näkyy rullan pohjassa, jossa kovuus putoaa huomattavasti. Smith-testissä on huomioitava, että testi ei anna todellista arvoa mittaukselle rullan pinnasta kun kerrosten välinen puristusvoima ei riitä pitämään neulaa paikallaan. Neulatesti on muutoinkin tekijästään riippuvainen ja toistoja tulee tehdä vähintään kolme, että saadaan luotettava keskiarvo.

Rullan pohjan kireydestä kertovat myös rakotestit sekä vetoliuskosten tulokset. Rakotestien mukaan rullan kireys on myös rullan pinnassa hieman nouseva, mikä on edullista rullan käsittelyjen kannalta. Muissa testeissä kiristyminen pintaan ei kuitenkaan näy. Rakotesti osoittaa, että ensimmäisen koesarjan aikana kireydet ovat olleet huomattavasti korkeammat kuin jälkimmäisen mittaussarjan aikana. Testien profiilit ovat keskenään samansuuntaiset vaikka perusmuoto toisistaan poikkeaa. Perusmuodon ero näkyy erityisesti kovuuden ja neulatestin välillä, joskin tasoerot erottuvat kuitenkin rullan päätyjen välillä oikein.

Kovuutta ei pystytty ensimmäisessä mittaussarjassa mittamaan luotettavasti halkaisijan pudotessa 400 millimetriin. Rullan säteen pienentyessä eivät mittapään pyörät yllä rullan pintaan. Tällöin mittapää ei kulje tasaisesti paperin pintaa pitkin vaan jää kantamaan epätasaisesti pohjan varaan aiheuttaen vääriä tuloksia. Mittalaitteeseen hankittiin laitetoimittajalta adapteri, jonka tulisi mahdollistaa kovuusmittaukset hylsyyn asti. Adapterilla saadaan kaarevan pohjan

avulla mitattua halkaisijaltaan pienet rullat vakaammin. Toisessa mittaussarjassa testirulla mitattiin ongelmitta aina 150 mm:iin saakka.

Rullakireysmittausten apuna käytettiin WinTapio-varianssikomponenttianalyysiä. Rakotestien yhteydessä mitattiin kovuusprofiilit rullan pinnalta poikkisuuntaan. Asettamalla profiilit päällekkäin saatiin liitteissä 9 ja 10 esiintyvä, vesiputousta muistuttava kuva, joka kertoo rullan kovuusprofiilin kehittymisestä rullan halkaisijan funktiona. Profiilit ovat rullissa tasaiset eikä poikkeamia juuri esiinny. Liitteessä 9, noin puolen metrin kohdalla hoitopään reunasta esiintyy läpi rullan pieni pahka joka johtuu paksuusprofiilivirheestä. Vesiputouk kuvia analysoitaessa on huomioitava ero mittausdatan käsittelyssä sarjojen välillä. Liitteessä 9 profiilien numerointi on aloitettu pinnasta pohjaan päin ja liitteessä 10 päinvastoin. Ero vaikeuttaa visuaalista tulkintaa mutta ei vaikuta laskentaan.

Mittaustulokset tukevat rullauksen teoriaa. Rullan pohja ajetaan teorian mukaan tyypillisesti kireämmäksi ja muuten rullan tulee olla pintaa kohti mentäessä kireydeltään tasainen tai hieman laskeva. Kovuusprofiilin mukaan rullan pohja osoittaa kuitenkin kovuuden laskua vaikka rullan pohjan kireys on suurempi pohjalla kuin pinnassa. Kovuusmittaukseen vaikuttaa kireyden lisäksi mm. venymä. Suuri ratakireys rullan pohjalla voikin aiheuttaa virumista vaikuttaen kovuusmittauksen keskiarvoon laitteella. Tämä ei kuitenkaan ole todennäköinen syy kovuusmittauksen näyttämään pohjan alueella. Kireysmittausten mukaan rullan pohja on muuta rullaa kireämpi kaikkien tehtyjen testien mukaan. Mitattaessa poikkisuuntaan kaartuu rullan pinta voimakkaasti pienessä halkaisijassa, jolloin rullan pinta tulee lähemmäs mittapäätä. Karan vapaana kulkema matka ennen iskeytymää rullan pintaan on tällöin lyhyempi ja nopeus osumahetkellä lyhyempi. Hidastuvuus on tällöin aavistuksen lyhyempi ja kovuustulos siten pienempi. Rullahalkaisijan pienentyessä laitteeseen suunnitellun adapterin käyttö auttaa ongelmaan, mutta kaarevuuden jyrkkyydestä johtuen tulee mittauksessa raja vastaan adapterista huolimatta.

Kovuuden pieneneminen rullan pohjalla näkyy myös z-suunnan mittauksessa. Rullan reunan leikkauksen tasaisuudella ja radan liikkeillä rullauksen alkuvaiheessa on merkittävä vaikutus kovuuden mittauksen onnistumiseen rullan pohjasta. Rullien reunan kuntoa seurattaessa havaittiin, että useimmiten rullan pohja on hieman ”karhea”, mikä vaikuttaa kovuuden tasoon merkittävästi. Karheus voi johtua leikkurin terien ikääntymisestä, jolloin leikkaussauva ei ole tasainen vaan jää nukkamaiseksi.

Kokemukset rullankireysmittauksista suunnitellun pukin avulla olivat positiiviset. Puristettaessa kerrokset kevyesti telineessä olevien puristien avulla ehkäistään tehokkaasti kerrosten liukumista toistensa suhteen ja siten rullien löystymistä. Rullan kireys läpi mittausprosessin pysyy luonnollisessa tilassaan, ja tulokset ovat tällöin luotettavampia. Kerroksittain tapahtuvalla profiilitarkastelulla voidaan rullien laatua seurata pintaa syvemältä. Rullan kunnon arviointi tapahtuu useimmiten visuaalisesti tai profiilitarkastelulla rullan pinnasta. Painajan kannalta ongelmallisimpia ovat kuitenkin usein rullien pohjat, joissa kireydet ja siten paikalliset venymät ovat suuria ja visuaalinen tarkastelu vaikeaa.

Kokemukset kovuuden hyödyntämisestä rullankireysmittausten korvaajana eivät anna aihetta jatkotutkimuksille. Sanomalehdellä käytetään tyypillisesti kapeita rullaleveyksiä ja rullat ovat suhteellisen kevyitä käsitellä, joten perinteiset kireysmittaukset ovat toimiva ratkaisu monipuoliseen rullan rakenteen tutkintaan. Lisäksi sanomalehtirullan jalostusarvon huomioon ottaen voidaan muutama rulla vuodessa uhrata tieteen hyväksi.

9.2 Rullakireysmittaukset SC-paperilla

Sanomalehdellä testatut työskentelytavat ja mittaukset pyrittiin siirtämään sellaisenaan aikakauslehtipaperin rullien seurantaan. Aikakauslehdellä ei rullan kireyksiä ole tehtäällä mitattu. Suunnitelmissa on kuitenkin ollut pituusleikkurien rullausparametrien optimointi tulevaisuudessa, jolloin uudelle rullan kireysmittausmenetelmälle on käyttöä. Työssä käytettyjä kokeita kyetään käyttämään sellaisenaan kantohihna-tyyppisellä pituusleikkurilla ja rajoitetusti keskiöruillain-tyyppisellä leikkurilla. Keskiövetoisella leikkurityypillä ei vetoliusköjen käyttö ole mahdollista, joten rullan pohjan kireydestä ei saada vertailulukemia.

Tulokset liitteessä 11 ovat lupaavia lisätutkimuksia ajatellen. Rullan pohjan kireys oli huomattavasti suurempi kuin sanomalehtirullassa, kuten odotettiinkin. Neulamittaus antoi lisäksi huomattavasti sanomalehtirullaa suuremmat lukemat. Aikakauslehtirullan kireyden ansiosta kerrosten välinen puristusaine antaa neulamittaukselle hyvän vasteen, eikä mittaus ole riippuvainen mittaajansa lukutarkkuudesta. Rullan päädyt olivat koerullassa suorat. Neulamittauksen profiili on hyvin samankaltainen z-suuntaan mitatun kovuuden kanssa. Rakotestin tulokset ovat lisäksi loogisia ajatellen aikakauslehtipaperin luonnetta. Aikakauslehtipaperi ei veny niin herkästi kuin sanomalehti, joten rako jää pieneksi.

Sanomalehdellä havaittu ongelma rullan pohjaa mitattaessa havaittiin luonnollisesti myös aikakauslehtipaperirullia mitattaessa. Adapterista huolimatta ei rullan pohjaa pystytä mittaamaan hylsulle asti vaan noin 300 mm:iin. Liitteen kuvasta kuitenkin nähdään, että profiilit ovat rullalla levottomat ja rullan pohjassa on toisella reunalla kovapäisyyttä. Koskikuvan avulla pystytään siis rullan profiilia tarkastelemaan kerroksittain halkaisijan funktiona, jolloin rullan kunnosta voidaan tehdä johtopäätöksiä muutoinkin kuin pinnan mittausten perusteella. Kovuusmittaus viipalekuvana on lisäksi helppo mitata rakotestin yhteydessä. Koskikuvas- ta näkee hyvin, kuinka rullan pinnan löystyminen voi aiheuttaa profiilin oikenemisen kuten palautusrullassa liitteessä 12. Rulla oli katkennut painajalla useita kertoja ja rulla palautettiin tehtaalle. Pinnasta mitatun kovuusprofiilin mukaan rulla vaikuttaa myyntikelpoiselta yksilöltä. Koko rullan matkalta paljastuu kuitenkin voimakasta profiilivikaa, joka on vaivannut ajetta- vuutta jo painajalla. Rullankireysmittausten lisäksi kannattaakin mitattavista rullista ottaa poikkiratanäytteet Tapio-analyysiä varten esimerkiksi kolmesta eri halkaisijasta rullaa, jolloin profiilivian aiheuttajan selville päästään helpommin.

Kokemukset rullankireysmittauksista pukin avulla olivat myös aikakauslehtirullalla positiivi- set. Tulevaisuudessa siirryttäessä yhä leveämpiin rulliin ei kireysmittaus telineen nykyisillä mitoilla ole mahdollista. Rullan oma paino kuitenkin suuremmalla rullalla riittää pitämään rullan paikallaan. Leveämmällä rullalla voi puristimia tai esimerkiksi pitkää metallitankoa käyttää lisäpainona pitämään kerrokset mittauksen ajan paikallaan. Aikakauslehdellä käyte- tään tyypillisesti suurempia rullaleveyksiä ja rullat ovat raskaita käsitellä. Perinteiset kireysmit- tauskeinot ovat toimiva mutta hidas ratkaisu rullan tutkintaan. Perusteellisempaan tutkimuk- seen mittausten käyttö on perusteltua, mutta työläys huomioon ottaen kovuusmittauksen hyödyntämismahdollisuuksia kannattaakin harkita esimerkiksi säännölliseen seurantaan. Kun lisäksi otetaan huomioon SC-rullan myyntiarvo, on rullaa rikkomattoman menetelmän hyödyntäminen jatkotutkimuksen arvoinen.

10 POHDINTAA JA PARANNUSEHDOTUKSIA

Paperikoneiden nopeudet ovat kasvaneet viime vuosina paljon, ja samalla ovat kasvaneet asiakkaiden laatuvaatimukset. Asiakkaat haluavat yhä tasaisempaa ja virheettömämpää raaka-ainetta vaativiin painatusprosesseihin. Laadukkaan paperinvalmistajan arvonimen haluaa jokainen, etenkin UPM Kajaani, joka tunnetaan maailmalla laadukkaana ja kehittyvänä paperin toimittajana. Laadun kehitys korostaa monipuolisten paperin tutkimusten ja analyysien tekemisen merkitystä. Kajaanin tehtaalla päätettiin tätä monipuolisuutta lisätä Tapio RQP:n hankinnalla ja käyttöönottolla. Analysointilaitteena Tapio RQP on käytännöllinen. Osaamattomasti käytettynä sitä ei voida kuitenkaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla joten aiheesta päätettiin tehdä insinöörityö.

Työ oli tekijälleen haasteellinen. Työn etenemiselle haasteensa antoivat etupäässä ajankäytölliset ongelmat sekä itse aihe. Työn suunnitteluun ja suoritukseen annettiin siten vapaat kädet eikä aikataululle asetettu paineita, sillä työtä hiottiin pikkuhiljaa arkirutiinien ohessa. Aineistoa oli suomenkielisenä vähän. Englanninkielistä materiaalia löytyi sitäkin enemmän. Laitteena ja käyttötarkoitukseltaan Tapio RQP oli tuttu, mutta oikeasta mittaustekniikasta ei ollut vielä paljoakaan tietoa. Lisäksi analysointiin liittyvät työkalut olivat vielä tuntemattomia. Lähdemateriaalia mittaustietoon käsittelyyn liittyen ei juuri ollut saatavilla, joten laitevalmistajan avunannon tärkeys oli erittäin suuri.

Kovuusmittaukset ovat nopea tapa paperin vaihteluiden toteamiseen, sillä poikkeamat rullassa näkyvät kovuusprofiilissa yleensä selkeästi. Mittaustulosten ymmärtäminen ja kovuusprofiilivikojen aiheuttajien tunnistaminen vaativat kuitenkin käyttäjältään jo enemmän. Kovuuden syntyyn, paperinvalmistusprosessiin ja mittaustekniikkaan tulee perehtyä hyvin, jotta pystyy yksilöimään profiiliongelmia aiheuttavia lähteitä kovuusmittausten avulla. Kovuusmittausten avulla ei aina saada täydellistä kuvaa paperin kokonaisvaihteluista. Rullien kovuusmittausta tulisikin suosia muiden profiilimittausten ja erityisesti rullakireysmittausten tukena, jolloin mittaustietoa rullan rakenteesta saadaan myös halkaisijan funktiona.

Työn edetessä nousi esiin muutamia parannusehdotuksia. Haluttaessa luotettavia mittaustuloksia rikkoutuneet tulostimet tulisi kunnostaa. Etenkin leikkureilla on viallisia tulostimia, jotka tulisi vaihtaa toimiviin. Verkkotulostinyhteyksien toimivuutta tulisi myös valvoa. Tulostinrikon sattuessa tulee olla mahdollisuus ottaa printti ajoresepteistä, kuormituksista, kireys-

käyristä ynnä muista tekijöistä, jotka vaikuttavat rullan rakenteen syntyyn. Ongelmia ei pystytä paikallistamaan tarkasti jälkikäteen, ellei ajon aikaisista muuttujista ole dokumentteja.

Toinen merkittävä parannus olisi mittausten määrän kasvattaminen. Laboratorion ja tuotantohenkilöstön kannattaisi lisätä kovuuden mittausta jatkossa. Jatkuvien mittausten perusteella tunnistamattomat viat painotaloissa tapahtuvista katkoista olisivat helpommin selvitettävissä. Kovuuden mittauksen tehokas hyödyntäminen jatkossa vaatiikin käyttäjäkoulutuksia, jotka kannattaa suunnata konelinjojen kehityksestä vastaaville insinööreille, teknisen asiakaspalvelun henkilöstölle sekä erityisesti paperikonemiestöille jälkikäsitellyssä.

Henkilökunnan aktiivisuudesta viime kädessä riippuu, otetaanko kovuusmittaus rutiinikäyttöön ja paljonko mittauksia tehdään. Aikaresurssit eivät kuitenkaan saisi olla esteenä, sillä mittaukseen kuluva aika saatuun hyötyyn nähden on minimaalinen. Laitteen käyttö ja tulosten lukeminen kannettavan PC:n näytöstä on kuitenkin nopeaa ja tuntemus rullien kovuuden kehittymisestä saadaan aikaan vain säännöllisten mittausten tuomalla kokemuksella. Mahdollisuudet konerullien seurantaan ovat tulevaisuudessa kuitenkin huononemassa. Henkilöstön vähentyessä aikaa jää vähän säännölliseen seurantaan ja mittauksia suoritetaan vain ongelmatilanteita selvitettäessä. Tilanne on vaikea, sillä juuri ongelmatilanteiden tueksi tarvitaan tietoa siitä, mikä on tilanne normaaliolossa.

Työn aikana perehdyttiin perusteellisesti kovuusmittalaitteen käyttöön. Mittalaite on nopea käyttää, ja profiilit ovat heti nähtävissä laitteen näytöltä. Kuitenkin tulosten käsittely on hidasta. Laitteen PC on helppo kuljettaa, mutta analyseja sillä on vaikea tehdä. Paperisalisissa mittauksissa suorittaessa on lisäksi tikun ja näytön näppäimistön yhdistelmä kömpelö käyttää ja laitteen akku huono. Mittausdatan siirto laitteelta kiinteälle työasemalle tarkempaa analysointia varten onkin suositeltavaa. Yksi laitteen eduista muihin kovuusmittauslaitteisiin on matkanmittaus, jonka avulla voidaan profiiliviati paikallistaa tarkkaan. Merkittävää ovat myös tasavälein saatavat mittaustulokset ja mittaustarkkuuden helppo hallinta työntönopeutta muuttamalla. Etuihin voi lukea myös vaivattoman z-suuntaisen mittauksen, jonka avulla rullan kireyksiä voidaan tutkia. Laite on suunniteltu tehdasolosuhteisiin ja on kestänyt hyvin pitkiä mittaussarjoja lopputyön aikana.

Työn aikana mittalaitteessa esiintyi vain muutamia pieniä ongelmia. Eräs niistä liittyi pehmeisiin rulliin. Jos rullan pinta oli tarpeeksi pehmeä, ei iskuri alkanut välttämättä iskeä lainkaan. Ongelma voi johtua myös mittapyörän liikkeen tunnistavista mikrokytkimen asetuksista.

Uusissa malleissa mikrokytkimen toiminta on laitetoimittajan mukaan parempi. Mittalaitetta tuleekin huoltaa ja ohjelmistoa päivittää säännöllisesti, jotta saadaan luotettavia mittaustuloksia. Huollon suorittaa laitetoimittaja joka tarkastaa mittapään, kaapelin ja keskusyksikön.

Tapio RQP:n analyysityökalujen käytössä on suositeltavaa, että piikkien poistossa käytetään maksimiasetusta ja päiden poisto tehdään mittaajan harkinnan mukaan. Reunat voivat antaa virheellisen tuloksen esimerkiksi oskilloinnin takia. Suodatuksen käyttö vaikuttaa suoraan sekä minimiarvoon että keskiarvoon. Analyyseja varten tulisi tehtaalle harkita Tapio PDA:n hankintaa. PDA on ohjelma joka tarjoaa täysin samat analyysityökalut kuin WinTapiossa. Sillä on lisäksi mahdollisuus lukea mitä tahansa tekstitiedostoa, ei pelkästään Tapiolla mitattuja tiedostoja. PDA:n avulla tekstitiedostot käännetään WinTapiion vaatimaan formaattiin ja tämän jälkeen tiedostoja voi analysoida tavallisella WinTapio-ohjelmistolla. Hankinnan avulla saadaan suurempi hyöty irti Tapio-analysaattorilla tehtävistä poikkiratavertailuista, joita muutoinkin kannattaa tehdä ja hyödyntää mahdollisimman runsaasti tulevaisuudessa. Tapio-analysaattoriin tulisi lisäksi harkita tuhkamoduulin hankintaa. Täyteainetta käytetään konelinjasta ja lajista riippuen jopa yli 30 %, joten profiilitutkimuksissa päästään uudelle tasolle, kun paperin runkorakenteen tutkinta monipuolistuu.

Jatkossa tulee yhteistyötä painotalojen kanssa kehittää. Tehtaalla suoritettujen säännöllisten mittausten ja painotalojen palautteen avulla voidaan kovuuden merkityksen tutkimuksessa päästä uudelle tasolle. Painotalojen tulisi kirjata ja ilmoittaa painossa katkenneiden rullien numerot ne valmistaneelle tehtaalle. Esimerkiksi profiilivirheen aiheuttamien katkojen syyt voidaan helpommin selvittää, kun viallinen rulla voidaan kohdistaa jo tehtaalla mitattuihin rulliin. On kuitenkin muistettava, että tehokkain keino vähentää ongelmia jatkojalostuksessa on poistaa vialliset rullat jo tehtaalla ennen asiakasta. Erilaisten mittausten lisäksi tärkeimmät mittarit seurattaessa rullien hyvyttä ovat henkilökunnan aistit. Erityisesti leikkurilla tulisi ottaa huomioon kaikki havainnot ja pohtia pienienkin poikkeamien merkitystä rullissa jatkojalostuksen kannalta. Leikkurilla ei voida juuri vaikuttaa paperin laatuun, mutta rullan laatuun voidaan vielä vaikuttaa. Lisäksi kireysmittauksen toimintaan ja resoluutioon pitäisi kiinnittää enemmän huomiota jatkossa. Kireysmittauksesta ei saatu kuvia, mutta jatkuvatoimisen kireysmittauksen avulla ainakin kovapäiset rullat on helposti tunnistettavissa leikkurilla.

Kovuutta voidaan mitata sekä kokonaisista konerullista ja asiakasrullista. Mittaustapa riippuu siitä halutaanko parantaa paperikoneen profiileja vai halutaanko vetää raja hyvien ja huonojen rullien välille asiakasrullaprofiilien avulla. Joissakin tehtaissa on jo kokemuksia rullien

hylkäämisestä kovuusmittausten perusteella. Mikäli jatkossa kovuuden mittausta kyetään hyödyntämään ongelmien selvittämisessä, tulisi tehtaalla harkita myös automaattista kovuusmittausta. Konsernissa on jo käytössä joillakin tehtailla kovuusmittausrobotit esimerkiksi pakkaamon yhteydessä. Kokemuksia on myös kovuuden mittaamisesta rullan päädyistä, jolloin robotti mittaa z-suuntaisen profiilin jokaisesta rullasta. Lisäksi on jo käytössä laitteistoissa muita sovelluksia, kuten esimerkiksi laser-etäisyysmittari, jonka avulla voidaan mitata rullan muoto esimerkiksi patapäisyyden ehkäisemiseksi.

Työn aikana tuli korrelaatioanalyysi tutuksi. Korrelaatioiden laskeminen vaatii tekijältään paljon pohdintaa. On huomattava, ettei vahvakaan korrelaatio tarkoita syy-seuraussuhdetta. Etenkin kovuudesta puhuttaessa on huomioitava mahdollisen kolmannen suureen vaikutus kovuuden ja samalla vahvan korrelaation muodostumiseen. Lisäksi on otettava huomioon mm. kalanteroinnin rataa levittävä vaikutus esimerkiksi verrattaessa karkean ja kalanteroidun paperin profiileja. Lisäksi mm. Tapio-analysaattorilla mitattaessa on huomiota kiinnitettävä kireysasetukseen, joka voi toimia rataa venyttävänä tekijänä. Mittauspisteissä voi olla kohdistusvaikeuksia esimerkiksi verrattaessa Tapio-profiileja on-line -profiileihin. Nykyiset laskentatyökalut kuitenkin huomioonottavat erot rataleveydessä ja mittausresoluutiossa. Ongelmat esiintyvätkin lähinnä visuaalisen profiilitarkastelun yhteydessä. Lisäksi profiileja mitattaessa on muistettava, että Tapiolla ajettu neliöpainoprofiili ei aivan vastaa todellista neliömästä profiilia, sillä näytteenkäsittelystä johtuen suurimmat kosteusvaihtelut voivat tasoittua. Työn aikana huomattiin, että kalanterilla tehtävä oskillointi vaikeuttaa huomattavasti kovuuden korrelaatioiden tutkintaa. Oskilloinnin merkitys on kuitenkin aikakauslehtipaperin laadun kannalta erittäin tärkeää, joten sen poisjättäminen rutiininomaisten kovuusmittausten takia ei ole järkevää.

Aikakauslehtipaperilla havaitut halkaisijaerot pituusleikkurilla ovat merkittävä ongelma pituusleikkauksessa. Paksuusprofiilivian todettiin aiheuttavan lopulliseen rullahalkaisijaan jopa kymmenen millimetrin vaihtelun. Suuret halkaisijaerot myötävaikuttavat edelleen vanojen syntyyn. Halkaisijavaihtelu on merkittävä myös rullauksen, etenkin rullan pohjan kannalta, jossa painotelakuorma on suurimmillaan. Painotelakuorma ei jakaudu rullaposition kesken tasaisesti vaan voi jäädä kantamaan. Rullan kireys voi tällöin vaihdella muuton sisällä merkittävästi, kun painotelakuorma on suurimmillaan rullan korkeilla kohdilla. Merkittävien tekijä rullan halkaisijan ja yleensä kovuuden syntyyn on paksuusvaihtelu. Paksuusprofiilivirheiden merkitys korostuu etenkin keveillä paperilajeilla, joilla kokoonpuristuvuus on hei-

kompi. Ohuilla lajeilla lisäksi kerroksia on rullalla yleensä enemmän, joten juuri paksuusprofiiliongelmien korostuvat entisestään.

Paksuusprofiilin seurantaan varten mittapalkeille tulisikin jatkossa harkita uusien paksuusmittapäiden hankintaa. Vanhat, käytöstä poistetut mittapäät mittasivat nipeillä, jotka radan yli kulkiessaan saattoivat aiheuttaa radan satunnaista reikiintymistä. Paksuusprofiilin hallinta aikakauslehtipaperikoneella on kuitenkin välttämätöntä rullien profiilien hallitsemiseksi. Laittoimittajilla on nykyään tarjota hyviä, käytännöllisiä ratkaisuja paksuusmittauksen toteuttamiseen. Profiilien hallitsemiseksi telanvaihdot on lisäksi tehtävä jatkossakin säännöllisesti. Telojen kunnan merkitys on erittäin suuri rullan profiileja ajatellen. Kuitutelat kuluvat nopeasti ja merkkautuvat helposti ratakatkossa. Raakapaperin profiiliheitot kopioituvat helposti kuituteloihin ja siirtyvät edelleen virheettömiin rulliin telojen muodonmuutosten vuoksi. Tällöin telat on vaihdettava nopeasti ja edelleen uudelleen käyttöä varten. Kalantereilla kannattaa jatkossa harkita yleistyvien polymeeritelojen hankintaa kuitutelojen korvaajiksi. Näiden etuina ovat alhaisemman merkkautumisherkkyyden vuoksi pitemmät hiontavälit ja erittäin sileä pinta. Hinnaltaan ne ovat paperiteloja selvästi kalliimpia, joten hankinta kannattakin tehdä pitkällä tähtäimellä.

Työn tavoitteista selvittiin kohtalaisen hyvin. Kovuuden muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä saatiin tutkittua mahdollisimman monipuolisesti. Kaikkiin työn aikana heränneisiin kysymyksiin ei löytynyt selvää vastausta. Työ jatkuu, ja avoinna oleviin kysymyksiin haetaan vastauksia tämän työn ulkopuolella. Jatkossa tuleekin selvittää, kuinka suuri merkitys kuivatuskutistumalla on paksuuden ja siten kovuuden voimakkaaseen kasvuun reunoilla. Lisäksi tulee selvittää kosteusprofiilin merkitys kovuusprofiilin synnyssä sekä kosteuden vaikutus telojen kulumisessa. Rullankireysmittauksiin tulee lisäksi laatia työohje PK2:lle, kun mittausten tarve ja määrä jatkossa selviää.

Lopuksi sanottakoon, että rullan kovuus ei ole ainoa oikea laadun mitta. On muistettava että tavoiteltaessa painettavuutta ja hyviä paperitekniisiä ominaisuuksia voivat samanaikaisesti paperin ajettavuuteen liittyvät ominaisuudet huonota. Jatkossa tilanne ei kuitenkaan ainakaan parane siirryttäessä koko ajan leveämpiin rulliin. Paperinvalmistus on siis jatkuvaa kompromissien tekemistä ja erittäin haasteellista tekijöilleen. Kovuusmittaria hyödynnettiin insinööri-työn aikana erittäin paljon, ja lukuisia kovuusprofiiliongelmia ja niiden ratkaisuja jäikin tämän työn ulkopuolelle. Kovapääsyyongelmaa selvitettiin myös tämän työn ulkopuolella paljon.

Ratkaisua ongelmaan haettiin mm. paperikoneen puristimen bombeeruksen muutoksilla, telahiontaratkaisuilla sekä ratalevyden muutoksilla.

11 YHTEENVETO

Kovuus syntyy lukuisten tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Kovuuden muodostumiselle paperirullassa on tärkeintä raakaprofiilien ja kalanteroinnin tasaisuus. Voimakkaimmin kovuusprofiilin muodostumiseen vaikuttaa paksuus, jolla korrelaatio kovuuden kanssa on merkittävä. Muita tekijöitä kovuuden muodostumisessa ovat mm. rullausparametrit, kalanterointi ja telojen kunto, kosteus ja lämpötilojen vaihtelut. Lisäksi mm. mittaustekniikkaan liittyvät tekijät vaikuttavat mittaustulokseen. Mittaukset tuleekin suorittaa heti tehtaalla rullan valmistumisen jälkeen.

Kovuus toimii hyvänä indikaattorina haettaessa parasta mahdollista ajettavuutta asiakkaan kannalta. Kovuuden vaihteluiden perusteella ei ongelmia voida painossa kuitenkaan ennustaa. Suurikaan piikki ei välttämättä aiheuta katkoa tai muita ongelmia. Kuitenkin hyvinkin pienestä piikistä voi aiheutua ongelmia. Profiilin perusmuodon lisäksi vaihtelujen voimakkuudella, jyrkkyydellä ja sijainnilla on merkitystä. Pelkän vaihteluvälin perusteella ei siis rullia ole mielekästä hylätä. Kovuuksien kehittymistä rullista kannattaakin seurata säännöllisesti, jotta ongelmatilanteissa kyettäisiin hyödyntämään mittaustietoa pitkältä aikaväliltä. Mittausten seurannassa voidaan hyödyntää tarkoitukseen sopivia valvontakortteja.

Mittalaite on yksinkertainen rakenteeltaan ja toiminnoiltaan. Laite on nopea käyttää ja tarkkuus määräytyy mittapään työntönopeuden mukaan. Laitteella kyetään mittamaan rullat myös z-suuntaan. Rullan päädyn mittausta rullan rakennetta rikkomatta tarjoaa mahdollisuuksia jatkossa mm. perinteisten rullankireysmittausten korvaamiseksi kovuuden mittauksen avulla. Mittalaitteen etu moniin kilpailijoihin verrattuna on matkanmittaus. Tällöin profiilipoikkeamat on mahdollisuus paikantaa ja laitetta voidaankin hyödyntää rullakireysmittausten apuna rullien laadun valvonnassa ja rullausongelmien ratkaisussa.

Tapio RQP -kovuusmittaria voidaankin käyttää monipuolisesti konerullien ja asiakasrullien laadun seurannassa. Mittaustapa riippuu siitä, halutaanko parantaa paperikoneen profiileja vai halutaanko vetää raja hyvien ja huonojen rullien välille asiakasrullaprofiilien avulla. Monipuolisin kovuusmittauksin kyetään joka tapauksessa jatkossa ehkäisemään ajo-ongelmia jo tehtaalla sekä painotalossa ja parantamaan laatumainetta asiakkaiden keskuudessa.

LÄHTEET

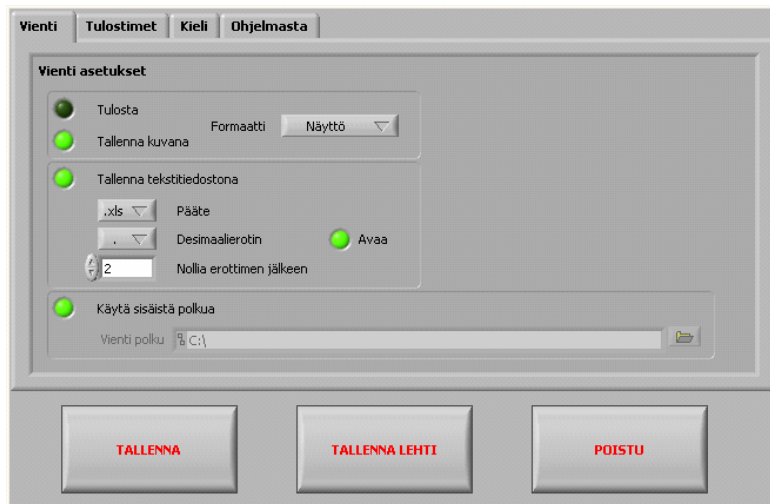
1. KnowPap 7.0 (5/2005) Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö, VTT Tuotteet ja tuotanto, Prowledge Oy.
2. Paperin kemiaa, paperin valmistusprosessi. Helsinki 2005
www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineitot/paperi/images/paperikone_pieni.jpg
 [WWW-dokumentti] (luettu 18.03.2007)
3. UPM esittelysivu, Intranet. [WWW-dokumentti] (Luettu 11.01.2007)
4. UPM Kajaanin esittely, Intranet. Powerpoint diasarjat. (Luettu 11.01.2007)
5. Puusta paperiin. Sanomalehti- ja voimapaperikoneet M-503, 1990. Karhula, MET-LAS KY
6. Roisum David R., Ph.D. 1994. The mechanics of winding. Atlanta: Tappi Press.
7. Häggblom, Ulla & Komulainen, Pekka. 2000. Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki, Opetushallitus.
8. Arjas, Antti. 1983. Paperin valmistus III osa 2. Painos 2. Turku, Oy Turun Sanomat.
9. Paperin ominaisuudet, EVTEK materiaalitekniikka, Internet.
<http://users.evtek.fi/~penttiv/mater/papomin.pdf> [WWW-dokumentti] (Luettu 03.03.2007)
10. Tapio Roll Hardness measurements, sales material. Espoo.
www.tapiotechnologies.fi/paper_roll_hardness.html [WWW-dokumentti] (luettu 19.12.2006)
11. Turpeinen Vesa. Profilihiilyn ennustaminen neuroverkolla. Diplomityö. LTTK 1995.
 77 s
12. Teuvo Leppänen, UPM painettavuus ja ajettavuus tutkimus, Lappeenranta 2003 96 s.
13. Laari Jyrki, Tapio Technologies. Sähköpostiviestit 8.12.2006 – 17.01.2007

14. Puusta paperiin. Paperikoneet yleistä M-502, 1990. Karhula, METLAS KY.
15. Suominen Katri. Paperirullien uuden kovuusmittalaitteen luotettavuuden selvittäminen. Insinööriyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu 2004. 37 s.
16. Kalamazoo Paper Chemicals, Schmidt paper roll hardness. www.kalpaperchem.com/schmidtproll.htm [WWW-dokumentti] (Luettu 23.01.2007)
17. Metso Paper asiantuntijakäynti, Kajaani. Tauno Hirvasoja.1.-3.10.2007. Raportti 136/365378, 24.10.2007
18. Jernström Klaus, UPM-kymmene Tutkimuskeskus, Lappeenranta. Sähköpostiviestit 23.11.2007 - 14.1.2008
19. Total Plant Alcont - ohjausjärjestelmä, UPM Kajaani

3. Tulosten siirto Exceliin

1. Mittausdata siirretään muistitikulla pöytäkoneelle käsiteltäväksi. Mittauskansiot löytyvät mittauspäivän nimellä osoitteella C:\Program Files\Roll Quality Profiler\RQP_7_12_2006. Kansioista löytyvät yksittäiset mittaukset juoksevalla numeroinnilla muodossa Meas_1. Kansio tallennetaan muistitikulle ja siirretään kansioon C:\Program Files\Roll Quality Profiler\toiselle koneelle.

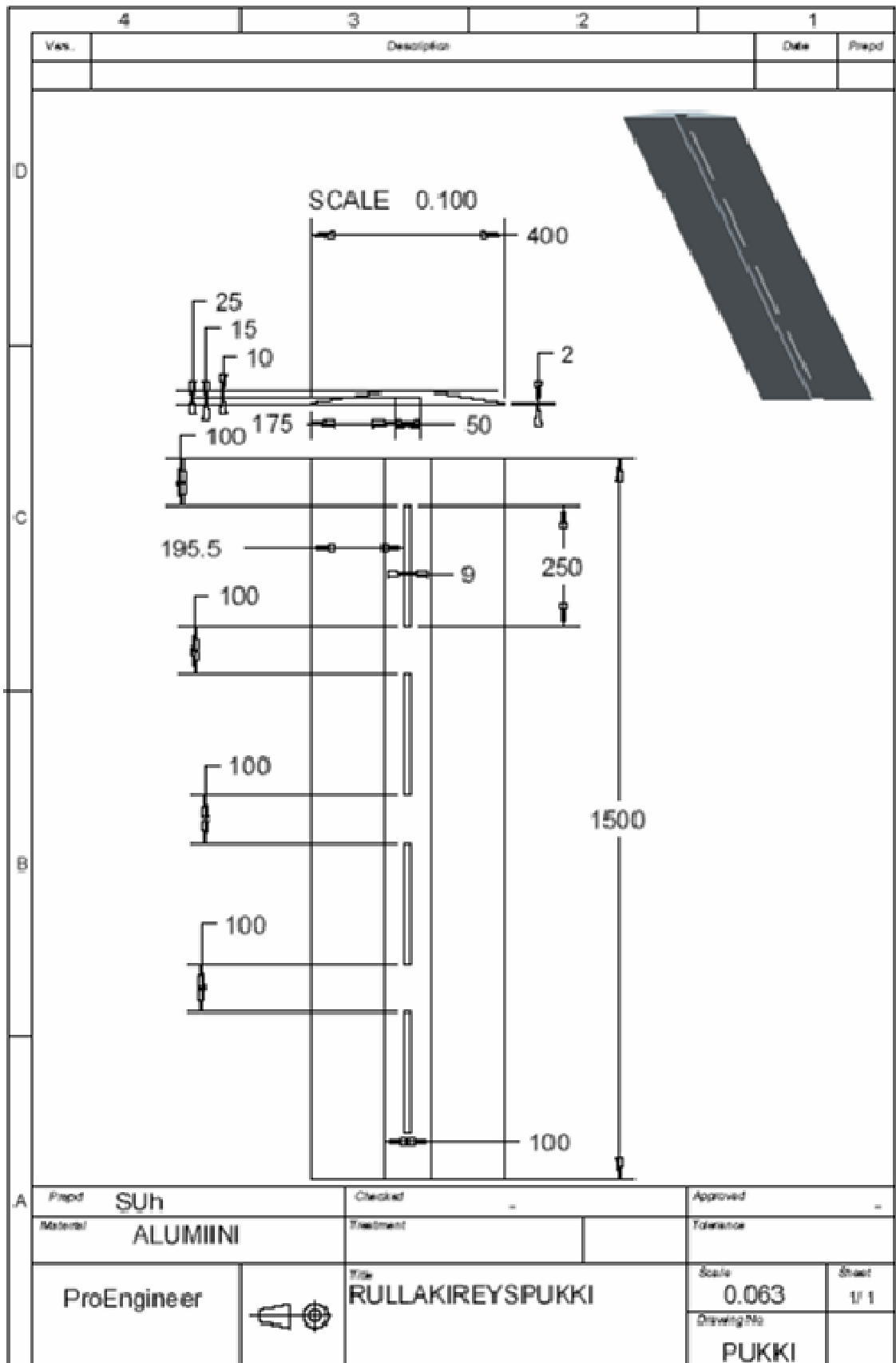
2. Tarkasta ohjelman vientiasetukset painamalla ASETUKSET –nappia. Aukeavalla sivulla tulee olla seuraavanlaiset asetukset:

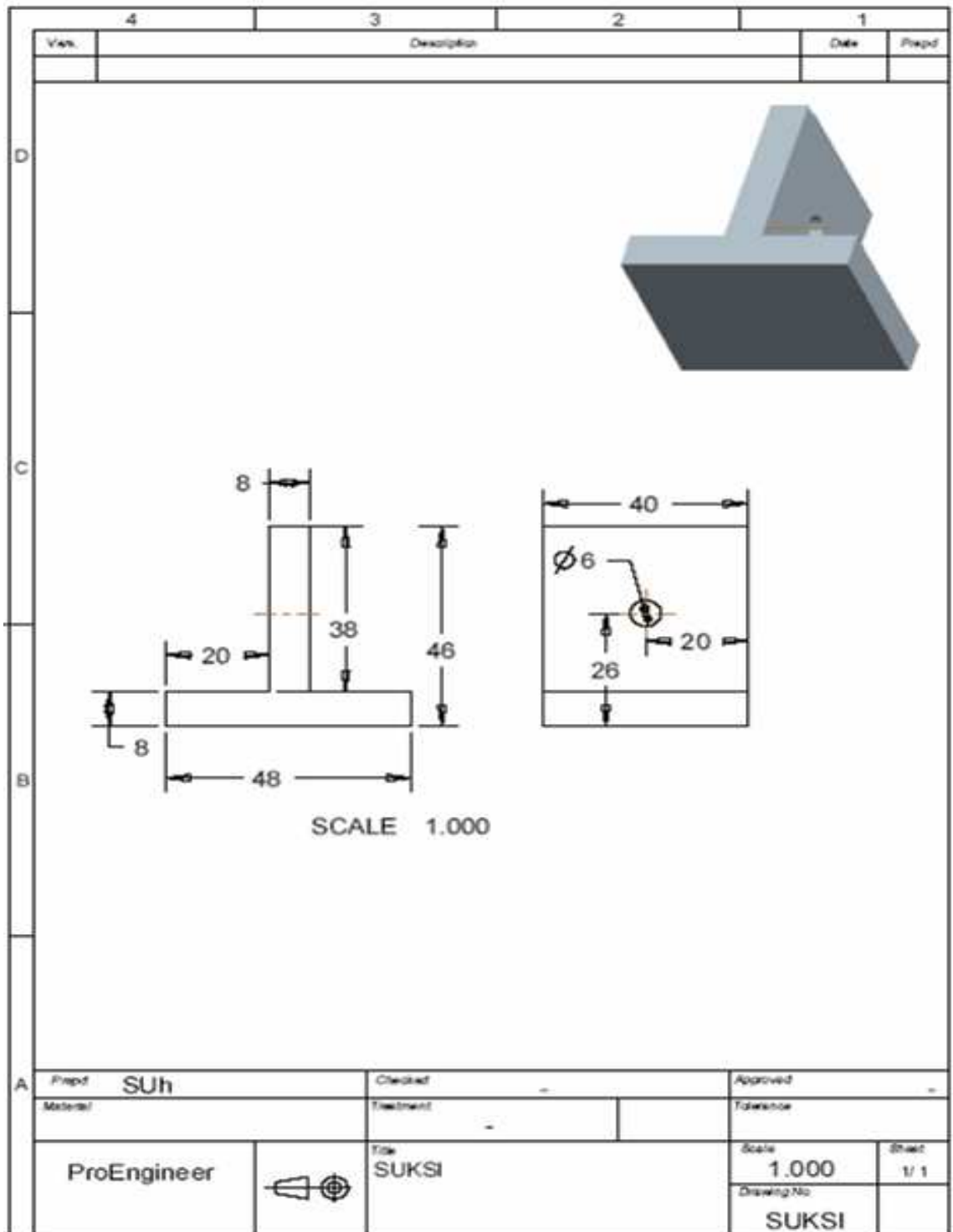


3. Tallenna asetukset valitsemalla TALLENNA LEHTI –painike. Paina VIE TULOKSET –nappia, jolloin pääset tallentamaan tulokset kansioon, esimerkiksi L:\Departments\Labra\Mittapalkit ja muut\Kovuusmittaukset\PK2, jatkokäsittelyä varten.

4. Verrattaessa kovuusdataa Tapio-analysaattorin poikkiprofiilien kanssa, täytyy mittausvälin olla 0.4 mm. Se on jaollinen suodatusarvolla 20 mm. Näin saadaan profiilit ulos analyysistä tasajaolla senttimetrin välein.







TYO-630-012 Rullamittaukset PK 3 ja PK 4

1. Yleistä

Rullamittauksia suoritetaan molemmilla koneilla kaksi kertaa vuodessa. Mittauksissa suoritetaan pull-tab -mittaus, cameron -testi ja Smith-neulamittaus. Tulokset kootaan raporttiin johon lisätään kopiot koneen ajotilanteesta, poikkiprofiili mittauksista sekä tarvittaessa paperiominaisuuksien laboratoriomittauksista. Mittaukset suoritetaan pituusleikkureilla ja tarvittaessa uudelleenrullauskoneella. Mitattavien rullien halkaisijan tulisi olla 1250 mm ja leveys 750 - 1000 mm. Tulokset syötetään excel- taulukkoon L:/labra/work/rullamittaukset.

2. Pull-tab

Pull-tab mittaa paperikerrosten välisen painetta vetoliuskalla. Pull-tab -mittauksella tutkitaan rullan pohjan tiukkuutta. Mittauksiin valitaan konerullan toisesta muutosta kolme keskimmäistä rullaa. Testi suoritetaan teippaamalla tupakkapaperin sisään asetettu metalliliuska hylsyyn. Mittakellon avulla vedetään rullauksen jälkeen valmiista rullasta liuskat ulos. Mittakello lukitsee vedettäessä maksimiarvon.

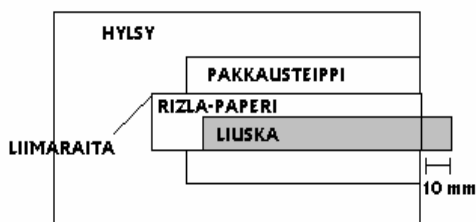


2.1 Työn suoritus

Leikkaa metalliliuskaa (0,05mm x 12,7mm) noin 1 m:n pituinen pätkä. (h+s, Präzisionsfolien GmbH) Käytetään aina samaa liuskatyyppiä. Pyyhi liuskasta ylimääräinen rasva pois kuivalla kankaalla tai paperilla. Puhdista liuska puhdistetulla bensiinillä siten, että kostutat puhdasta kangasta tai paperia liuottimessa. Vedä kangasta tai paperia noin 10 kertaa liuskan molemmin puolin. Kuivaa liuskaa puhtaalla kankaalla tai paperilla huolellisesti. Aloitettaessa mittaus heti, toista vielä erittäin helposti haihtuvalla liuottimella, esim. asetonilla. Mikäli asetonia ei ole käytettävissä, niin liuotinjäämien haihtumista pitää odottaa vähintään 2 tuntia. Käytä aina samaa liuotinta.

Leikkaa kaikki liuskat terävillä saksilla samanmittaisiksi; 60 mm:n pituuteen. Älä koske sormin puhdistetun liuskan pintaan. Sormin kosketetut liuskat eivät ole mittauskelpoisia! Pussita liuskat savukepaperiin (Rizla; finest quality gummed, medium weight). Savukepaperi säilytetään ilmatiiviissä pakkauksessa. Kostuta savukepaperi vain aivan liimaraidan reunasta. Odota niin kauan, että kostutus kuivuu (vähintään 10 min). Liuskojen valmistus tehdään korkeintaan mittausta edeltävänä päivänä.

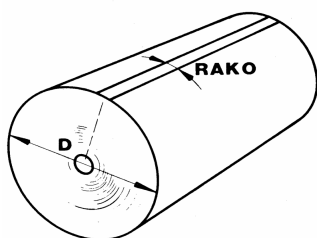
Leikkaa 50 mm leveästä pakkausteipistä noin 40 mm pitkiä paloja. Liimaa liuskat teippeihin siten, ettei metalli koske teippiin. Teippi ei saa myöskään olla rypyllä ja savukepaperin tulee olla ehjä. Liimaa liuskat hylsyn päihin (kartonkispiraalin ehjälle osalle) siten, että 10 mm jää hylsyn ulkopuolelle ja 50 mm jää rullan sisään. Liuskan pää taivutetaan 10 mm:n pituudelta reunaa vasten 90° kulmaan. Liuskojen liimaus suoritetaan ennen leikkuriin asettelemista. Hylsyn reunaa hiotaan viilalla ennen liuskan taivutusta. Laita kaksi liuskaa rullan molempiin päihin, jotta tulokset olisivat luotettavia. Hylsyt asetetaan käsin telojen väliin jolloin liuskat eivät vaurioidu.



Kiinnitä vetoleuka liuskaan varovasti, mutta tiukalle. Kiristä tarvittaessa jakoavaimella siipimutteria. Kiinnitä vetoleukaan mittakello, jonka nollausvipu on vapautettu (maksimiarvo pito). Kiinnitä mittakelloon vetokahva. Vedä liuskat pois rullasta aina samalla nopeudella ja samaan aikaan rullauksen päättymisen jälkeen. Suorita veto suoraan liuskaa vääntämättä ja tue mittakelloa kevyesti toisella kädellä. Merkitse kellon lukema ylös. Syötä lukemat Excel-taulukkoon L:/labra/work/rullamittaukset.

3. Cameron

Mittauksella mitataan rullan muodostunutta kireyttä rullauksen jälkeen. Cameron testi tunnetaan myös nimellä rakotesti. Testillä tutkitaan paperin venymää eri kerroksista. Rulla pintakerros leikataan poikki. Syntynyt rako mitataan ja lasketaan kuinka monta promillea (%) se on kehämitasta. Mittaus on suoritettava nopeasti sillä rulla menettää kireyttään varastoinnin aikana. Valitaan mitattava rulla konerullan toisesta muutosta, ei reunarullista ja mieluiten kapea (alle 1000 mm) rulla. Rullan leveys kuitenkin oltava yli 600 mm. Cameron-mittaus on tehtävä kahden tunnin kuluessa rullauksesta. Rullan päätyyn piirretään halkaisija-asteikko 50 mm:n välein (säde 25 mm). Rullan pinnasta 100 mm mitataan 10 mm välein (säde 5 mm). Mittaus halkaisijaan 400 mm asti. Ennen mittausta katkaistaan muutama kerros yksittäin veitsellä.



3.1 Työn suoritus

Mittaus suoritetaan katkaisemalla rullan yksi arki terävällä veitsellä. Katkaistun arkin väliin jäävä rako mitataan mitta-asteikolla varustetulla suurennuslasilla (loopilla). Mittaus tehdään 5-10 sekunnin kuluessa arkin katkaisusta. Mittaus toistetaan kolme kertaa. Mittauksen jälkeen mitataan myös rullan halkaisija. Mittaus on pyrittävä toistamaan joka kerta samalla tavalla. Rullan alle ei saa kerätä lusattuja välikerroksia, vaan rulla on kahden mittauksen jälkeen siirrettävä varovasti toiseen paikkaan. Mittausten väliset kerrokset voi leikata mattopuukolla, mutta viimeiset kerrokset otetaan lusalla. Mittaustulokset kirjataan ylös ja syötetään Excel-taulukkoon L:/labra/work/rullamittaukset.

4. Smith-neula

Mittauksessa mitataan kuvassa esitetyllä Smithin neulalla rullan paperikerrosten välistä puristuspainetta. Mittauksessa neula työnnetään paperikerrosten sisään rullan päätyyn ja otetaan ylös neulan osoittama mittarin maksimilukema. Rullan reuna rikkoutuu eikä siten rulla voi laittaa tilaukseen ellei sitä kavenneta uudelleenrullauskoneella. [Mittauksessa käytetään Smith-neula A-tyyppiä. Mitattava rulla otetaan konerulla toisesta muutosta ja mahdollisimman keskeltä rataa.

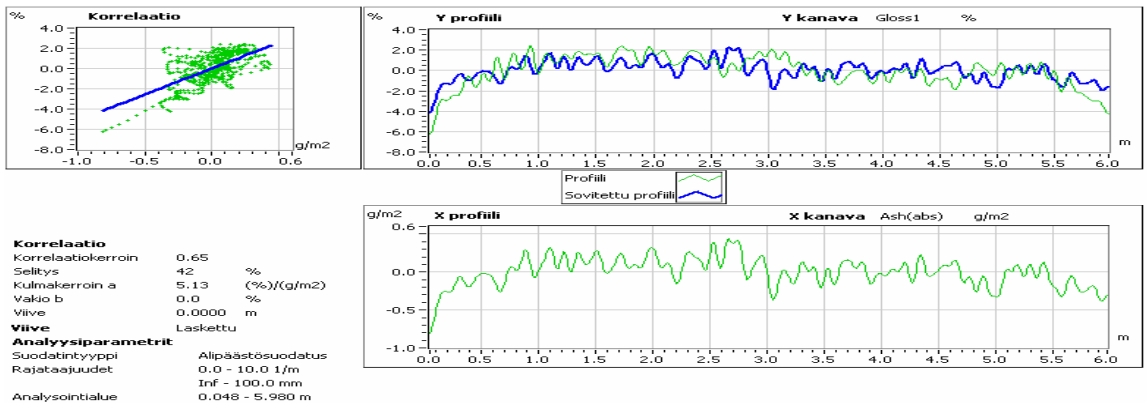
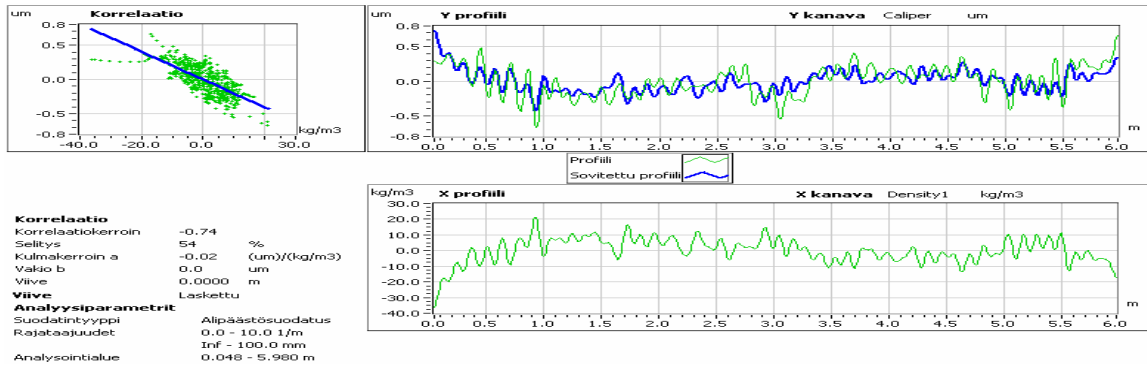
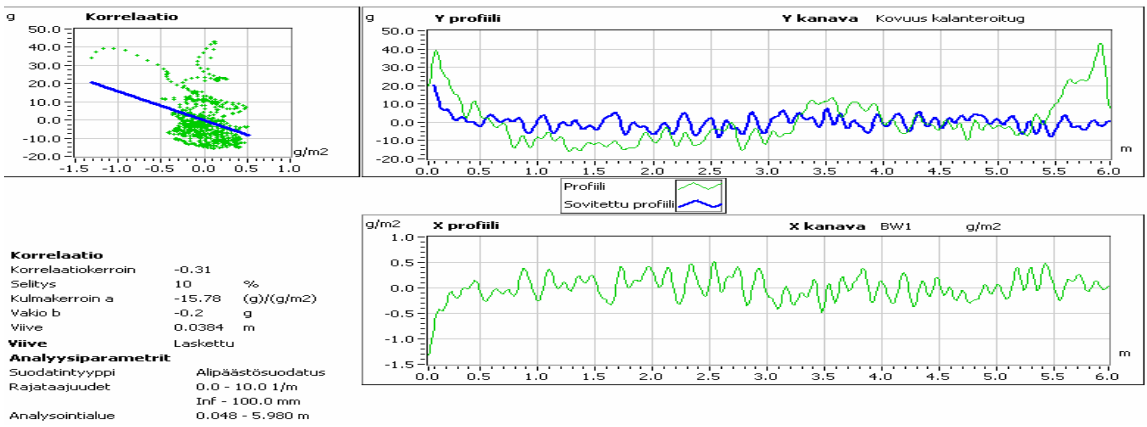
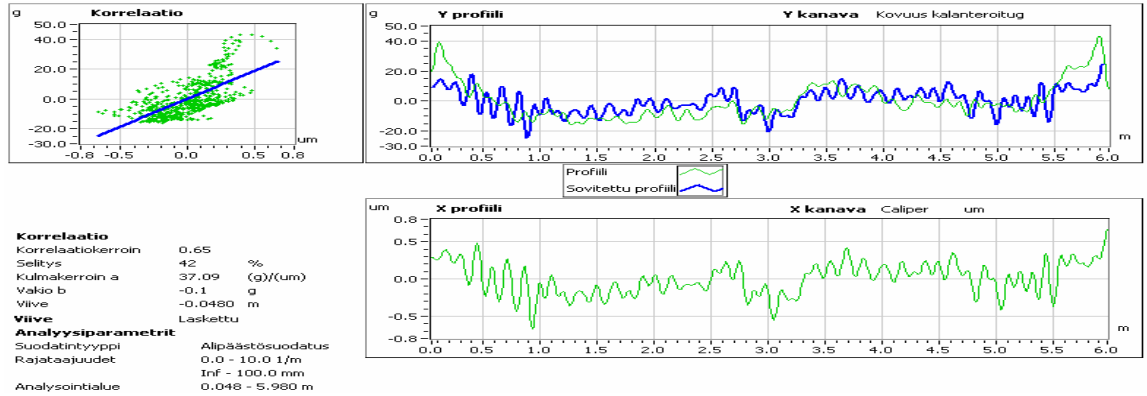


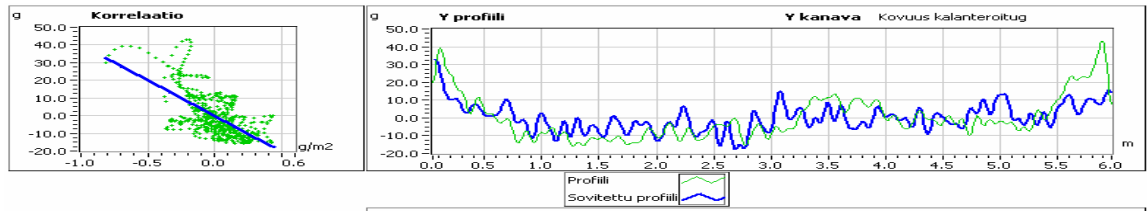
4.1 Työn suoritus

Rullan päätyyn piirretään halkaisija-asteikko 50 mm:n välein (säde 25 mm). Rullan pinnasta 100 mm mitataan 10 mm välein (säde 5 mm). Mittaus halkaisijaan 400 mm asti. Puhdista mittausneula rasvanpoistoaineella ennen mittausta. Neulaan ei saa koskea sormin. Mittaus suoritetaan hylsylvä lähtien halkaisija-asteikon mukaisesti. Mittauksessa neula työnnetään paperikerrosten sisään rullan päätyyn. Otetaan ylös mittarin maksimilukema, jossa neula käy. Ennen varsinaista mittausta suorita muutamia harjoitusmittauksia. Mittaus toistetaan neljä kertaa samasta kohden ja suurin ja pienin arvo jätetään tuloksista pois. Tulokset syötetään Excel-taulukkoon L:/labra/work/rullamittaukset.

5. Työturvallisuus

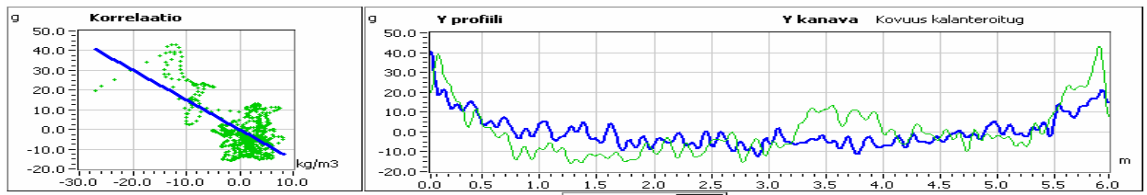
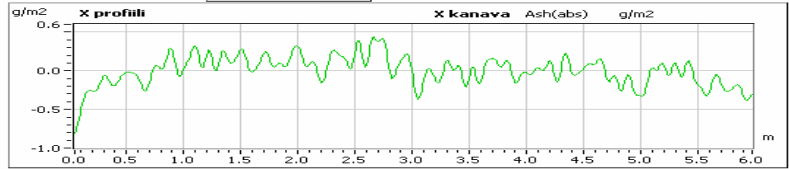
Neulan pää on terävä, älä koske. Varo liuskojen teräviä reunoja, sillä ne viiltävät helposti haavan ihoon. Varo liuskan mahdollista katkeamista tai äkillistä irtoamista rullasta. Suorita veto varoen ja varmista, että takanasi on riittävästi vapaata tilaa turvallisen vedon suorittamiseksi. Mattoveitsen käsittelyssä on käytettävä viiltosuojahanskoja ja oltava varovainen.





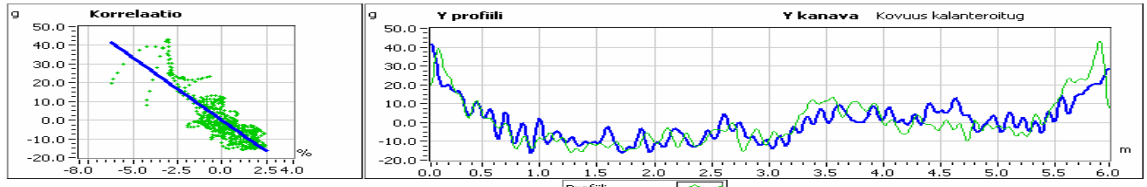
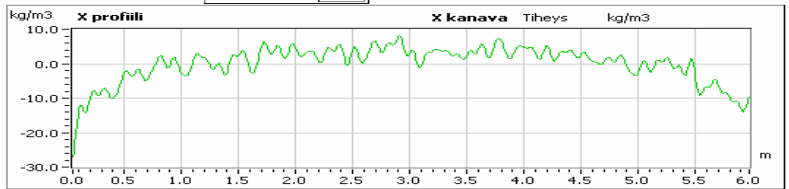
Korrelaatio
Korrelaatiokerroin -0.62
Sellitys 38 %
Kulmakerroin a -40.37 (g)/(g/m²)
Vakio b -0.0 g
Viive 0.0288 m
Laskettu

Analysiparametrit
Suodatintyyppi Alipäästösuodatus
Rajataajuudet 0.0 - 10.0 1/m
Inf - 100.0 mm
Analysointialue 0.048 - 5.980 m



Korrelaatio
Korrelaatiokerroin -0.65
Sellitys 42 %
Kulmakerroin a -1.51 (g)/(kg/m³)
Vakio b 0.0 g
Viive 0.0000 m
Laskettu

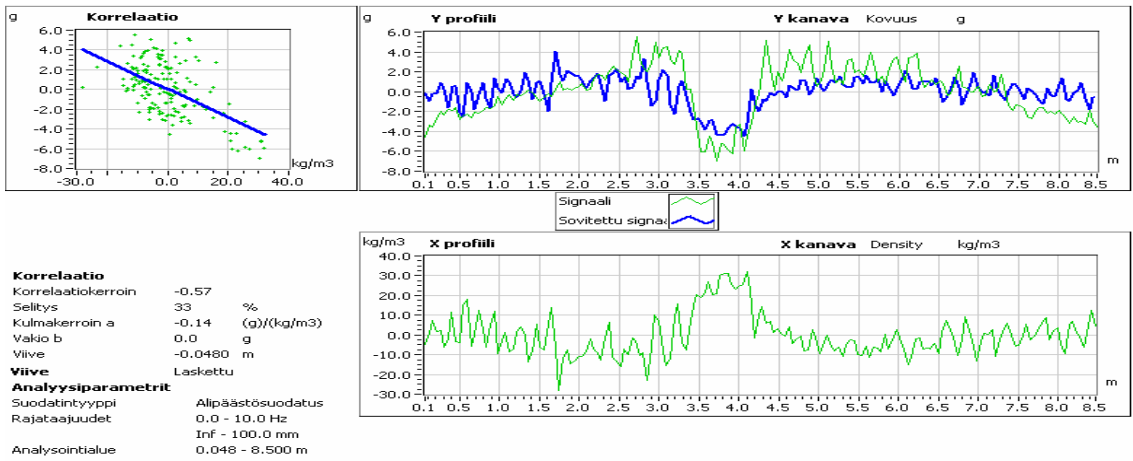
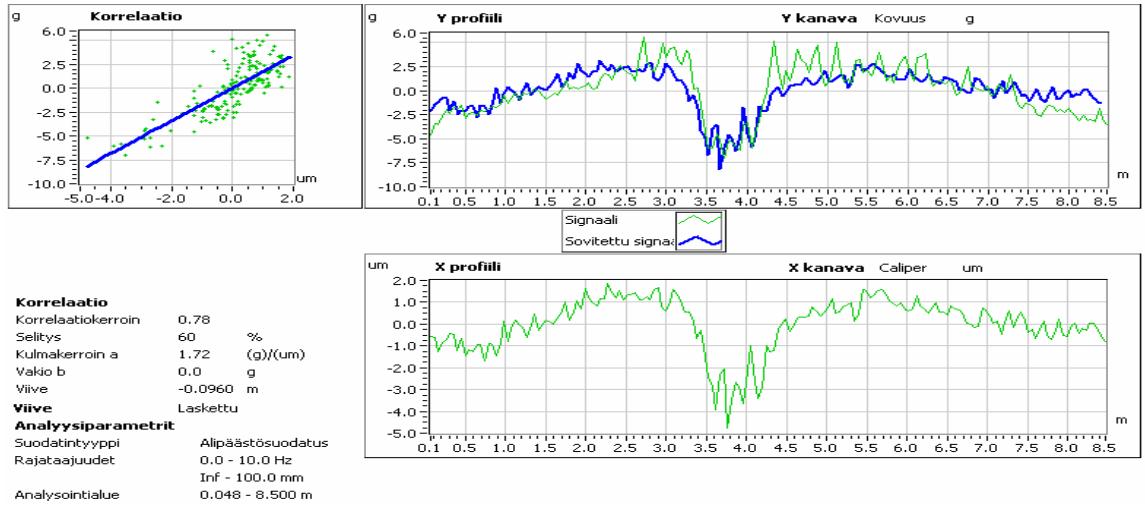
Analysiparametrit
Suodatintyyppi Alipäästösuodatus
Rajataajuudet 0.0 - 10.0 1/m
Inf - 100.0 mm
Analysointialue 0.048 - 5.980 m



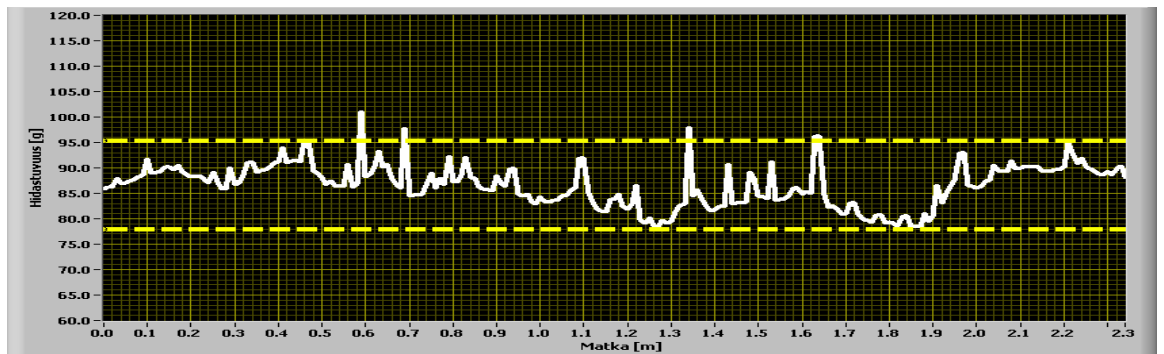
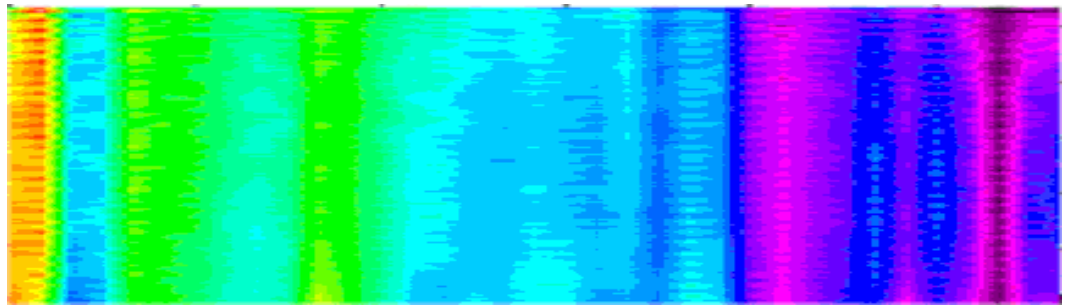
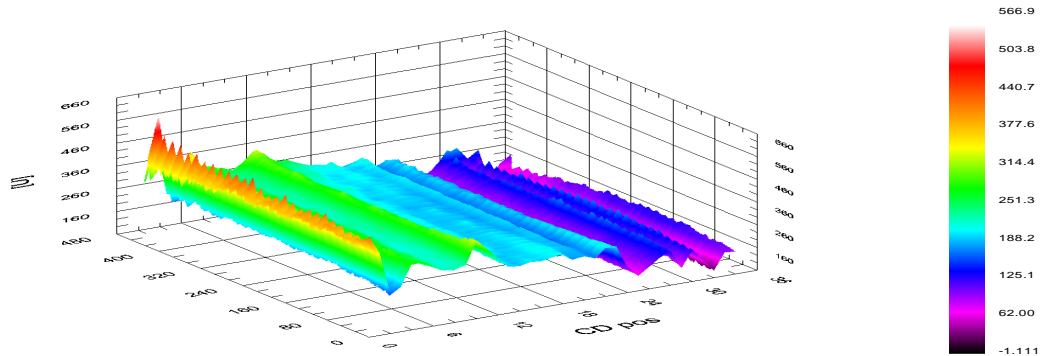
Korrelaatio
Korrelaatiokerroin -0.83
Sellitys 69 %
Kulmakerroin a -6.73 (g)/(%)
Vakio b 0.0 g
Viive 0.0000 m
Laskettu

Analysiparametrit
Suodatintyyppi Alipäästösuodatus
Rajataajuudet 0.0 - 10.0 1/m
Inf - 100.0 mm
Analysointialue 0.048 - 5.980 m

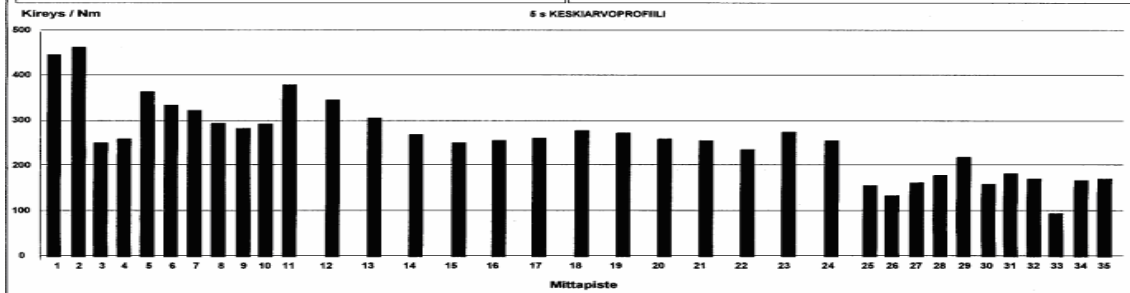




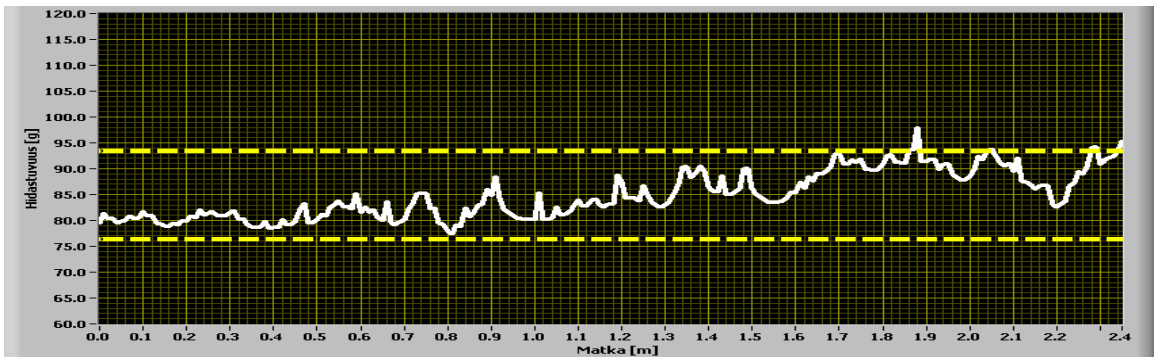
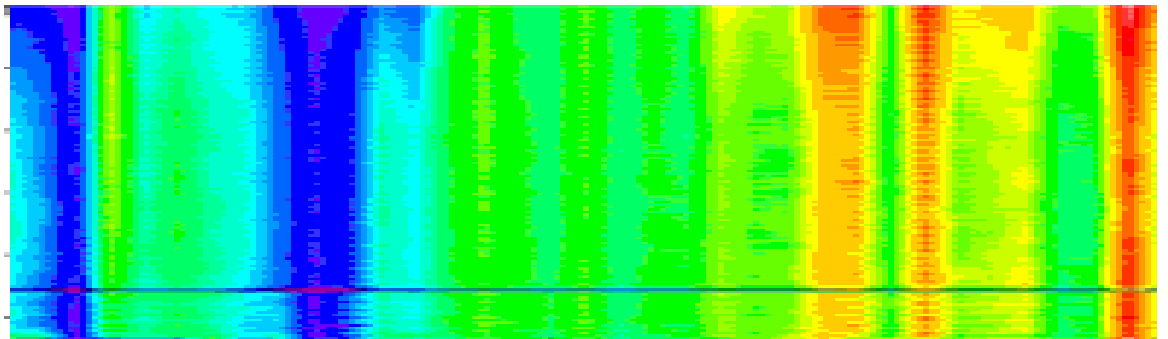
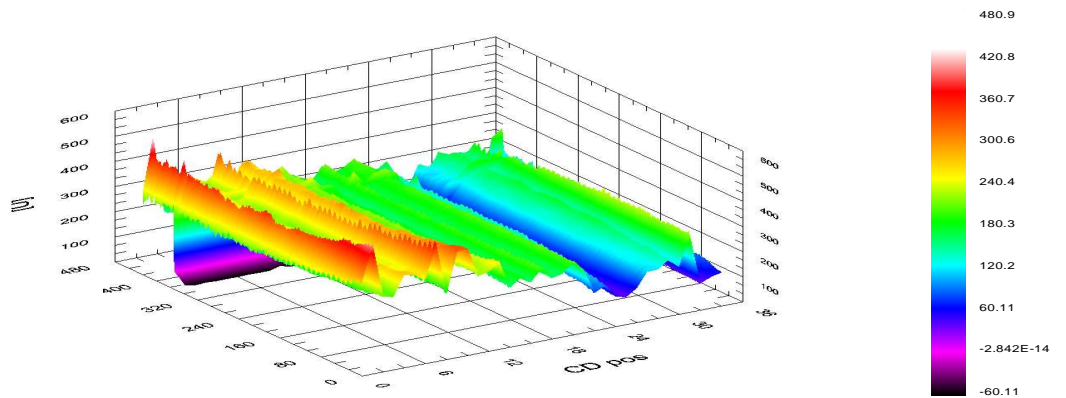
0.960



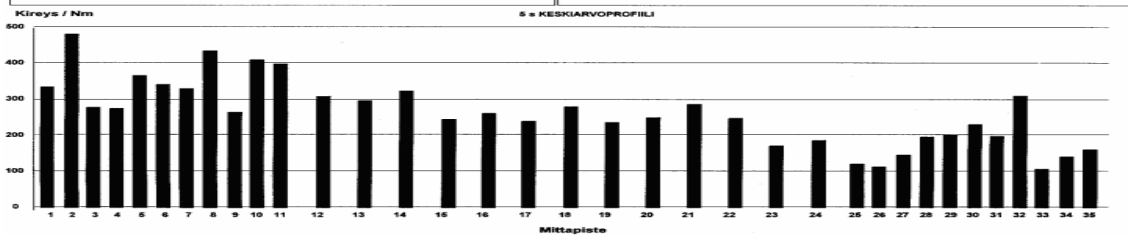
RULLAN TIEDOT		MITTAUKSEN TIETOJA	
Työnumero	207	Radan nopeus	10.27 m/s - 616 m/min
Ajonumero	0	Viim. rullanvaihto	15.08.2007,14:21:54
Paperin koodi		Viim. puhallus	15.08.2007 13:48:31
Paperin laji	0	Viim. kalibrointi	09.08.2007 14:38:50
Rullannumero			
Rullan paino	kg		
Nettopaino	g		
Rataleveys	0		
Rullatiedosto	d:\data\207_0.960	KA prof. määrä	42



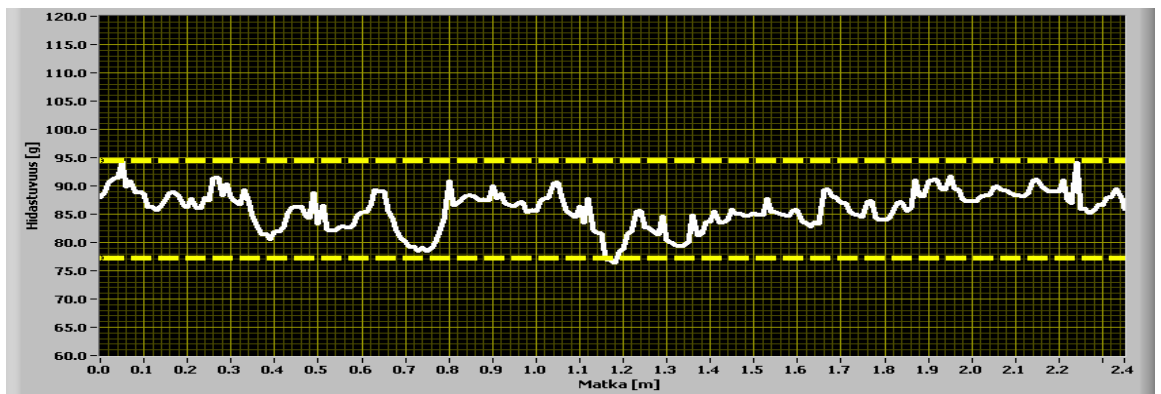
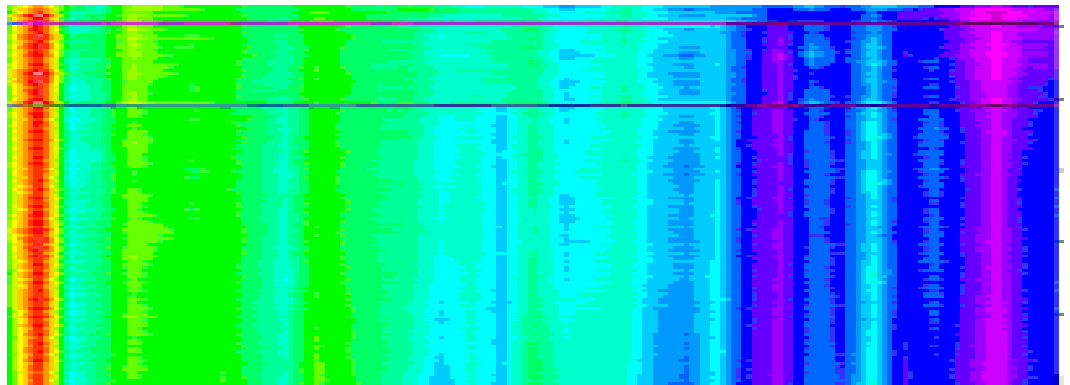
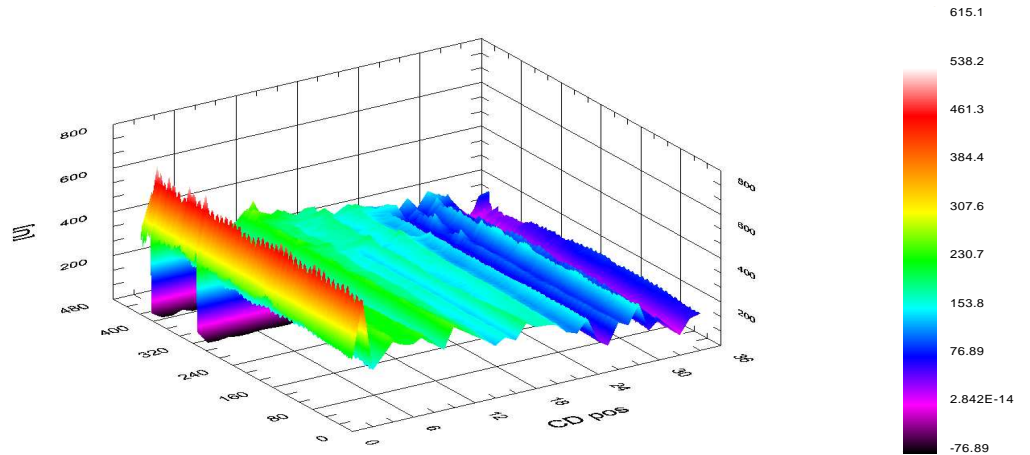
0.961



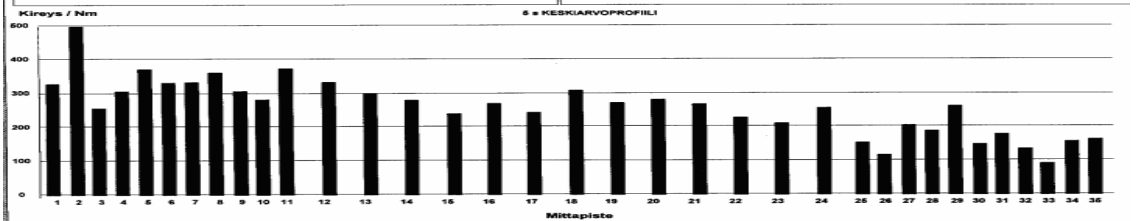
RULLAN TIEDOT		MITTAUKSEN TIEDOJA	
Työnumero	207	Radan nopeus	10.30 m/s - 618 m/min
Ajonumero	0	Vim. rullanvaihto	15.08.2007,15:02:46
Paperin koodi	0	Vim. puhallus	15.08.2007,13:45:31
Paperin taji	0	Vim. kalibrointi	09.08.2007,14:38:50
Rullanumero			
Rullan paino	0 kg		
Nettopaino	0 g		
Ratalevyys	0		
Rullatiedosto	d:\data\207_0.961	KA prof. määrä	60



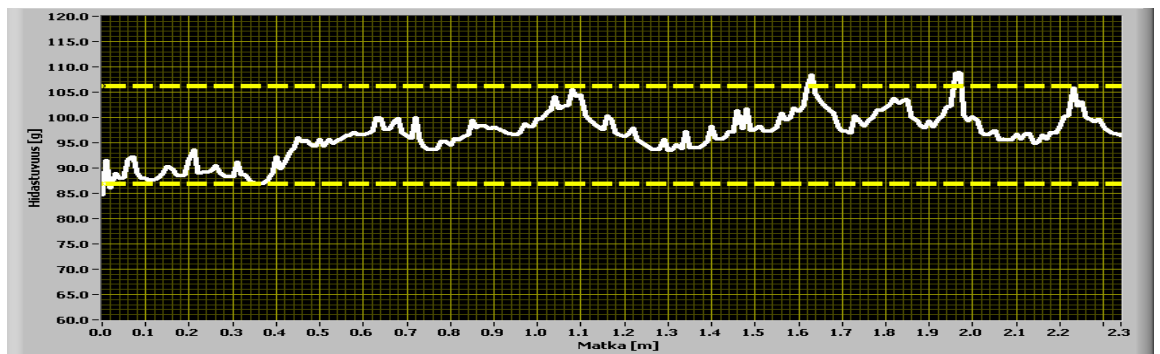
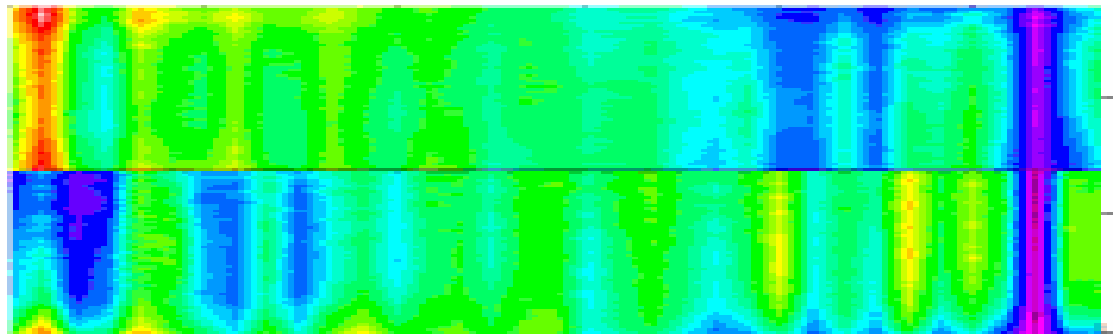
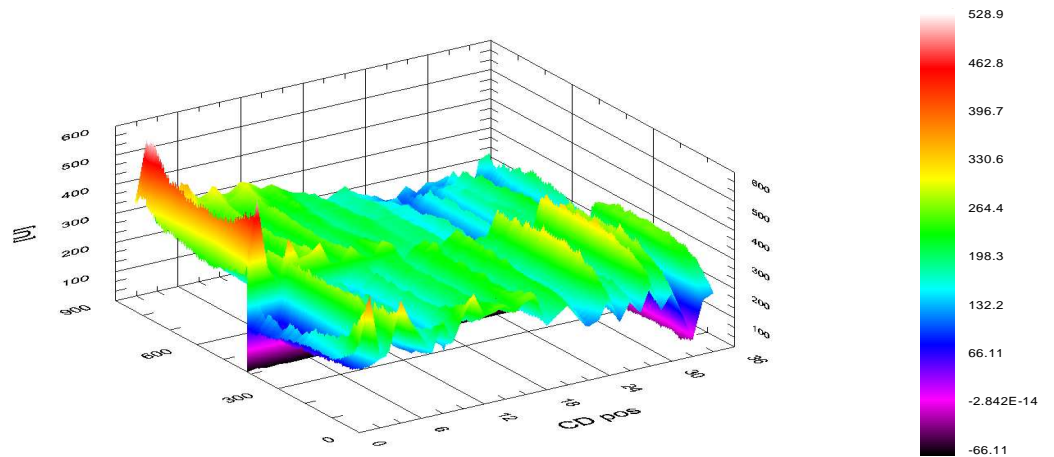
0.962



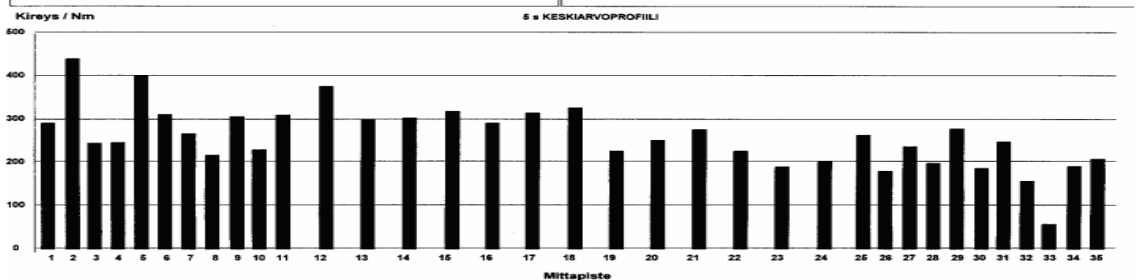
RULLAN TIEDOT		MITTAUKSEN TIEDOJA	
Työnumero	207	Radan nopeus	10.25 m/s - 617 m/min
Ajonumero	0	Vilm. rullinvalhto	16.08.2007 16:57:17
Paperin koodi		Vilm. puhallus	16.08.2007 16:37:43
Paperin laji	0	Vilm. kalibrointi	09.08.2007 14:38:50
Rullan numero			
Rullan paino	kg		
Neilöpaino	g		
Rataveveys	g		
Rullatiedoato	d:\data\V207_0.962	KA prof. määrä	16



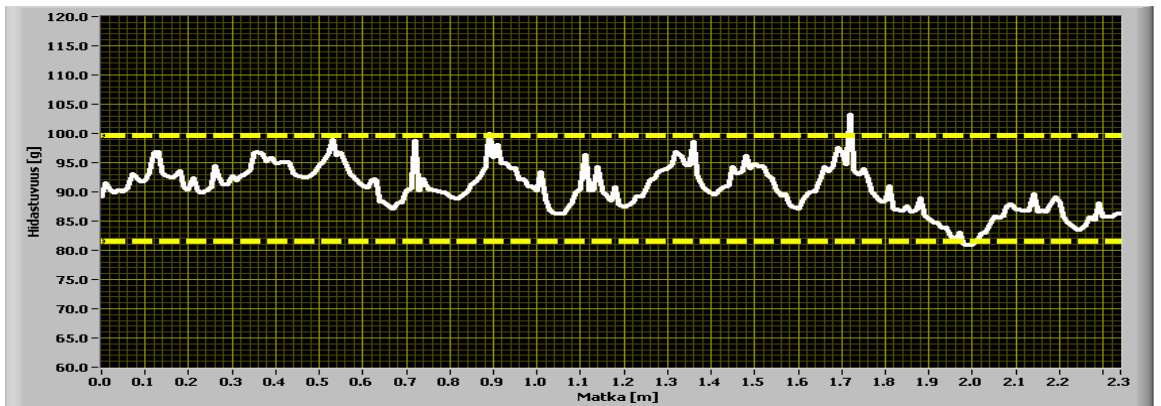
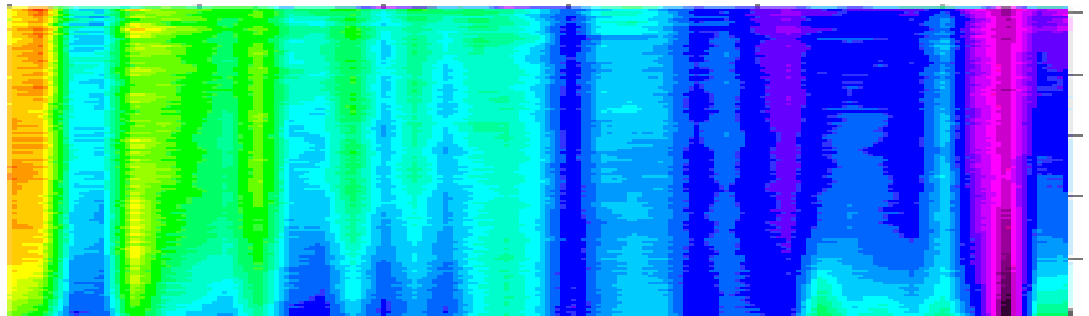
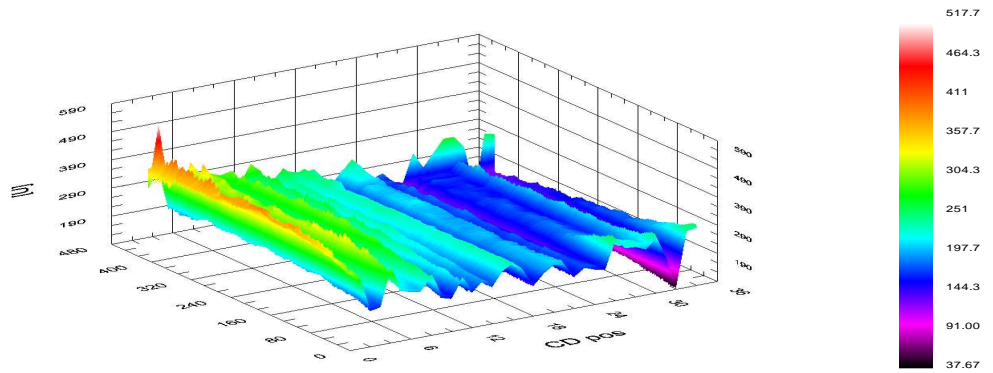
0.963



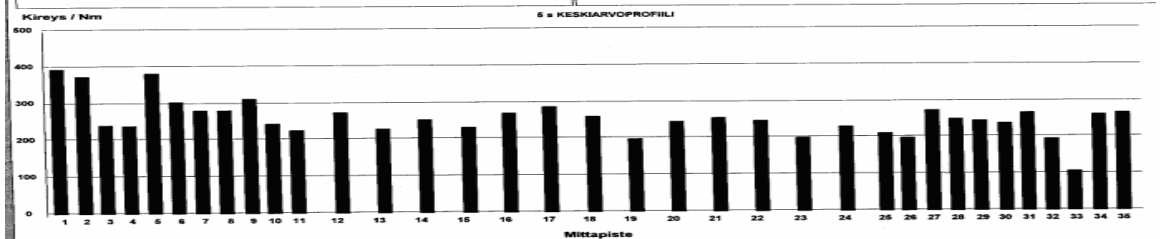
RULLAN TIEDOT		MITTAUKSEN TIEDOJA	
Työnumero	207	Radan nopeus	8.88 m/s 533 m/min
Ajonumero	0	Viim. rullanvaihto	15.08.2007 17:02:01
Paperin koodi		Viim. puhallus	15.08.2007 16:52:56
Paperin laji	0	Viim. kalibrointi	09.08.2007 14:38:50
Rullanumero			
Rullan paino	kg		
Neliöpaino	g		
Rataleveys	0		
Rullatiedosto	d:\data\I207_0.963	KA prof. määrä	6



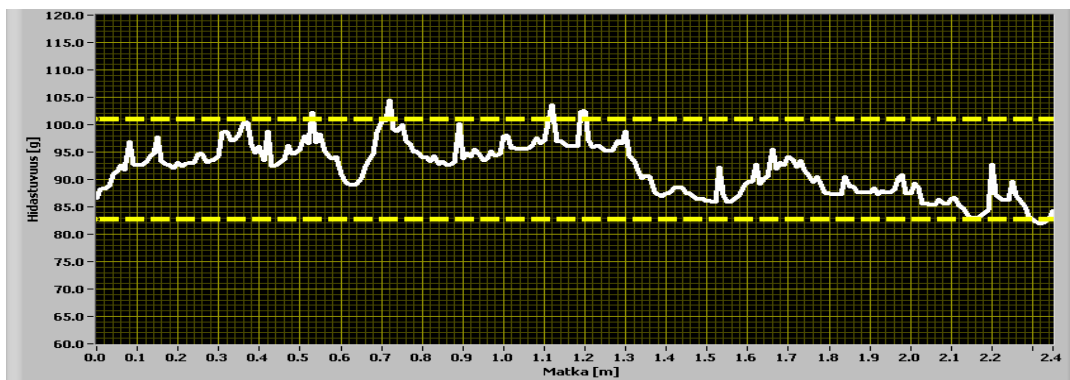
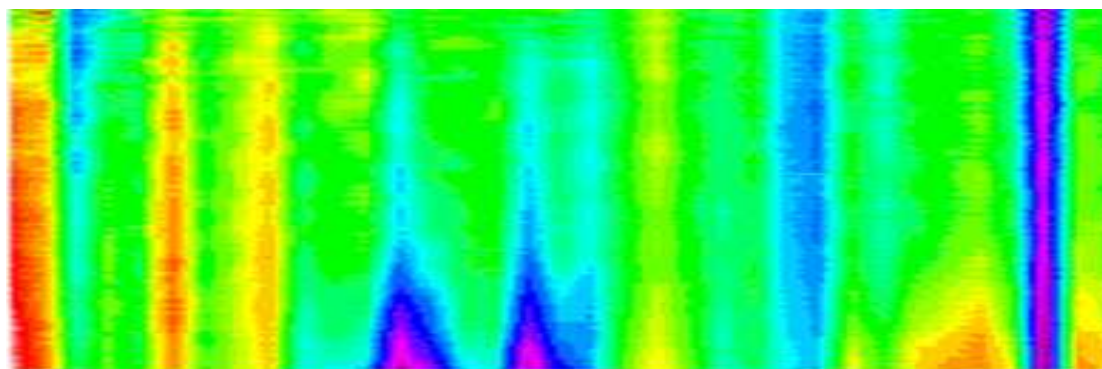
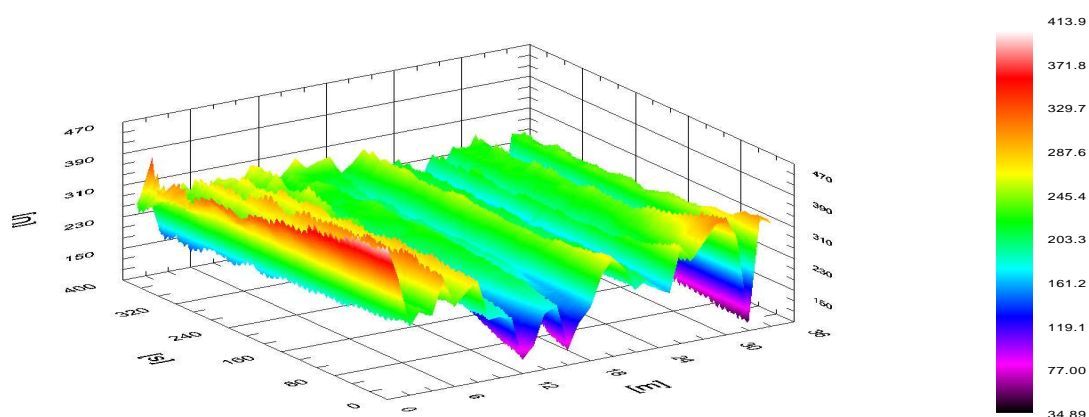
0.964



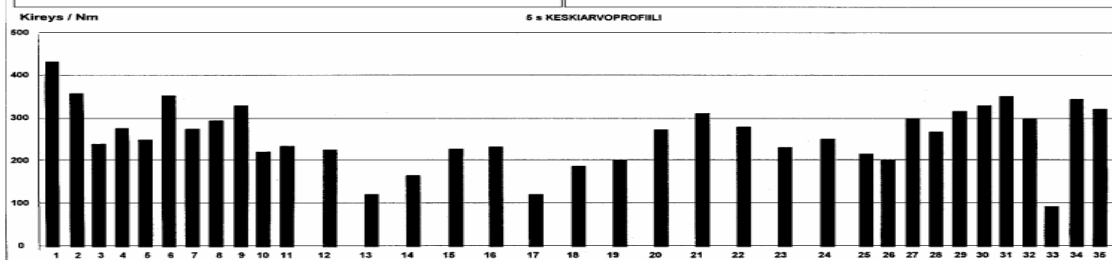
RULLAN TIEDOT		MITTAUKSEN TIETOJA	
Työnumero	207	Radan nopeus	10.88 m/s 639 m/min
Ajonumero	0	Viim. rullanvaihto	15.08.2007 18:47:56
Paperin koodi		Viim. puhallus	15.08.2007 17:45:21
Paperin laji	0	Viim. kalibrointi	09.08.2007 14:38:50
Rullanumero			
Rullan paino	kg		
Nelliöpaino	g		
Taliteveys	0		
Rullatiedosto	d:\data\V207_0.964	KA prof. määrä	64

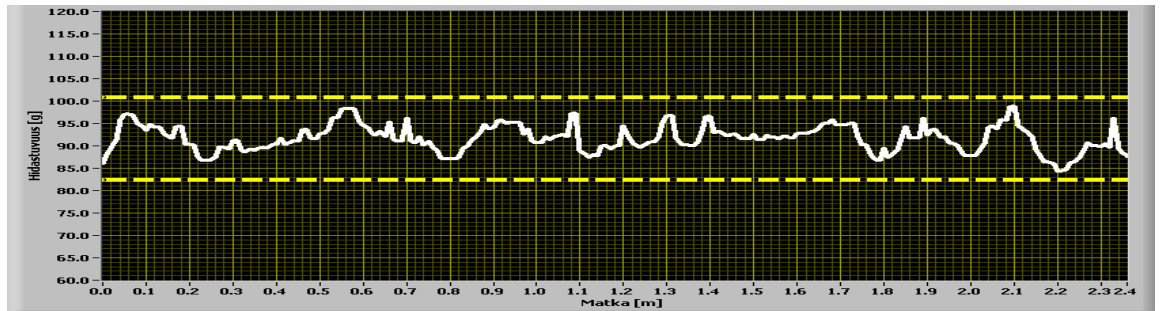


0.965

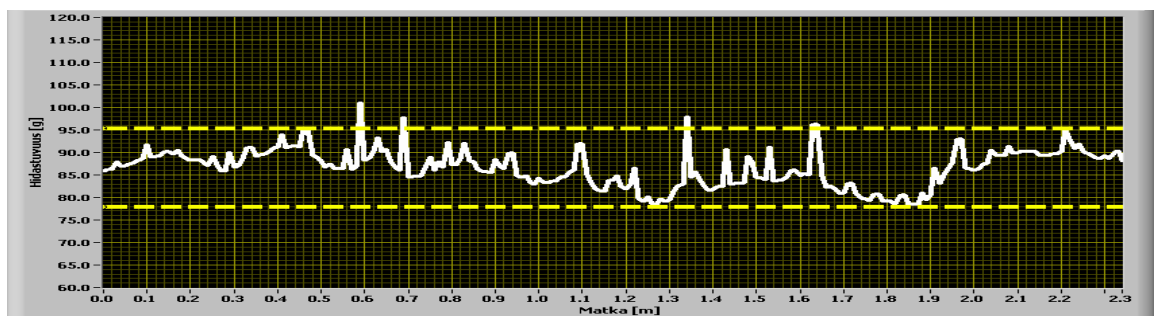


RULLAN TIEDOT		MITTAUKSEN TIETOJA	
Työnumero	207	Radan nopeus	11.51 m/s . 691 m/min
Ajonumero	0	Viim. rullanvaihto	15.08.2007,19:26:46
Paperin koodi		Viim. puhallus	15.08.2007 17:41:31
Paperin laji	0	Viim. kalibrointi	09.08.2007 14:38:50
Rullanumero			
Rullan paino	kg		
Nettopaino	g		
Ratalevyys	0		
Rullatiedosto	d:\data\V207_0.965	KA prof. määrä	23

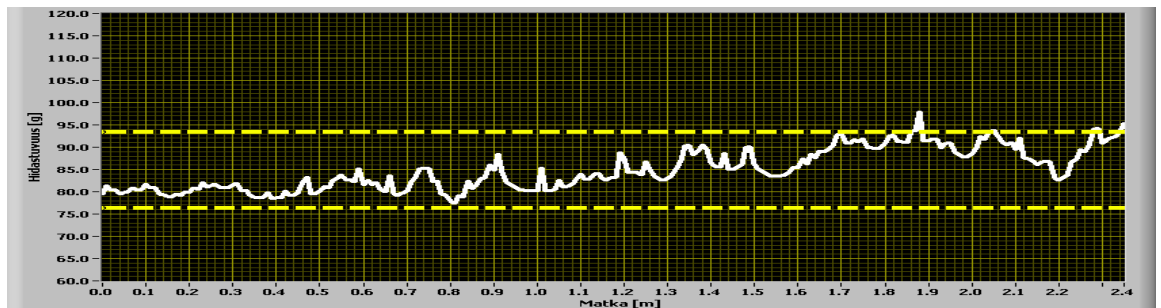




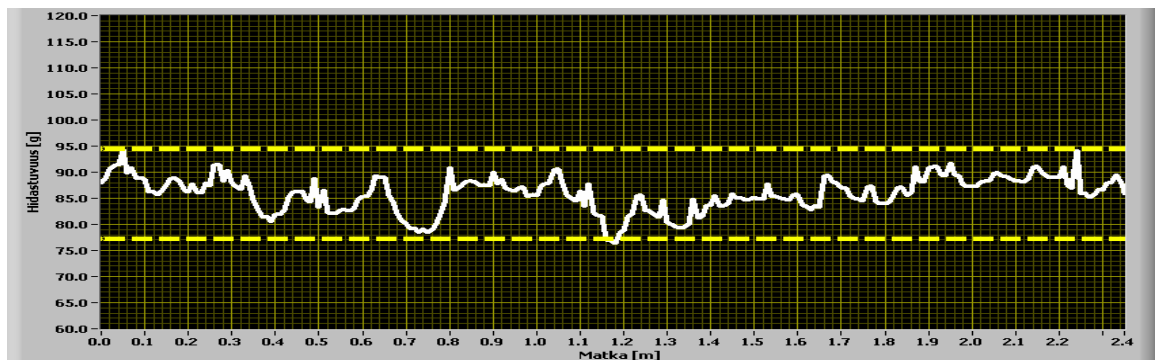
Rullanumero 23277112 kulki painossa hyvin.



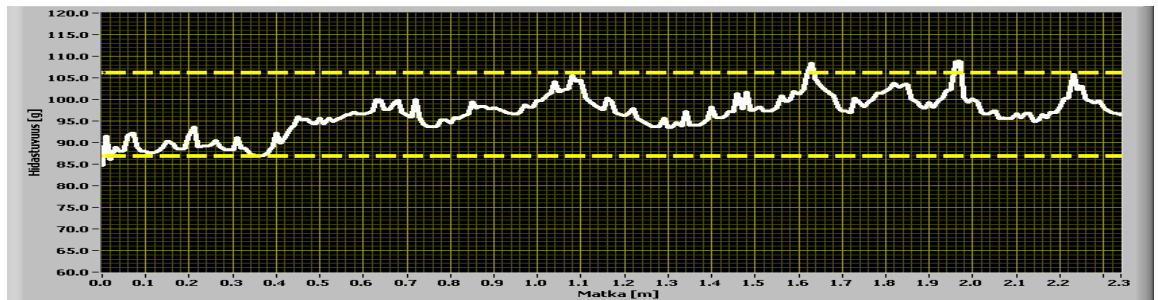
Rullanumero 22417011 kulki painossa hyvin.



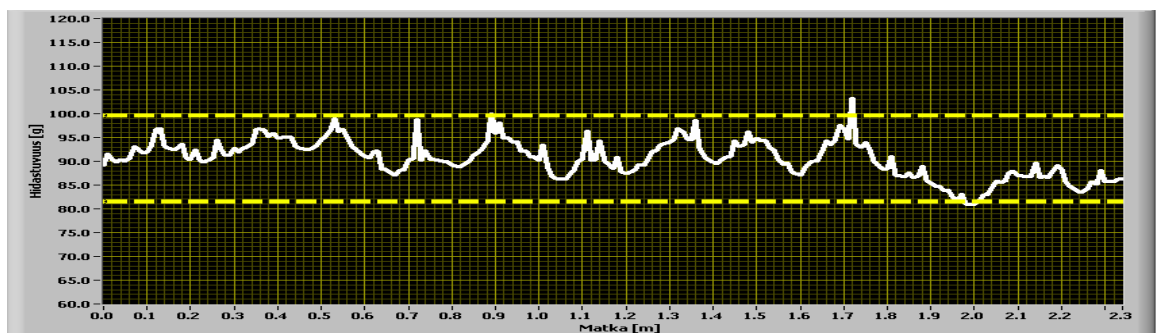
Rullanumero 23275812 kulki painossa hyvin.



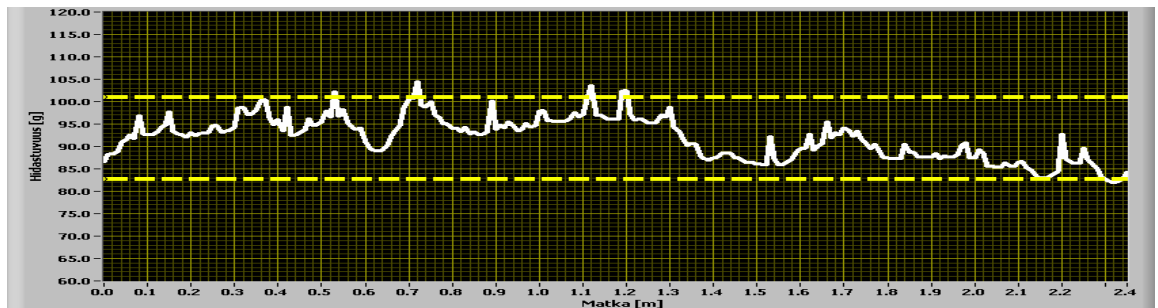
Rullanumero 23276011 kulki painossa hyvin.



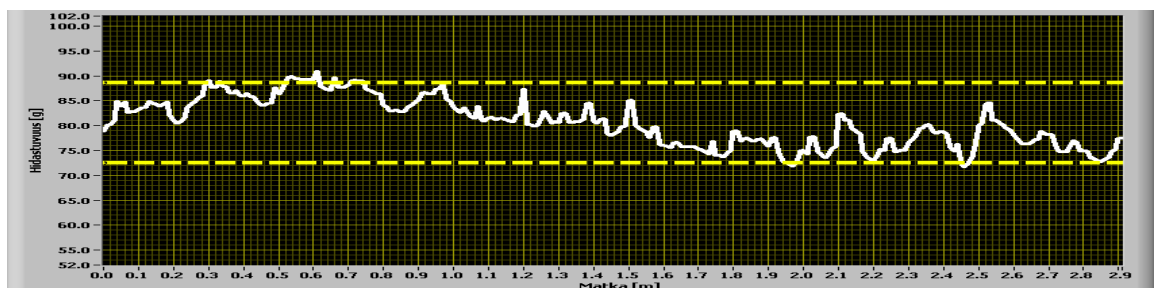
Rullanumero 23275122 kulki painossa hyvin.



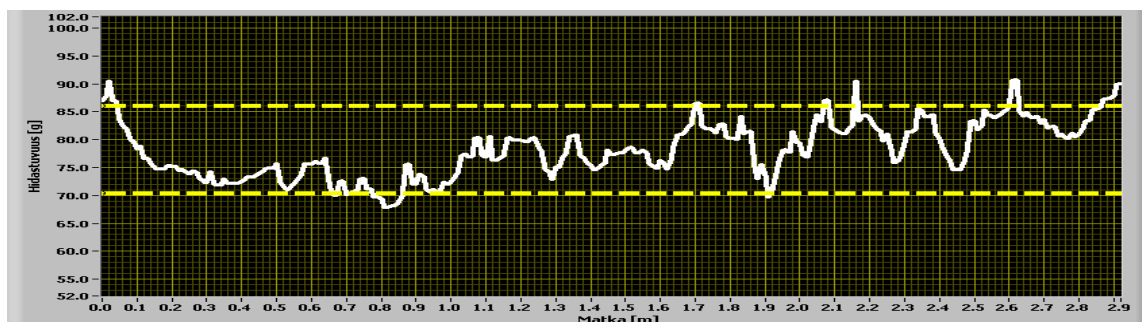
Rullanumero 23277032 kulki painossa hyvin.



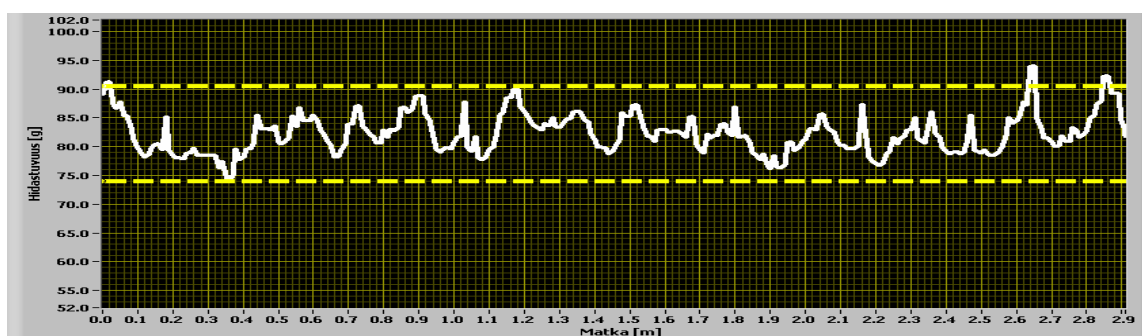
Rullanumero 23276212 kulki painossa hyvin.



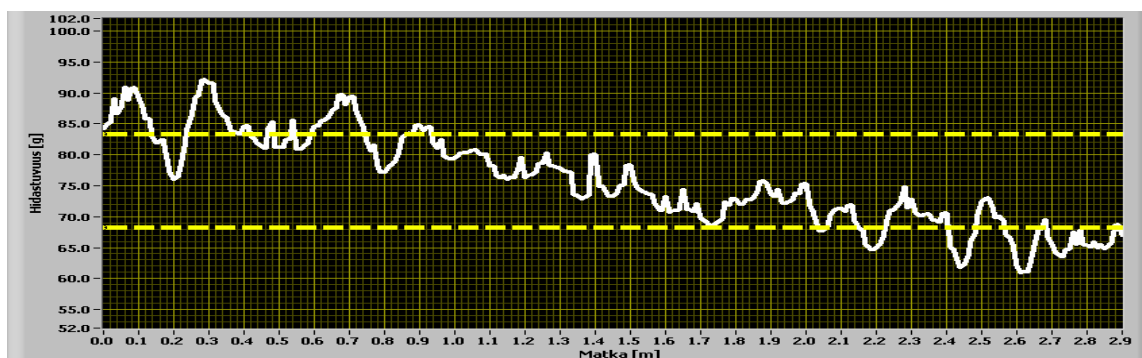
Rullanumero 23279611 kulki painokoneessa ilman ongelmia.



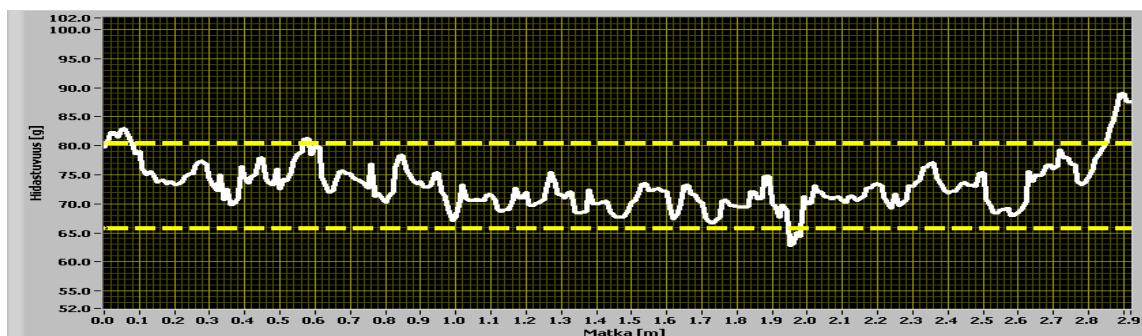
Rullanumero 23301312 katkesi painokoneella.



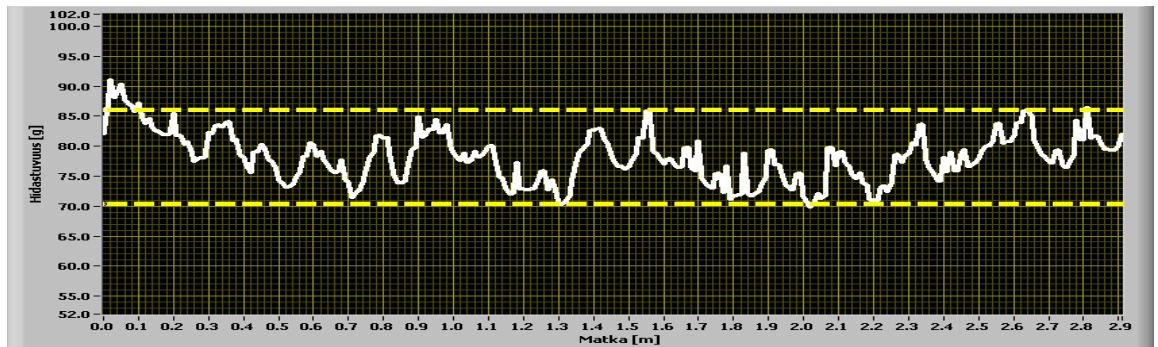
Rullanumero 23423612 katkesi painokoneella.



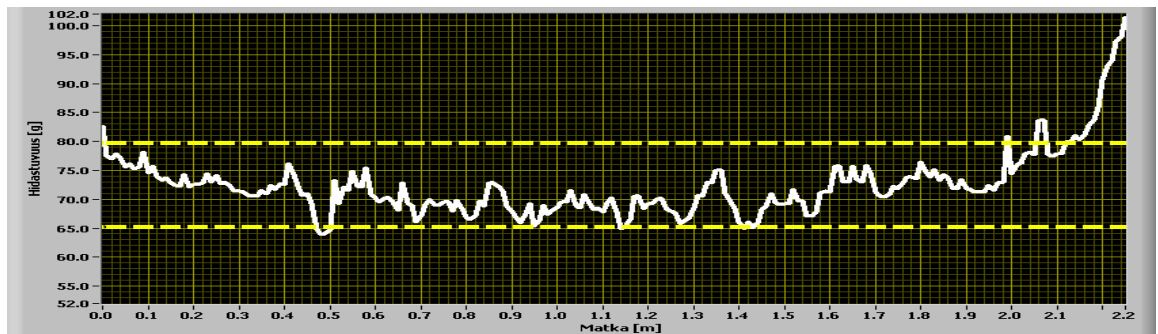
Rullanumero 23301221 kulki porkkanamaisuudesta huolimatta hyvin.



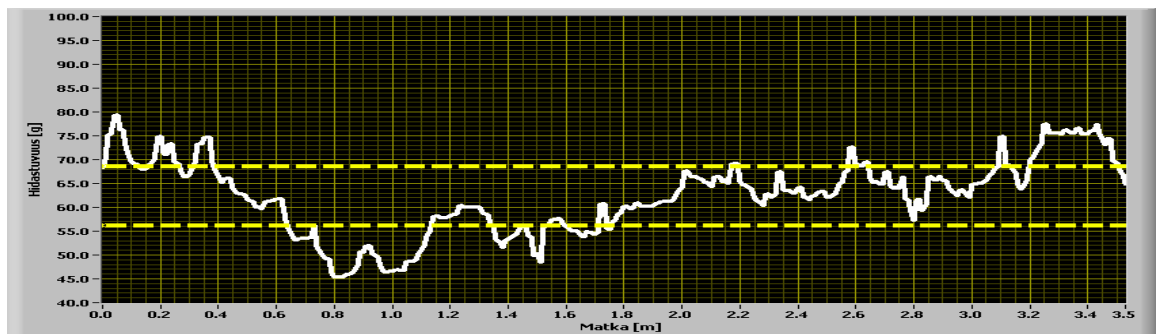
Rullanumeron 23547612 painaja hylkäsi huonon ajettavuuden takia.



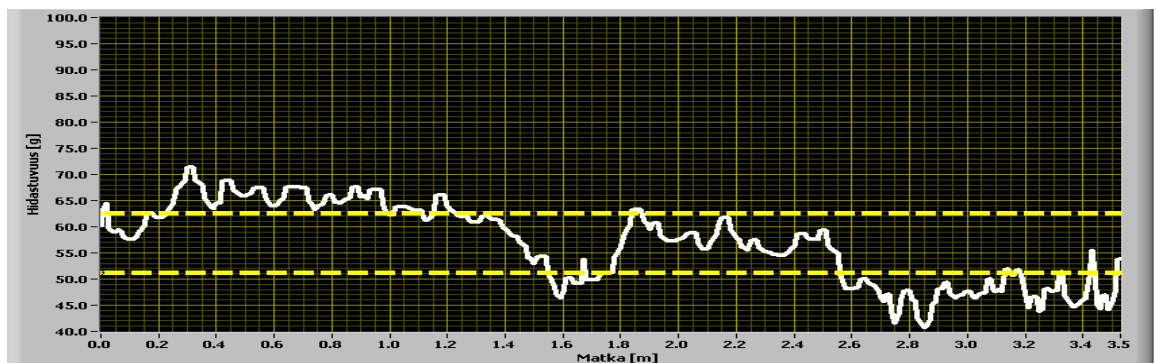
Rullanumeron 23425911 painaja hylkää huonon ajettavuuden takia.



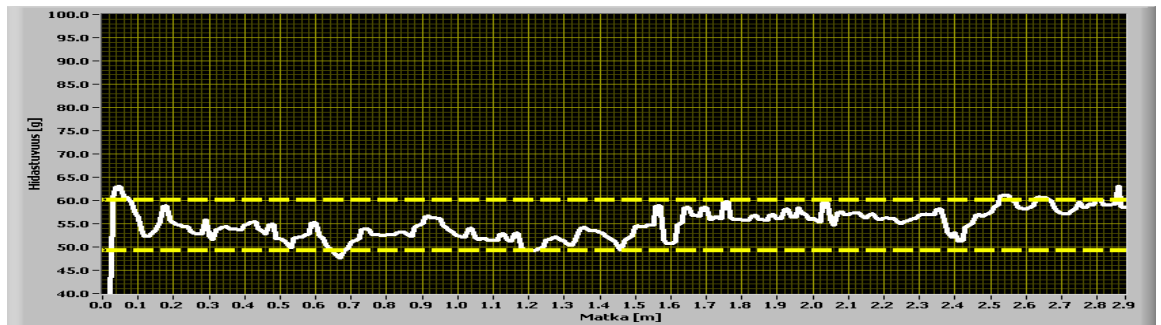
Rullanumeron 23395822 painaja hylkää huonon ajettavuuden takia.



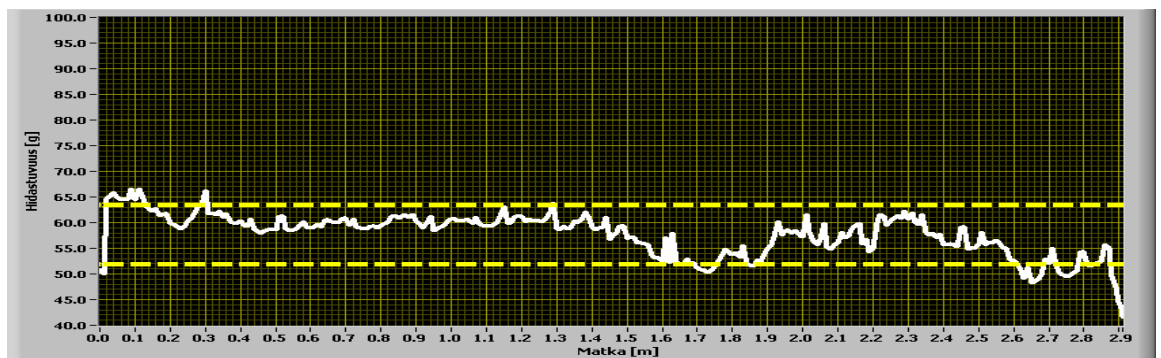
Rullanumero 23282613 katkesi painokoneella neljä kertaa.



Rullanumero 23281413 aiheutti kaksi katkoa.



Rullanumero 23784322 kulki painossa hyvin.

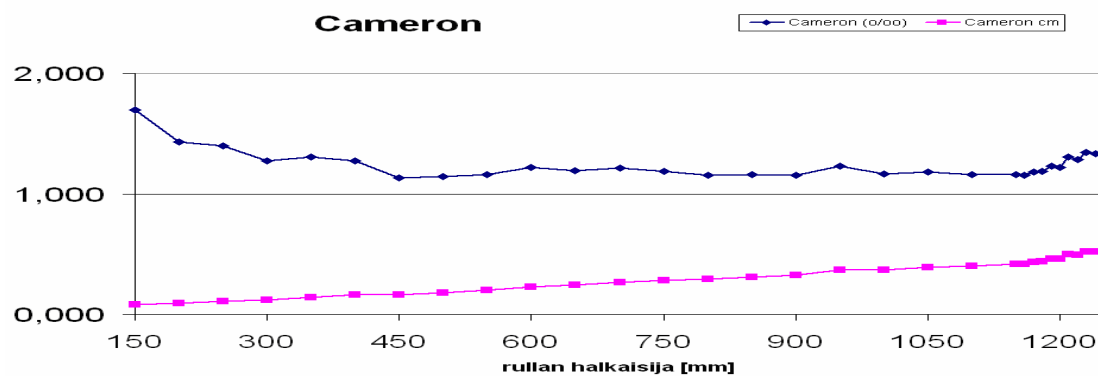
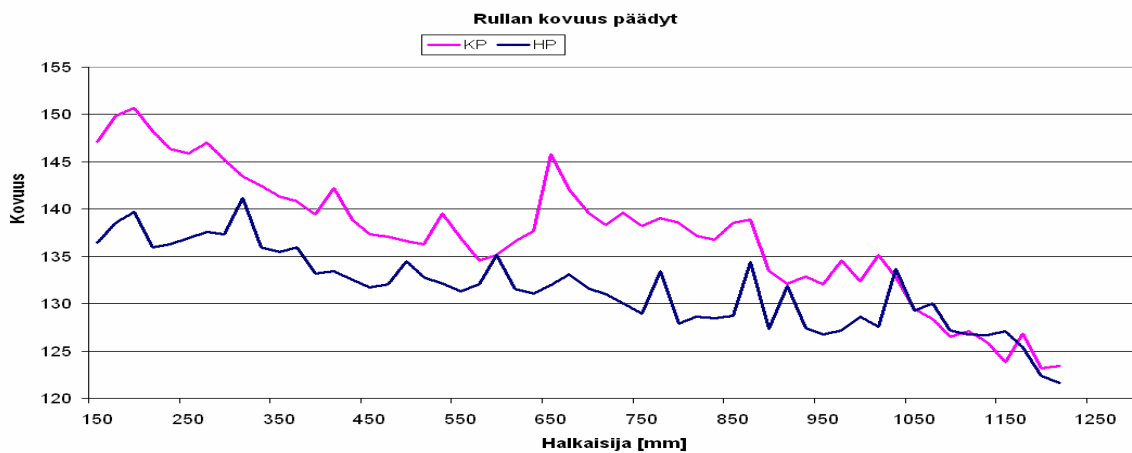
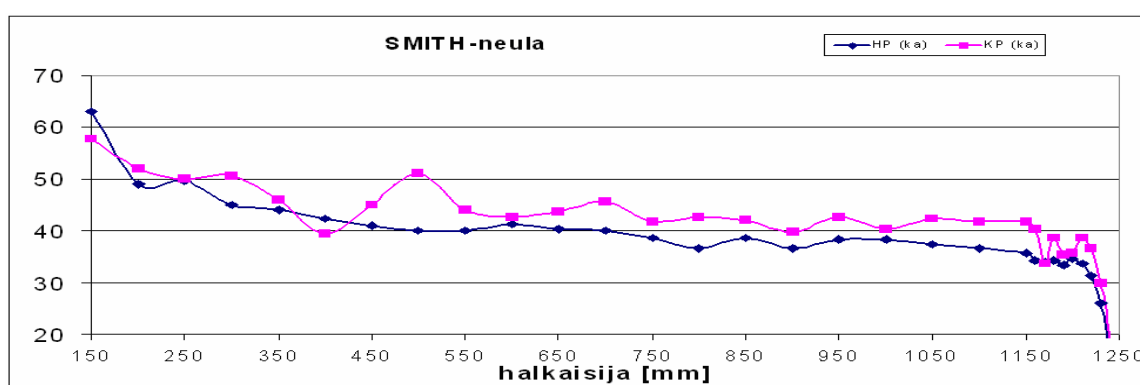


Rullanumero 23781621 kulki painossa hyvin.

PK4
PULL-TAB
 PL 41
 3.4.2007
 4535400
 muutto 2(3)

Pull-tab arvo

	Hoitopuoli1	Hoitopuoli2	Hoitopuoli (ka)	Käyttöpuoli1	Käyttöpuoli2	Käyttöpuoli (ka)
Rulla 4	111	85	<u>98,0</u>	118	114	<u>116,0</u>
Rulla 5	118	113	<u>115,5</u>	131	108	<u>119,5</u>
Rulla 6	135		<u>135,0</u>	112	112	<u>112,0</u>

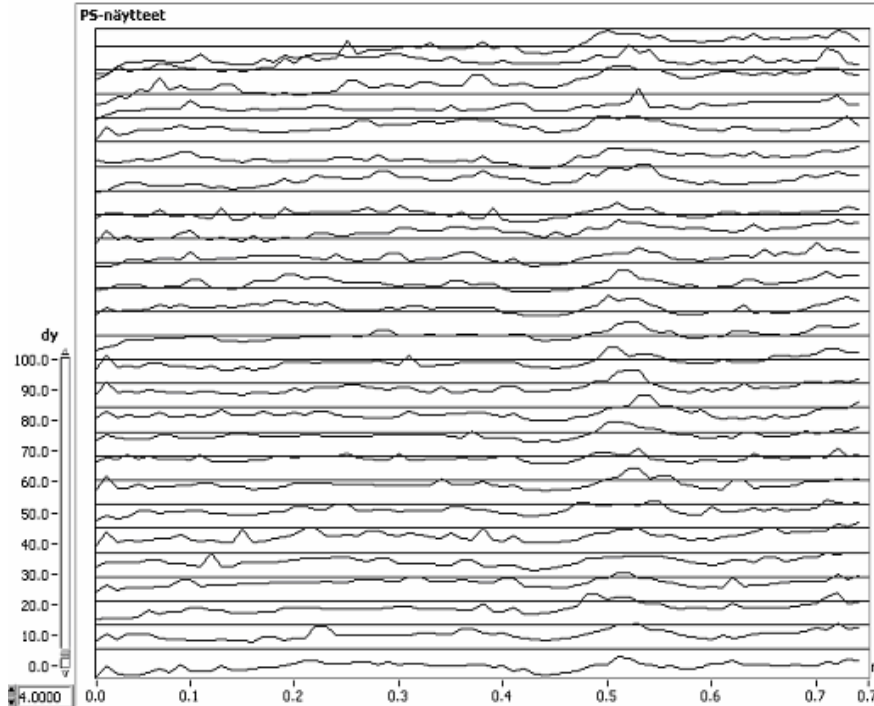


Kaikki näytteet

24.04.2007 13:04:44

Tiedosto c:\dj\4531678.pk6 20.04.2007 15:10

Kanava Kovuus g



	Ko	Haj	Max	Min
26	48.63	2.14	51.97	44.69
25	51.02	0.87	53.65	47.83
24	51.32	1.52	53.93	47.76
23	51.25	0.73	54.32	49.18
22	51.99	0.81	53.66	49.86
21	50.82	0.80	52.71	49.12
20	51.19	0.94	53.66	49.19
19	49.59	0.67	51.37	48.29
18	50.57	0.93	52.61	48.68
17	50.33	0.76	52.81	48.71
16	50.04	0.84	52.19	48.54
15	49.94	0.78	52.03	48.60
14	49.41	0.86	51.63	47.00
13	49.00	0.92	51.46	47.56
12	48.67	0.88	51.69	47.59
11	48.41	0.82	51.53	47.30
10	48.88	0.67	51.04	47.70
9	49.05	0.52	50.72	48.17
8	48.74	0.74	51.42	47.74
7	48.47	0.72	50.08	46.72
6	48.20	0.84	50.30	46.72
5	47.99	0.66	49.35	46.55
4	48.45	0.63	50.00	46.98
3	48.23	0.88	50.60	46.28
2	47.81	0.77	49.75	46.64
1	46.54	0.71	48.14	44.85

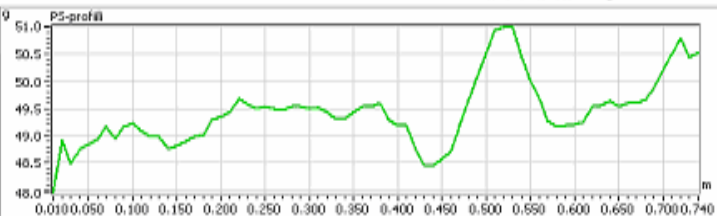
Varianssikomponenttianalyysi (VKA)

24.04.2007 13:30

Tiedosto c:\dj\4531678.pk6 20.04.2007 15:10

Kanava Kovuus g

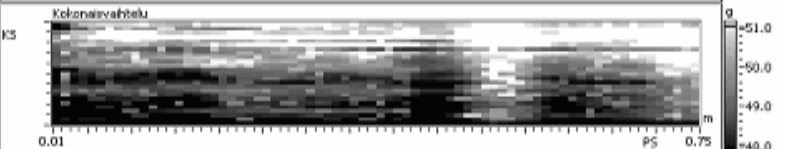
Keskisarvoprofiili
Yksittäisprofiili



Analyysiparametrit

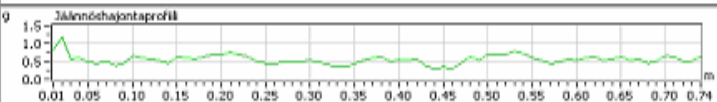
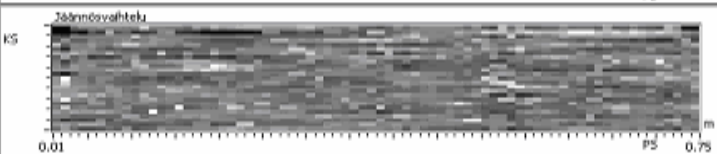
Suodatintyyppi Ei suodatusta
Analysointialue 0.010 - 0.750 m
PS-näytteet 1 - 25

KS-profiili



Komponentit

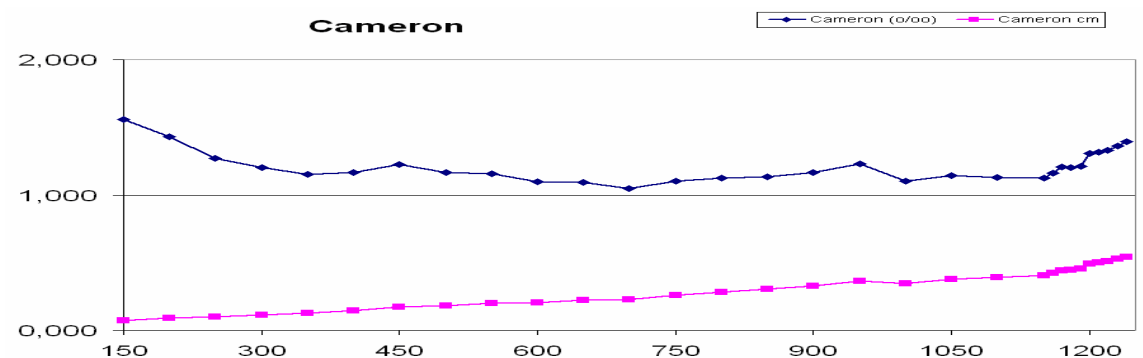
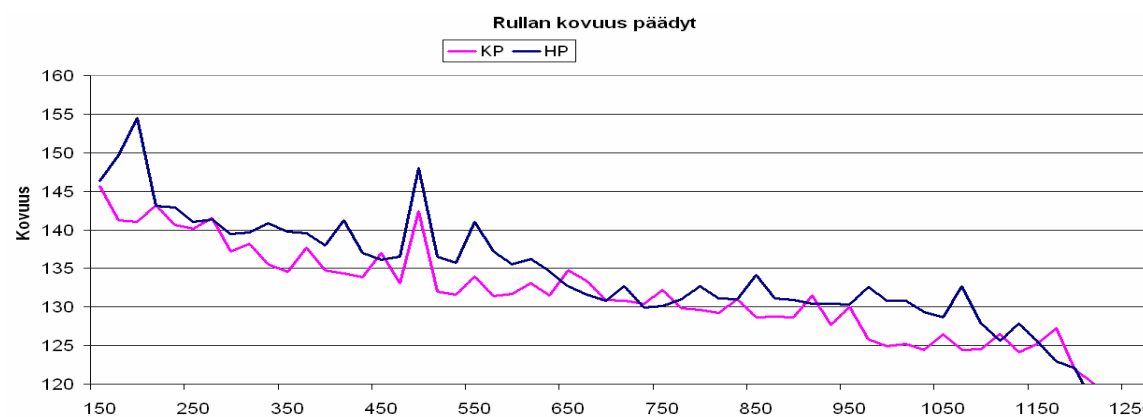
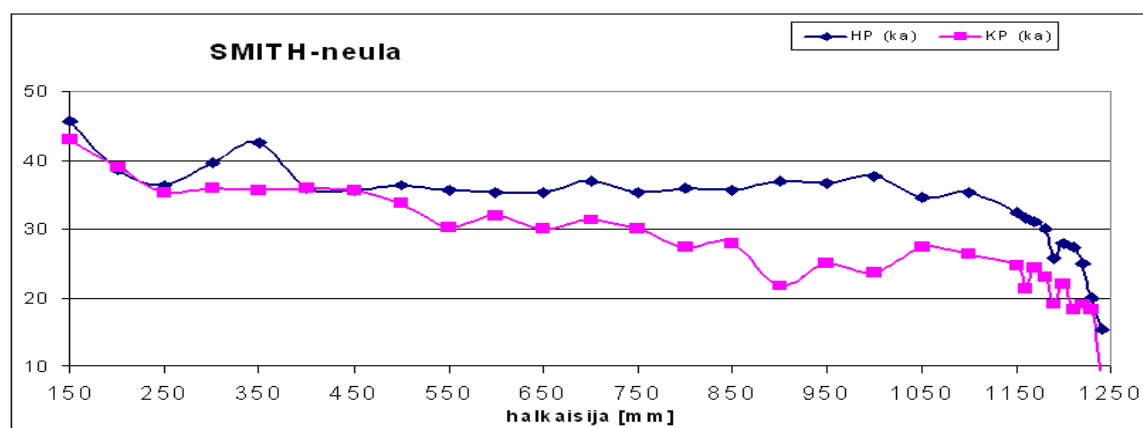
	Arvo g	Var.kerroin %	F-suhte
Keskiarvo	49.44	100.00	
Kokonaishajonta	1.57	3.17	
PS-hajonta	0.60	1.22	1.17
KS-hajonta	1.36	2.75	5.71
Jäännöshajonta	0.57	1.15	



PK4 PL 42
PULL-TAB 27.8.2007
 4539967
 muutto 2(3)

Pull-tab arvo

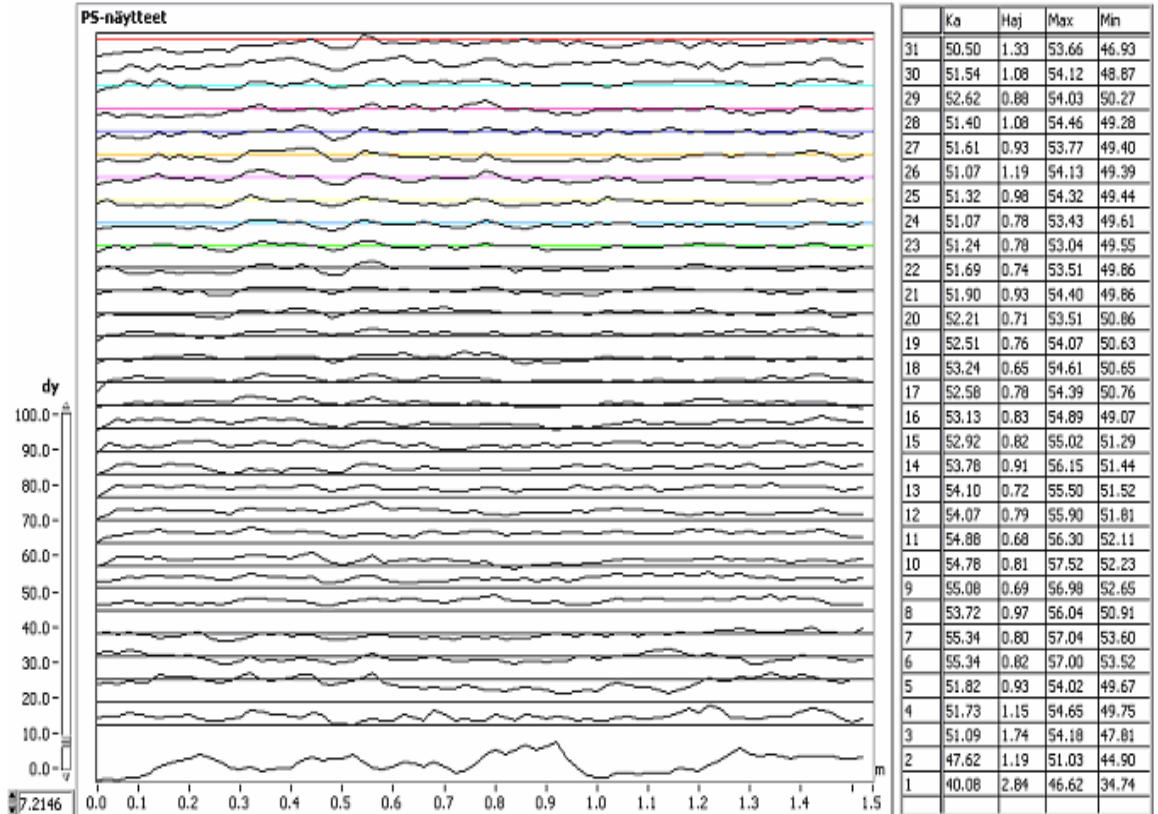
	Hoitopuoli1	Hoitopuoli2	Hoitopuoli (ka)	Käyttöpuoli1	Käyttöpuoli2	Käyttöpuoli (ka)
Rulla 2	73	57	65,0	89	69	79,0
Rulla 3	78	74	76,0	66	84	75,0
Rulla 4	105	72	88,5	49	70	59,5



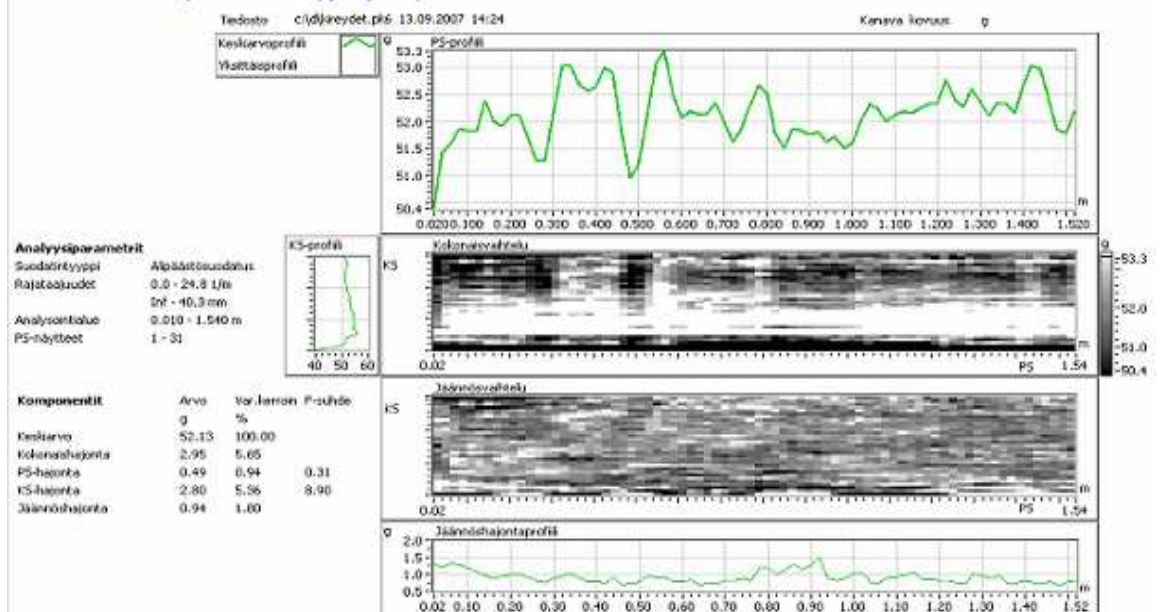


Tiedosto c:\d\kireydet.pk6 13.09.2007 14:24

Kanava kovuus g



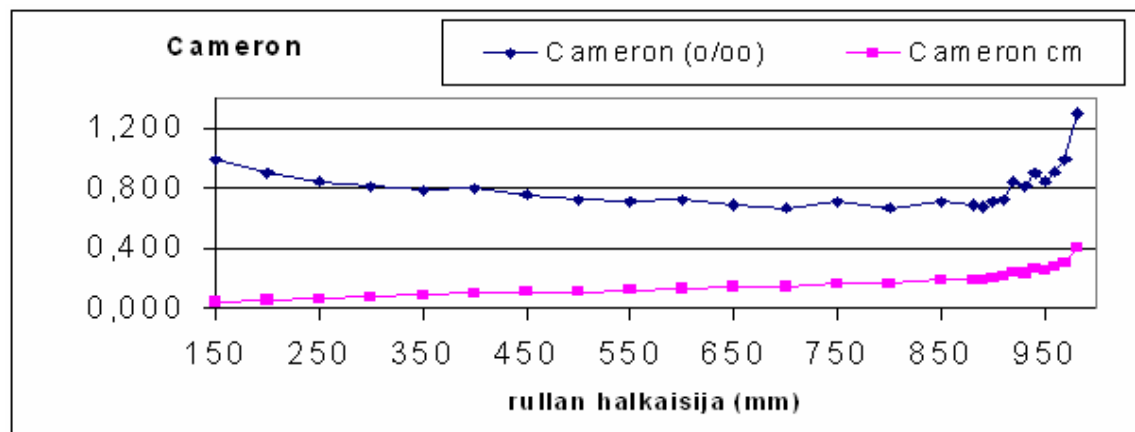
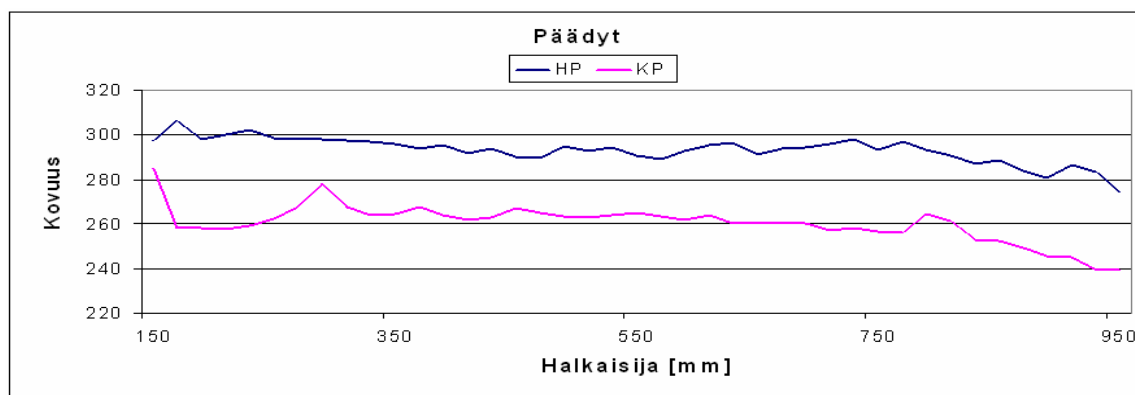
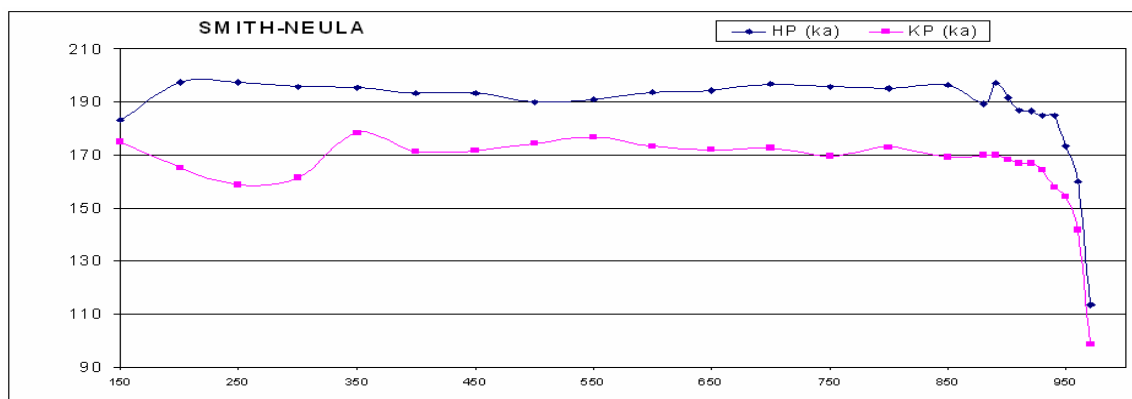
Varianssikomponenttianalyysi (VKA)



PK2 PL 21
 PULL-TAB 17.12.2007
 2536845K
 muutto 2

Pull-tab arvo

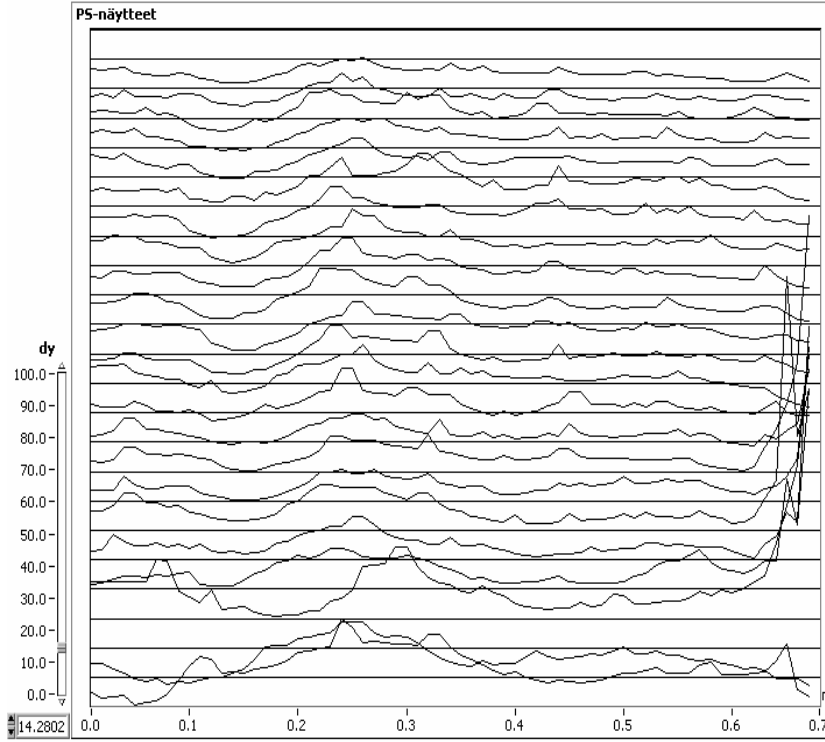
	Hoitopuoli1	Hoitopuoli2	Hoitopuoli (ka)	Käyttöpuoli1	Käyttöpuoli2	Käyttöpuoli (ka)
POSITIO 3	210	245	227,5	250	250	250
POSITIO 4	220	220	220	260		260
POSITIO 6		189	189	205	210	207,5





Tiedosto c:\d\rap_17_12_2007 meas_8_980mm.pk6

Kanava Kovuus g

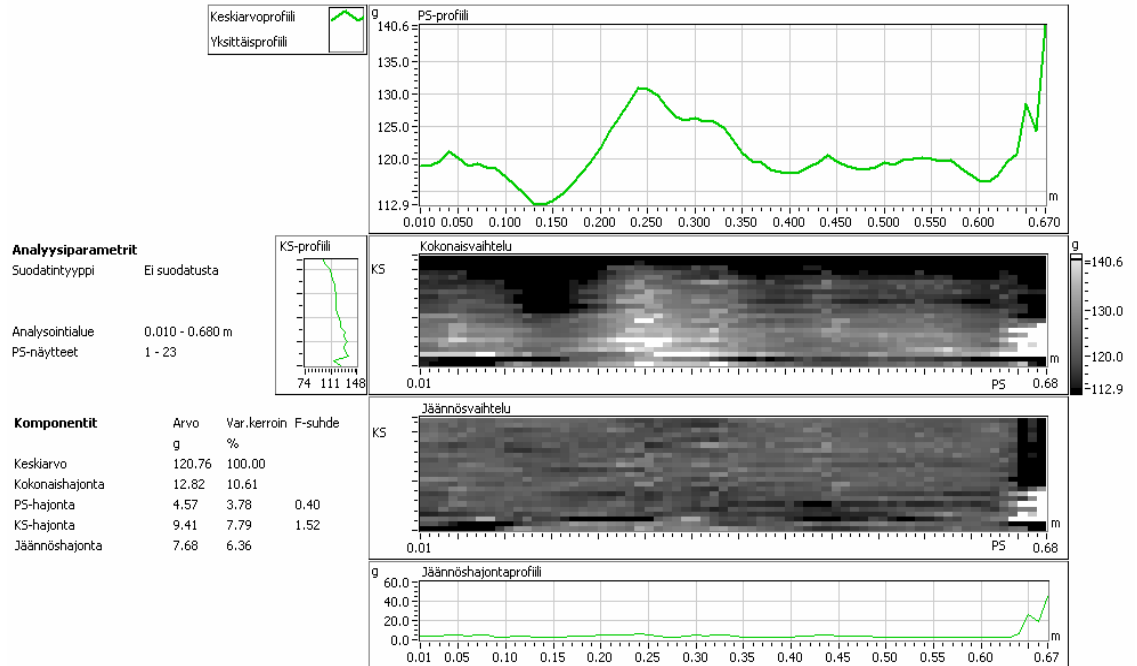


	Ka	Haj	Max	Min
23	99.96	2.88	107.60	94.91
22	103.29	2.96	114.17	98.36
21	109.55	4.56	120.15	100.47
20	112.35	3.77	120.78	105.13
19	114.36	3.84	125.63	106.13
18	117.55	5.43	132.07	108.51
17	117.36	5.07	130.26	105.87
16	118.06	4.67	134.02	107.94
15	118.31	5.26	133.98	110.24
14	117.97	6.37	133.55	108.19
13	119.11	4.93	131.72	108.11
12	120.13	5.48	134.78	111.00
11	123.96	5.49	139.30	109.53
10	124.69	5.03	142.21	116.92
9	125.78	5.30	155.60	119.13
8	131.19	16.08	245.12	120.93
7	129.44	9.11	195.37	121.03
6	134.24	16.95	244.12	123.88
5	130.17	13.77	234.07	121.71
4	132.11	13.35	218.13	122.36
3	137.00	18.57	249.02	121.85
2	115.62	7.79	133.66	102.52
1	125.35	9.19	148.82	107.43



Tiedosto c:\d\rap_17_12_2007 meas_8_980mm.pk6

Kanava Kovuus g

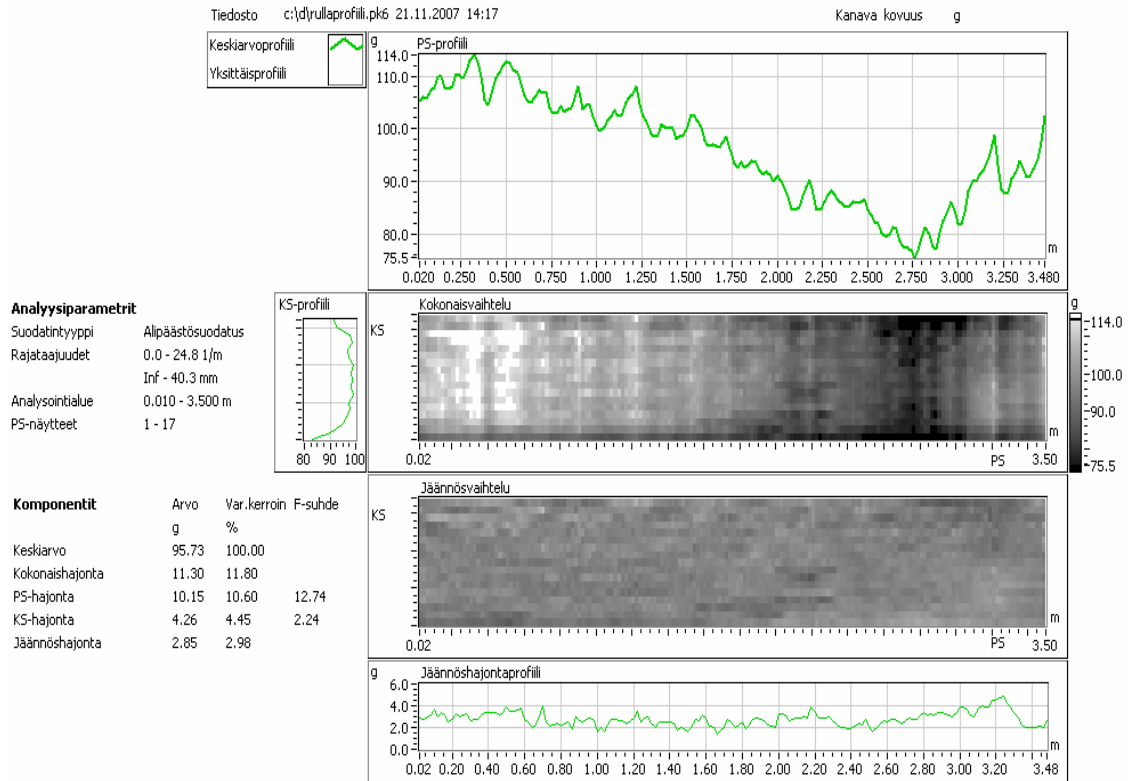


Analysiparametrit
 Suodatintyyppi Ei suodatusta
 Analysointialue 0.010 - 0.680 m
 PS-näytteet 1 - 23

Komponentit	Arvo	Var.kerroin	F-suhde
	g	%	
Keskiarvo	120.76	100.00	
Kokonaishajonta	12.82	10.61	
PS-hajonta	4.57	3.78	0.40
KS-hajonta	9.41	7.79	1.52
Jäännöshajonta	7.68	6.36	

Varianssikomponenttianalyysi (VKA)

22.11.2007 10:19:



Kaikki näytteet

22.11.2007 10:20:13

