LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KEMIANTEKNIIKAN OSASTO

Paperitekniikan laboratorio

SC-PAPERIRULLIEN VANAISUUDEN SYNTYMEKANISMIEN SELVITTÄMINEN

Diplomityön aihe on hyväksytty kemiantekniikan osaston osastoneuvoston kokouksessa 9.3.2005

ohjaava tarkastaja	professori	TkL Hannu Manner
2. tarkastaja	yliassistentti	TkL Kati Ryösö
työn ohjaaja	kehitysinsinööri	DI Minna Tolonen

Anjalankoskella 9.11.2005

Juha Turkki
Kääväntie 1
46140 Vekaranjärvi
puh. 040 589 5260

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Kemiantekniikan osasto

Juha Turkki
SC-paperirullien vanaisuuden syntymekanismien selvittäminen

Diplomityö
2005

102 sivua, 66 kuvaa, 9 taulukkoa ja 8 liitettä

Tarkastajat: professori Hannu Manner ja yliassistentti Kati Ryösö
Työn ohjaaja: kehitysinsinööri Minna Tolonen

Hakusanat: SC-paperi, rullavana, rullaus, pituusleikkuri
Keywords: SC-paper, corrugation, winding, winder

Myllykoski Paper Oy:n PK6:n kapeiden asiakasrullien vanoittuminen on aiheuttanut tuotannonmenetyksiä. Tämän työn tavoitteena oli pyrkiä selvittämään SC-paperirullissa esiintyvän vanaisuuden syntymekanismeja ja sitä, kuinka pituusleikkurilla voitaisiin vähentää vanan muodostumista asiakasrulliin.
Työn kirjallisuusosassa selvitettiin rullaustapahtumaa pituusleikkurilla, paperin rullautuvuuteen vaikuttavia tekijöitä ja SC-paperille soveltuvia pituusleikkurityyppejä. Tässä yhteydessä syvennyttiin vanan syntymekanismeihin ja vanan syntymisen mahdollisiin ehkäisymenetelmiin. Vanan muodostumiseen vaikuttavat rainassa olevat jyrkät muutokset mm. neliömassa- ja paksuuspoikkiprofiileissa sekä pituusleikkurin rullausasemien linjauksen virheellisyys.
Työn kokeellinen osa jakautui kahteen osaan. Esikokeissa tilastoitiin vanarullien muodostuminen eri pituusleikkurin rullausasemien, rullausposition ja käytetyn superkalanterin mukaan. Vanarullien paperista tutkittiin poikkisuuntaisia profiileja vanan syntysyiden löytämiseksi. Vanarullat olivat pääasiassa rainan reunoista leikattuja ja esikokeiden aikana suurin osan vanarullista muodostui superkalanteri II:n tambuureista.
Koeajossa tutkittiin pituusleikkurin ajoparametrien ja rullausposition vaikutusta vanan muodostumiseen kapeassa rainan reunaosasta leikattavassa rullassa. Paperissa olevan profiilivian aiheuttamaa vanaa ei pystytty poistamaan ajoparametrimuutoksilla poistamaan koeajossa.
Pituusleikkurin rullausasemien ja telojen linjaus sekä liikkuvien osien välysten poistaminen vähensi vanan muodostumista. Paperin neliömassa- ja paksuusprofiileissa kapealla alueella tapahtuvat jyrkät muutokset lisäsivät merkittävästi vanan muodostumista. Paperin profiilien hallinnalla ja pituusleikkurin kuluvien osien ennakoivalla huollolla voidaan vähentää vanan muodostumista asiakasrulliin.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Department of Chemical Technology

Juha Turkki
Emergence of Paper Corrugation in Uncoated (SC) Printing Paper

Master's Thesis
2005

102 pages, 66 figures, 9 tables and 8 appendices

Supervisors: Professor Hannu Manner and Senior Teaching Assistant Kati Ryösö
Advisor: Development Engineer Minna Tolonen

Keywords: SC-paper, corrugation, winding, winder

The corrugation on narrow customer rolls has caused production losses at Myllykoski Paper PM6. The purpose of this study was to find out the emergence of paper corrugation in SC-paper and how this phenomenon can be prevented in customer rolls at the winder.
In the theoretical section of this study winding and roll structure, paper properties that have an effect on roll structure and suitable winder types for SC-paper were studied. In this study were engrossed in the origins of the corrugation and possible preventive means. E.g. gradient variations in cross directional profiles and alignment of winding stations affect to the emergence of corrugation in customer rolls.
The experimental part of this study was divided into two sections. In the pre-trial part the occurrence of corrugated customer rolls was studied statistically according to winding station, winding position and supercalender. Cross- directional profiles of the corrugated paper were measured to define the origins of the corrugation. Corrugated rolls during pre-trial part were cut mainly from web edges and the corrugated rolls were winded from the reels calendered on supercalender II.
The effects of the winding parameters and winding position on corrugation on narrow edge rolls were studied at the winder trials. Changes of winder parameters during trials did not prevent the emergence of corrugation because of the poor cross directional profiles of the web.
Alinement of the winding station and winders rolls and tightening of the moving parts reduced corrugation. Narrow and steep variations in basis weight and thickness profiles increased the corrugation. Sufficient profile control and proactive maintenance of moving parts at the winder were found to decrease the corrugation of customer rolls.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Myllykoski Paper Oy:n paperikone 6:lle Anjalankoskella vuoden 2005 aikana. Diplomityön ohjaajana on toiminut DI Minna Tolonen. Työn tarkistajina ovat toimineet professori Hannu Manner ja yliassistentti Kati Ryösö. Esitän heille kiitokseni työhöni liittyvästä ohjauksesta ja hyvistä neuvoista.
Kiitän Myllykoski Paper Oy:n henkilökuntaa ja heidän myötämielistä suhtautumistaan työtäni kohtaan. Matti Koponen ja Jorma Lyytinen Metso Paper Oy:stä ansaitsevat kiitokset koeajoihin liittyvistä neuvoista ja avusta.

Suuret kiitokset kuuluvat erityisesti vanhemmilleni ja sukulaisilleni, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet minua opiskelujeni ajan.

Lopuksi haluan kiittää opiskelukavereitani yhteistyöstä ja mukavista hetkistä Lappeenrannassa.

Per aspera ad astra

Anjalankoskella 9.11.2005

Juha Turkki

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO 3

KIRJALLISUUSOSA 4

1. JOHDANTO 4

2. SC-PAPERI 5
2.1 YLEISTÄ 5
2.2 RAAKA-AINEET 5
2.3 VALMISTUSPROSESSI 8
2.4 SC-PAPERILAJIT 11
2.5 PAINOMENETELMIEN ASETTAMAT VAATIMUKSET SC-PAPERILLE 13

3. RULLAUS 14
3.1 RULLAUSPERIAATTEET 15
3.2 RULLAUKSEN HALLINTASUUREET 16
3.3 RULLALAADUN KRITEERIT 19
3.4 RULLAN RAKENNE 20
3.5 RULLAUSMALLI 21

4. RULLAUTUVUUTEEN VAIKUTTAVAT SC-PAPERIN OMINAISUUDET 24
4.1 PAKSUUS JA TIHEYS 25
4.2 KOKOONPURISTUVUUS 26
4.3 VENYMÄ- JA KIMMO-OMINAISUUDET 27
4.4 KITKA 28

5. PITUUSLEIKKAUS 29
5.1 MONIASEMAINEN KAKSOISRULLAIN 30
5.2 MODIFIOIDUT KANTOTELALEIKKURIT 33
5.3 RADAN LEVITYS PITUUSLEIKKURILLA 34

6. RULLAVANA 36
6.1 RULLAVANAN MUODOT JA DIMENSIOT 37

7. RULLAVANAN SYNTYMEKANISMEJA 41
7.1 RAINAUSVAIHEEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN 42
7.2 PAPERIKONEEN KUDOSTEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN 46
7.3 PAPERIKONEEN TELOJEN JA SYLINTEREIDEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN 47
7.4 SUPERKALANTERIN TELOJEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN 48
7.5 PITUUSLEIKKURIN VAIKUTUS VANAISUUTEEN 49

8. VANAN SYNNYN EHKÄISY 51

9. RULLAVANAN EHKÄISY KAKSOISRULLAINLEIKKURILLA 52

KOKEELLINEN OSA 55
10. TYÖN TAVOITTEET 55
11. ESIKOKEIDEN SUORITUS 57
12. ESIKOKEIDEN TULOKSET 58
12.1. TILASTOINTI 58
12.2. VANARULLIEN TAPIO-PROFIILIT 69
12.3. ORIENTAATIOKULMAPROFIILIT 72
12.4. KOVUUSPROFIILIT 74
12.5. ESIKOKEIDEN JOHTOPÄÄTÖKSET 75
13. KOEAJO PITUUSLEIKKURILLA 76
13.1 KOEAJON TARKOITUS 76
13.2. KOEAJON SUORITUS PITUUSLEIKKURILLA 77
13.3. KOEAJOTULOKSET 78
13.4. KOEAJON JOHTOPÄÄTÖKSET 94
14. EHDOTUKSIA JATKOTOIMENPITEIKSI 97
LÄHTEET 100
LIITTEET

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

α	rullausvarsien linjausvirheestä johtuva kulma
ε	paperin venymä
ε_R	paperin kokoonpuristuma
ε_r	rullan säteen suuntainen kireys
ε_t	rullan tangentin suuntainen kireys
ρ	rullan paikallinen tiheys
σ	venytysjännitys
σ_r	säteen suuntainen puristus
σ_R	puristuspaine
σ_t	tangentin suuntainen puristus
υ	paperin Poissonnin kerroin
ω	rullan hetkellinen kulmanopeus
a	rullausvarsien linjausvirhe
b	rullausvarsien etäisyys
CSF	Canadian Standard Freeness, massan suotautuvuutta kuvaava lukuarvo, mittayksikkö ml
E	paperin kimmokerroin
E_t	tangentiaalinen moduuli
E_R	z-suuntainen kimmokerroin
E_r	säteittäinen moduuli
ISO	standardin ISO 2469 mukaisissa oloissa mitattu vaaleus, joka mitataan aallonpituudella 457 nm
K_1	vakio
K_2	vakio
r	rullan paikallinen säde
URK	uudelleenrullauskone

KIRJALLISUUSOSA

1. JOHDANTO

Tehokkaassa ja taloudellisesti kannattavassa paperin valmistuksessa pyritään asiakkaalle toimittamaan tasalaatuisia rullia koko rainan leveydeltä. Rainan reuna-alueet asettavat kuitenkin haasteita rullauksen onnistumiselle varsinkin paperikoneilla joiden perälaatikon säätäminen tapahtuu huulilistaa taivuttamalla. Reuna-alueiden jyrkät ja stabiilit neliömassan sekä paksuuden profiilivaihtelut paperissa aiheuttavat rullausvikoja. Köysikuvion rullaan muodostava vana on rullavika, joka aiheuttaa rullan hylkäämisen. Varsinkin teräväharjaiset vanat aiheuttavat tuotannon menetyksiä ratakatkoina myös jatkojalostuslaitoksissa. Vanojen ja sitä muistuttavan epätasaisuuden muodostuminen asiakasrulliin on myös osittain seurausta pituusleikkurin mekaanisesta kulumisesta ja rullausasemien linjauksen virheellisyydestä. Reunarullien hylkääminen paperikoneilla saattaa aiheuttaa prosentuaalisesti huomattavan tuotannonmenetyksen ja tehokkuuden laskun.

Tämän työn tavoitteena on selvittää vanaisuutta SC-paperirulliin synnyttäviä tekijöitä sekä kuinka vanojen muodostumista voidaan vähentää. Tämän työn kirjallisuusosassa tarkastellaan yleisesti vanan syntymekanismeja ja rullausperiaatteita. Kokeellisessa osassa keskitytään paperikonelinjan pituusleikkurille. Tuotantolinjan tietokannasta selvitetään vanarullien jakautuminen pituusleikkurin asemien, position ja superkalantereiden mukaan sekä selvitetään pituusleikkurin ajoparametrien sekä rullausposition vaikutus vanan ja epätasaisuuden muodostumiseen asiakasrulliin.

2. SC-PAPERI

2.1 YLEISTÄ

SC-paperilla tarkoitetaan päällystämätöntä, kiiltävää puupitoista aikakausilehtipaperia. Lyhenne SC tulee englannin kielen sanoista Super Calandered, superkalanteroitu. SC-paperin raaka-aineina käytetään mekaanista ja kemiallista massaa sekä täyte- ja lisäaineita. SC-paperi eroaa sanomalehtipaperista mm. olemalla vaaleampaa, tiiviimpää ja kiiltävämpää. SC-paperin neliömassa-alue on 40 – 80 g/m^2. /1/
Tällä hetkellä suurimmat käynnissä olevat SC-paperikoneet ovat 10 metriä leveitä, maksimituotantonopeuden ollessa 1800 m/min.

2.2 RAAKA-AINEET

SC-paperin pääraaka-ainekomponenttina käytetään mekaanista massaa. Mekaanisen massan osuus SC-paperiin käytettävistä kuiduista on 70 – 90 %. Mekaaninen massa valmistetaan Suomessa yleensä kuusesta, hionta- tai hierreprosessilla. Kuusi on raaka-aineena hyvä sen korkean luontaisen vaaleuden vuoksi. Mekaanisen massan valmistuksessa käytettävä puuraaka-aine kulutetaan lähes kokonaan, saannon ollessa noin 95 %. Korkean saannon seurauksena mekaaniseen massaan jää myös puun ligniini ja uuteaineet. Ligniini aiheuttaa SC-paperin jälkikellastumisen ja uuteaineet aiheuttavat paperin valmistusprosessissa häiriöitä ja tarttumia. Mekaaninen massa koostuu erikokoisista partikkelista: pitkäkuitu-, väli- ja hienoainejakeista. Kuitujakaumalle on tyypillistä pitkien kuitujen vähäisyys ja runsas hienoainemäärä. Mekaanisen massan freeness on massan käsittelyprosessien jälkeen paperikoneen annostelussa 30 – 70 ml CSF. Hienoaine suuri määrä parantaa mm. paperin valonsirontaa ja pienentää huokoisuutta, mutta paperin lujuusarvot jäävät alhaisiksi. Valkaisemattoman mekaanisen massan vaaleus 57 – 65 % ISO. Useat painotuotteet vaativat kuitenkin korkeampaa vaaleustasoa valmiilta paperilta kuin mitä valkaisemattomalla hiokkeella voidaan saavuttaa. Mekaanista massaa valkaistaan muuttamalla ligniinin värilliset yhdisteet,

kromoforit värittömään muotoon. Yleisimmät valkaisumenetelmät ovat kromoforeja pelkistävä ditioniittivalkaisu ja kromoforeja hapettava peroksidivalkaisu. Ditioniittivalkaisulla saadaan vaaleutta nostettua 10 – 12 % ISO ja peroksidivalkaisulla vaaleustason nousu on 18 – 20 % ISO. /1/

Mekaanisen massan heikkojen lujuusominaisuuksien vuoksi SC-paperissa käytetään kemiallista massaa antamaan paperille tarvittava lujuus. Kemiallisena massana Suomessa käytetään sulfaattisellua. Sulfaattisellun keitossa käytetään puuraaka-aineena suurimmaksi osaksi mäntyä. Myös kuusta lisätään jonkin verran männyn sekaan. Männystä valmistetun kemiallisen massan kuitujen keskipituus on noin 2 mm. Kuitujen pituusjakauma on suhteellisen kapea ja freeness massan käsittelyprosessien jälkeen paperikoneen annostelussa on noin 450 ml CSF. Kemiallinen massa valkaistaan joko ECF (Elemental Chlorine Free) tai TCF (Totally Chlorine Free) menetelmillä. Kemiallisen massan vaaleus on valkaisun jälkeen noin 90 % ISO. Kemiallinen massa on SC-paperin perusraaka-aineista kalleinta, joten sitä käytetään vain sen verran, että riittävät paperin lujuusarvot saavutetaan. Kemiallisen massan osuus on SC-paperin kuituraaka-aineesta 10 – 30 %. /1/

SC-paperissa käytetään runsaasti täyteainetta parempien painettavuusominaisuuksien aikaansaamiseksi. Täyteainetta käytetään 20 – 35 % kuitujen määrästä. Täyteaineet ovat hienojakoisia, valkeita pigmenttijauheita. Täyteaine nimensä mukaan täyttää kuitujen välistä tyhjää tilaa paperissa. Täyteaineen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat optiset ominaisuudet. Näitä ovat mm. vaaleus, valonsironta, valonabsorptio. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat hiukkaskoko ja sen jakauma, hiukkasen muoto ja ominaispinta. Täyteaineen lisäys parantaa paperin painettavuutta ja kuitujen lisäys parantaa ajettavuutta. Painettavuus ja ajettavuus ovat vastakkaisia ominaisuuksia. Toisen parantuessa toinen yleensä huononee. Näiden ominaisuuksien välille on haettava kompromissikohta paperikoneella. Täyteaineiden hinnat ovat 0,2 – 10 -kertaisia verrattuna

kuitujen hintoihin. Suurina määrinä käytettävät täyteaineet ovat aina huomattavasti kuituja halvempia, joten täyteaineen käyttö vähentää raaka-ainekuluja.

Täyteaineet on valmistettu joko suoraan tai kemiallisesti luonnon mineraaleista. Kaoliini on perinteinen SC-paperin täyteaine. Luonnosta saatavan kaoliinin levymäiset partikkelit antavat paperille hyvän kiillon, huokosten peittokyvyn sekä pienentää painovärin absorptiota. Partikkelien levymäisyys puolestaan heikentää veden poistoa viira- ja kuivatusosalla. Täyteainekaoliinien vaaleus on 78 – 87 % ISO.

Kalsiumkarbonaatti on kasvattamassa suosiotaan SC-paperin täyteaineena. Kalsiumkarbonaatti on luonnossa peräisin marmorista. Jauhettu kalsiumkarbonaatti, GCC (Ground Calcium Carbonate) on partikkelimuodoltaan pyöreähkö mutta särmikäs. GCC:n vaaleus on yli 90 % ISO. Kalsiumkarbonaatti lisää paperin kitkaa, pienentää paperin mikrohuokoisuutta sekä antaa paperille happamuuden kestoa jolloin vaaleus ja lujuus säilyvät saasteisessa kaupunki-ilmassa. Kalsiumkarbonaatin saostettu muoto, PCC (Precipitated Calcium Carbonate) on myös kasvattanut suosiotaan SC-paperin täyteaineena. PCC on valmistettu kalkkikivestä polttamalla ja saostamalla uudelleen paperitehtaan voimalaitoksen savukaasujen hiilidioksidilla. Synteettisellä prosessilla voidaan PCC:n kidemuoto, partikkelikokojakauma ja vaaleus saada halutunlaiseksi. PCC:n kidemuotoja ovat aragoniitti ja kalsiitti. Aragoniittikiteet ovat neulasmaisia tai neulasista muodostuneita agglomeraatteja. Kalsiittikiteet ovat skalenoedrisiä (ruusukkeellisia), romboedrisiä (vinoneliöllisiä) tai prismaattisia (särmiöllisiä). PCC:n vaaleus on korkea, 94 – 97 % ISO. Kalsiumkarbonaatin rajoitus on, että se hajoaa happamissa oloissa hiilidioksidiksi (CO_2) ja kalsiumoksidiksi (CaO). Tämä vaatii kalsiumkarbonaattia täyteaineena käyttävän SC-paperin valmistusprosessin muuttamisen neutraaliksi. /1/

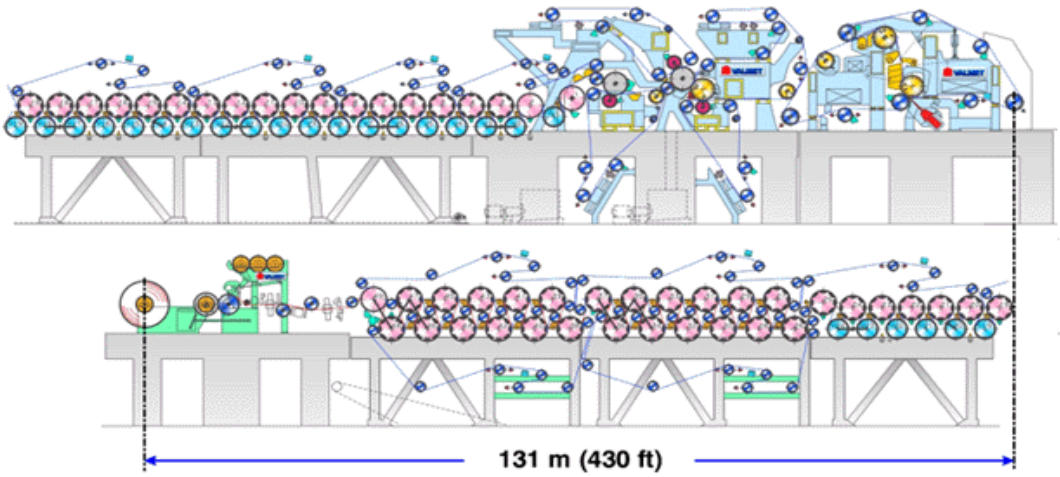
2.3 VALMISTUSPROSESSI

SC-paperikoneella mekaaninen ja kemiallinen massa sekä paperikoneen oma hylkymassa sekoitetaan halutussa suhteessa keskenään sekoitussäiliössä. Paperikoneen lyhyessä kierrossa annostellaan massan joukkoon täyteaine ja lisäaineita, mm. retentioainetta, massatärkkelystä ja häiriönpoistoainetta. Lyhyestä kierrosta paperimassa johdetaan perälaatikon kautta viiraosalle, joka on tyypiltään tänä päivänä yleensä kita- tai hybridiformeri. Näillä formerityypeillä, etenkin kitaformerilla saadaan paperi paksuussuunnassa symmetriseksi. Veden poistuminen ja täyteaineen jakautuminen on paperissa symmetristä paperin molemmilla puolilla. Valmiin paperin rakenteelliset ominaisuudet mm. orientaatio ja formaatio määräytyvät valtaosin jo viiraosalla. Vettä poistetaan rainasta vetovoiman, pulsaation ja imujen avulla. Viiraosan jälkeen paperin kuiva-ainepitoisuus on 15 – 20 %.

Puristinosalla osa paperissa olevasta vedestä siirtyy huopiin kahden telan muodostamassa nipissä mekaanisen puristuksen vaikutuksesta. Paperiraina kulkee yhdessä yhden tai kahden huovan kanssa telojen muodostaman nipin läpi. Yleensä ensimmäinen puristinnippi on kaksoishuovitettu. Kahdessa seuraavassa nipissä paperin alapuoli on sileää telaa vasten. Tämän seurauksena paperin alapuoli tulee sileämmäksi kuin huopaa vasten oleva paperin yläpuoli. Uusissa SC-paperikoneissa puristinosalla 3. puristinnipissä on kenkätela, jolla saadaan rainan kuiva-ainepitoisuutta nostettua tai vaihtoehtoisesti bulkin menetystä pienennettyä. SC-paperikoneissa on paperin pinnan karheuden toispuoleisuuden vähentämiseksi erillinen neljäs puristin, jossa sileä tela on paperin yläpuolta vasten ja huopa on paperin alapuolella. Uusimmissa puristinosainstallaatioissa voi olla vain kaksi kenkätelallista kaksoishuovitettua puristinnippiä peräkkäin. Paperin kuiva-ainepitoisuus nousee 40 – 55 % tasolle puristinosan jälkeen.

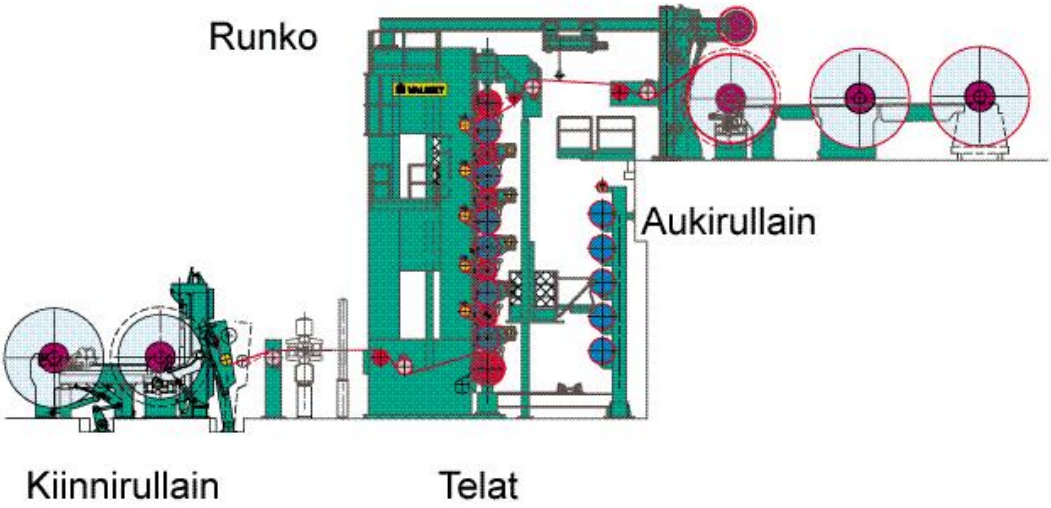
Kuivatusosalla paperista poistetaan vettä höyryllä kuumennetuilla sylintereillä. Rainan lämpötila nousee sen ollessa kosketuksissa kuivatussylintereihin ja rainassa olevaa vettä haihtuu kuivatuskudoksen

läpi. Rainan lujuus on alhainen kuivatusosan alussa, joten sitä tuetaan yksiviiraviennillä, jossa sama viira kulkee ylä- ja alasylinterien kautta. Yksiviiraviennissä vain rainan alapuoli on kontaktissa kuivatussylinterin kanssa jolloin se kuivaa ensin. Vanhemmissa ja hitaammissa paperikoneissa on kuivatusosalla muutama viimeinen kuivatussylinteriryhmä varustettu kaksiviiraviennillä. Kaksiviiraviennissä ylä- ja alasylintereillä on erilliset kuivatusviirat. Kaksiviiraryhmissä kaikki kuivatussylinterit ovat lämmitettäviä, kun yksiviiraryhmissä alasylinterit ovat kylmiä. Uusissa nopeakäyntisissä koneissa kuivatusosan alasylinterit on varustettu imulla, jolla saadaan hallittua pään vienti katkotilanteissa ja radan pysyminen kiinni viirassa ajon aikana. Alasylintereiden imujen vuoksi vain ylimmäiset sylinterit ovat lämmitettyjä. Rata kuivaa tämän seurauksena vain alapuolelta. Radan ollessa kokoajan tuettuna viiraan voidaan kuivumiskutistumaa hallita paremmin. Paperi ylikuivatetaan kuivatusosalla, jotta paperin kosteusprofiili saadaan mahdollisimman tasaiseksi. Paperin kuiva-ainepitoisuus on kuivatusosan jälkeen noin 97 %. Ennen rullainta on jälkikostutin, jolla paperin kosteus säädetään superkalanterointia varten sopivaksi noin 8 %:in. Jälkikostuttimella saadaan myös tehtyä paperin kosteusprofiiliin loppuhienosäätö.



Kuva 1. Eräs SC-paperikonekonsepti. /2/

Superkalanteri on monitelainen paperin kiillotuslaitteisto, jossa vuorottelevat elastiset paperi- tai polymeeripintaiset telat ja teräspintaiset kovat telat. SC-paperin kiillotukseen käytetty superkalanteri on yleensä 10- tai 12 -telainen. Superkalanterilla paperi kiillottuu telojen välissä lämmön, paineen ja kosteuden vaikutuksesta. Pääasialliset vaikutusmekanismit ovat paperin puristuminen ja telan pinnan muotojen kopioituminen paperiin. Paperi kiillottuu superkalanterissa teräspintaisen telan puolelta. Myös materiaalin siirtymisellä ja osasten orientoitumisella on vaikutusta paperin silottumiseen. Levymäiset kaoliinitäyteainepartikkelit silottuvat paremmin kuin pallomaiset kalsiumkarbonaattipartikkelit ja saavat aikaan sileämmän paperin pinnan. Superkalanterin hallintaparametreja ovat alatelan linjakuorma, kovien telojen pintalämpötila, elastisten telojen pintamateriaali ja sen kovuus, ajonopeus, höyrytys ja kääntönipin paikka. Yhdessä kohdassa telapakkaa on kaksi elastista telaa peräkkäin. Tämä kohta telapakassa on kääntönippi jossa paperin kiillotettava puoli vaihtuu. Superkalanteroinnilla paperille saadaan aikaan sileys ja kiilto. Kalanteroinnin muita aikaansaamia haluttuja ominaisuuksia ovat paperin ilmanläpäisevyyden ja öljynabsorption lasku. Kalanterointi saa aikaan paperissa myös ei-toivottuja ominaisuuksia. Paperin jäykkyys, lujuus ja optiset ominaisuudet alenevat kalanteroitaessa. Kalanteroinnissa pitää tasapainoilla toivottujen ja ei-toivottujen ominaisuuksien välillä sekä on tehtävä kompromisseja paperin haluttujen ominaisuuksien suhteen.



Kuva 2. Eräs superkalanterin rakenne. /2/

Pituusleikkurilla kiillotetut tambuurit leikataan asiakkaan haluamaan leveyteen sekä haluttuun halkaisijaan tai pituuteen. SC-paperin suuri tiheys ja alhainen paksuus asettavat vaatimuksia pituusleikkurityypin valinnan suhteen. SC-paperin pituusleikkaukseen käytetään yleensä modernia kaksoisrullainta, jossa leikattavaa rullaa kannatellaan hylsyistä ja rullan kehältä. Leveiden rullien leikkurissa voi olla myös rullan keskellä hihnatuenta. Myös hihnatuetulla kantotelaleikkurilla voidaan leikata SC-paperirullia. SC-paperin asiakasrullien koot vaihtelevat paljon. Suurimmat asiakasrullat voivat olla halkaisijaltaan jopa 130 cm korkeita, yli 4 metriä leveitä ja painavat yli 6000 kg. Rullien kokojen vaihtelut ja paperin ominaisuudet asettavat haasteita rullaukselle hyvän rullaustuloksen saavuttamiseksi.

Leikatut asiakasrullat pakataan yleensä polyeteenillä laminoituun kartonki-pohjaiseen rullakääreeseen ja toimitetaan asiakkaalle painettavaksi. /2/

2.4 SC-PAPERILAJIT

Superkalanteroitu paperi jakautuu useaan eri alalajiin. Päällystämättömyys, mekaanisen massan ja täyteaineen suuri määrä paperissa sekä kalanterointi on yhteistä kaikille SC-paperilajeille. SC-

paperit on luokiteltu jalostusasteen mukaan luokkiin SC-A+, SC-A, SC-B ja SC-C.

SC-A+ on uusin tuotannossa oleva paperilaji. Lajin yleisimmät neliömassat ovat 52, 56 ja 60 g/m^2. Täyteainepitoisuus voi olla raskailla lajeilla jopa 35 %. Lajille tyypillisiä ominaisuuksia ovat korkea tiheys, kiilto ja vaaleus. Vaaleus on parhaimmillaan 75 % ISO. Laji on voimakkaasti kalanteroitua. SC-A+ kilpailee samoista markkinoista syväpainolajeilla kevyesti päällystetyn painopaperin (LWC) ja filmipäällystetyn offsetpaperin (FCO) kanssa. SC-A+ paperia käytetään luetteloihin ja aikakausilehtiin joissa on paljon mainoksia.

SC-A eroaa SC-A+ paperista vain alhaisemmalla vaaleudellaan 68 – 70 % ISO sekä hieman pienemmällä täyteainepitoisuudellaan 30 %.

SC-B paperia käytetään vähemmän vaativiin painatuksiin kuten sanomalehtien liitteisiin ja luetteloihin joissa ei ole paljon kuvia. SC-B paperin yleisimmät neliömassat ovat 52 – 60 g/m^2. Vaaleus on 67 – 69 % ISO. Kiilto ja sileys ovat alhaisemmat kuin SC-A lajilla. SC-B lajissa käytetään selvästi vähemmän täyteainetta. Täyteainepitoisuus on 8 – 15 %. Mekaanisesta massaa käytetään hieman enemmän kuin SC-A lajissa ja osa siitä on korvattu uusiomassalla. Lajin kalanterointikin on vähäisempää, joten soft-kalanterointi voi olla riittävä. SC-B laji kilpailee parannetun sanomalehtipaperin kanssa samoista markkinoista.

SC-C laji on peräisin Pohjois-Amerikasta. Laji on ominaisuuksiltaan lähellä SC-B lajia. Laatuominaisuudet ovat normaalin sanomalehtipaperin ja SC-B:n ominaisuuksien välillä. SC-C kilpaileekin näiden lajien kanssa. Lajia tuotetaan modernisoiduilla sanomalehtikoneilla ja soft-kalanteroinnilla saavutetaan tarvittavat kiilto-ominaisuudet. Lajin kannattavuus on erittäin herkkä markkinoiden heilahteluille alhaisen jalostusasteensa vuoksi. /3/

Tulevaisuudessa SC-paperin pitää parantaa ominaisuuksiaan kovassa kilpailussa asiakkaista. SC-paperin vaaleuden, opasiteetin ja kiillon tavoitearvot tulevat kohoamaan synnyttäen aivan uuden paperilajin SC-A+ yläpuolelle. Neliömassat ovat laskeneet kaikilla paperilajeilla

kuljetuskustannusten pienentämiseksi. Myös SC-paperilla on havaittavissa vastaavan suuntainen trendi.

2.5 PAINOMENETELMIEN ASETTAMAT VAATIMUKSET SC-PAPERILLE

SC-paperille yleisimmin Euroopassa käytetty painomenetelmä on syväpaino. Syväpainomenetelmä sopii hyvin suuriin painoksiin joissa on paljon sivuja. Tyypillisiä tuotteita ovat suurilevikkiset aikakauslehdet ja erilaiset tuotekuvastot.

Syväpainomenetelmä asettaa painettavalle SC-paperille erityisvaatimuksia. Toiminnallisia vaatimuksia syväpainopaperille ovat erinomainen sileys, minimaalinen toispuoleisuus sekä tasainen ja alhainen painovärin absorptio.

Prosessiteknisiä vaatimuksia puolestaan ovat syväpainopaperin riittävät lujuusominaisuudet. Myös värikuvan kohdistuksen tulee pysyä hallinnassa poikkisuunnassa rullan reunasta reunaan ja ajosuunnassa rullan pinnasta pohjaan sekä vaihdettaessa toiseen saman lajin rullaan. Syväpainorullien suuri koko voi asettaa vielä ajettavuudelle erityisvaatimuksia.

Tuoteteknisinä vaatimuksina syväpainopaperilta vaaditaan riittävää kiiltoa, jolla saavutetaan myös hyvä painettu kiilto. Syväpainopaperi pitää pystyä painamaan haluttuun tummuustasoon sekä kontrastin ja pisteen kasvun pitää pysyä hallinnassa. Painojäljen pitää myös olla tasainen, eikä se saa tahrata. Puuttuville pisteille painojäljessä on olemassa toleranssit.

Viime vuosina SC-offsetpaperi on kasvattanut suosiotaan. SC-offsetpaperille painetaan tyypillisesti aikakauslehtiä ja erilaisia mainospainotuotteita. Offsetpaino myös asettaa omat erityisvaatimukset paperille. Toiminnallisina vaatimuksina paperilta vaaditaan hyvää pintalujuutta pölyämisen vähentämiseksi painatuksessa. Paperi ei saa myöskään haljeta painatuksessa, mikä edellyttää paperilta hyvää z-suuntaista lujuutta. Paperilta myös vaaditaan tasaista värien asettumista ja dimensiostabiliteettia.

Offsetpaperin prosessiteknisiä vaatimuksia ovat riittävät lujuusominaisuudet ja hyvä lämmönsietokyky painovärin kuivatuksen aikana. Lisäksi paperissa ei saa olla aaltoilua tai vanoja, jotka häiritsevät värien kohdistamista ja aiheuttavat katkoja.

Tuoteteknisiä vaatimuksia ovat offsetpaperin riittävä kiilto, jolla saavutetaan hyvä painetun jäljen kiilto. Paperi tulee pystyä painamaan haluttuun tummuustasoon sekä kontrastin ja pisteen kasvun pitää pysyä hallinnassa. Valmis tuote ei myöskään saa tahrata. Painojäljen pitää olla tasainen, jotta täyspeitteiset pinnat toistuvat luonnollisina ja rasterikuvat terävinä.

Offsetpaperin ja syväpainopaperin ominaisuuksissa on eroavaisuuksia. Offsetpaperin pintalujuuden pitää olla syväpainopaperiin verrattuna suurempi ja vedenabsorption tulee olla alhaisempi painatuksessa käytettävän kostutusveden vuoksi. Offsetpainatus vaatii symmetrisemmän paperin paksuussuunnassa kuin syväpainomenetelmä. Offsetpaperin kiillon ja vaaleuden tulee olla syväpainopaperia korkeammat. /2/

3. RULLAUS

Rullauksen tarkoituksena on muuntaa paperikoneen jatkuva tasomainen paperiraina helposti varastoitavaan tai kuljetettavaan rullamuotoon. Paperikoneelta tulevat rullat eivät ole koskaan lopputuotteita, jotka voitaisiin toimittaa asiakkaalle. Paperi on jatkokäsiteltävä, jolloin sama konerulla paperin jälkikäsittelystä riippuen rullataan 1 – 5 kertaa ennen kuin se on valmis asiakasrulla lähettäväksi eteenpäin. Asiakasrullan aukirullaus tapahtuu vielä ainakin kerran asiakkaan toimesta painokoneella. Useat rullaukset vaativat paperilta tasaiset ominaisuudet ja moitteettomasti toimivat toimilaitteet. /2/

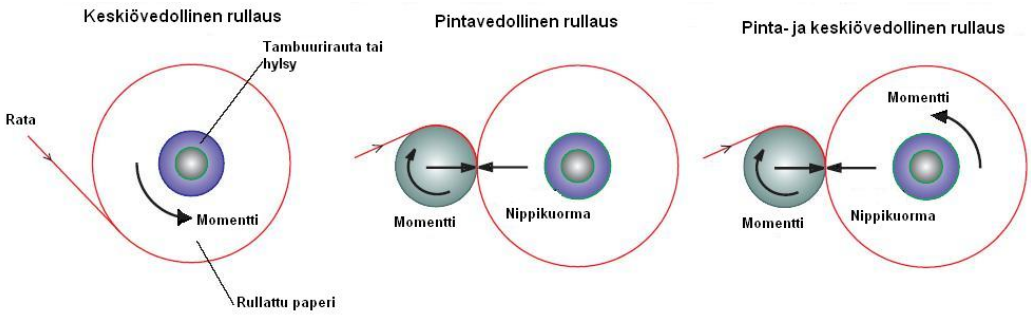
3.1 RULLAUSPERIAATTEET

Rullainten rullausperiaatteita on kolme (kuva 3). Yksinkertaisin näistä on keskiövedollinen rullaus, jossa rullaus tapahtuu tuetun käytöllisen ytimen eli tambuuriraudan tai hylsyn ympärille. Esimerkiksi tämän tyyppistä rullausta käytetään superkalanterin kiinnirullaimessa hieman mukailtuna. Superkalanterin kiinnirullaimessa rullan pintaa painaa kevyesti painotela, jossa ei kuitenkaan yleensä ole käyttöä. Keskiövedollisessa rullauksessa rullan kireyttä voidaan säätää vain keskiön momenttia säätämällä. Keskiökäytöllinen rullaus ilman painotelaa ei sovellu suurien rullien rullaukseen rullavikaherkkyytensä ja hiljaisen ajonopeuden vuoksi. Rullauksessa rullan sisään pääsee helposti ilmaa jättäen rullan löysäksi. Jos rullattavan paperin kitkakerroin on pieni, löysäksi jäänyt rulla kaatuu helposti.

Toinen, samalla yleisin, rullausperiaate on pintavedollinen rullaus. Pintavedollisessa rullauksessa paperirulla on painettu käytöllistä telaa vasten ja rullausvoima välittyy telan pinnasta rullaan kitkan avulla. Rullan kireyttä voidaan säätää rullan telaa vasten kuormittavaa nippikuormaa muuttamalla. Yleisimmät käyttökohteet pintavedolliselle rullaukselle ovat perinteiset poperullaimet ja kantotelaleikkurit. Pintavedollisen rullauksen haittapuolia ovat keskiökäytön puuttuminen, rullan massan aiheuttama suuri nippikuorma ja nippikuorman huono kontrollointi. Nämä puutteet aiheuttavat rulliin pinta- ja pohjahylkyä, kuten rynkkyä.

Kolmas rullausperiaate on kahden edellisen rullaustavan yhdistelmä. Tässä pinta- ja keskiövedollisessa rullauksessa kaikki kolme säätöparametria on yhdessä eli rullaussylinterin pintaveto, rullan keskiömomentti ja nippikuorma. Pinta- ja keskiövedollisella rullauksella saadaan rullattua suurempia ja parempilaatuisempia rullia. Rulliin ei muodostu pohjahylkynä rynkkyä. Rullien halkaisijan kasvusta aiheutuvaa nippikuorman kasvua voidaan keventää, jolloin myös rullan pintaosa muodostuu hyvälaatuiseksi. Pinta- ja keskiövedollisen rullauksen ansiosta rullien halkaisijaa voidaan näin kasvattaa entistä suuremmaksi. Suurimmat konerullat ovat jo halkaisijaltaan lähes neljämetrisiä. Pinta- ja

keskiövedollista rullausta käytetään toisen sukupolven konerullaimissa ja kaksoisrullainleikkureilla. /4/

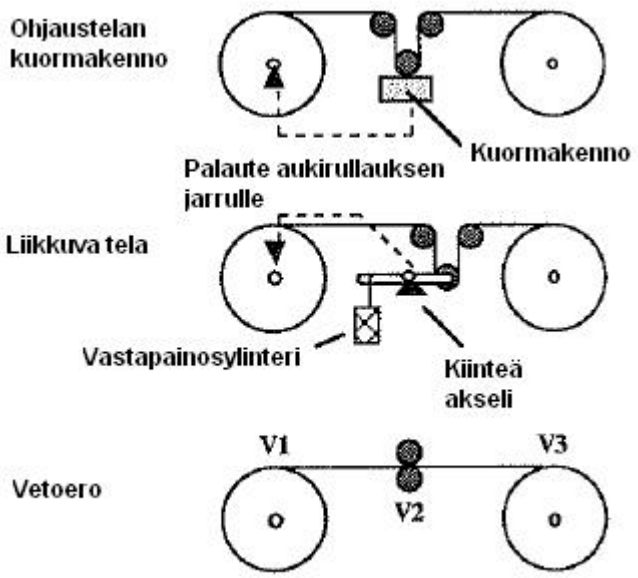


Kuva 3. Rullausperiaatteet /4/

3.2 RULLAUKSEN HALLINTASUUREET

Kuten kappaleessa rullausperiaatteet esitettiin, rullauksen hallintasuureita on kolme eli ratakireys, kehävedon momentti ja nippikuorma. Vaikka hallintasuureiden määrä on pieni, niin niiden huonolla hallinnalla hyvälaatuisesta paperista voidaan saada aikaan huono rulla. Onneksi tämä voidaan kääntää myös päinvastoin, sillä huonolaatuisesta paperista voidaan parametrien hyvällä hallinnalla rullata tyydyttävä rulla. Rullaimella ja rullauksen hallintasuureilla pystytään vaikuttamaan rullan rakenteeseen, lähinnä kovuuteen. Pituusleikkurilla paperin ominaisuuksiin ei kuitenkaan voida enää vaikuttaa vaan on rullattava paperikoneen tuottamaa paperia laatuvaihteluineen. Rullausparametrit määräytyvät pituusleikkurilla paikallisten olojen mukaan. Vaikuttavia tekijöitä ovat paperin ominaisuudet (mm. sileys, jäykkyys, kokoonpuristuvuus, kitkakerroin), rullan koko, sen käsittelytapa ja varastointiaika sekä ajonopeus ja -tapa pituusleikkurilla. /2/ Ratakireydellä tarkoitetaan rullauksessa radan jännitteisyyttä juuri ennen rullausnippiä. Ratakireys määritellään konesuuntaisen radan voiman keskiarvon suhteena paperin leveyteen. Kireyden yksikkönä käytetään yleisesti N/m. Ratakireys on verrannollinen muodostuvan rullan kireyteen. Mitä suurempi ratakireys on, sitä tiukempi rulla syntyy ja alhaisemmalla ratakireydellä muodostuvan rullan kovuus puolestaan laskee. Liian suuri

ratakireys aiheuttaa ratakatkoja, kun taas kireyden ollessa liian alhainen rataan muodostuu löysä pussi tai rata menettää kontaktin rullausteloihin. Yleisesti lähes kaikille materiaaleille sopiva ratakireys rullauksessa on 10 – 25 % materiaalin murtolujuudesta. Ratakireyttä voidaan mitata ohjaustelan kuormakennolla, erillisellä liikkuvalla telalla tai vetoerolla (kuva 4). /5/



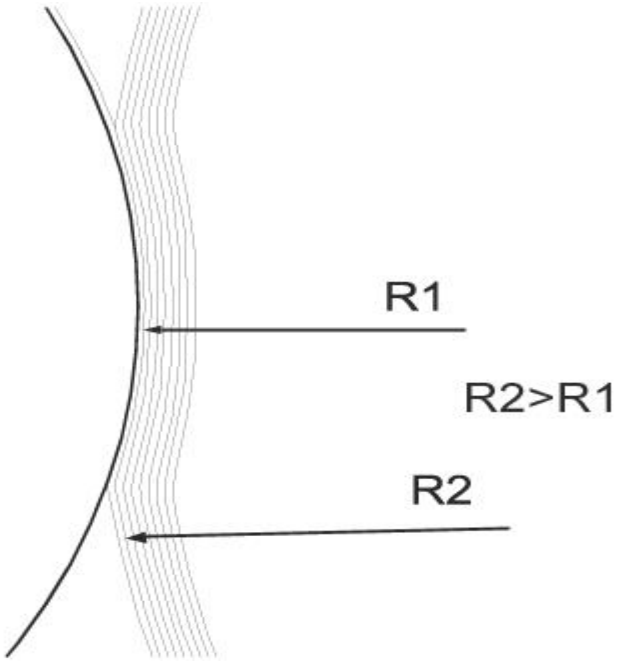
Kuva 4. Paperirainan kireyden säätö rullauksessa. /5/

Ratakireyttä ei ole syytä tarpeettomasti pitää korkealla. Paperi on materiaalina viskoelastista, joten sen venyvyys ja joustavuus heikkenevät liiallisen kireyden vaikutuksesta. Paperin valmistusprosessissa on useita kohtia, joissa radan kireyteen voidaan vaikuttaa. Joustavuuden ja venyvyyden hävittyä paperista sitä ei saada enää takaisin. Venyvyyden menetys aiheuttaa ongelmia paperin myöhemmissä käsittelyvaiheissa.

Kehävoima on keskiökäytön momentin aiheuttama rullaustelan ja rullan kautta välittämä voima rullan pinta-arkkiin. Kehävoima on rullan tiukkuuden kannalta suurempi kuin ratakireys, mutta pienempi vaikutukseltaan kuin nippikuorma. Kehävoima määritellään rullan pinnassa vaikuttavan momentin suhteena rullan leveyteen. Näin kehävoiman yksikkö on sama kuin ratakireydellä eli N/m. Kehävoiman säädöllä

saadaan paljon parempi rullan rakenne, koska sitä voidaan käyttää laajemmalla alueella kuin ratakireyttä ja nippikuormaa. Kehävedon suuremmalla momentilla saadaan näin muodostettua tiukka rullan pohja. Tiukemman pohjan ansiosta paperikerrosten välinen luisto vähenee rullassa ja tähtikuvion muodostumisen todennäköisyys rullan päätyyn laskee. Keskiökäytön ansiosta nippipainetta pystytään alentamaan rullauksen loppuvaiheessa ilman, että rullan pintakerrokset jäävät liian löysiksi. Valmistuva rulla rasittuu vähemmän rullauksen loppuvaiheessa oman massan aiheuttamasta nippikuorman lisäyksestä ja rullausvikojen määrä vähenee.

Kolmas rullauksen hallintasuure on nippikuorma. Nippikuorma määritellään rullan ja rullausvarsien aikaan saamien voimien suhteena rullan leveyteen. Nippikuorman, kuten muidenkin rullauksen hallintasuureiden yleisesti käytetty yksikkö on N/m. Nippikuorma vaikuttaa kaikkein eniten rullauksen hallintasuureista rullan kovuuteen. Nippikuorma pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena, sillä liian suuri kuorma saa aikaan rynkkyä ja repeämiä sekä bulkkiset tuotteet menettävät paksuuttaan. Liian pieni nippikuorma puolestaan aiheuttaa rullan kaatumisen ja ajettavuusongelmia. /5/ Nippikuorman tehokkuus perustuu kahden eri säteen aikaansaamiseen rullaan painamalla kimmoista paperia kovaa telaa vasten (kuva 5). Raina puristetaan rullan pintaan säteelle R1. Nipin jälkeen rullan kimmoisuus palauttaa rainan suuremmalle säteelle R2, jolloin raina joutuu venymään. Pienikin ero näissä säteissä aiheuttaa paperin venyvyyteen nähden suuren eron rullan kehäpituudessa. Rullan säteiden R2 ja R1 välinen erotus on rullan painuma telaa vasten. Painuman suuruus riippuu nippikuormasta, rullaussylinterin ja rullan halkaisijasta sekä rullan kone-, poikki- ja säteen suuntaisista kimmo-ominaisuuksista. /2/



Kuva 5. Rullaustelan aiheuttama säteen muutos rullausnipissä. /2/

3.3 RULLALAADUN KRITEERIT

Oikea rullan rakenne on erittäin tärkeää paperikonelinjan tehokkuuden kannalta. Hyvärakenteinen rulla on paras tapa siirtää ja varastoida suuria määriä paperia, kun taas vikoja sisältävä rulla voi pilata huomattavan osan tuotannosta. Yleisesti hyvälle kone- ja asiakasrullalle asetettuja vaatimuksia ovat: /4/

- Rullan mitat ovat oikeat: leveys, halkaisija, paino ja rainan pituus.
- Rullan halkaisijan poikkiprofiili on tasainen. Rullassa ei ole patteja, monttuja, löysiä tai kireitä kohtia.
- Rulla on pyöreä ja hylsy on keskellä rullaa. Näin vältetään värinää, kireysheittoja, lepatusta ja ratakatkoja aukirullauksessa. Rulla säilyttää muotonsa varastossa.
- Rullan pääty on suora. Rullan päässä ei näy heittoja tai kaatumista.
- Rullan rakenne on hyvä. Rullassa on optimikovuus ja -kireys.
- Paperi ja rullan päädyt ovat puhtaita ja pölyttömiä.
- Rullassa ei ole virheitä, esim. rynkkyä, vanaa, repeämiä tai tähtikuviota.

3.4 RULLAN RAKENNE

Rullan rakenteella on suuri merkitys sen myöhempien käsittelyvaiheiden ajettavuuden kannalta. Rullan rakenne määrittyy sen mukaan, miten rullauksen hallintasuureita on säädetty paperin lajin ja rullattavan rullan säteen funktiona. Nykyisin hyvän rullauksen perusta on tiukka pohja. Löysä pohja aiheuttaa rullaan teleskooppimaisuutta. Tiukan pohjan jälkeen rullan kovuus alkaa tasaisesti laskea kohti rullan pintaa. Nopeat muutokset hallintasuureissa aiheuttavat paperikerrosten luistamista konesuunnassa rullan sisällä ja sen seurauksena rullan päätyihin muodostuu tähtikuvio. Rullan pintaosan on oltava rullan löysin kohta. Liian tiukka pintakerros aiheuttaa rullan sisäosien puristimista kasaan. Kaksoisrullaimella pystytään valmistuvaa rullaa keventämään rullausvarsista, jolloin rullan pintaosat saadaan sopivalle kireystasolle. Kantotelaleikkurilla rullan massa kasvattaa pintakerrosten kuormitusta halkaisijan kasvaessa.
Rullan kovuus on toistaiseksi paras mittaussuure arvioitaessa rullan rakennetta. Kovuuden ja muiden paperin valmistusprosessista saatavien suureiden profiileilla voidaan selittää merkittävimmät rullan rakenteessa tapahtuvat vaihtelut. /5/

Rullausteorioiden tarkoituksena on ennustaa rullan sisäisiä voimia riippuen tunnetuista ulkoisista voimista. Tämä johtaa lukusuorajärjestelmän raja-arvo-ongelmaan. Perusyhtälöryhmä koostuu /4/

- Liikkeen yhtälöistä
- Yhtälöiden yhteensopivuudesta (koordinaattien siirron geometriset yhteydet)
- Perustavat yhtälöt (rullattavan materiaalin kokeellisten lakien kuvaus radan pitkittäis- ja paksuussuuntaisen puristuksen välillä)

Yleensä yhtälöitä pitää yksinkertaistaa, että ne saadaan ratkaistua järjestyksessä.

- Rullan puristustilan oletetaan olevan tasomainen (kaksiulotteinen malli)
- Paperi on rullassa spiraalin muodossa, jossa kireät kerrokset ovat toistensa päällä
- Liikkeen yhtälöt ovat muuttumattomia (tai näennäisesti muuttumattomia)
- Hooken lakiin perustuva yhtälö muuttuvine kertoimineen
- Ainoa soveltuva voima on radan kireys (keskiörullaus)

Näiden rajoitusten perusteella on kehitetty useat rullausmallit. Tiukan rullauksen rullausteorioiden kulmakivinä voidaan pitää Altmannin lineaarinen anisotrooppimallia vuodelta 1968 ja Hakielin epälineaarinen anisotrooppinen malli vuodelta 1986. Myöhemmät parannukset sisältävät viskoelastisuuteen perustuvat yhtälöt, keskipakoisvoiman ja rullan sisään pääsevän ilman huomioimisen. Tällä hetkellä puuttuu vielä yhtenäinen nipin aiheuttaman voiman huomioiva rullausteoria. Tämän vuoksi olemassa olevat rullausteoriat eivät anna täysin luotettavaa tietoa rullan rakenteesta käytettäessä niitä nippejä sisältävissä nykyaikaisissa rullaimissa. Myös seuraavien asioiden vaikutusta ei ole otettu huomioon rullausteorioissa, vaikka ovatkin jo tutkittavina kuten: /4/

- Rullaustelan halkaisija
- Rullan halkaisija
- Momenttiero
- Korkea nippikuorma ja paperin kitka

3.5 RULLAUSMALLI

Keskiörullauksessa voidaan laskea rullan sisäiset jännitykset, kun tunnetaan rullausparametrit. Pinta- ja keskiövedollisen rullauksen suhteen joudutaan vielä odottamaan täydellistä WIT (wound-in-tension)

rullausmallin ratkaisua, jossa on kaikki muuttujat otettu huomioon. Tähän asti kehittyneimmät rullausmallit ovat esittäneet Hakiel ja Olsen.

$$r\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r - \sigma_t = -\rho\omega^2 r^2 \tag{1}$$

jossa	r	rullan paikallinen säde
	σ_r	säteen suuntainen puristus
	σ_t	tangentin suuntainen puristus
	ρ	rullan paikallinen tiheys
	ω	rullan hetkellinen kulmanopeus

Olsenin malli (yhtälö 1) on itse asiassa sama kuin Hakielin, mutta se ottaa huomioon pyörivän rullan keskipakovoiman aikaansaaman vaikutuksen. Hakielin malli on puolestaan johdettu levossa olevalle rullalle, jolloin yhtälön vasen puoli on aivan sama kuin yhtälössä 1 ja yhtälön oikean puolen arvo on 0.

Lineaarista ja ortotrooppista perusyhtälöitä (Hooken laki) käytetään näissä malleissa

$$\varepsilon_r = \left(\frac{1}{E_t}\right)\sigma_r - \left(\frac{\upsilon_{rt}}{E_t}\right)\sigma_t \tag{2}$$

$$\varepsilon_r = \left(\frac{1}{E_t}\right)\sigma_t - \left(\frac{\upsilon_{tr}}{E_r}\right)\sigma_r \tag{3}$$

jossa	ε_r	rullan säteen suuntainen kireys
	ε_t	rullan tangentin suuntainen kireys
	E_r	säteittäinen moduuli
	E_t	tangentiaalinen moduuli
	υ	paperin Poissonnin kerroin

Yhtälöissä 2 ja 3 tangentiaalisen moduulin E_t ja Poissonnin kertoimien oletetaan olevan vakioita. Säteittäisen moduulin E_r oletetaan olevan riippuvainen rullan säteen suuntaisesta puristuksesta σ_r. Funktio $E_r = E_r(\sigma_r)$ on yleensä määritetty pinotestillä, jossa tutkittavana olevaa arkkinippua puristetaan tietyllä voimalla ja arkkinipusta mitataan puristuksen aiheuttama painuma. Tuloksena saatavan käyrän $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ kulmakertoimesta saadaan E_r. Tämä kokeellisesti saatu tieto on sovitettu polynomiseen muotoon käyrälle kuvaamaan säteittäistä moduulia E_r, jonka yhtälö on

$$E_r = C_0 + C_1\sigma_r + C_2\sigma_r^2 + C_3\sigma_r^3 \tag{4}$$

jossa C_i (i = 0,…, 3) paperista riippuvia vakioita

Käyttäen tasapainoyhtälön

$$r\frac{\partial \varepsilon_t}{\partial r} + \varepsilon_t - \varepsilon_r = 0 \tag{5}$$

ja Maxwellin suhteen

$$\frac{\upsilon_{tr}}{E_r} = \frac{\upsilon_{rt}}{E_t} \tag{6}$$

yhteensopivuutta hyväksi yhtälöiden 1 – 3 ja 5 kanssa, niin yksinkertainen toisen asteen differentiaaliyhtälö säteen suuntaiselle puristukselle $\sigma_r = \sigma_r(r)$ on

$$r^2 \frac{d^2\sigma_r}{dr^2} + 3r\frac{d\sigma_r}{dr} + \left[1 - \frac{E_t}{E_r(\sigma_r)}\right]\sigma_r = -(3+\upsilon_{rt})\rho\omega^2 r^2 \qquad (8)$$

kun $R_0 < r < R$.

Yhtälössä 8 termi $1-E_t/E_r(\sigma_r)$ on epälineaarinen, joten yhtälölle ei ole olemassa analyyttistä ratkaisua ja yhtälön ratkaisemiseksi joudutaan käyttämään numeerisia ratkaisumalleja. /4/

4. RULLAUTUVUUTEEN VAIKUTTAVAT SC-PAPERIN OMINAISUUDET

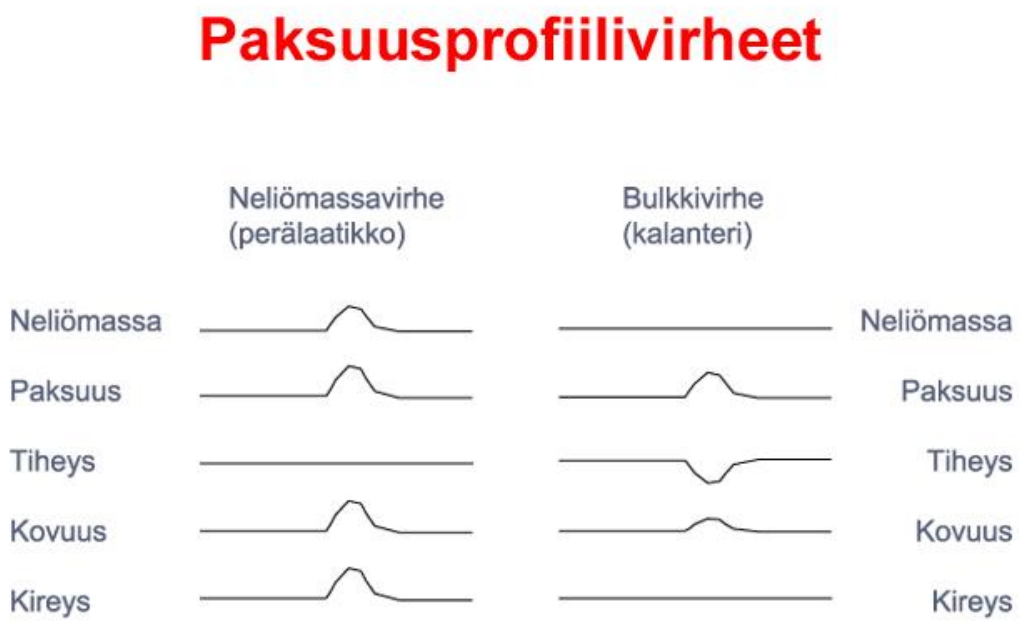
Rullautuvuudella tarkoitetaan sitä, miten radan ominaisuudet vaikuttavat rullaustulokseen (tambuurin rakenteeseen ja rullausvikaherkkyyteen). SC-paperin rullautuvuutta voidaan tarkastella lajin paperiteknisten ominaisuuksien avulla (neliömassa, paksuus, kosteus, lujuudet jne.). Mitään yksittäistä radan rullautuvuutta kuvaavaa suuretta ei ole, vaan rullautuvuus muodostuu eri ominaisuuksista (taulukko I). /6/

TAULUKKO I Rullaukseen vaikuttavat paperin ominaisuudet. /6/

Ominaisuus	Häiriön vaikutus rullauksessa
paksuus	profiilivirheet, nippivaikutus
kokoonpuristuvuus	profiilivirheet, nippivaikutus, kovuustaso
pituus	profiilivirheet, rynkyt
venymä ja joustavuus	nippivaikutus, kovuustaso, katkoherkkyys, levitys
ilmanläpäisy	sivuheitot, teleskooppisuus, ilmarynkyt, kitka
kitka	kovuustaso, rynkyt, levitys
tiheys	rullan massa, nippivaikutus
jäykkyys	rynkyt, levitys

Yleisesti rullattavan materiaalin ominaisuuksiin pohjautuvat rullausongelmat johtuvat joko jonkin ominaisuuden liian alhaisesta tai korkeasta tasosta. Rullausongelmat johtuvat useimmiten rainassa olevasta paikallisesta profiilihäiriöstä (kuva 6). Nämä ongelmalähteet tulisi poistaa niiden syntylähteellä tai korjata jo aikaisemmassa vaiheessa prosessia, eikä pidä olettaa rullaimen tai pituusleikkurin selviytyvän mistä

tahansa. Toisaalta kyseiset häiriöt aiheuttavat laatuhylkyä rullausongelmien lisäksi ja tilanne pahenee entisestään. /2/



Kuva 6. Paksuusprofiilivirheet ja sen ilmeneminen muissa paperista mitattavissa ominaisuuksissa. /2/

4.1 PAKSUUS JA TIHEYS

Rullauksessa rainan paksuuden tulisi olla mahdollisimman tasainen. Rainan paksuuteen vaikuttavat neliömassa, kosteus, massakoostumus, superkalanterin nippikuorma ja lämpötila. Eniten lopullisen paksuusprofiilin muodostumiseen vaikuttavat kuivaneliömassa ja kosteus /2/. Paksummat kohdat rainassa joutuvat rullauksessa kovemman puristuksen kohteeksi ja muodostavat rullaan paikallisia halkaisijaeroja. Halkaisijaeron ja kovemman puristuksen vaikutuksesta paperin paksumpi kohta rullautuu muita rainan osia tiukemmalle. Paksuusvaihtelut ovat merkittäviä erityisesti SC-paperilla, joka on voimakkaasti kalanteroitua ja sen kokoonpuristuvuus on alhainen. Juuri paksuusvaihtelut rainassa aiheuttavat pituusleikkurilla asiakasrulliin vanaa ja epätasaisuutta. Tiheydellä taas on suurin vaikutus rullauksessa muodostuvan rullan massaan. Ohuilla ja tiheillä lajeilla asiakasrullaan tulee kymmeniä tuhansia metrejä paperia ennen kuin haluttu rullan halkaisija saavutetaan. Rullan massan kasvaessa nippipaine

rullan ja rullaussylinterin välillä kasvaa. Ilman rullan kevennystä, nippipaine muodostuu rajoittavaksi tekijäksi rullauksen onnistumisen suhteen. Tiheä paperi läpäisee myös heikosti ilmaa. Jos rullan sisään päässyt ilma ei poistu rullauksen aikana, niin rullan sisällä oleva ilmapussi aiheuttaa nippiin kaatuessaan rynkkyä. /6/

4.2 KOKOONPURISTUVUUS

Paperin kokoonpuristuvuudella tarkoitetaan rainan z-suuntaista muodonmuutosta paineen vaikutuksen alla. Paperi on viskoelastinen materiaali, joten kokoonpuristuvuus on ajasta riippuvainen ominaisuus. Paperin kokoonpuristuvuus ja sen pysyvyys riippuu paperin paksuudesta, bulkista, kosteudesta, lämpötilasta ja paperin valmistukseen käytetyistä raaka-aineista. SC-paperissa käytettävät täyteaineet ovat erittäin huonosti kokoonpuristuvia. Samoin hiokkeen kokoonpuristuvuus on huono suuren hienoainepitoisuuden seurauksena, jolloin paperista tulee tiiviimpää. Sellukuitujen kokoonpuristuvuus on SC-paperin raaka-aineista suurin johtuen kuitujen lumenten helposta lommahtamisesta puristuksen vaikutuksesta. Lähes kokoonpuristumatonta voimakkaasti kalanteroitua SC-paperia rullattaessa rullan halkaisija kasvaa rullattavan rainan paksuuden mukaan. Kokoonpuristuvuuden vaikutus näkyy valmiin rullan kovuustasossa. Kokoonpuristumattomampi alue rainassa muodostaa rullaan kovemman kohdan. /2/

Pfeiffer on kehittänyt kokeellisesti kokoonpuristuvuudelle eksponentiaalisen mallin

$$\sigma_R = -K_1 + K_1 e^{K_2 \varepsilon_R} \tag{9}$$

jossa	σ_R	puristuspaine
	K_1	vakio
	K_2	vakio
	ε_R	kokoonpuristuma

Roisumin mukaan eksponentiaalisessa mallissa on muutamia epäkohtia ja Hakiel on kehittänyt mallia. Malli soveltuu kuitenkin yhtälön 9 muodossaan erittäin hyvin monille paperi- ja kartonkilajeille. Paperi- ja kartonkilajeille saadaan monissa tapauksissa erittäin hyvä korrelaatio (R^2 > 0,99). Paperin tai kartongin kimmokerroin z-suunnassa saadaan yhtälön 9 derivaatasta derivoimalla puristuspaine σ_R kokoonpuristuman ε_R suhteen. /5/

$$E_R = K_1 K_2 e^{K_2 \varepsilon_R} \tag{10}$$

jossa E_R z-suuntainen kimmokerroin

Yhtälössä 10 on Roisumin mukaan pieniä hankaluuksia eksponentiaalisessa käyrän sovituksessa. Kuitenkin yksinkertaisemman esitystavan löytäminen kuvaamaan z-suuntaista kimmokerrointa on vaikeaa.

4.3 VENYMÄ- JA KIMMO-OMINAISUUDET

Paperirullan kireysprofiili muodostuu paperin pituus- ja kimmokerroin-profiilista. Muodonmuutoksen ollessa suoraan verrannollinen rainan jännitykseen, voidaan paperin sanoa noudattavan Hooken lakia pienillä jännityksillä /7/

$$\sigma = E\varepsilon \tag{11}$$

jossa σ venytysjännitys
E kimmokerroin
ε venymä

Käytännössä tämä mekanismi on paljon monimutkaisempi. Paperirainan voima-venymä-käyrät ovat hyvin erilaiset vertailtaessa kone- ja poikkisuuntaisia arvoja johtuen mm. kuituorientaatiosta.
Rullaan muodostuneet poikkisuuntaiset kireysvaihtelut kuormittavat rainaa eri tavoin. Kireämmällä olevat kohdat joutuvat suuremman rasituksen alaiseksi kuin muu osa rainaa. Kireälle rullautunut kohta rainasta voi näyttää aukirullattaessa löysältä. Paperin viskoelastisesta luonteesta johtuen muodon muutokset voivat olla palautuvia (elastisia) tai palautumattomia (plastisia). Palautuminen voi olla joko välittömästi tapahtuvaa tai ajan funktiona tapahtuvaa kuormituksen loputtua. /7/ Olsenin mukaan kimmokertoimen vaihtelut rainan poikkisuunnassa ovat peräisin pääosin kuituorientaation poikkisuuntaisesta vaihtelusta. Orientaatiovaihtelut ovat seurausta perälaatikon ja viiraosan ajotavoista. /8/

4.4 KITKA

Rullan kireystasoon ja sisäisiin jännityksiin on paperin kitkalla merkittävä vaikutus. Varsinkin rullan paperikerrosten välinen kitka vaikuttaa rullauksessa kerrosten liukumiseen toistensa suhteen. Rullauksen kannalta kitkakertoimella näyttää olevan optimialue, jossa rullaus onnistuu ilman kitkasta johtuvia ongelmia. Liian vähäinen kitka paperikerrosten välissä aiheuttaa rullaan mm. kreppirynkkyä ja patapäisyyttä. Toisaalta liian suuri kitka rullan sisällä voi aiheuttaa rullauksessa tärinää, josta seuraa hylsyn epäkeskeisyys ja rullan soikeus. SC-paperilla kitkaa voidaan vähentää käyttämällä talkkia täyteaineena ja öljypohjaisia vaahdonestoaineita. Saostettu kalsiumkarbonaatti täyteaineena puolestaan lisää paperin kitkaa /4/. Roisumin mukaan rullan muodostuksen kannalta on edullisinta, että paperin lepokitka on korkea sekä sen hajonta ja ero liikekitkaan on pieni. Ohut, tiivis ja kiiltävä SC-paperi, jolla on alhainen kitkakerroin, on erityisen altis rullausvioille.

Bulkkisilla lajeilla jäykkyys ja kokoonpuristuvuus pienentävät rullauksessa syntyvien rullausvikojen todennäköisyyttä. Alhaisen jäykkyyden ja kokoonpuristuvuuden omaava SC-paperi onkin rullauksessa paljon herkempi paperin poikkiprofiilien virheille kuin bulkkisemmat paperilajit. Tiheillä ja kokoonpuristumattomalla SC-paperilla rullaustapahtuma on ongelmallisempi kuin bulkkisilla papereilla. Tämä vaatii paperilta tasaiset poikkiprofiilit hyvän rullarakenteen saavuttamiseksi. /5/

5. PITUUSLEIKKAUS

Pituusleikkauksen päätehtävät ovat rainan pituusleikkaus ja rullan muodostus. Raina leikataan halki kahdella pyörivällä terällä, jossa ylä- ja alaterä muodostavat yhdessä teräparin. Alaterässä on käyttö ja se pyörittää leikkauksessa käytötöntä yläterää. Pituusleikkurissa on myös rainan reunoissa teräparit, joilla poistetaan rainan huonot reunaosat. Pituusleikkauksessa konerullista leikataan asiakasrullia joko haluttuun leveyteen ja halkaisijaan tai leveyteen ja pituuteen, asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Yleisimmät pituusleikkurityypit ovat kantotela- ja kaksoisrullain-leikkurit. Näistä perinteisistä pituusleikkurityypeistä on tehty parannettuja versioita nopeuttamaan ja tehostamaan asiakasrullien leikkausta. Esimerkiksi kantotelaleikkureissa voidaan tarvittaessa rullan massan aiheuttamaa nippikuorman kasvua vähentää keventämällä rullaa ilmatyynyllä, korvaamalla toinen kantotela hihnatelastolla, vaihtamalla kantotelojen pintamateriaali kimmoisammaksi tai muuttamalla kantotelojen halkaisijaa ja sijoittelugeometriaa.

SC-paperi on ominaisuuksiltaan vaativa paperilaji rullauksen suhteen. Rullien halkaisijan kasvaessa, korkean nippipaineen aiheuttamat rullausviat yleistyvät kantotelaleikkurilla SC-paperirullissa. Korkea nippipaine sekä suuri rullan kireys aiheuttavat rullaan kreppirynkkyä, repeämiä, epätasaisuutta ja vanaa. SC-paperin pituusleikkaukseen ei siten perinteinen kantotelaleikkuri sovellu. SC-paperin pituusleikkaukseen soveltuukin parhaiten modernimmat moniasemaiset kaksoisrullaimet. Modifioiduista kantotelaleikkureista SC-paperin rullaukseen on mahdollista

käyttää hihnatuennalla tai pehmeämmällä telapinnoitteella varustettuja pituusleikkureita pienikitkaisille lajeille. /4/

5.1 MONIASEMAINEN KAKSOISRULLAIN

Rullausongelmat kantotelaleikkurilla ovat johtaneet siihen, että ohuen ja tiiviin SC-paperin paperin rullaukseen on kehitetty jo yli 20 vuotta sitten moniasemarullaimia. Pituusleikkurin kehitys on luonut useita erilaisia rullainkonstruktioita valmistajasta riippuen. Moniasemarullaimet voidaan jakaa rullausgeometrian ja rullaustavan mukaan kolmeen eri kategoriaan:

- Hylsytuettu rullain
- Hylsy- ja kehätuettu rullain
- Hylsy-, kehä- ja hihnatelatuettu rullain

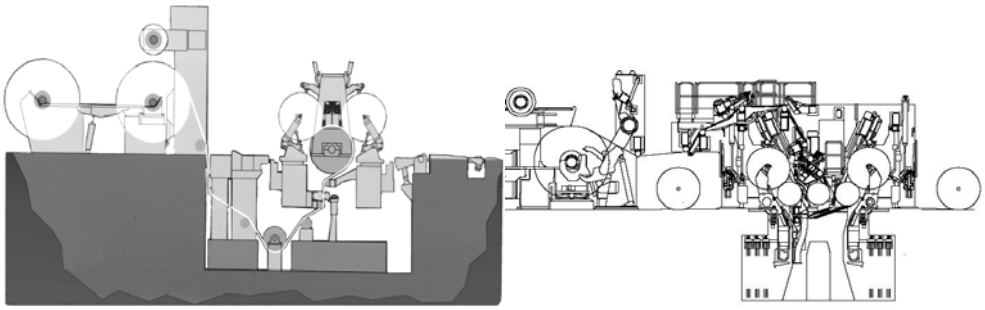
Kaikissa pituusleikkureissa rullaintyypistä riippumatta aukirullaus, radan hallinta ja leikkaus on toteutettu samalla tavoin. Kaikilla leikkurityypeillä radan kireyttä säädetään aukirullauksen jarrugeneraattorilla, nippikuormaa säädetään rullausvarsien kuormituksella tai kevennyksellä sekä kehävoimaa voidaan säätää rullausistukoiden keskiökäytöllä tai käytöllisillä painoteloilla.

Hylsytuetut rullaimet olivat ensimmäinen moniasemarullainten kehityskaaren ensimmäinen vaihe. Näissä rullaimissa on vain yksi rullaustela. Leikatut paperirullat muodostuvat rullaustelan molemmin puolin vuorotellen. Rullien keskiakseli on samalla korkeudella rullaustelan keskiakselin kanssa (kuva 17). Rullan painosta lähes 100 % lepää hylsyn ja rullausistukoiden varassa. Tässä tilanteessa hylsyn yläpuoliset paperikerrokset painuvat puristuspaineen kasvaessa kasaan ja vastaavasti hylsyn alapuolella puristuspaine pienenee. Hylsyn pyöriessä hylsyn reunoille syntyy leikkausvoimia, jotka saavat aikaan arkkien luistamista toisiinsa nähden. Rullan painon kohdistuminen kokonaan istukoiden kautta hylsyyn asettaa kovat vaatimukset paperin ominaisuuksille sekä hylsyn kestävyydelle. Paperikerrosten luistamisesta

johtuen lähelle hylsyä syntyy rataan repeämiä ja kreppirynkkyä sekä hylsy itsessään voi hajota. Hylsytuettu rullaus soveltuukin parhaiten pienten ja kapeiden rullien rullaukseen.

Kuva 17. Hylsytuetun sekä hylsy- ja kehätuetun kaksoisrullaimen rulliin aiheuttamat voimat rullauksen aikana. /9/

Hylsy- ja kehätuetussa rullaimessa leikattavaa rullaa kannatellaan hylsyltä ja rullan kehältä. Rullan päätyihin kohdistuva paine on näin pienempi kuin hylsytuetussa rullauksessa. Tämän tyypin pituusleikkureissa on eri puolen rullilla joko oma tai yhteinen rullaustela (kuva 18).

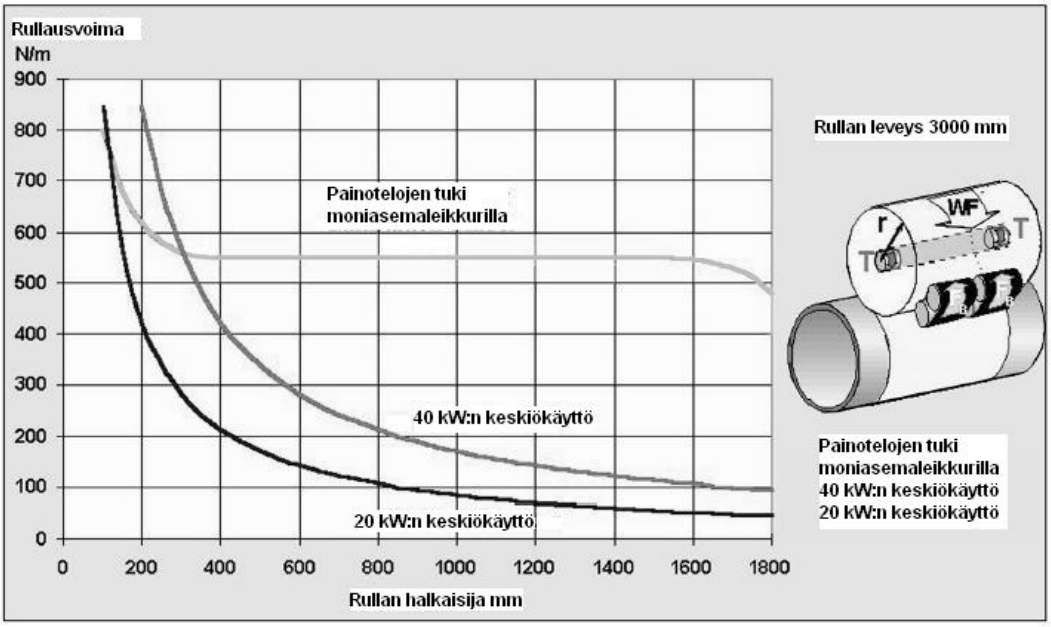


Kuva 18. Yhdellä (vasen) ja useammalla (oikea) rullaustelalla varustettu kaksoisrullain. /4/

Rullaustelan päädystä katsoen rullat ovat sijoittuneet kellotauluun verraten asentoihin 10 – 2 tai 11 – 1. Sijoittelulla saadaan jaettua rullan painon aiheuttamaa kuormaa rullaustelan ja -varsien välillä. Rullausvarsia voidaan kuormittaa tai keventää rullan halkaisijasta riippuen. Näin pystytään säätämään rullauksen edetessä rullan ja telan välinen nippikuorma aina halutulle tasolle. Tämä mahdollistaa halkaisijaltaan suurempien ja leveämpien rullien leikkauksen, ilman korkeasta nippikuormasta johtuvia pintavikoja tai rullan löysästä pohjasta

muodostuvia vikoja. Hylsy- ja kehätuettu leikkuri soveltuukin hyvin erikokoisten rullien leikkaamiseen. Leveimmillä syväpainorullilla tosin saattaa ilmetä hylsyn taipumisesta johtuvia pohjaongelmia rullauksessa.

Leveiden syväpainorullien rullauksen asettamien vaatimusten myötä on hylsy- ja kehätuettua leikkurityyppiä modifioitu asentamalla siihen leikattavaa rullaa keskeltä tukeva käytöllinen hihnatelasto. Perinteisellä kaksoisrullainleikkurilla leveän rullan halkaisijan kasvaessa rullausvarret pyrkivät kannattamaan rullaa nippikuorman vähentämiseksi. Rullan suuren massan vaikutuksesta kevennys vaikuttaa vain rullan päihin ja rullan sisällä oleva hylsy alkaa taipua. Leveillä rullilla istukat saattavat alkaa luistaa rullauksen alkuvaiheessa, kun rullan massa kasvaa liian suureksi keskiökäytön momenttiin nähden. Hihnatelastolla saadaan tehostettua leveän rullan kiinnirullausta. Rullauksen alkuvaiheessa hihnatelasto pyörittää rullaa lisäten rullausvarsien keskiökäytön aikaansaamaa rullan kireyttä. Rullauksen edetessä hihnatelaston rullaa pyörittävä vaikutus vähenee (kuva 19). Rullauksen loppuvaiheessa hihnatelaston tehtävä onkin kannatella rullaa, saaden näin aikaan rullausvarsien kanssa tehokkaamman nippikuorman säädön. Näin saadaan eliminoitua rullaan muodostuvia rullausvirheitä. Leveät rullat vaativat vahvemmat hylsyt, jotka kestävät jopa yli 6000 kg painavan ja yli 4 m leveän rullan käsittelyn ja aukirullauksen painolaitoksella. /4/



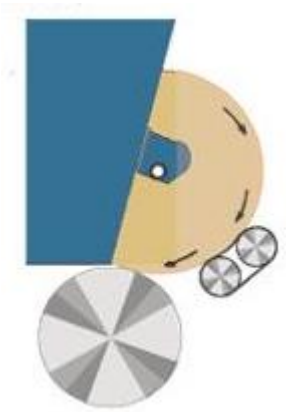
Kuva 19. Rullausvoiman synnyttäminen keskiö- tai pintavedolla. /4/

5.2 MODIFIOIDUT KANTOTELALEIKKURIT

SC-paperin pituusleikkaukseen soveltuu parhaiten modifioiduista kantotelaleikkureista pehmeätelainen ja hihnatuettu leikkuri. Pehmeätelaisessa pituusleikkurissa on kantotelan päällystetty polymeerillä, jolla saadaan vähennettyä telan ja rullan aiheuttamaa nippikuormapiikkiä sekä kantotelan painumista rullaan. Pehmeän rullan vaikutuksen optimoinnissa on otettava huomioon, että telan kimmokerroin ja Poissonnin suhde vastaavat paperirullan arvoja. Levennettäessä rullan ja telan välistä nippiä paremman rullaustuloksen saavuttamiseksi, on telan kimmokertoimen oltava pienempi tai yhtä suuri kuin paperirullan kimmokerroin.

Hihnatuetussa kantotelaleikkurissa ulommainen tela on korvattu hihnatelastolla (kuva 20). Leikattavan rullan painosta osa siirtyy hihnatelaston kannateltavaksi rullan halkaisijan kasvaessa. Tämän seurauksena etumaisen telan rullaan aiheuttama nippikuorma pysyy halutulla tasolla ja ilman pääsy rullan sisään pystytään estämään. Nippikuormaa voidaan automaattisesti säätää eri rullan tiheyksille muuttamalla tukitelaston hihnojen kireyttä. Hihnatuetulla

kantotelaleikkurilla nippikuorma ei ole hallitseva ajoparametri. Alhainen nippikuorma ja suuri rullausvoima sallivat tehokkaan tukitelaston hihnojen käytön rullauksessa. Näin rullausvoima vaikuttaa tasaisesti koko radan leveydellä ja leikattavien rullien kovuudet ovat kaikki yhtä suuria. Leikattavien rullien halkaisijat voivat olla suurempia kuin tavallisella kantotelaleikkurilla leikattujen rullien halkaisijat ilman, että rulliin muodostuu korkeasta nippikuormasta johtuvia rullausvikoja. /4/

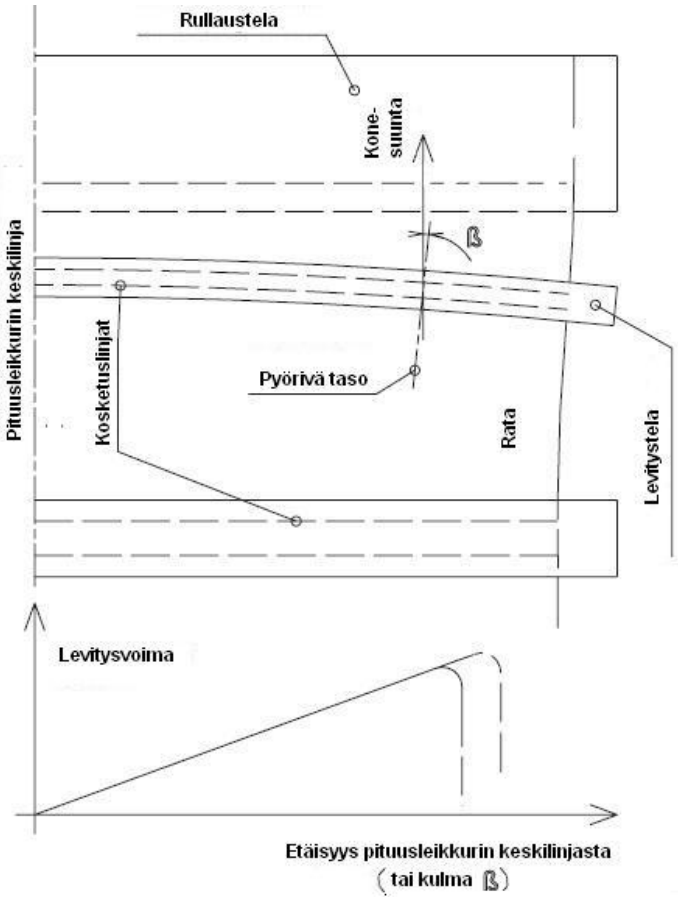


Kuva 20. Hihnatuetun kantotelaleikkurin poikkileikkaus. /2/

5.3 RADAN LEVITYS PITUUSLEIKKURILLA

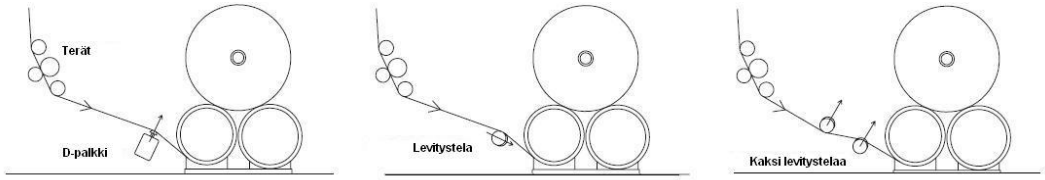
Radan levityksellä tarkoitetaan kahta asiaa joko yhtenäisen rainan tai jo pituusleikatun rainan levitystä. Kaksoisrullaimella rainan levitystä tarvitaan vain yhtenäiselle rainalle ennen teräpöytää, mutta kaikissa eri kantotelaleikkurin versioissa joissa rullat muodostuvat rinnakkain, tarvitaan rainan levitystä teräpöydän jälkeenkin. Rainan levitys kantotelaleikkureissa ennen kiinnirullausta estää asiakasrullien rullautumista ristiin. Täysleveän rainan levittäminen aiheuttaa poikkisuuntaisen vedon rainaan ja suoristaa siinä olevat konesuuntaiset rypyt ja löysät kohdat (kuva 21). Näin varmistetaan hyvälaatuinen leikkausjälki ilman rullan päätyyn muodostuvia sivuttaisheittoja. Rainan levityksellä on myös vanaa lieventävä vaikutus asiakasrulliin. Täysleveän rainan levitystä käytetään kaikissa pituusleikkurityypeissä. Levitystelat ovat kaarevia, spiraalimaisesti uritettuja kovapintaisia pyöriviä teloja. Levitystelan kaaren pidempi sivu on

kiinnirullauksen puolella sekä uritus päästää ilman telan ja rainan välistä pois aiheuttamatta pidon menetystä levitysvaiheessa. Usein telat ovat käytöllisiä, mikä lisää telan levitysvaikutusta rainaan.



Kuva 21. Täysleveän rainan levitysmekanismi ja levitysvoiman suuruus rainan poikkisuunnassa. /4/

Kantotelaleikkureilla teräpöydän jälkeen leikatut osarainat voidaan levittää D-palkkilevittimellä, yhdellä tai kahdella levitystelalla (kuva 22). Jokaisen mainitun menetelmän levitysmekanismi eroaa toisistaan, joten niiden ajotapoja ei voi verrata keskenään.



Kuva 22. Levitysmekanismi kantotelaleikkurilla. /4/

Rullaustelan pinta on uritettu jolloin telan ja paperin välissä oleva ilma pääsee poistumaan. Urat lisäävät kitkaa rullaustelan ja paperin välillä näin telan levittävä vaikutus paperiin kasvaa. /4/

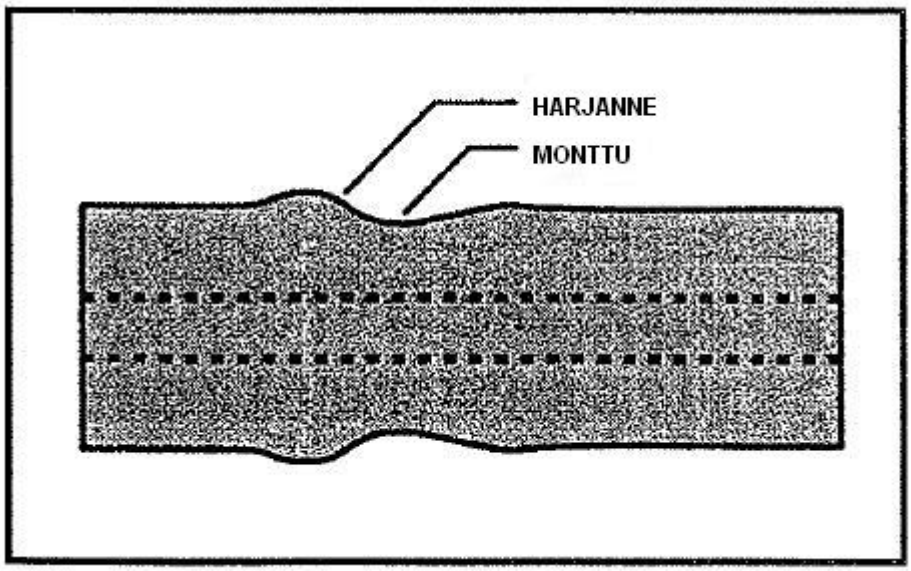
6. RULLAVANA

Rullavana on terminä monimuotoinen. Sillä kuvataan usein yleisesti samantyyppisiä, toisiaan muistuttavia eri rullavikoja. Käsitteelle on olemassa useita synonyymejä tai lähes samaa rullavikaa ilmaisevia termejä. Yleisimpiä niistä ovat panta, köysikuvio, juovaisuus, epätasaisuus tai profiilivika. Rullavanat tai vanat voivat olla neliömassa-, paksuus-, kosteus-, orientaatio-, kiilto-, karheus- tai kireysprofiilivioista johtuvia häiriöitä. /10/ Vanojen leveydet vaihtelevat muutamasta millimetristä useisiin senttimetreihin. Niiden pituus vaihtelee muutamasta metristä, yhtäjaksoiseksi koko konerullan pituiseksi viaksi. Vanat voivat pysyä koneen poikkisuunnassa paikoillaan tai ne voivat siirtyä lyhyitä etäisyyksiä paikasta toiseen koneen poikkisuunnassa. Vanoja voi olla rullassa useampia ja ne voivat olla sijoittuneena toisiinsa nähden joko säännöllisesti tai epäsäännöllisesti koneen poikkisuunnassa. Yleensä kyseessä on stabiili, yhtäjaksoinen profiilivirhe. Tämä saa aikaan asiakasrullassa ennen kaikkea ulkonäöllisen vian, joka häiritsee rullan ajettavuutta sekä heikentää paperin laatua. Koska vanaisuuden määritelmä vaihtelee eri yhteyksissä, niin selvyyden vuoksi tässä työssä keskitytään stabiileihin vanoihin. Satunnaiset vanat häviävät useasti paperin eri käsittelyvaiheissa, niin ettei niitä valmiissa asiakasrullassa havaita. Huonoon rullarakenteeseen johtavat pitkät ja radan

poikkisuunnassa paikoillaan pysyvät profiilivirheet, jotka aiheuttavat paksuuden vaihtelua rainassa. /11/

6.1 RULLAVANAN MUODOT JA DIMENSIOT

Rainan paksuudesta johtuvien vanojen muoto vaihtelee suuresti vanan koon ja vanan syntylähteen mukaan. Muodon toteamiseksi ei ole toistaiseksi olemassa mitään standardimenetelmää, mutta vanan muodosta ja koosta voidaan päätellä, missä vana on syntynyt. Kuvan 23 tapauksessa on mahdollista, että korkeampi kohta rullassa on muodostunut paperissa olevasta paksummasta kohdasta. Voi myös olla, että paperi on venynyt ja näyttää auki rullattaessa löysältä. /12/

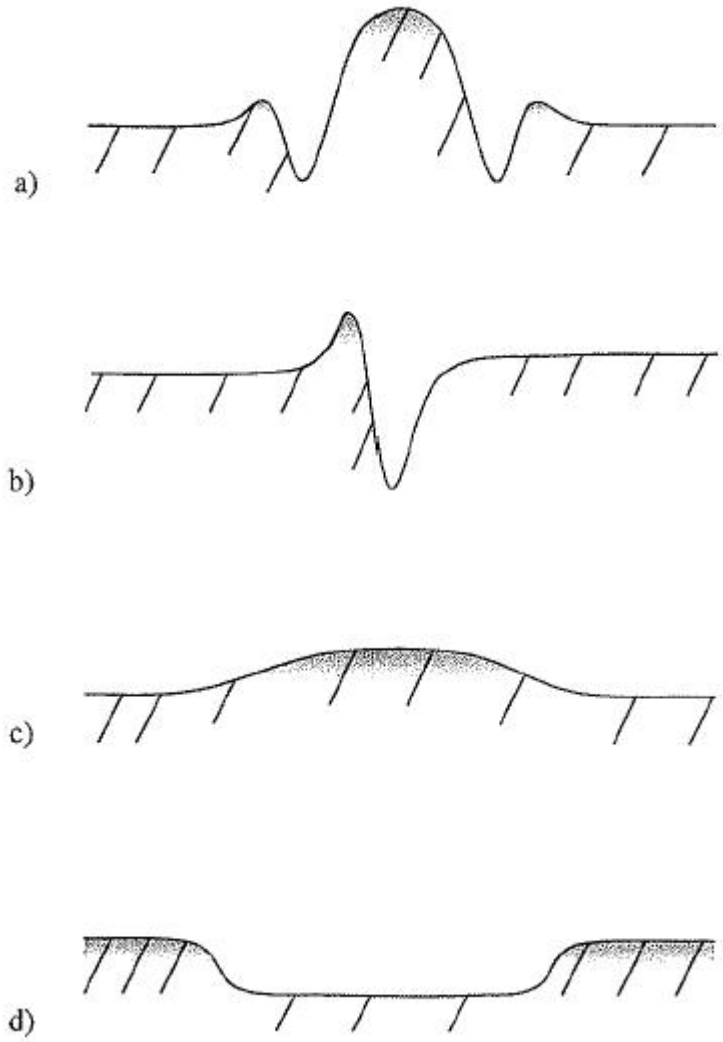


Kuva 23. Paperirullan halkaisijavaihtelut voivat johtua paikallisesta paksuus- ja pituusprofiilivaihteluista. /12/

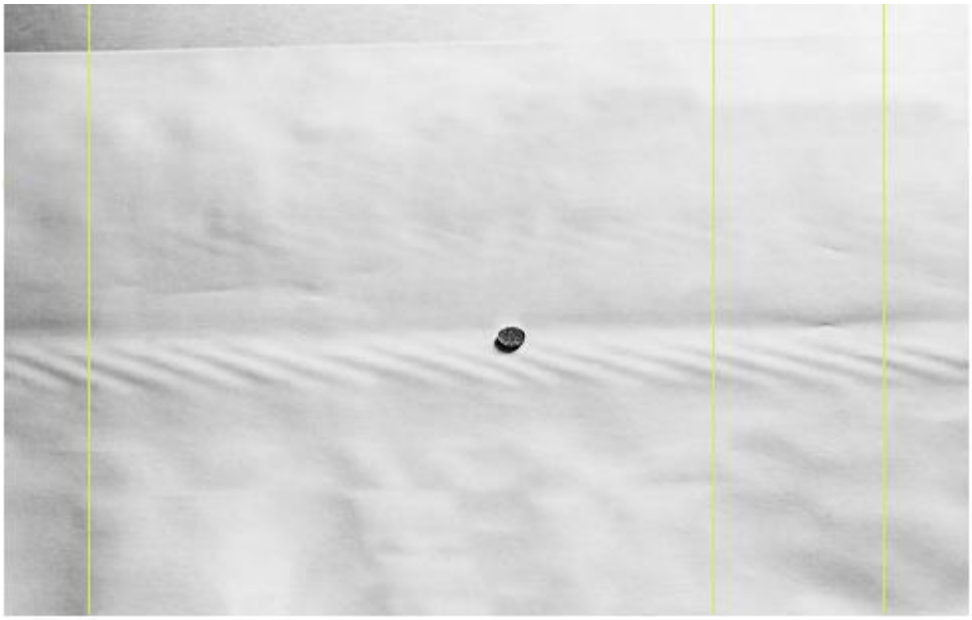
Kuvassa 24 on esitetty eri vanatyyppejä. Kuvassa 24 a-tyyppinen vana näkyy etupäässä rullan sisällä, lähellä rullan pohjaa. Tätä vanaa ei näy rullan pinnassa. Vana on muutaman senttimetrin levyinen ja syntyy yleensä perälaatikon huulisuihkun pienimittakaavaisten virtaushäiriöiden tuloksena.

B-tyypin vana on kapea paksuusprofiilivika. Sitä on vaikea havaita ja korjata online-mittauksen perusteella niiden kapeuden vuoksi. Tällainen vika voi myös aiheuttaa rynkkyä. Tämä vana syntyy myös märässä päässä virtaushäiriöistä esimerkiksi epäpuhtauksista johtuen.

C-tyyppinen vana on seurausta mm. kuluneista kalanterin teloista. Vana on loiva ja voi olla kymmeniä senttimetrejä leveä. Tyypin D vana esiintyy yleisesti päällystämättömillä, kalanteroiduilla papereilla. Profiilivika on todellisuudessa kapeampi, mutta kalanterin oskillointi saa sen näyttämään leveämmältä. Vanat ovat yleensä muutaman senttimetrin levyisiä. Tämän tyyppinen vana johtuu yleensä paperin korkeammasta kosteudesta tai alhaisemmasta neliömassasta sillä kohtaa. /12/



Kuva 24. Esimerkkejä paperirullassa esiintyvien vanojen poikki-leikkauksista. /12/



Kuva 25. Köysikuvion asiakasrullaan muodostanut vana. /13/

Kuvan 25 vanatyyppi ilmestyy rullaan yleensä pintavedollisen rullauksen jälkeen. Vana näkyy rullassa koneensuuntaan kulkevana kapeana vinovekkinä, köysikuviona. Vanaa voi esiintyä läpi koko rullan tai vain tietyllä rullan halkaisija-alueella. Vana johtuu rainan paksuusprofiiliviasta, josta seuraa rullauksessa paikallisia nopeus- ja nippikuormaeroja. Vanan muodostumiseen vaikuttaa myös pituusleikkurin rullausvarsien ja istukoiden linjauksen virheellisyys. Raina ”sopeutuu” näihin poikkeuttaviin voimiin vanoittumalla /14/. Tässä diplomityössä keskitytään juuri tähän köysikuviota asiakasrulliin muodostavan vanan syntymekanismien selvittämiseen sekä kiinnitetään erityistä huomiota pituusleikkuriin ja sen vaikutusta vanan syntyyn.

7. RULLAVANAN SYNTYMEKANISMEJA

Rullavanan syntymiseen vaikuttaa monta asiaa. Vanojen syntyminen vaihtelee konelinjakohtaisesti. Myös paperilajilla on merkitystä vanoihin. Poikkisuuntaiset paksuusvaihtelut johtuvat profiilivioista, joita voi syntyä mm. /10,15,16/

- epätasaisesta virtausprofiilista perälaatikon sisällä ja huulen alueella
- kuluneesta tai tukkeutuneesta märkäviirasta
- märkäviiran kireysvaihtelusta johtuen kudontatekniikasta
- viiraosan vedenpoisto- tai puhdistuselementtien märkäviiraa kurouttavasta rasituksesta
- tukkeutuneesta imutelasta tai puristinhuovasta, jotka ovat seurausta viallisista telan tai huovan kunnostusjärjestelmästä
- tukkeutuneesta tai viallisesta kuivatusviirasta
- likaantuneesta kuivatussylinterin pinnasta
- kuivatusosan alipaineistetuista Vac-telojen urajaosta
- kalanterin telojen epätasaisesta kulumisesta tai likaantumisesta
- puutteellisesta profiilin säätöjärjestelmän hallinnasta
- pituusleikkurin ajoparametreista
- kaksoisrullainleikkurin rullausvarsien huonosta linjauksesta

Tässä työssä keskitytään vain SC-paperiin ja siihen vanaa aiheuttaviin ongelmiin, vaikka vanoja syntyy myös muihinkin paperilajeihin. Vanojen syntyyn on useita syitä, mutta merkittävimpiä tekijöitä ovat perälaatikko ja sen toiminta, superkalanterin telojen kunto sekä pituusleikkurin asemien linjaukset.

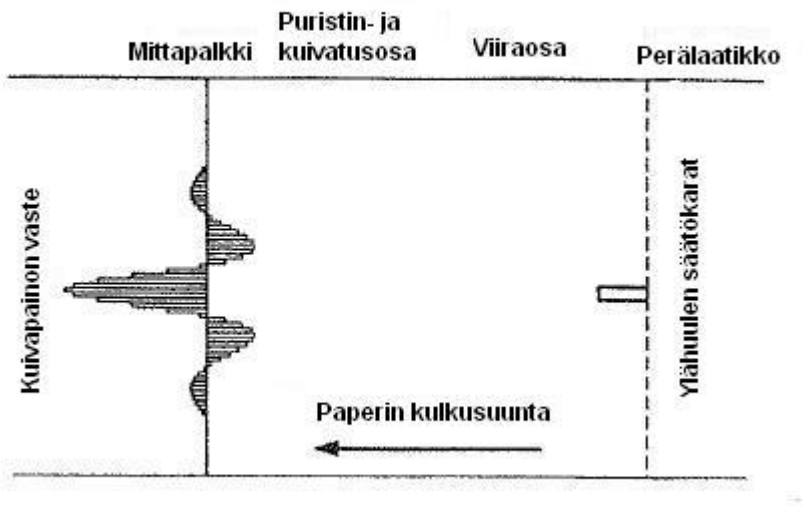
7.1 RAINAUSVAIHEEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN

Paperin rakenne ja fysikaaliset ominaisuudet ovat riippuvaisia käytetyistä raaka-aineista sekä valmistusprosessista. Rainan muodostukseen vaikuttaa keskeisesti paperikoneen perälaatikko. Perälaatikon toimivuus on tehokkuuden ja laadun kannalta erittäin ratkaisevassa asemassa. Perälaatikolla tapahtuvalla neliömassan säädöllä on suoraan vaikutusta moneen paperin ominaisuuteen. Leveät ja stabiilit vanat on helposti hallittavissa online-säädöin. Hyvin kapeita ja koneen poikkisuunnassa paikkaa vaihtavia vanoja on mahdotonta eliminoida tämän hetkisellä tekniikalla. Kapeisiin vanoihin voidaan yrittää vaikuttaa niiden syntypaikoilla modifioimalla valmistusprosessia. Vanaisuutta esiintyy jossain määrin kaikilla perälaatikkotyypeillä. Lisäksi eri toimielinten yhteisvaikutusta on hankala määrittää. Nopeuden nostolla ja perän sakeuden nostolla on lisäävä vaikutus vanoihin. /10/

Nykyään valtaosa käytössä olevista perälaatikoista on joko kärkilista- tai laimennussäädöllä varustettuja. Laimennussäädöllisessä perälaatikossa on poikkisuunnan säätövaste suurempi kuin kärkilistasäädöllisessä perälaatikossa.

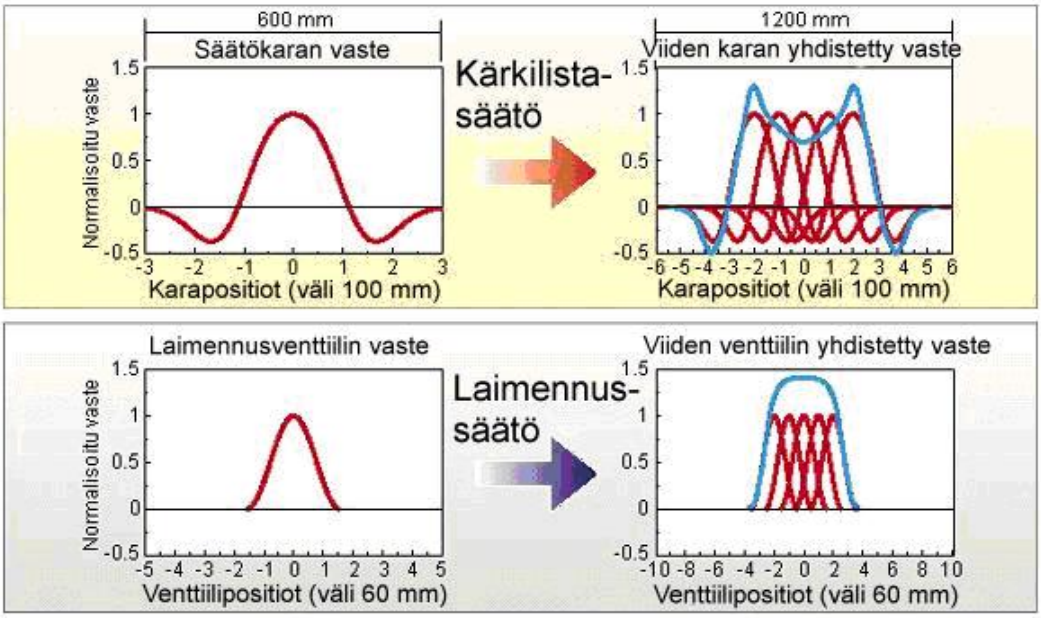
Kärkilistasäädöllisissä perälaatikoissa koneen poikkisuuntaisen virtausprofiilin säätämiseksi ylähuuli on varustettu liikkuvalla huulilistalla ja siihen kiinnitetyillä huulensäätökaroilla. Karoilla voidaan säätää minimissään kaksi kertaa karajaon levyistä aluetta. Listojen karajako on noin 120 – 150 mm. Kärkilista ei kestä jyrkkiä taivutuksia, jotka aiheuttavat listaan pysyviä muodonmuutoksia. Perälaatikon ylähuuli ja alahuuli ovat viimeisiä rajapintoja ennen kuin suihku irtoaa perälaatikosta. Näiden pintojen pitää olla sileitä, sillä lähes olemattomatkin kolhut vaikuttavat virtaaman yhtenäisyyteen koneen poikkisuunnassa. Perälaatikon sisäpinnat on kiillotettu elektronisesti, jolla saadaan tasoitettua mikroskooppisen pieniä epätasaisuuksia. Ylähuulen karoilla tehtävällä säädöllä on ongelmana vasteen muoto, jonka se saa aikaan massasuihkussa. Muutokset suihkussa vaikuttavat leveämmälle alueelle

massasuihkussa kuin mitä on karan leveys. /2/ Kuvassa 26 on havainnollistettu yhden säätökaran vaikutus kuivaneliömassaprofiiliin.



Kuva 26. Yhden toimielimen impulssin vaste kuivapainoprofiilissa. /17/

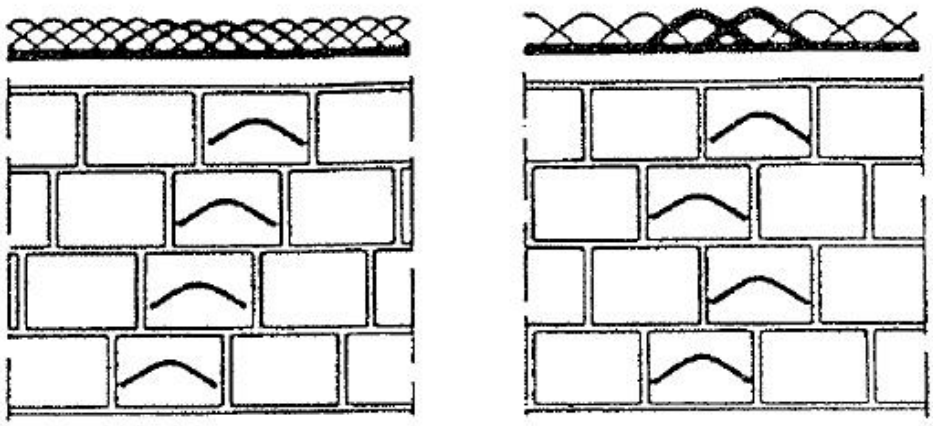
Laimennusvesisäätö perustuu lisäveden, yleensä nollaveden lisäämiseen tiettyyn poikkisuunnan kohtaan, jolloin virtauksen sakeus ja neliömassa laskevat. Yhden laimennusvesiventtiilin vastealue on noin 50 – 100 mm joka on kapeampi kuin kärkilistasäädöllisellä perälaatikolla kuten kuvasta 27 nähdään. /2/



Kuva 27. Perälaatikon yhden säätökaran vasteen vaikutus paperin profiiliin verrattuna laimennusvesisäädön yhden venttiilin vasteeseen poikkiprofiilissa on leveämpi. /2/

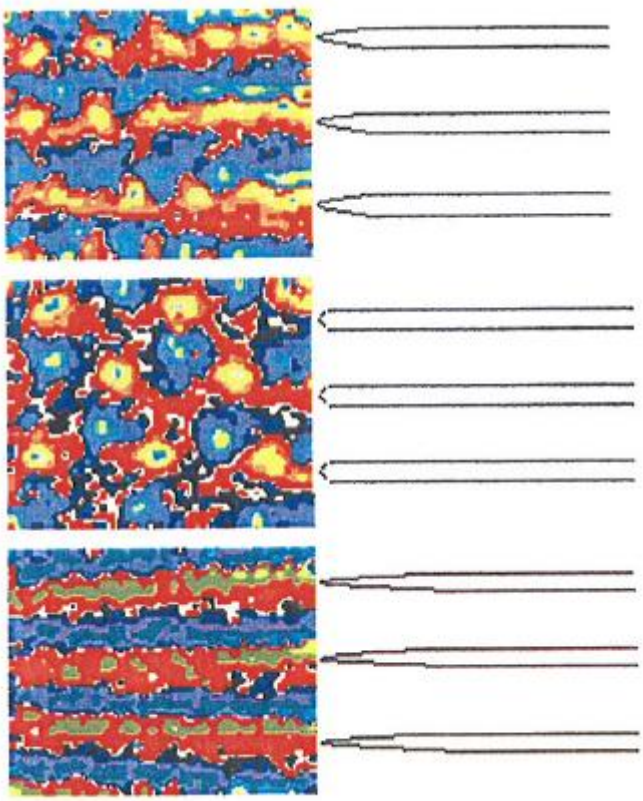
Laimennusvesisäädössä saattaa esiintyä ongelmia, jotka saavat aikaan vanaa. Näitä ovat saostumat laimennusvesiventtiileissä, laimennusvesiventtiilin vasteen liian suuri leveys säätöalgoritmille ja laimennusveden puutteellinen sekoittuminen. /18/ Laimennusvesisäädöllä olevan perälaatikon ylähuuli säädetään yleensä suoraksi. Yhtä lailla kolhut ja naarmut aiheuttavat virtausvirheitä laimennusvesiperälaatikon huulisuihkussa.

Turbulenssigeneraattorin seinämien pinnat aiheuttavat paikallisia virtausnopeus- ja sakeusvaihteluita. Eri kanavista tulevien virtausten epästabiili yhteenliittyminen johtaa epätasaiseen huulisuihkuun. Tämän vuoksi kanavien sijoittelulla ja muotoilulla on vaikutusta neliömassaprofiileihin, kuten kuvasta 28 nähdään. Joissakin ratkaisuissa kanavat on sijoitettu päällekkäin ja kanavien muotoiluilla on pyritty poistamaan vanojen syntyminen. Turbulenssigeneraattorin tuloreikien halkaisijavaihtelulla on lisäävä vaikutus vanoihin. /19/



Kuva 28. Turbulenssigeneraattorin yksittäisten kanavien summautuminen kahdella eri konstruktiolla. /15/

Turbulenssia pyritään muodostamaan huulivirtaukseen myös hetularatkaisuilla. Hetuloiden tarkoituksena on eliminoida orientaatiovanoja. Hetuloiden jättöpään muotoilu aiheuttaa pienimittakaavaista pyörteilyä, joka sekoittaa virtausrakennetta, mutta vaimenee ennen rainanmuodostusta. /20/ Kuvassa 29 on esitetty hetuloiden muotoilun vaikutus turbulenssiin huulivirtauksessa.



Kuva 29. Hetuloiden erilaisten jättöpäiden muotoilun vaikutus turbulenssiin. /21/

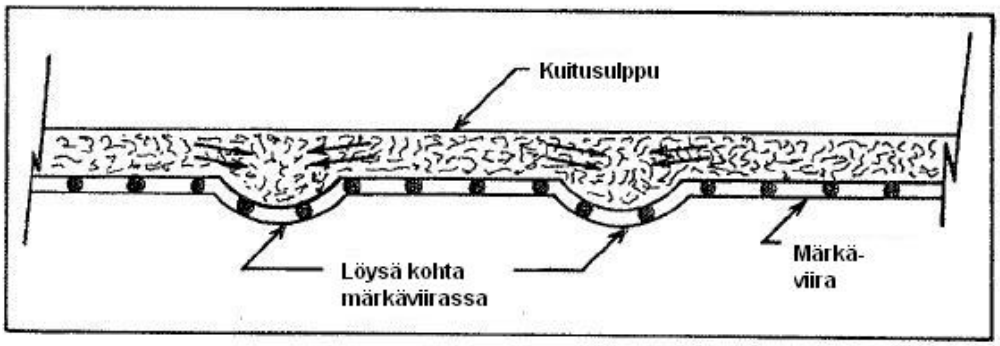
Kuten kuvasta 29 nähdään, ylimmän ja alimman hetulan jättöpään muotoilulla tulee turbulenssista ja massajakautumasta kerroksellinen. Kuvassa keskimmäisellä, pyöreällä jättöpäällä saadaan aikaan yhtenäisempi turbulenssi ja massajakauma huulivirtauksen paksuussuunnassa.

7.2 PAPERIKONEEN KUDOSTEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN

Paperikoneen tukkeutunut tai kulunut kudos voi olla syynä valmiin paperin vanaisuuteen. Viiraosan vedenpoistoelinten ja niiden rakenteiden likaisuus, jotka koskettavat viiraa, kuluttavat sitä helposti. Kuluneisuus muuttaa viiran vedenpoisto-ominaisuuksia, jolloin kuluneeseen kohtaan muodostuu helposti konesuuntaan yhtenäinen vana. Viiran suihkuputkien tukkinaiset suuttimet tai niiden huono suuntaus aiheuttavat viiraan sille kohdalle tukkeutuneen alueen. Tämä ilmiö esiintyy myös puristinhuovissa

ja vähäisessä määrin myös kuivatusviiroissa. Tukkeutuneet kohdat läpäisevät huonosti vettä. Nämä kohdat nähdään paperin kosteus- ja neliömassaprofiilien epätasaisuuksina.

Viiran kireyteen vaikuttavat erityisesti käyttöjen ja pesureiden sijoittelu. Tämä ilmenee erityisesti hybridiformerikoneilla, joissa vähäisen jäykkyyden omaava alaviira joutuu väärin sijoiteltujen pesureiden vuoksi suuremman rasituksen kohteeksi kuin yläviira. Suurempi rasitus aiheuttaa kuroutumista alaviiran poikkisuunnassa ja aaltoileva alaviira ei välttämättä ehdi levittyä täysin ennen perälaatikkoa. Viirapöydällä muodostuu massan sivuttaisvirtauksia poikkisuunnassa kuroutuneen viiran aallon pohjiin kuvan 30 mukaisesti. /16/



Kuva 30. Märkäviirassa olevien kuroutumien vaikutus rainanmuodostukseen. /16/

7.3 PAPERIKONEEN TELOJEN JA SYLINTEREIDEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN

Puristinosan telojen kunnolla on huomattava merkitys rainan poikkisuuntaisten ominaisuuksien muodostumisessa. Likaiset puristinosan telat kuluttavat helposti puristinhuopia. Imutelojen tukkinaiset alueet jättävät rainaan kosteampia kohtia. Myös puristimen uratelojen urien tukkeutuminen johtaa kosteampiin kohtiin rainan konesuunnassa ja sitä kautta paperin paksuuden vaihteluun. Puristinosan tärinä ja

puristuspaineen epätasainen jakautuminen saattavat aiheuttaa rainaan poikkisuuntaisia paksuusvaihteluita.

Kuivatussylintereiden likaantuminen ja kuluminen muuttavat niiden lämmönsiirtokykyä. Erityisesti pantamaiset liat tai kuluneet kohdat sylinterissä aiheuttavat epätasaisuutta kosteusprofiilissa. Sylinteriin kiinni palanut likapanta kuluttaa myös viiraa epätasaisesti. Uusissa paperikoneissa on kuivatussylintereitä, jotka ovat alipaineistettuja Vac-teloja. Telat on uritettu ja rei'itetty tasaisin välein. Jos peräkkäisten sylintereiden uria ja reikiä ei ole lomitettu, saattaa ohuilla ja tiiviillä paperilajeilla muodostua lieviä kosteusvanoja. /10/

Mahdollisen konekalanterin telat voivat likaantua ja kulua myös vastaavalla tavalla. Konekalanterin telojen halkaisijavaihtelut voivat olla peräisin valmistusvirheestä, kulumisesta tai paperista peräisin olevista lämpötilavaihteluista. Lämpötilavaihtelusta peräisin olevat halkaisija-muutokset voivat olla useita mikrometrejä aiheuttaen konesuuntaista paksuusprofiilin poikkeamaa rainaan. Niskasen /22/ mukaan teloilla on tietyissä oloissa taipumus hakeutua muotoon, jossa nippipaineprofiili on suora. Ilmiö selittyisi sillä, että telojen ollessa kuumempia kuin paperi, lämpö siirtyy paremmin telasta paperiin niissä kohdissa, joissa nippipaine on suurempi. Näin tela jäähtyy paikallisesti ja paineprofiili tasoittuu. Itsestään korjaava ilmiö estyy, jos lämmönsiirtyminen on päinvastainen.

7.4 SUPERKALANTERIN TELOJEN VAIKUTUS VANAISUUTEEN

Yleensä kiillotettuun paperiin muodostuvat vanat tai patit johtuvat kuluneista kiillotuskalanterin teloista. Terästelojen kulumisen syynä ovat yleensä epätasaisesti kuluneet tai likaantuneet kaavarien terät. Elastisten telojen, etenkin paperitelojen kuluminen johtuu paperin neliömassaprofiilin epätasaisuudesta. Suuremman neliömassan alue kuluttaa paperitelaan pysyvän jäljen jolloin paperiin jää sille kohtaa paksumpi kohta. Paksumman paperin kohta muodostaa tambuuriin kovan patin. Tämä ongelma häviää, kun vaihdetaan kuluneet paperitelat pois kalanterista. Nykyään superkalanterin uusien elastisten telojen pintamateriaali on

polymeeriä, joka kestää paremmin kulutusta ja korkeampia lämpötiloja kuin paperitelat. Näin vanojen ja pantojen muodostuminen tambuureihin vähenee. /23/

7.5 PITUUSLEIKKURIN VAIKUTUS VANAISUUTEEN

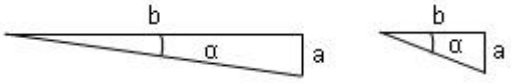
Yleensä syynä vanan muodostumiseen leikattuihin asiakasrulliin on rainan epätasainen paksuus- tai neliömassaprofiili. Leikattuun rullaan syntyy jyrkkien profiilivirheiden seurauksena halkaisijaeroja, jotka aiheuttavat rainaan paikallisia nopeus- ja nippikuormaeroja. Näiden erojen vaikutuksesta raina hakeutuu luonnostaan tasapainoisempaan tilaan samalla vanoittuen. Rullauksen tiukentuessa paksummat kohdat rainassa saavat aikaan vanoja. Erityisesti kantotelaleikkureilla tämä on ongelma rullien halkaisijan kasvaessa. Toisaalta kaksoisrullaimilla voidaan asemien kevennyksellä vähentää suuresta nippikuormasta johtuvia vanoja. Kaksoisrullaimilla syntyy pohjavanaa leveisiin rulliin, jos yritetään rullata liian tiukkoja rullia liian pienellä painotelapeitolla ja -kuormalla. /14/

Kaksoisleikkurin asemien varsien virheellinen linjaus aiheuttaa rullaustilanteessa rataan poikkeuttavia voimia, joihin etenkin kapea rulla reagoi vanoittumalla. Jo muutaman millimetrin kymmenesosan virhe aseman linjauksessa heikentää, varsinkin kapeiden ja korkeiden rullien, rullauksen onnistumista. Vanaa voi muodostua vain kapeiden rullien pintaosiin rullan halkaisijan kasvaessa muodostaen pintavanaa. Kapeilla ja korkeilla rullilla tarkoitetaan tässä sellaisia rullia joiden leveys on alle metri ja halkaisija on suurempi kuin metri.

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \tag{12}$$

jossa	α	rullausvarsien linjausvirheestä johtuva kulma
	a	rullausvarsien linjausvirhe
	b	rullausvarsien etäisyys

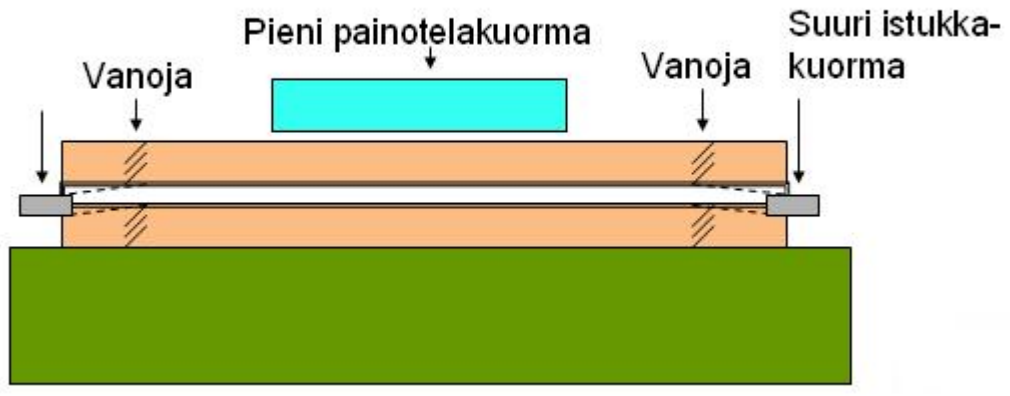
Rullausaseman varsien linjausvirhe muodostaa suuremman kulman α normaalitasoon nähden kapeilla rullilla kuin leveämmillä rullilla yhtälön 12 mukaan. Kuvassa 31 on havainnollistettu linjausvirheellisen rullausvarren kulman muuttuminen normaalitasoon verrattuna rullan eri leveyksillä linjausvirheen pysyessä samana.



Kuva 31. Havainnollistava kuva rullausvarsien samana pysyvän linjausvirheen a normaalitason kanssa muodostaman kulman α kasvu rullausvarsien etäisyyden b pienentyessä.

Rainan poikkisuunnassa paikoillaan oleva rainan profiilivirhe aiheuttaa rullaan halkaisijaeron. Valmiissa rullassa on tuhansia kerroksia paperia ja profiilivirhe kertaantuu rullauksessa jokaisella kierroksella. Teoriassa yhden mikrometrin paksuusero aiheuttaisi kymmenellä tuhannella kierroksella senttimetrin halkaisijaeron muodostumisen valmiiseen rullaan. Kokoonpuristuvuudesta ja rullan kireyden poikkisuuntaisesta vaihtelusta johtuen valmiissa rullassa oleva paksumman kohdan korkeus muuhun rullaan nähden jää käytännössä paljon pienemmäksi.

Leveillä rullilla vana muodostuu rullan sisäosiin (kuva 32). Vanaa ei muodostu aivan rullan pohjalle vaan sen jälkeen, kun paperia on hylsyllä 25 – 100 mm. Leveisiin SC-paperirulliin muodostuu helposti vanaa, jos istukkakuorma on liian suuri painotelakuormaan verrattuna. Liian suuri istukkakuorma ja alhainen painotelakuorma saavat aikaan hylsyn päiden voimakkaan painumisen rullaustelaa vasten ja pitkän kuituhylsyn taipumisen. Hylsyn taipumisen ja paperin puristumisen seurauksena rullan päiden halkaisija jää rullan keskiosan halkaisijaa pienemmäksi. Rullan poikkisuuntaisiin nippikuorma- ja nopeuseroihin rata reagoi vanoittumalla läheltä rullan päitä. /14/



Kuva 32. Vanojen muodostuminen leveän rullan pohjalle. /14/

8. VANAN SYNNYN EHKÄISY

Vanan poistaminen pitäisi pystyä tekemään sen syntypaikalla, sillä myöhemmissä paperin käsittelyvaiheessa ongelma yleensä vain pahenee entisestään. Syntypaikan selvittäminen vaatii syy-yhteyksien systemaattista selvitystä ja hallintaa. Jo syntymään päässyttä vanaa ei voida enää täysin poistaa myöhemmissä paperin käsittelyvaiheissa. Prosessin mitoituksella ja sen modifioinnilla on tärkeä vaikutus vanojen syntyyn. Kunnossapitoon tulee kiinnittää huomiota, sillä konelinjalla on useita kuluvia ja likaantuvia osia. Näitä ovat muun muassa kudokset, telat ja kaavarit.

Hyvän laadun perusta on profiilien vaihtelun minimointi. Nykyään on kehitetty erilaisia profilointilaitteita eri paperin valmistuksen vaiheisiin. Näillä saadaan kompensoitua aikaisemmin prosessissa syntyneitä häiriöitä. Paperikoneella näitä ovat esimerkiksi laimennuksella varustettu perälaatikko, höyrylaatikot, vyöhykesäädettävät telat, infrakuivaimet ja kostutuslaitteisto. Superkalanterilla profiiliongelmia voidaan kompensoida vyöhykesäädettävillä teloilla tai telojen halkaisijan muuttamiseen tarkoitetuilla induktio- tai infralaitteilla. /2/

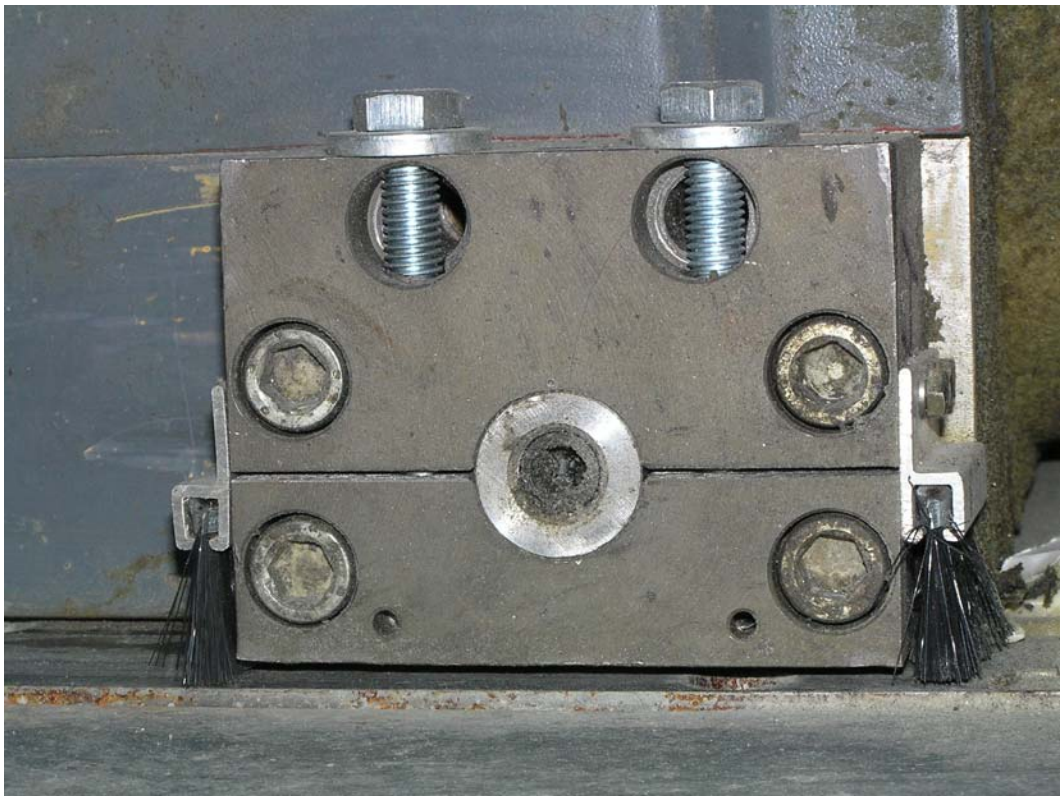
Rullauksen kannalta merkittävä keino vanojen vähentämiseen on oskillointi. Oskillointi on yleisesti käytössä offline-kalantereilla mutta tekniikkaa on jo sovellettu toisen sukupolven rullaimissa.

9. RULLAVANAN EHKÄISY KAKSOISRULLAINLEIKKURILLA

Rullavanan muodostumisen ehkäisemiseksi kannattaa nippikuormasäädöllisestä rullausmallista siirtyä ratakireyttä ja rullausmomenttia säätävään rullausmalliin. Näin saadaan hallittua radan kireys paljon paremmin. /4/ Leveillä rullilla rullavanan muodostumisen ehkäisemiseksi pituusleikkurilla on käytettävä riittävän suurta painotelapeittoa ja -kuormaa sekä alhaisempaa istukkakuormaa rullauksen alkuvaiheessa. Painotelat eivät myöskään saa olla liian lähellä rullausvarsia. Painotelakuormaa voidaan kasvattaa kaksin- tai kolminkertaiseksi lisäämällä painoteloihin hihnat ilman, että painotelat aiheuttavat rullausvikoja. Hylsyn jäykkyyden kasvattamisella on vanoja vähentävä vaikutus leveissä rullissa. Kapeilla rullilla vanaa saadaan vähennettyä linjaamalla rullausvarret sekä välttämällä liian suurta kireyttä ja nippikuormaa rullauksen loppuvaiheessa. /14/ Kaikille rullaleveyksille soveltuvia keinoja vanojen vähentämiseen on lisätä paperikerrosten välistä kitkaa ja vähentää rainan poikkiprofiilien vaihteluita. Neliömassan nostaminen vähentää Roisumin mukaan vanan muodostumista, mutta tämä ei ole yleensä mahdollista, koska neliömassa on sidottu asiakastilaukseen /5/.

Vanan ilmestyessä valmiiseen rullaan voidaan ensiapuna kaksoisrullainten rullausvarsien epäkeskorullien alla ohuita pellin paloja (mellauspellit). Pellin paloilla pystytään muuttamaan hetkellisesti asemien linjausta. Rullauksen loppuvaiheessa saattaa muodostua köysikuvion lisäksi rullan päätyyn noin millimetrin suuruinen lippa, jossa muutama paperikerros on siirtynyt sivuttain. Rullan päädyssä olevan lipan puoleisen rullausvarren alle laitetut ohuet pellin palat yleensä estävät vanan ja lipan muodostumisen seuraavaksi leikattaviin rulliin. Käytännössä, jos vanaa muodostuu pituusleikkurilla reunarulliin, on käytetty ohuita pellin paloja radan reunan puoleisen rullausvarren alla. Pellin palojen käyttö on aina tilapäisratkaisu ja niiden käyttöön turvautuminen on merkki siitä, että rullausasemien linjaus on muuttunut ja ne on linjattava uudelleen. Rullausasemien linjausta pystytään säätämään, mm. rullausaseman

epäkeskorullista. Epäkeskorullien lukituksen parantamisella (kuva 33) saadaan rulla pysymään paikoillaan pidempään ja rullausasemien liikuttelusta seuraavien linjausvirheiden määrä vähenee. Epäkeskorullien lukituskappaleeseen lisätyt pienet harjat poistavat epäpuhtaudet lattajohteelta asemien liikkuessa. Pienikin epäpuhtaus epäkeskorullan ja lattajohteen välissä voi muuttaa asemien linjausta rullaustelan suhteen. Myös liikkuvien ja kuluvien osien välysten suurentuminen poikkeuttaa rullausasemien linjausta. /24/



Kuva 33. JR-1000 pituusleikkurin rullausasemien epäkeskorullien lukituskappale on saatu kireämmäksi halkaisemalla se ja lisäämällä pystypultit. Lisätyt harjakset pitävät lattajohteen puhtaana asemien liikkuessa.

Hylsyvalmistajan mukaan hylsyjen ominaisuuksilla on vaikutusta vanan muodostumiseen. Käytettävien hylsyjen pitää olla mahdollisimman suoria. Tämä korostuu erityisesti leveillä rullilla. /25/

Eräs ratkaisu rullavanan ehkäisyyn voisi olla pituusleikkurin rullaussylinterin pinnoitteen vaihtaminen pehmeämpään materiaaliin. Pehmeämpi pinnoite mukautuu paremmin rullan paikallisiin halkaisijaprofiilin epätasaisuuksiin. Näin paksummissa kohdissa nippipaine laskee rullaustelan pintamateriaalin joustamisen ansiosta. Elastisen pintamateriaalin myötä rullausnipin pituus kasvaa, jolloin ilman pääsy rullan sisälle vähenee. Syy siihen ettei elastinen pintamateriaali ole saavuttanut täydellistä läpimurtoa pituusleikkureissa, on sen heikompi kulutuskestävyys metallipinnoitteisiin verrattuna. /26/

Laitevalmistajan kokemuksen ja testien mukaan elastinen pintamateriaalin käyttö pituusleikkurin rullausteloissa soveltuu parhaiten kiiltävien ja tiiviiden lajien, kuten LWC:n ja päällystetyn hienopaperin pituusleikkaukseen. Pehmeällä pintamateriaalilla, etenkin pienikitkaisilla paperilajeilla, rullien kaatuminen vähenee merkittävästi. Korkeakitkaisen, PCC:lla täytetyn SC-paperin pituusleikkauksessa ei pehmeällä pintamateriaalilla rullausteloissa ole saavutettu ratkaisevaa etua koviin metallipintoihin verrattuna vanojen tai kaatumisen vähentämiseksi. Metallipinnat ovat pitkäikäisempiä ja sietävät paremmin eri puhdistusmenetelmiä kuin polymeeripinnat. /27/

KOKEELLINEN OSA

10. TYÖN TAVOITTEET

Kokeellisen osan tavoitteena oli selvittää SC-paperirullissa esiintyvän vanaisuuden syntymekanismeja ja sitä, kuinka pituusleikkurilla voitaisiin vähentää vanan muodostumista asiakasrulliin.

Kokeellinen osa jakautui kahteen osaan. Esikokeissa etsittiin jo leikattujen vanarullien poikkiprofiileista syitä vanan syntymiselle. Muutamasta hylätystä vanarullasta mitattiin myös kovuusprofiilit, joita verrattiin TAPIO - analysaattorilla mitattuihin poikkiprofiileihin.

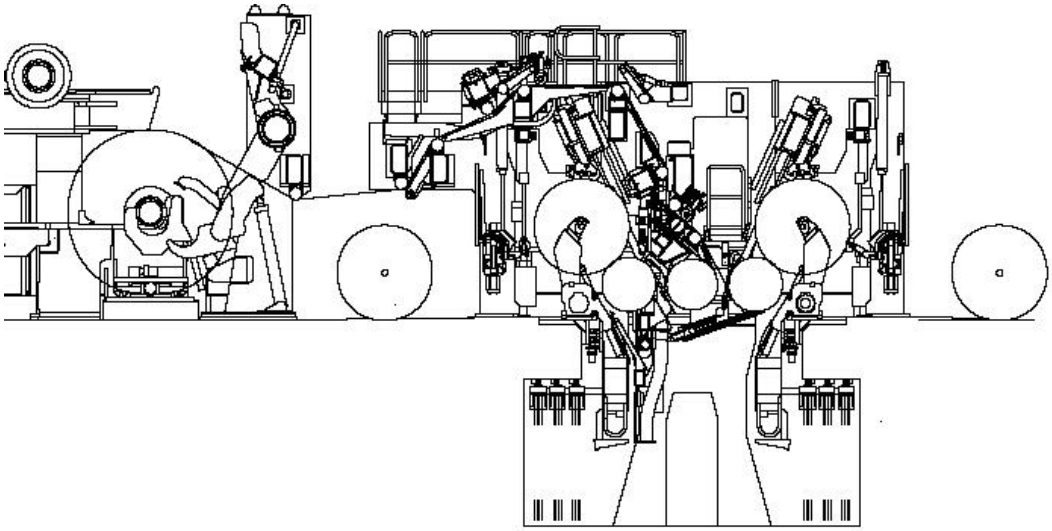
Esikokeissa tilastoitiin vuoden 2005 helmikuun alusta saman vuoden syyskuun loppuun hylkyrullien jakautumista eri pituusleikkurin asemien, leikkausposition ja superkalanterien mukaan. Samalla seurattiin myös superkalantereilla ja erityisesti pituusleikkurilla suoritettujen korjaustöiden vaikutusta rullahylkymääriin.

Varsinaisissa kokeissa selvitettiin pituusleikkurin ajoparametrien, rullausposition ja pituusleikkurin rullausasemien vaikutus vanan muodostumiseen sekä rullan kovuusominaisuuksiin. Myös vanojen yhteys rainaominaisuuksiin tunnistettiin.

Kuva 34. Vasemmalla epätasainen rulla (suorat raidat) ja oikealla vanarulla (vinot raidat).

Pituusleikkurin henkilökunnan hylkäysperusteiden mukaan hylkysyyt jakautuvat siten, että vanalla he tarkoittavat rullauksen aikana ilmestyvää viistoa köysikuviota (kuva 34 oikea). Pintavanarullassa köysikuvio syntyy aivan rullauksen loppuvaiheessa rullanpintaosaan. Epätasaisuus on erittäin paljon vanaa muistuttava rullavika, jolla tarkoitetaan suoria konesuuntaisia jälkiä rullan pinnassa (kuva 34 vasen). Vanan ja epätasaisuuden määrittelyssä on varmasti jokaisella henkilöllä oma tulkintansa, koska rullausvirheet muistuttavat erittäin paljon toisiaan ja tunnistus suoritetaan käsin tunnustelemalla. Melkein epätasaisissa rullissa tai vanarullissa on käsin tunnusteltaessa havaittavissa lieviä, kapeita halkaisijavaihteluita joita ei välttämättä havaita visuaalisessa tarkastelussa. Näitä rullia ei kuitenkaan hylätä vaan merkataan pituusleikkurin pöytäkirjaan melkein hylkynä.

Tässä työssä keskitytään vanan muodostumiseen pituusleikkurilla, joten ei ole syytä esitellä kaikkia paperikonelinjan laitteita.
PK 6 pituusleikkuri on Valmetin JR 1000. Pituusleikkuri on kuvan 35 kaltainen kaksoisrullain, jossa ei kuitenkaan ole automaattista tambuurin vaihtolaitteistoa. Tambuurin vaihto sekä päänvienti tehdään käsin. Pituusleikkurilla muuton vaihto tapahtuu automaattisesti. Leikkurilla on kahdeksan asemaa, mutta enintään seitsemää asemaa voidaan käyttää yhtä aikaa. Rullausasemat on numeroitu juoksevasti numeroin 1 – 8 siten, että parittomat rullausasemat ovat leikkurin ulkopuolella ja parilliset ovat leikkurin sisäpuolella. Asema n:o 1 on pituusleikkurin etureunassa. Leikattavien rullien halkaisija vaihtelee 100 – 125 cm välillä. Kapeimman leikattavan rullan leveys on 400 mm ja leveimmän rullan leveys on 3600 mm. Trimmileveys on maksimissaan pituusleikkurilla 5380 mm. Tambuureista voidaan tilatun muuton pituudesta ja tilattujen rullien halkaisijasta riippuen leikata 2 – 4 muuttoa. Pituusleikkurin normaali ajonopeus on 30 m/s.



Kuva 35. Myllykosken PK 6 pituusleikkuria vastaava konsepti. /4/

11. ESIKOKEIDEN SUORITUS

Esikokeina selvitettiin vuoden 2005 helmikuun alusta alkaen saman vuoden syyskuun loppuun saakka pituusleikkurilta tulleiden vana-, pintavana- ja epätasaisten rullien osuus koko hylkyrullamäärästä. Tarkasteluun otettiin myös sellaiset rullat, joissa oli epätasaisuutta tai käsin tunnusteltaessa havaittavissa lievää vanaa. Rullia, joissa oli lievää vanaa, ei kuitenkaan hylätty vaan ne merkittiin pituusleikkurin pöytäkirjaan melkein hylkynä. Tarkasteluun otetut hylky- ja melkein hylkyrullat eriteltiin myös superkalantereiden, pituusleikkurin asemien ja leikkausposition mukaan hylkyrullien syntymisen systemaattisuuden selvittämiseksi. Rullahylyt jaettiin superkalantereilla ja pituusleikkurilla suoritettujen korjaustöiden mukaan eripituisiin ajanjaksoihin, jotta saataisiin selville korjausten vaikutus muodostuvan rullahylyn määrään pituusleikkurilla. Tähän pitkän aikavälin tilastoon otettiin mukaan jokainen paperikonelinjalta muodostunut hylkyrulla paperin lajista ja neliömassasta riippumatta neliömassan vaihdellessa välillä 48 – 65 g/m^2. Elokuun hylkyrullat jaoteltiin myös muutoittain. Tällä selvitettiin sitä, että onko vanarullien muodostumisella yhteyttä tambuurin halkaisijan suuruuteen.

Esikokeina otettiin myös leikatuista vanarullista näytteitä analysoitavaksi TAPIO -analysaattorilla. Näytteistä mitattiin mm. neliömassa, paksuus ja

tiheys. Näytteitä otettiin vain kalanteroidusta offset-paperista, jonka neliömassa oli 57 g/m^2, jotta näytteet olisivat keskenään vertailukelpoisia. TAPIO -analysaattorilla mitatuista poikkiprofiileista haettiin eri rullien vanoille yhtä tai useampaa ominaisuutta selittämään vanan muodostumista rulliin. Poikkiratamalleista mitattiin myös Lorentzen & Wettre TSO -mittalaitteella orientaatiokulmaprofiili. Näytteet otettiin paperikonehallissa ja siirrettiin ilmastoitumaan analysointihuoneeseen. Huone jossa TAPIO -analysaattori ja orientaatiokulmamittalaite sijaitsivat, ei ollut ilmastoinniltaan standardin SCAN P 2:75 mukainen. Huoneen lämpötila ja kosteus kuitenkin pysyivät mittausten aikana vakioina. Näytteet olivat vertailukelpoisia keskenään, mutta ulkopuolisten näytteiden kanssa vertailua ei voida ilmastointioloista johtuen suorittaa.

Muutamasta TAPIO -analysaattorilla tutkittavasta vanarullasta mitattiin kovuusprofiilit sveitsiläisen Proseq SA:n markkinoimalla mittalaitteella PARO tester2:lla. Näitä kovuusprofiileja verrattiin rainan muihin poikkiprofiileihin. Vanoja tutkittaessa ei ollut oleellisinta mitattujen suureiden lukuarvot vaan mittauksissa ilmenneet paperin ominaisuuksien kapea-alaisten ja jyrkkien muutoksien suuruudet.

Mittalaitteiden teknisiä ominaisuuksia on esitelty liitteissä I – III.

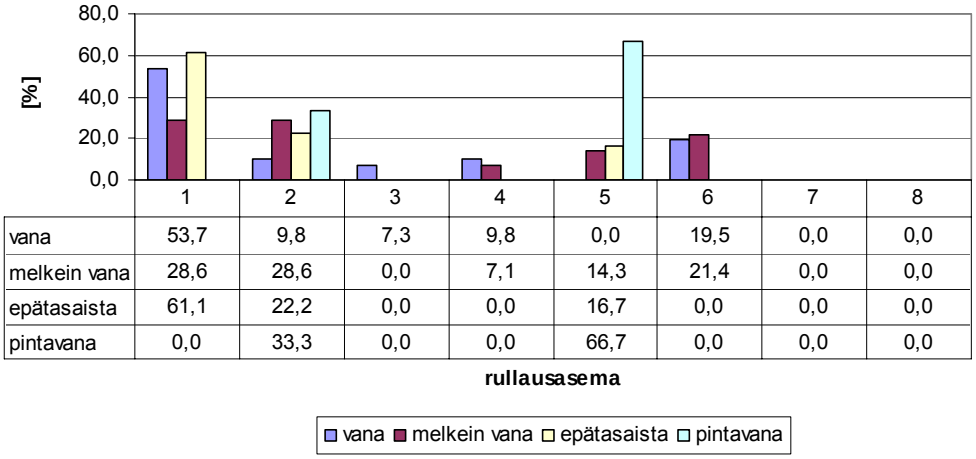
12. ESIKOKEIDEN TULOKSET

12.1. TILASTOINTI

Helmikuun alussa muutettiin pituusleikkurin sisäpuolen rullausasemien n:o 4 ja 6 konesuuntaisen kallistuksen säätämiseen käytettävien epäkeskorullien lukitusta (kuva 33). Lukitus tehtiin tiukemmaksi asemien linjausten muuttumisen ehkäisemiseksi asemia siirreltäessä asetteiden vaihdoissa. Lukitusmuutosta kokeiltiin näillä kahdella asemilla ja seurattiin hylkyrullamäärien kehitystä noin kuukauden ajan.

Kuvasta 36 nähdään, ettei etenkään rullausasemalle n:o 4 muodostunut kuin vähän hylkyä helmikuussa. Voidaan olettaa, että ko. aseman linjaus

pysyi muuttumattomana helmikuussa lukitusmuutoksen jälkeen. Oletuksen paikkaansa pitävyys varmistui maaliskuun linjauksissa. Asemalle n:o 6 muodostui noin viidesosa kaikista vanarullista kuten myös melkein hylätyistä rullista.



	1	2	3	4	5	6	7	8
vana	53,7	9,8	7,3	9,8	0,0	19,5	0,0	0,0
melkein vana	28,6	28,6	0,0	7,1	14,3	21,4	0,0	0,0
epätasaista	61,1	22,2	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0
pintavana	0,0	33,3	0,0	0,0	66,7	0,0	0,0	0,0

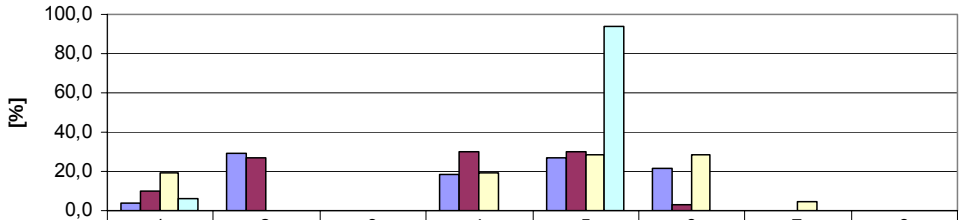
Kuva 36. Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen eri rullausasemille hylkäyssyyn mukaan helmikuussa 2005.

Vaikka rullausasemalle n:o 6 muodostui noin viidesosa vanarullista, aseman linjaus ei ollut muuttunut. Tämä varmistui myös maaliskuussa tehdyissä asemien linjauksissa. Vanarullien muodostuminen on selitettävissä paperin takareunan ajoittain huonoilla profiileilla, sillä asemalla n:o 6 rullataan usein takareunan rullia asetteissa joissa on paljon kapeita rullia. Kuten taulukosta II nähdään, helmikuussa vanahylkyä muodostui kuitenkin eniten etureunaan. Pintavanan osalta ei voida tehdä johtopäätöksiä, sillä pintavanallisia rullia muodostui vain 3 kappaletta helmikuussa. Tarkasteltavasta hylkymäärästä 74 % tuli superkalanteri II:n tambuureista. Näin suuri prosentti antaa viitteitä ongelmista superkalanterilla, ei niinkään pituusleikkurilla tai paperikoneella.

TAULUKKO II Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen hylkäyssyyn mukaan rainan poikkisuunnassa helmikuussa 2005. Etureunan hylyksi laskettiin asetteen etureunan rulla, takareunan hylyksi laskettiin asetteen takareunan rulla ja keskihylyksi laskettiin reunimmaisten rullien välissä olevat rullat.

Hylkysyy	vana	melkein vana	epätasaista	pintavana
etureunahylky	65,9	50,0	83,3	33,3
keskihylky	9,8	14,3	0,0	0,0
takareunahylky	24,4	35,7	16,7	66,7

Helmikuun rohkaisevien tulosten perusteella muutettiin maaliskuun alussa kaikkien rullausasemien epäkeskorullien lukitus tiukemmaksi. Samalla vaihdettiin rullausasemien kuluneita osia uusiin välysten pienentämiseksi ja linjausten muuttumisen vähentämiseksi. Kaikkien asemien linjaus tarkistettiin ja korjattiin tarvittaessa lukitusmuutoksen jälkeen. Kuvasta 37 nähdään, että asemalle n:o 5 muodostui valtaosa maaliskuun vanahylyistä. Syy hylyn muodostumiseen paljastui viikon kuluttua epäkeskorullien lukitusmuutoksen jälkeen. Aseman toisen rullausvarren epäkeskorulla oli päässyt kääntymään linjausten jälkeen ja yhdessä viikossa asemalle muodostui lähes yhtä paljon hylkyä kuin muille asemille koko kuukaudessa. Uudelleen linjauksen jälkeen asema n:o 5 ei enää maaliskuussa muodostanut vanahylkyä ja lukitusmuutos piti aseman epäkeskorullan paikoillaan.



	1	2	3	4	5	6	7	8
vana	4,0	29,3	0,0	18,7	26,7	21,3	0,0	0,0
melkein vana	10,0	26,7	0,0	30,0	30,0	3,3	0,0	0,0
epätasaista	19,0	0,0	0,0	19,0	28,6	28,6	4,8	0,0
pintavana	6,3	0,0	0,0	0,0	93,8	0,0	0,0	0,0

rullausasema

vana melkein vana epätasaista pintavana

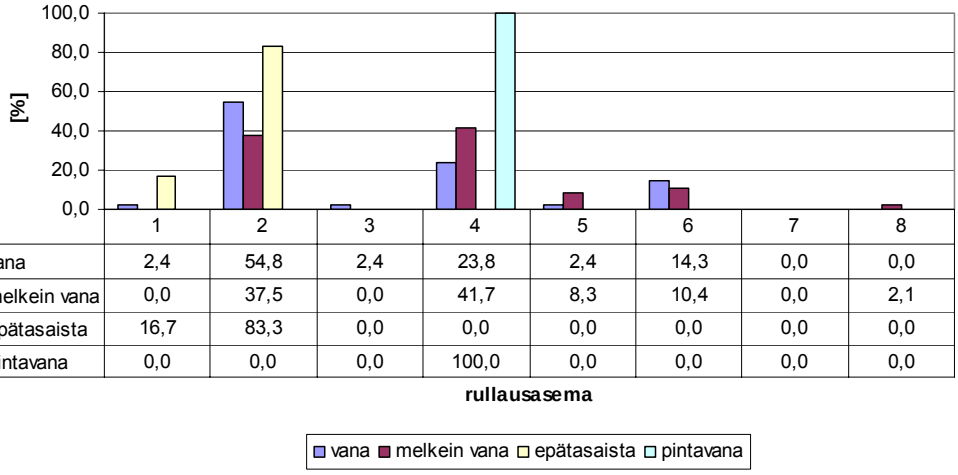
Kuva 37. Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen eri rullausasemille hylkäyssyyn mukaan maaliskuussa 2005.

Taulukosta III on nähtävissä, että maaliskuussa hylättyjen vana- ja epätasaisten rullien jakautuminen rainan poikkisuunnassa oli tasaisempaa kuin helmikuussa. Rainan takareuna oli herkempi muodostamaan vanaa ja epätasaista. Hylyn jakautuminen superkalantereiden kesken oli edelleen selkeää. 72 % hylystä muodostui superkalanterilta II. Maaliskuussa superkalanteri II:n kiinnirullauksen oskillointi säädettiin yhtä suureksi superkalanteri I:n kanssa. Samalla maaliskuussa vaihdettiin superkalanteri II:n kiinnirullauksen painotela. Nämä toimenpiteet hieman tasoittivat hylyn jakautumista superkalantereiden kesken. Maaliskuun loppupuolella hylkyrullia muodostui kuukauden alkupuoliskoa vähemmän. Vana- ja epätasaisten rullien lukumäärä maaliskuussa oli kuitenkin kaksinkertainen helmikuun lukuihin verrattuna.

TAULUKKO III Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen hylkäyssyyn mukaan rainan poikkisuunnassa maaliskuussa 2005. Etureunan hylyksi laskettiin asetteen etureunan rulla, takareunan hylyksi laskettiin asetteen takareunan rulla ja keskihylyksi laskettiin reunimmaisten rullien välissä olevat rullat.

Hylkysyy	vana	melkein vana	epätasaista	pintavana
etureunahylky	33,3	37,9	21,1	6,3
keskihylky	12,0	44,8	21,1	12,5
takareunahylky	54,7	17,2	57,9	81,3

Huhtikuussa ei pituusleikkurilla tehty merkittäviä kunnossapitotöitä. Rullausasemalle n:o 2 muodostui yli puolet vanarullista ja kolmannes melkein hylätyistä rullista kuten kuvasta 38 nähdään. Epätasaisia ja pintavana- rullia tuli huhtikuussa vähän, yhteensä 7 kpl, joten jakaumaprosentit näiden rullien osalta tulivat suuriksi. Näistä luvuista ei voi tehdä luotettavia johtopäätöksiä rullien vähäisestä lukumäärästä johtuen.



	1	2	3	4	5	6	7	8
vana	2,4	54,8	2,4	23,8	2,4	14,3	0,0	0,0
melkein vana	0,0	37,5	0,0	41,7	8,3	10,4	0,0	2,1
epätasaista	16,7	83,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pintavana	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Kuva 38. Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen eri rullausasemille hylkäyssyyn mukaan huhtikuussa 2005.

Huhtikuussa vanarullien muodostuminen jakautui rainan poikkisuunnassa tasaisemmin kuin aikaisempina kuukausina (taulukko IV). Samoin hylkyrullien jakautuminen superkalantereiden kesken ei ollut yhtä selvää kuin aikaisemmin, tosin superkalanterilta II muodostui hiukan enemmän hylkyä. Superkalanterilla II vaihdettiin maaliskuussa kiinnirullaimen painotelaksi vaihdettu tela toiseen painotelaan. Hylkyrullien määrä väheni maaliskuun luvuista, mutta huhtikuun lukuihin vaikuttivat jo alkaneet työnseisaukset, jotka vaikuttivat tuotantoon heinäkuun alkuun saakka.

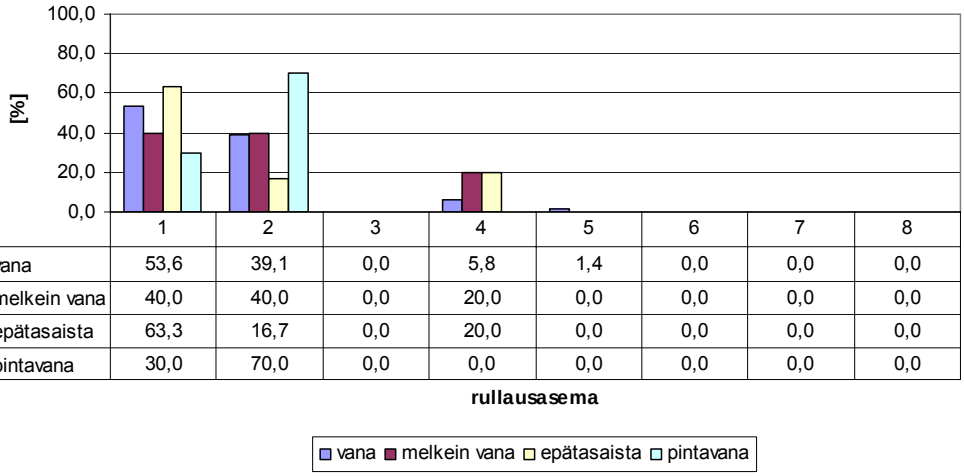
TAULUKKO IV Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen hylkäyssyyn mukaan rainan poikkisuunnassa huhtikuussa 2005. Etureunan hylyksi laskettiin asetteen etureunan rulla, takareunan hylyksi laskettiin asetteen takareunan rulla ja keskihylyksi laskettiin reunimmaisten rullien välissä olevat rullat.

Hylkysyy	vana	melkein vana	epätasaista	pintavana
etureunahylky	57,1	30,6	100,0	0,0
keskihylky	19,0	36,7	0,0	0,0
takareunahylky	23,8	32,7	0,0	100,0

Toukokuu jäi tuotannollisesti heikoksi ja hylkyrullien määrä jäi vähäiseksi. Merkittäviä kunnossapitotöitä ei tehty superkalantereilla eikä pituusleikkurilla. Vana- ja epätasaiset rullat olivat jakautuneet tasan etu- ja takareunarullien kesken. Hylkyrullista 70 % muodostui superkalanteri II:lla

kalanteroiduista tambuureista. Toukokuun puolessa välissä tuotanto pysähtyi 1,5 kuukaudeksi.

Heinäkuussa tuotannon käynnistyttyä vana- ja epätasaiset rullat muodostuivat valtaosin etureunan asemille n:o 1 ja 2 (kuva 39). Pitkän seisokin jälkeen käynnistys oli haasteellinen eikä prosessin tasaantuminen tapahtunut hetkessä. Hylkyrullien määrä heinäkuussa oli samaa suuruusluokkaa maaliskuun hylkyrullien määrän kanssa. Silloin hylkymäärää kasvattivat tekniset ongelmat. Heinäkuussa hylkyrullien määrää kasvattivat prosessiongelmat.



	1	2	3	4	5	6	7	8
vana	53,6	39,1	0,0	5,8	1,4	0,0	0,0	0,0
melkein vana	40,0	40,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
epätasaista	63,3	16,7	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pintavana	30,0	70,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

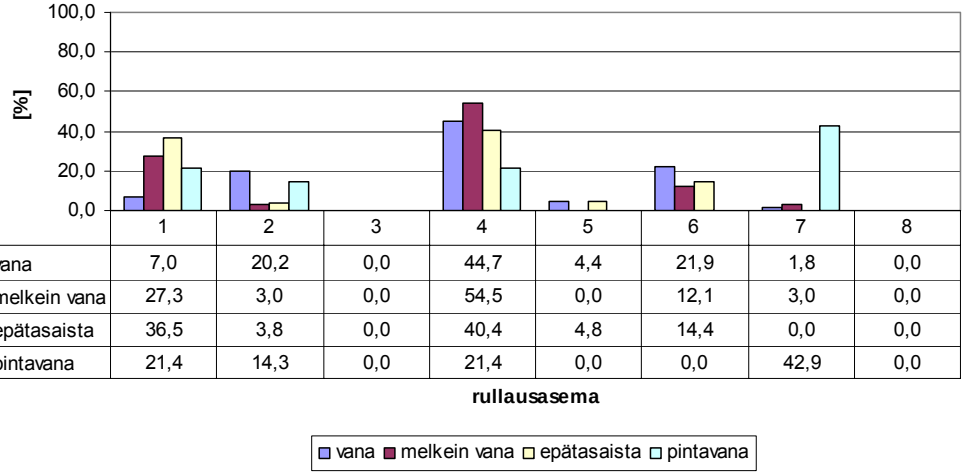
Kuva 39. Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen eri rullausasemille hylkäyssyyn mukaan heinäkuussa 2005.

Heinäkuussa superkalanterilla II säädettiin kunnossapitotöinä kiinnirullauksen painotelan bombeeraus, joka oli selvästi virheellinen. Bombeerauksen virheellisyys kiinnirullauksessa vaikutti heikentävästi superkalanterilla rullattavan tambuurin laatuun sen halkaisijan kasvaessa. Tällä toimenpiteellä superkalanterilla II ei saatu kuitenkaan rullahylyn muodostumista vähenemään. Edelleen 75 % vanahylystä muodostui superkalanterin II tambuureista. Vanasta ja epätasaisuudesta suurin osa muodostui etureunan rulliin (taulukko V). Heinäkuussa hylkyrullien jakautuminen rainan poikkisuunnassa oli selkeintä koko tarkastelujakson aikana.

TAULUKKO V Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen hylkäyssyyn mukaan rainan poikkisuunnassa heinäkuussa 2005. Etureunan hylyksi laskettiin asetteen etureunan rulla, takareunan hylyksi laskettiin asetteen takareunan rulla ja keskihylyksi laskettiin reunimmaisten rullien välissä olevat rullat.

Hylkysyy	vana	melkein vana	epätasaista	pintavana
etureunahylky	93,2	80,0	76,9	100,0
keskihylky	0,0	0,0	0,0	0,0
takareunahylky	6,8	20,0	23,1	0,0

Elokuu oli hylyn suhteen huolestuttava. Vanaa ja epätasaista muodostui elokuun alkupuolella rulliin todella paljon ja ne jakautuivat eri asemille (kuva 40). Heinäkuussa työnseisauksen jälkeen alkaneet ongelmat jatkuivat vielä elokuun puolelle. Kuukauden loppuun mennessä hylyn määrä oli vähentynyt jo huomattavasti prosessin stabiloiduttua ja pikkuvikojen poistuttua.



	1	2	3	4	5	6	7	8
vana	7,0	20,2	0,0	44,7	4,4	21,9	1,8	0,0
melkein vana	27,3	3,0	0,0	54,5	0,0	12,1	3,0	0,0
epätasaista	36,5	3,8	0,0	40,4	4,8	14,4	0,0	0,0
pintavana	21,4	14,3	0,0	21,4	0,0	0,0	42,9	0,0

Kuva 40. Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen eri rullausasemille hylkäyssyyn mukaan elokuussa 2005.

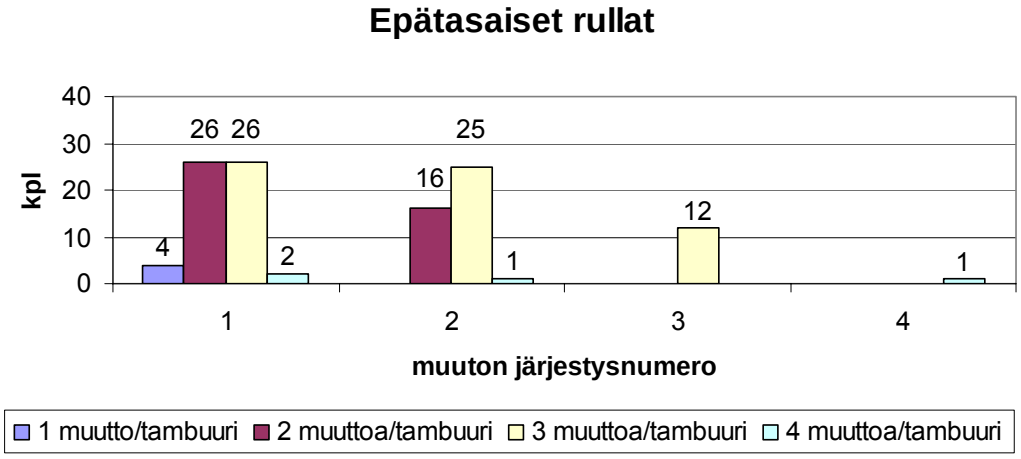
Kunnossapitotöinä superkalantereiden kiinnirullaimet huollettiin elokuussa perusteellisesti. Kiinnirullaimet linjattiin ja kuluneita osia vaihdettiin uusiin välysten poistamiseksi. Kiinnirullainten huollon jälkeen rullahylyn muodostuminen hieman väheni, mutta tarkastelujakson aikana elokuu oli huonoin kuukausi rullahylyn suhteen. Superkalanterin II tambuureista

muodostui edelleen suurin osa vanahylystä, noin 62 %. Hylkyrullat muodostuivat elokuussa suurimmaksi osaksi rainan takareunasta kuten useampana aikaisempana kuukautena (taulukko VI).

TAULUKKO VI Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen hylkäyssyyn mukaan rainan poikkisuunnassa elokuussa 2005. Etureunan hylyksi laskettiin asetteen etureunan rulla, takareunan hylyksi laskettiin asetteen takareunan rulla ja keskihylyksi laskettiin reunimmaisten rullien välissä olevat rullat.

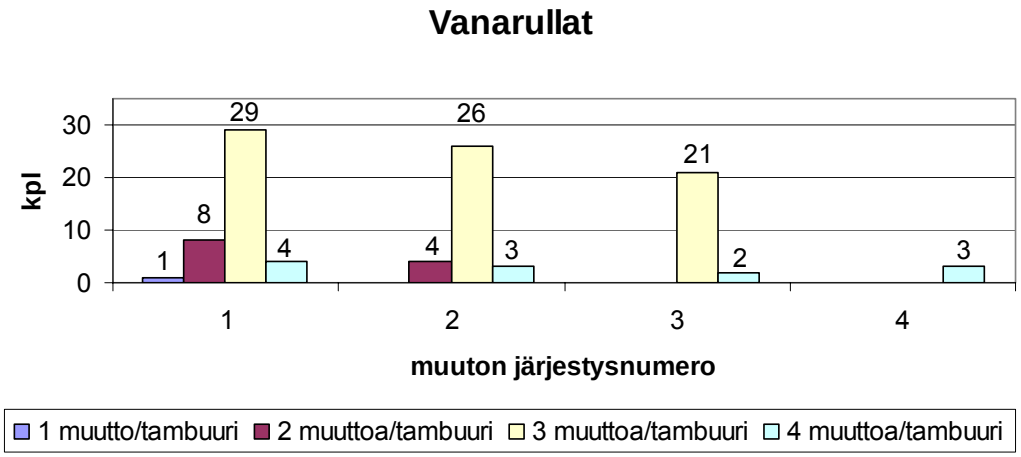
Hylkysyy	vana	melkein vana	epätasaista	pintavana
etureunahylky	27,2	27,3	40,3	35,7
keskihylky	2,6	6,1	1,0	0,0
takareunahylky	70,2	66,7	58,7	64,3

Elokuun epätasaiset ja vanarullat jaoteltiin vielä muutoittain, jotta saataisiin selville onko muutolla vaikutusta hylyn muodostumiseen. Hylkyrullat muodostuivat pääosin tambuurin ensimmäisistä muutoista (kuva 41). Pohjamuutoista ei muodostunut epätasaisia tai vanarullia, varsinkaan niistä tambuureista joista leikattiin neljä muuttoa. Tähän vaikutti myös se, että neljän muuton tambuureista leikattujen asiakasrullien halkaisijat ovat noin 100 cm. Yleisesti tarkasteltaessa näissä rullissa on aina ollut rullahylkyä vähemmän kuin halkaisijaltaan suuremmissa rullissa.



Kuva 41. Epätasaisten rullien jakautuminen eri muuttoihin tambuurista leikattavan muuttomäärän mukaan elokuussa 2005

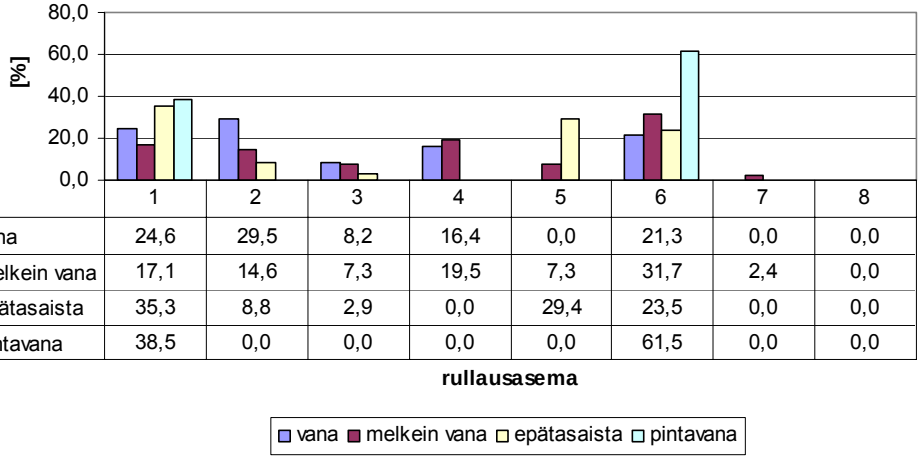
Epätasaisia rullia muodostui varsinkin kahden ja kolmen muuton tambuureiden pintamuutoista enemmän kuin pohjamuutoista (kuva 41). Kahden ja kolmen muuton tambuureista leikataan rullia, joiden halkaisijat olivat 110 – 125 cm. Halkaisijaltaan suurempiin rulliin muodostui epätasaisuutta herkemmin profiilivirheiden kertautuessa rullan halkaisijan kasvaessa saaden aikaan halkaisijavaihteluita.



Kuva 42. Vanarullien jakautuminen eri muuttoihin tambuurista leikattavan muuttomäärän mukaan elokuussa 2005.

Vanarullia muodostui eniten kolmen muuton tambuureista elokuussa. Pintamuuttojen rullissa oli eniten vanaa, joka väheni pohjamuuttoja kohti (kuva 42). Pintavana- ja melkein hylkyrullat jakautuivat tasaisesti eri muuttojen kesken. Näiden rullien yhteenlaskettu määrä elokuussa oli pienempi kuin vana- ja epätasaisten rullien, joten tilastollisesti jakaumaa ei voida pitää täysin luotettavana.

Syyskuussa päästiin tuotantolinjalla jo normaaliin vauhtiin. Hylkyrullia muodostui syyskuussa saman verran kuin keväällä keskimäärin. Vana- ja epätasaisia rullia muodostui myös keskiarvon mukaisesti. Syyskuu oli hylkyrullien suhteen normaali kuukausi. Epätasaiset ja vanarullat jakautuivat suhteellisen tasaisesti eri rullausasemille painopisteen ollessa kuitenkin rainan reuna-alueilla (kuva 43). Pintavanarullien lukumäärä jäi syyskuussa alhaiseksi, joten niiden jakautumisesta ei voi tehdä luotettavia johtopäätöksiä.



	1	2	3	4	5	6	7	8
vana	24,6	29,5	8,2	16,4	0,0	21,3	0,0	0,0
melkein vana	17,1	14,6	7,3	19,5	7,3	31,7	2,4	0,0
epätasaista	35,3	8,8	2,9	0,0	29,4	23,5	0,0	0,0
pintavana	38,5	0,0	0,0	0,0	0,0	61,5	0,0	0,0

Kuva 43. Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen eri rullausasemille hylkäyssyyn mukaan syyskuussa 2005.

Kunnossapitotöinä syyskuun puolivälissä korjattiin edelleen superkalanteri II:n kiinnirullauksen linjauksia. Tällä näytti olevan positiivista vaikutusta, sillä vana- ja epätasaiset rullat jakautuivat lähes tasan kummallekin superkalanterille. Hylkyrullien jakautumista pitäisi seurata edelleen, jotta saataisiin tälle johtopäätökselle varmistus. Tämän työn aikataulun puitteissa se ei ollut enää mahdollista.

Hylyt jakautuivat syyskuussa rainan reuna-alueille. Jakautuminen oli lähes yhtä suurta rainan kumpaakin reunaan. Takareunan hylkyrullien prosentuaalinen määrä oli hivenen etureunaa suurempi (taulukko VII).

TAULUKKO VII Pituusleikkurin hylkyrullien prosentuaalinen jakautuminen hylkäyssyyn mukaan rainan poikkisuunnassa syyskuussa 2005. Etureunan hylyksi laskettiin asetteen etureunan rulla, takareunan hylyksi laskettiin asetteen takareunan rulla ja keskihylyksi laskettiin reunimmaisten rullien välissä olevat rullat.

Hylkysyy	vana	melkein vana	epätasaista	pintavana
etureunahylky	59,7	41,7	45,5	38,5
keskihylky	4,8	6,3	3,0	0,0
takareunahylky	35,5	52,1	51,5	61,5

Vana- ja epätasaisten rullien jakautuminen eri rullausasemille tehtiin, jotta saatiin selville muodostuiko erityisesti jollekin tietylle asemalle enemmän rullahylkyä kuin muille asemille (taulukko VIII).

TAULUKKO VIII Vana-, pintavana-, melkein vana- ja epätasaisten rullien yhteenlaskettu prosentuaalinen kuukausittainen jakautuminen eri rullausasemille.

Rullausasema	1	2	3	4	5	6	7	8
helmikuu	48,7	17,1	3,9	6,6	9,2	14,5	0,0	0,0
maaliskuu	7,7	21,1	0,0	19,0	35,2	16,2	0,7	0,0
huhtikuu	2,1	47,4	1,0	32,0	5,2	11,3	0,0	1,0
toukokuu	27,9	34,9	7,0	2,3	7,0	16,3	4,7	0,0
heinäkuu	51,1	36,7	0,0	11,5	0,7	0,0	0,0	0,0
elokuu	21,9	11,3	0,0	43,0	3,8	16,6	3,4	0,0
syyskuu	26,2	18,1	6,0	12,1	8,7	28,2	0,7	0,0

Helmikuussa asemalle n:o 1 muodostui lähes puolet koko kuukauden hylkyrullista. Helmikuussa syntyi etureunahylkyä ja 75 % koko hylkymäärästä muodostui superkalanteri II:n tambuureiden huonoista profiileista. Tämä selitti aseman n:o 1 suuren hylkymäärän ja maaliskuun linjausten tarkastuksissa ei löydetty merkittäviä poikkeamia. Maaliskuussa rullausasemalle n:o 5 syntyi reilu kolmannes hylkyrullista. Aseman linjauksen uudelleentarkastuksessa selvisi, että asema oli vinossa. Aseman oikaisun jälkeen vanarullia ei enää asemalle maaliskuussa muodostunut.

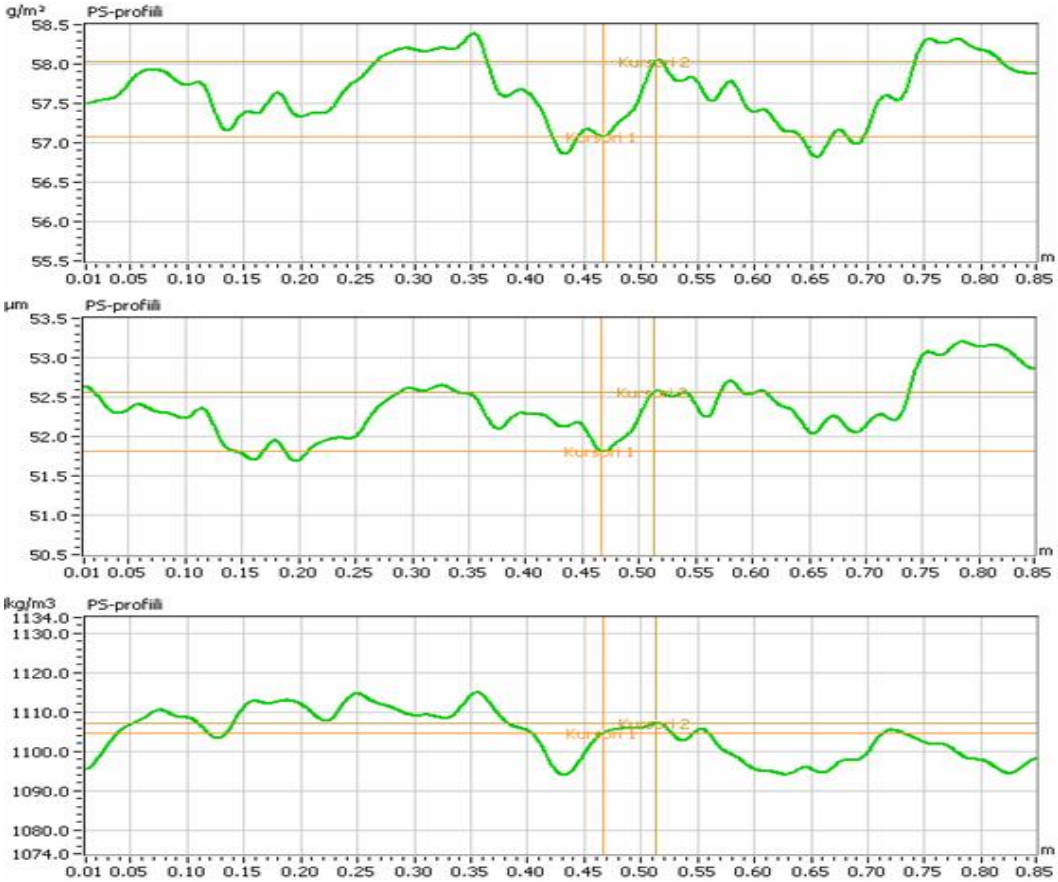
Yleisesti asemien n:o 1 ja 2 hylkyrullaprosentit johtuivat siitä, että asetteista riippuen niitä käytettiin usein etureunan rullan rullaukseen sekä vastaavasti asemia n:o 4 ja 6 takareunan rullan rullaukseen. Rullausasemat n:o 3 ja 5 olivat yleensä asetteen keskimmäisten rullien asemia. Tällöin myös rullausasemaa n:o 4 käytettiin keskimmäisten rullien rullaukseen, joten näissä tapauksissa asemalle harvoin muodostui vana- tai epätasaisia rullia. Hylkyrullat keskittyivät pääsääntöisesti rainan reunarulliin.

Rullausasemien n:o 7 ja varsinkin aseman n:o 8 alhaiset hylkyrullaprosentit selittyivät sillä, että niitä käytettiin erittäin harvoin. Asiakasrullien leventyessä käytettävien asemien määrä väheni.

Rullausasemista vain muutama oli tarkoitettu raskaampien rullien rullaukseen, joten suurten rullien aiheuttaman kuormituksen tasaamiseksi ei voida vaihdella käytettävää rullausasemaa. Kapeampia rullia leikattaessa, jos asetteessa on 3 – 5 rullaa, voidaan kokeilla onko asemien vaihdolla vaikutusta vanan tai epätasaisen muodostumiseen asiakasrullaan.

12.2. VANARULLIEN TAPIO-PROFIILIT

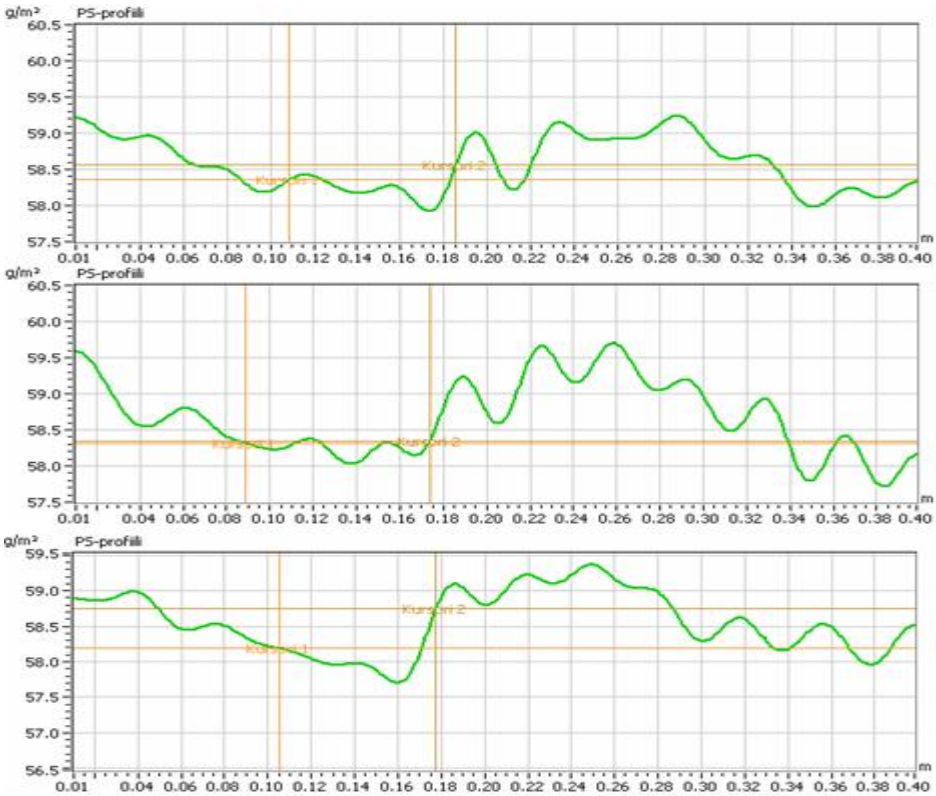
TAPIO -analysaattorilla mitatuista vanarullien poikkiprofiileista etsittiin vanaa aiheuttavia tekijöitä. Vanarulliin merkittiin kynällä vanan paikka ja mitattiin sen etäisyys rullan etureunasta, sillä mallien leikkaamisen jälkeen vana saattoi hävitä näkymättömiin levitettäessä paperiarkit pöydälle. Malliarkkeja otettiin rullasta 20 kpl laitevalmistajan suositusten mukaisesti jolloin mittausten tilastollinen luotettavuus oli riittävä. Poikkiratamallit kavennettiin laitetta varten 12 cm leveiksi ja niistä muodostettiin yhtenäinen nauha teippaamalla näytteet päistään yhteen. Analysaattori tunnisti teipeistä poikkirata-arkkien vaihtumisen. Näytteiden molemmista reunoista jäi 1 – 2 cm mittaamatta teipin peittäessä arkkien sauman. TAPIO -analysaattori mittasi näytteet 3,2 mm välein pyöreällä anturilla, jossa oli 5 mm aukko. Havainnollisuuden vuoksi tuloksia käsiteltiin niin, että mittausväliksi jäi 32 mm alipäästösuodatuksen ollessa 31,2 Hz. 32 mm mittausväli katsottiin riittävän tarkaksi, sillä vanojen leveys rullassa oli vähintään 5 cm. Näytteistä mitattiin neliömassa, paksuus, transmissio, tuhka, heijastusluku R_0 ja kiilto. Tiheysprofiili on laskennallisen tulos mitatuista neliömassa- ja paksuusprofiileista. TAPIO -analysaattorin antamiin poikkiprofiileihin merkattiin kursoreilla vanakohta havainnollistamisen helpottamiseksi.



Kuva 44. TAPIO -analysaattorilla mitatun 88 cm leveän vanarullan neliömassa-, paksuus- ja tiheysprofiilit. Rulla oli tambuurin etureunassa. Vanakohta on merkitty kuvaan oransseilla pystyviivoilla.

Mitatuista poikkiprofiileista vanan kannalta merkittävimpiä olivat neliömassa- ja paksuusprofiilit. Kuten kuvasta 44 nähdään, vanan kohdalla neliömassa muuttuu noin 1 g/m^2. Tiheyden pysyessä vanan kohdalla vakiona, neliömassan lisäys kasvatti tässä tapauksessa rainan paksuutta noin 0,5 µm. Neliömassan muutokset johtuivat perälaatikon säädöistä ja oloista viiraosalla. Muiden mitattujen vanojen tapauksissa kuvassa 44 nähty ilmiö ei ollut kuitenkaan säännöllinen. Vanaa voi muodostua rullaan, vaikka vanan kohdalla ei olisikaan neliömassan tai paksuuden muutoksesta johtuvaa neliömassa- tai paksuuspiikkiä. Näissä tapauksissa piikkejä löytyi kuitenkin aivan vanakohdan vierestä. Joissain malleissa vanan kohdalla neliömassa pysyi vakiona ja tiheys muuttui. Tiheyden muuttuessa vastaavan suuntaiset muutokset näkyivät paksuusprofiilissa. Tämä on seurausta superkalanterin paikallisesta

epätasaisesta puristuksesta. Puristuksen epätasaisuus voi johtua mm. kuluneista kalanterin teloista. Tiheysprofiilin muutokset näkyivät samansuuntaisina muutoksina kiilto- ja transmissioprofiileissa. Tiheämmät kohdat rainassa antoivat paperille korkeammat kiilto- ja transmissioarvot. Kaikissa malleissa vanan kohdalla tai sen vieressä oli jyrkkä muutos neliömassassa ja/tai paksuudessa. Mutta toisaalta kaikissa jyrkissä neliömassan ja paksuuden muutoskohdissa ei ollut vanaa johon sitä olisi voinut olettaa muodostuvan.



Kuva 45. TAPIO -analysaattorilla mitatun saman tambuurin kolmen peräkkäisen muuton 43 cm leveiden etureunan rullien neliömassaprofiilien kehitys. Ylimmäinen profiili oli pintamuuton ja alimmainen oli pohjamuuton neliömassaprofiili. Vanakohdat on merkitty oransseilla pystyviivoilla.

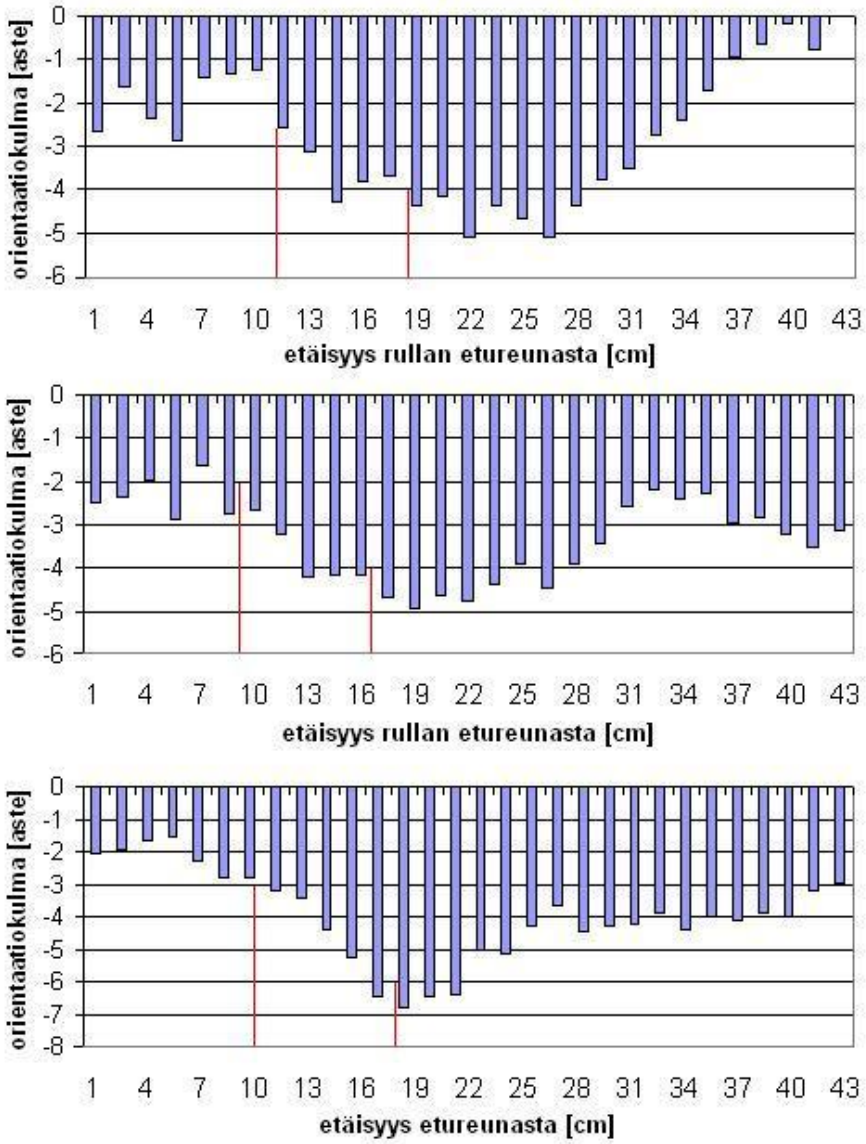
Tambuurista (kuva 45) leikattiin kolme muuttoa joiden etureunan rullassa oli havaittavissa vanaa. Vana paheni lähestyttäessä tambuurin pohjaa. Neliömassaprofiilissa oli nähtävissä vanan kohdalla pohjamuuttoon päin kasvava muutos. Pohjamuuton rullassa neliömassan muutos oli noin 1,5 g/m^2 noin neljän senttimetrin alueella leveyssuunnassa, muissa muutoissa neliömassan muutos oli noin 1 g/m^2. Näin suuri muutos kapealla alueella

sai aikaan halkaisijaeroja rullissa, jotka muodostivat rulliin köysikuvion aiheuttaen rullien hylkäämisen. Varsinkin rainan neliömassa ja paksuus sekä osittain myös tiheys vaikuttavat ratkaisevasti vanan syntymiseen asiakasrulliin. Kaikkien TAPIO -analysaattorilla mitattujen vanarullien neliömassa- ja paksuusprofiilit on esitetty liitteessä V.

12.3. ORIENTAATIOKULMAPROFIILIT

Samoista malleista joista mitattiin TAPIO -analysaattorilla poikkiprofiilit, mitattiin Lorentzen & Wettre TSO -laitteella orientaatiokulmaprofiilit. Orientaatiokulman mittausväliksi rainassa asetettiin 10 mm. Laitteen automaattinen arkinsiirtäjä liikutti kerralla arkkia kuitenkin hiukan pidemmän matkan, joten mittausväliksi tuli noin 12 mm. Laitteen mittapää on halkaisijaltaan iso (10 cm) verrattuna vanan leveyteen, joka oli maksimissaan laitteen mittapään halkaisijan levyinen. Mittapään suuruus vanojen kokoon nähden aiheutti hieman varautuneisuutta tuloksia analysoitaessa. Laite oli kuitenkin tarkin tehtaalla saatavilla oleva orientaatiomittari. Orientaatiokulman määrittämisessä mitattiin ultraäänen etenemisestä paperin tason eri suunnissa. Mitatuista äänen nopeuksista laite laski pääorientaatiokulman rainan poikkisuunnassa.

Paperikoneen viiraosa oli hybridiformeri. Rainan muodostuminen tapahtui ajamalla aliperällä, jossa viiran nopeus on perälaatikon suihkuvirtausta nopeampi. Tällöin kampausteorian mukaan orientaatiokulma jää negatiiviseksi koko rainan leveydeltä. Kampausteoriaa tukee se, että mitatun orientaatiokulman keskiarvo koko rainan leveydellä on hieman negatiivinen. Orientaatiokulmaan voivat vaikuttaa viiraosalla muodostuvat sivuttaisvirtaukset. Jos nopeusero viiran ja huulivirtauksen välillä on kovin pieni, voi vähäinenkin sivuttaisvirtaus kääntää kuituja sivuttaisvirtauksen ja nopeuseron resultantin suuntaan. Perälaatikon reunoissa olevilla lisävirtaussäädöillä voidaan vaikuttaa rainan reuna-alueen orientaatiokulmiin. Liiallisella reunavirtauksella kuidut kääntyvät kohti rainan keskiosaa ja liian alhaisella reunavirtauksella kuidut kääntyvät kohti rainan reunoja. /2/



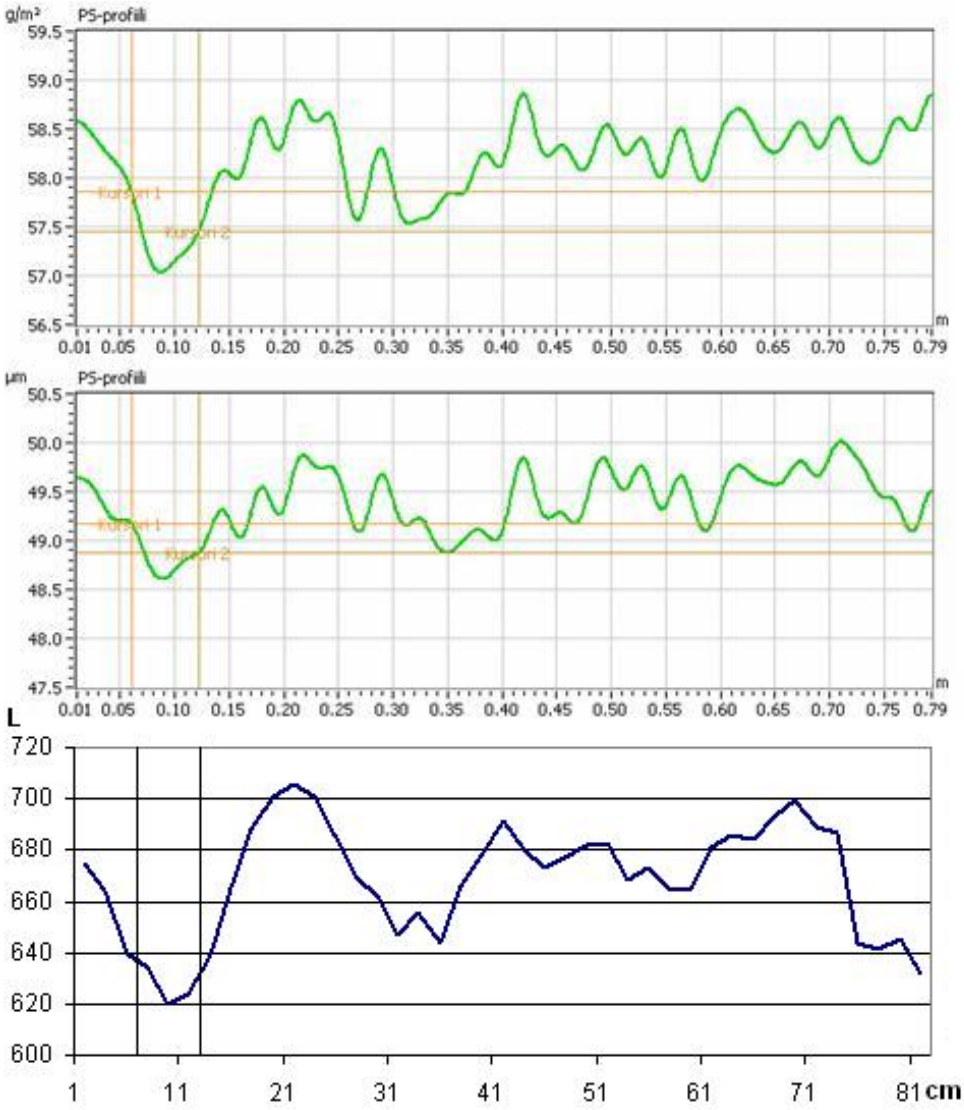
Kuva 46. Viikon 35 tambuurin n:o 56 tambuurin kolmen peräkkäisen muuton etureunan rullien orientaatiokulmat. Vana on punaisten pystyviivojen välissä.

Orientaatioprofiileissa oli havaittavissa vanakohdissa muutoksia. Kuitujen orientaatiokulmien muutokset olivat vanakohdassa maksimissaan 4 asteen luokkaa ja hieman leveämmällä tarkastelulla noin 5 astetta (kuva 46). Useimmissa mittauksissa muutokset olivat pienempiä. Kaikkien mallikohtien orientaatiokulmat olivat negatiivisia riippumatta siitä, oliko kyseessä etu- tai takareunan rulla. Orientaatiokulma muuttui positiiviseksi noin 1 metrin päässä rainan etureunasta muuttuen taas negatiiviseksi

rainan puolivälin kohdalla. Loput orientaatiokulmien mittaustulokset on esitetty liitteessä VI.

12.4. KOVUUSPROFIILIT

Muutamasta vanarullasta mitattiin PAROtester2:lla rullien kovuusprofiilit. Kokoonpuristumaton ja sileä SC-paperi muodostaa kireälle rullattuna erittäin kovan rullan. Rullan kovuusprofiilin muoto noudatti erittäin hyvin rainan neliömassa- ja paksuusprofiilien muotoja (kuva 47).



Kuva 47. Rainan etureunasta leikatun 82,6 cm leveän rullan poikkisuuntaiset neliömassa-, paksuus- ja kovuusprofiilit. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Vanakohta on merkitty pystyviivoilla kuvaajiin.

Vanakohta erottui tässä tapauksessa kovuusprofiilista selvästi ympäristöään löysempänä kohtana. TAPIO -profiileista nähdään myös, että vanan kohdalla neliömassa- ja paksuusarvot olivat paikallisesti alhaisemmat. Paperin ohuempi kohta oli rullauksessa jäänyt löysemmäksi. Vanakohdan molemmin puolin oli keskimääräistä kovemmat kohdat, joten kapealla alalla tapahtuvat nopeat muutokset neliömassassa ja paksuudessa vaikuttavat vanan muodostumiseen rullaan. Raina sopeutuu jyrkkään halkaisijavaihtelujen aiheuttamiin poikkeuttaviin voimiin vanoittumalla. Kahden muun rullan kovuusprofiilien vertailu neliömassa- ja paksuusprofiileihin on esitetty liitteessä VII.

12.5. ESIKOKEIDEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Helmi- ja maaliskuussa tehdyt lukitusmuutokset pituusleikkurin epäkeskorulliin olivat erittäin onnistunut toimenpide. Pituusleikkurin asemien linjaukset ovat säilyneet aikaisempaa kauemmin muuttumattomina. Pituusleikkurin asemien liikkuvien osien uusiminen paransi tilannetta ja vähensi pituusleikkurin vaikutusta rullavanan muodostumiseen. Tilastoinnin perusteella voidaan sanoa, että vanarullien muodostuminen painottui selkeästi rainan reuna-alueille ja yleensä vain yhteen reunaan kerrallaan. Vanarullien keskittymät vaihtelivat epäsäännöllisin väliajoin etu- ja takareunan välillä. Vanarullista mitattujen profiilien perusteella voidaan todeta, että paperin neliömassan ja paksuuden jyrkät vaihtelut kapealla alueella vaikuttivat ratkaisevasti rullavanan syntymiseen. Profiilivirheiden myötä myös orientaatioprofiileissa oli havaittavissa vaihtelua vanojen kohdalla. Laitevalmistajan mukaan viiden asteen kapea-alaiset muutokset orientaatioprofiilissa voivat jo aiheuttaa ajettavuus- ja värien kohdistettavuusongelmia painatuksessa. /30/

Hylkyrullat jakautuivat myös selkeästi superkalantereiden kesken. Superkalanterilla II tilastoinnin aikana tehdyt kunnossapitotyöt ovat tasoittaneet hylkyrullien jakautumista.

Kovuusmittauksella pystyttiin rullien rakennetta tutkimaan nopeasti. Kovuusprofiili korreloi hyvin neliömassaprofiilin ja varsinkin paksuusprofiilien kanssa. Kovuusmittari toimii hyvänä apuvälineenä, jos halutaan saada nopeasti tuloksia rainan profiileihin vaikuttavien muutosten jälkeen.

TAPIO -analysaattorilla pystyttiin rullien vanakohdat tutkimaan tarkasti. Vanarullien tapauksissa oli helpompaa ottaa malliarkit jo leikatusta rullasta. TAPIO -analysaattorin tulosten käsittelyn ominaisuus oli, että ohjelma sovitti tulokset kuvaajiin aina yhtä leveälle vaaka-akselille näytteen pituudesta riippumatta. Kapeammista näytteistä ajettujen kuvaajien muotojen erottuminen oli selkeämpää. Myös 31,2 Hz alipäästösuodatuksen käyttäminen paransi tulosten tulkintaa huomattavasti. Mittausväliksi voitiin asettaa suurempi arvo, sillä vanat olivat riittävän leveitä tarkkojen tulosten saamiseksi pidemmälläkin mittausvälillä.

13. KOEAJO PITUUSLEIKKURILLA

13.1 KOEAJON TARKOITUS

Pituusleikkurilla tarkasteltiin eri superkalantereilta tulleiden tambuurien kovuusprofiileja sekä niiden eroja. Lisäksi tarkasteltiin sitä, että syntyikö pituusleikkurilla muutoksia tambuurien ja asiakasrullien kovuusprofiilien välille. Mahdolliset erot tambuurin ja samasta kohdasta leikatun asiakasrullan kovuusprofiilien välillä olisivat merkki virheellisistä pituusleikkurin ajoparametreista ja asemien kuormituksesta. Koeajo suoritettiin pituusleikkurilla yhteistyössä Metso Paper Oy:n kanssa normaalin tuotannon aikana. Koeajojärjestelyt pyrittiin tekemään siten, että tuotannon sujuvuus kärsi mahdollisimman vähän. Koeajoon käytettävä paperi oli paperikonelinjan sen hetkisten tilausten mukaista. Paperin neliömassa oli koko koeajon ajan sama eli 51 g/m^2. Näin tulokset saatiin keskenään vertailukelpoisiksi. Koeajon yhteydessä testattiin TAPIO RQP -kovuusmittalaitetta ja sen soveltuvuutta vanojen syntymekanismien

selvittämiseen. Koeajon aikana vain pahimmista vanarullista otettiin malliarkkeja TAPIO -analysaattorilla tutkittavaksi.

13.2. KOEAJON SUORITUS PITUUSLEIKKURILLA

Koeajossa pituusleikkurin ajoparametreista muutettiin rullauksen nippipainetta ja kireyttä. Rullausasemien keskiömomenttia ei muutettu. Painotelojen käyttö kapeilla rullilla ei ollut mahdollista, joten painotelakuorma ei vaikuttanut lainkaan rullan muodostukseen.

Vanalle herkän kapean reunarullan paikkaa asetteessa vaihdettiin etu- ja takareunan välillä, jolloin rainan reunojen mahdollinen vaikutus vanan muodostumiseen saatiin selville.

Lisäksi vertailtiin pituusleikkurin sisä- ja ulkopuolen vaikutusta rullien kovuuteen. Viimeisenä tutkittavana muuttujana oli pituusleikkurin ajonopeuden vaikutus vanan muodostumiseen.

Pituusleikkurilla oli myös tarkoitus kokeilla levitystelojen vaikutusta, mutta telojen säätämisen jälkeen ilmeni suuria vaikeuksia saada raina pysymään ehjänä rullauksen alkuvaiheessa. Vaikeuksista johtuen päätettiin levitystelojen säätämisestä luopua ja pysyttiin toimiviksi osoittautuneissa levitysarvoissa.

Jokaisen muutoksen jälkeen ajettiin yksi tambuuri kummaltakin superkalanterilta, jolloin mahdolliset erot superkalantereiden välillä tulivat esille. Muutosten aikana jokaisesta asiakasrullista mitattiin kovuusprofiilit TAPIO RQP -mittalaitteella ja vanarullien päätyjen halkaisijaerot mitattiin tavallisella rullamittanauhalla. Myös muutamasta tambuurista mitattiin kovuusprofiilit, jolloin superkalantereiden aikaan saamat erot tambuurien kovuuksissa saatiin selville. Vain pahimmista vanarullista otettiin malliarkkeja TAPIO -analysaattorilla tutkittavaksi. Näin meneteltiin, koska jos jokaisesta mittauspisteestä otettaisiin malliarkkeja, niiden määrä kohoaisi liian suureksi ottaen huomioon käytettävissä ollut aika ja resurssit profiilien mittaamiseen. Koepisteiden määrän seurauksena koeajoja ajettiin kolmena peräkkäisenä päivänä. Koska koeajot suoritettiin

normaalin tuotannon ohessa, asiakasrullien leveydet ja halkaisijat vaihtelivat eri päivinä. Yhteistä jokaiselle koeajosarjalle oli sama paperin neliömassa ja jokaisesta asetteesta löytyi vähintään yksi rulla, jonka leveys oli alle 1 metri.

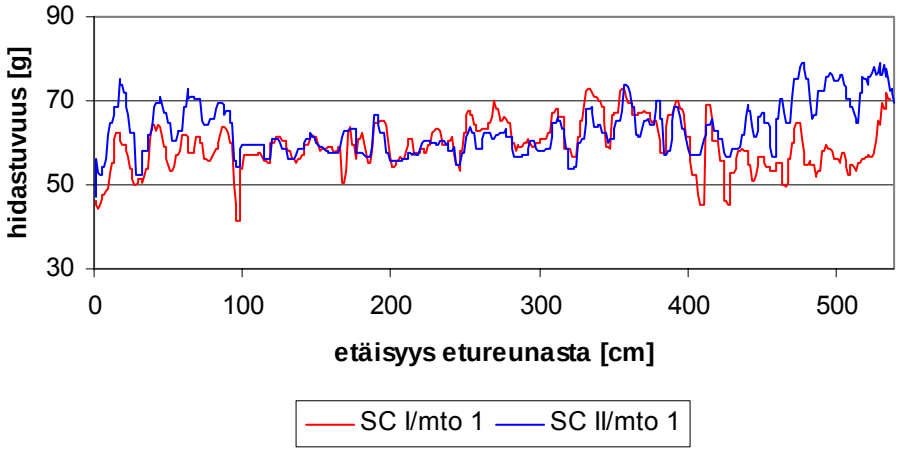
Pituusleikkurilla tarkasteltiin koeajon aikana laitteiden kuntoa ja toimintaa. Viallisista kohteista tehtiin työmääräimet vikojen korjaamiseksi seisokissa seuraavalla viikolla koeajon jälkeen.

Koeajon viimeisenä kokeena leikattiin pahimmasta vanarullasta, jossa oli kaksi vanaa, uudelleenrullauskoneella kaksi noin 25 cm leveää ja halkaisijaltaan 30 cm korkeaa rullaa. Rainan pituus rullassa oli noin 2000 m. Näihin kumpaankin rullaan jäi hylätyssä asiakasrullassa olleet vanakohdat. Pienistä rullista mitattiin TAPIO -analysaattorilla vanakohtien konesuuntaiset vaihtelut ja niitä verrattiin saman rullan tasaisesta kohdasta mitattuun konesuuntaiseen vaihteluun.

13.3. KOEAJOTULOKSET

Koeajon ensimmäisenä päivänä pituusleikkurilla oli ajossa asete, jossa oli yksi 600 mm leveä rulla ja kolme 1586 mm leveää rullaa. Asiakasrullien halkaisijat olivat 1067 mm. Nippikuorman lähtöarvo oli 3500 N/m, joka nousi ajon aikana 3900 N/m. Kiinnirullauksen kireys oli 330 N/m. Pituusleikkurin ajonopeus oli 30 m/s. Rullausasemista olivat käytössä asemat n:o 1 – 4 ja kapea rulla oli rullausasemalla n:o 1. Ensimmäisenä päivänä leikattuihin rulliin ei syntynyt vanaa eikä rullia hylätty. Vanan syntyminen halkaisijaltaan noin 1000 mm rulliin oli vähäistä. Rullien vanattomuuden vuoksi mitattiin kummaltakin superkalanterilta tulleen tambuurin kovuus ennen jokaista leikattavaa muuttoa sekä tarkasteltiin säilyivätkö tambuurissa olevat kovuusvaihtelut asiakasrullissa.

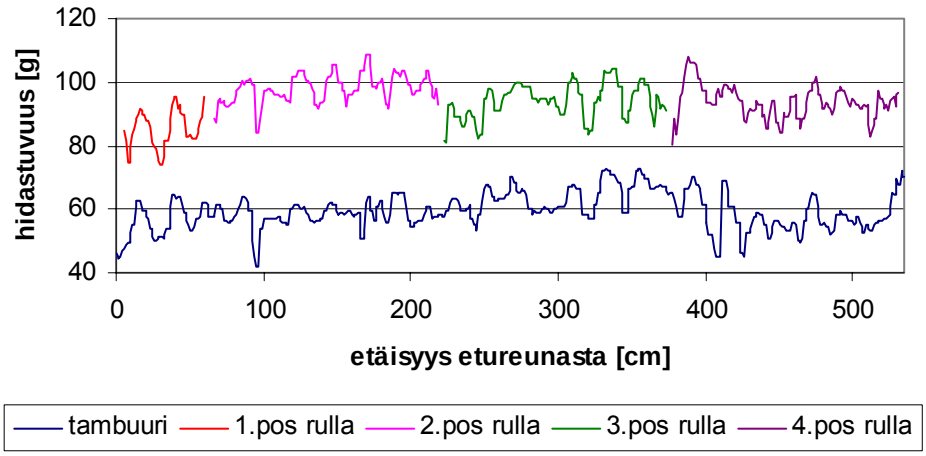
Konelinjalla olevat superkalanterit eivät olleet täysin identtiset, mutta ne on modifioitu muistuttamaan toisiaan. Kumpaakin superkalanteria ajettiin samoilla ajoparametreilla. Kuvasta 48 nähdään, että samoista ajoparametriarvoista huolimatta superkalantereiden tambuurien kovuusprofiilit olivat erilaiset.



Kuva 48. Viikon 40 tambuurien n:o 1 ja 3 kovuusprofiilit ennen ensimmäisen muuton leikkaamista pituusleikkurilla. Tambuuri n:o 1 oli kiillotettu SC I:llä ja tambuuri n:o 3 oli kiillotettu SC II:lla.

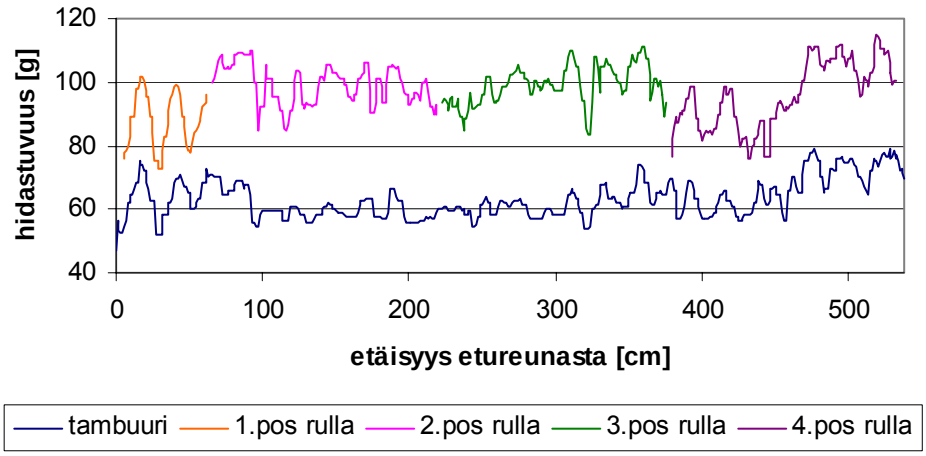
Superkalanteri I:n tambuurin kovuusprofiili oli kupera, jossa tambuurin reuna-alueet olivat pehmeämmät. Superkalanteri II:n tambuurin kovuusprofiili oli puolestaan kovera, jossa reuna-alueet olivat jääneet kovemmiksi. Tambuureista leikattiin neljä muuttoa ja ennen jokaista muuttoa mitattiin koko tambuurin kovuusprofiili. Kuvassa 48 esitetty eroavaisuus kovuusprofiileissa oli havaittavissa ennen jokaista leikattavaa muuttoa tambuurin halkaisijan pienentyessä. Tambuureiden kovuusprofiilien arvojen keskiarvo kasvoi tambuurien halkaisijan pienentyessä eli tambuurit olivat pintaosistaan pehmeämpiä ja tambuurien kovuus kasvoi siirryttäessä kohti tambuurien pohjaa. Tambuureiden rakenne säteen suunnassa oli oikea, jossa tiukan pohjan jälkeen rainan kireys alkaa hitaasti laskea tambuurin pintaa kohti siirryttäessä.

Samoista tambuureista mitattiin myös jokaisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Rullien kovuusprofiilien muotojen erot tambuurin kovuusprofiilin muotojen välillä olisivat merkki pituusleikkurin virheellisistä ajoparametreista tai asemien vinosta kuormituksesta. Näitä seikkoja ei kuitenkaan ollut havaittavissa (kuvat 49 ja 50). Samalla verrattiin myös pituusleikkurin ulko- ja sisäpuolen rullien kovuuseroja.



Kuva 49. Viikon 40 tambuurin n:o 1 ensimmäisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit ja tambuurin profiili ennen muuton leikkaamista. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

Tässä asetteessa asiakasrullien positionumerot olivat samat kuin niiden leikkaamiseen käytettyjen rullausasemien numerot. Superkalanterilla I kiillotetun tambuurin n:o 1 asiakasrullien kovuusprofiilien muodot mukailivat tambuurin kovuusprofiilin muotoja. Kovat ja pehmeät paikat tambuurissa pysyivät samoina myös asiakasrullissa. Etureunan rulla jäi pehmeämmäksi kuin muut rullat. Tämä oli kuitenkin seurausta jo tambuurin etureunan alhaisemmasta kovuustasosta. Kuvassa 49 näyttää siltä, että sisäpuolen rullat olisivat olleet hieman kovemmat. Sisä- ja ulkopuolen rullien kovuudet olivat kuitenkin muissa muutoissa aivan samaa tasoa, joten pituusleikkurin puolilla ei näyttänyt olevan vaikutusta rullien kovuustasoon. Asiakasrullien kovuusprofiilit olivat suhteellisen suoria, joten rullausasemien varsien välillä ei ollut kuormituseroja. Rullausvarret painoivat leikattavaa rullaa tasaisesti rullaustelaa vasten. Havaittavat kovuuden vaihtelut olivat nähtävissä jo tambuurin kovuusprofiileissa.



Kuva 50. Viikon 40 tambuurin n:o 3 ensimmäisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit ja tambuurin profiili ennen muuton leikkaamista. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla II.

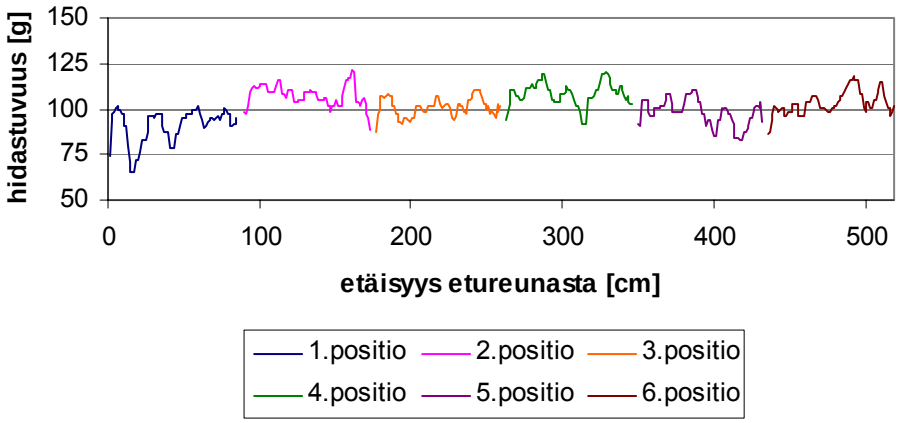
Superkalanterilla II kiillotetun tambuurin n:o 3 asiakasrullien kovuusprofiilien muodot mukailivat myös tambuurin kovuusprofiilin muotoja. Asetteen reunimmaiset rullat jäivät kovemmiksi kuin tambuurin n:o 1 reunarullat. Tämä oli suoraan seurausta siitä, että superkalantereiden tambuurit olivat kovuusprofiileiltaan erilaiset. Tambuureiden ja asiakasrullien kovuusprofiilien välillä ei havaittu mitään hälyttäviä poikkeamia jotka olisivat johtaneet toimenpiteisiin. Ensimmäisen päivän asiakasrullien päätyjen halkaisijoiden erot olivat enintään 1 mm.

Rullavanan tarkka määrittäminen rullasta on vaikeahkoa. Käsin tunnusteltaessa vanat jaettiin tässä koeajossa neljään ryhmään. Lievä vana oli tunnettavissa käsin rullan pinnasta ja vana näkyi heikosti valon heijastuessa viistosti rullan pinnasta. Kohtalainen vana tuntui ja näkyi paremmin kuin lievä vana rullan pinnassa. Kohtalaiset vanat merkittiin pituusleikkurin pöytäkirjaan melkein hylkynä. Vana näkyi ja tuntui rullan pinnassa selvästi. Vana aiheutti automaattisesti rullan hylkäämisen. Pahassa vanassa köysikuvion huiput olivat jo teräviä ja rullat hylättiin. Vanaa ja kohtalaista vanaa sisältävistä rullista voitiin vielä leikata uudelleenrullauskoneella matalia, hyvälaatuisia rullia. Pahaa vanaa

sisältävät rullat oli pulpperoitava, sillä terävät harjanteet jättivät pysyvät jäljet paperiin.

Koeajon toisena päivänä aluksi oli pituusleikkurilla ajossa asete jossa oli kuusi kappaletta 685 mm leveitä rullia. Rullien halkaisijat olivat 1000 mm. Tambuureista leikattiin neljä muuttoa. Rullausasemista oli käytössä asemat n:o 1 – 6. Pituusleikkurilla normaalisti käytettävä nippikuorman ajoarvo oli lähtötasoltaan 3500 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3900 N/m ja kireyden normaali ajoarvo oli 330 N/m. Pituusleikkurin ajonopeus oli 30 m/s kaikissa koepisteissä. Näillä arvoilla ajettiin yksi tambuuri n:o 13 superkalanterilta II.

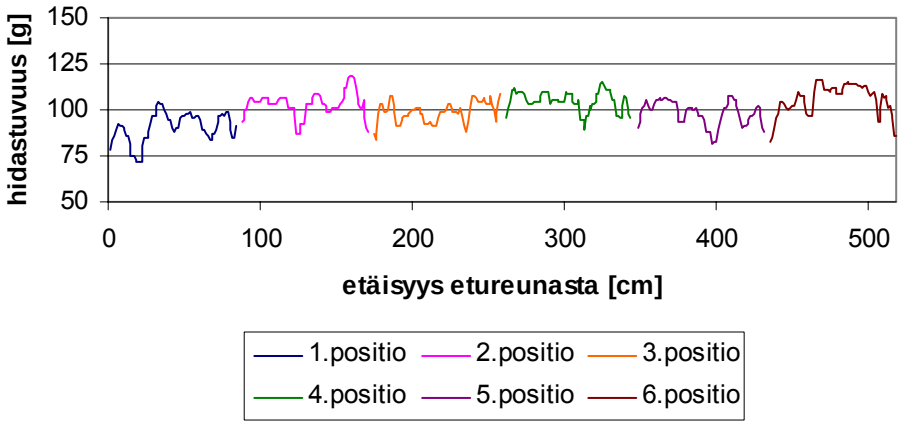
Ensimmäisessä muutossa rullausasemalle n:o 6 takareunan rullassa oli käsin tunnusteltaessa lievää vanaa. Toisessa, kolmannessa ja neljännessä muutossa oli takareunan rullissa havaittavissa edelleen lievää vanaa rullausasema n:o 6 rullissa sekä etureunan rullausasema n:o 1 rullissa kohtalaista vanaa. Kolmannen muuton etureunan rulla merkittiin pituusleikkurin pöytäkirjaan melkein hylkynä. Etu- ja takareunan rullien kovuusprofiileissa on havaittavissa aivan rainan ja rullan reuna-alueilla jyrkkiä kovuusvaihteluita (kuva 51).



Kuva 51. Viikon 40 tambuurin n:o 13 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla II.

Rullien halkaisijoiden ollessa vain 1000 mm, neliömassa- ja paksuusprofiilivaihteluihin viittaavat kovuusprofiilivaihtelut eivät saaneet vielä rullaan syntymään vanaa.

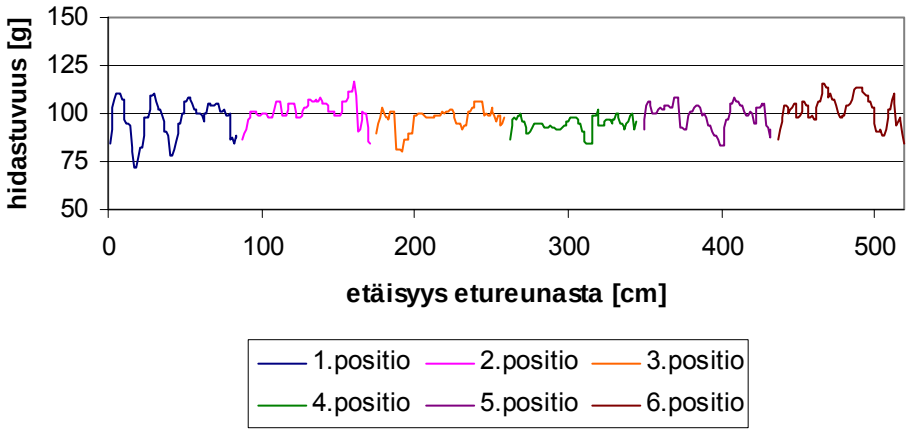
Seuraavassa koepisteessä pituusleikkurin nippikuormaa laskettiin siten, että nippikuorman lähtötaso oli 3100 N/m, joka ajon aikana nousi 3500 N/m. Kireys pysyi edelleen samana eli 330 N/m. Superkalanterin I tambuurin n:o 18 kaikissa muutoissa oli havaittavissa lievää vanaa takareunan rullissa rullausasemalla 6. Lievä vana ei aiheuttanut rullien hylkäämistä. Takareunan rullan kovuusprofiilissa ei ollut havaittavissa kovuuseroa (kuva 52).



Kuva 52. Viikon 40 tambuuri n:o 18 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

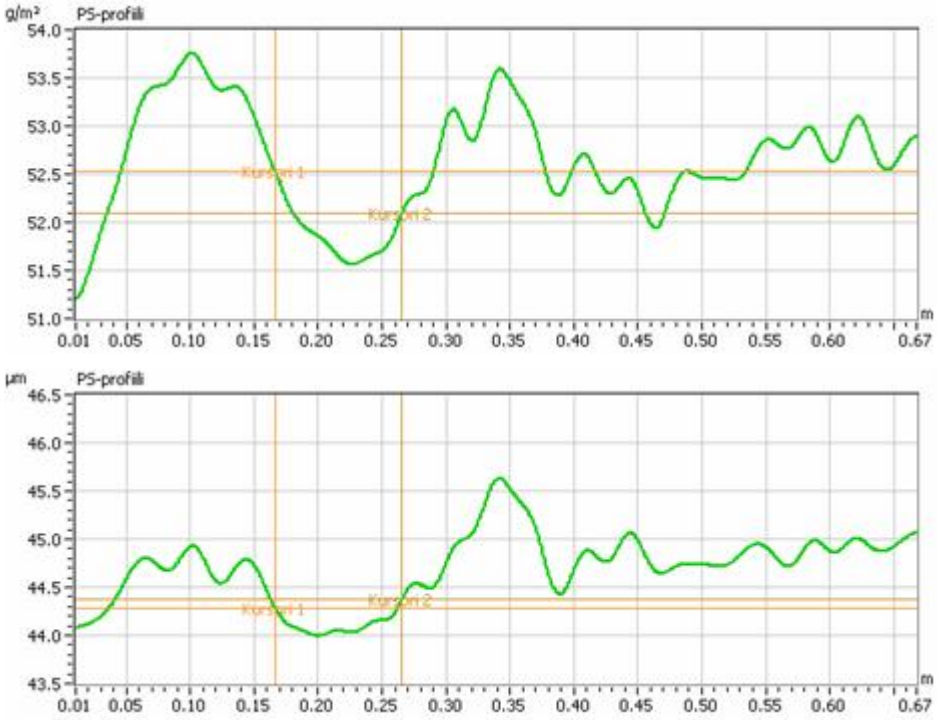
Seuraavan superkalanterilla II kiillotetun tambuurin n:o 14 kolme ensimmäistä muuttoa ajettiin samoilla ajoparametriarvoilla kuin tambuuri n:o 18. Neljänteen muuttoon nippikuorman lähtötaso laskettiin arvoon 2800 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3200 N/m. Kireys pysyi edelleen samana. Ensimmäisen muuton kaikki rullat olivat vanattomia. Lopuissa muutoissa etureunan rullaan rullausasemalle n:o 1 muodostui kuitenkin lievää vanaa. Nippikuorman alentaminen neljänteen muuttoon ei poistanut lievää vanaa rullasta. Lievää vanaa sisältäneiden rullien kovuusprofiileissa oli havaittavissa jyrkkiä vaihteluita rainan etureunassa (kuva 53). Nippikuorman alentaminen ei vaikuttanut rullien kovuustasoon (vrt. kuvat

51, 52 ja 53). Rullien kovuustaso pysyi samana, vaikka nippikuormaa vähennettiin 700 N/m. Nippikuorman vähentämisellä ei kuitenkaan saavutettu merkittävää parannusta vanojen vähentämiseksi.



Kuva 53. Viikon 40 tambuuri n:o 14 neljännen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

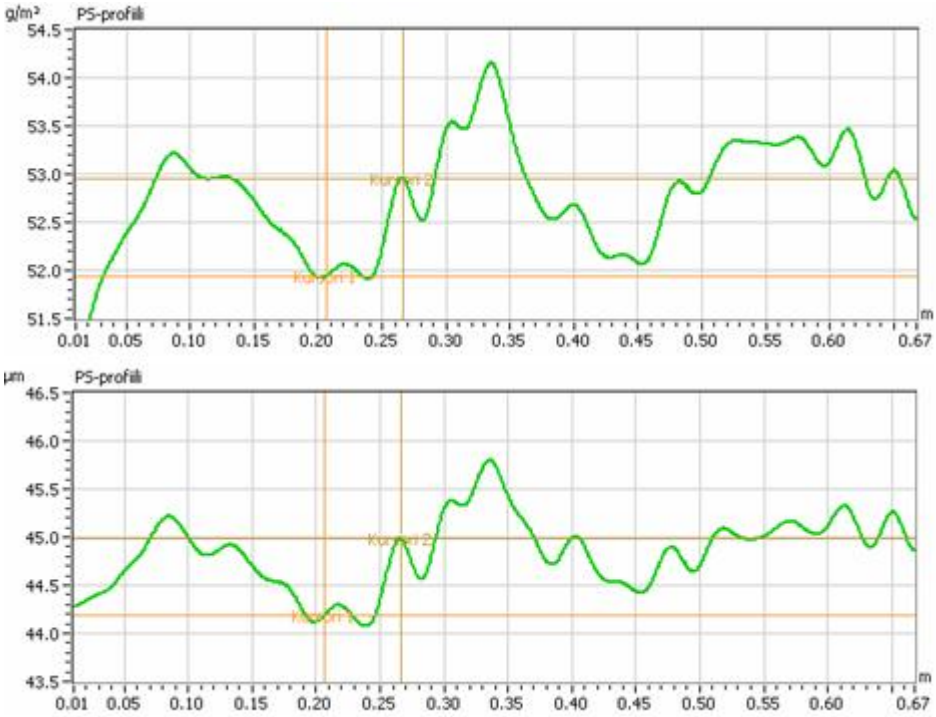
Seuraavassa koepisteessä pituusleikkurilla muuttui asete. Uudessa asetteessa yksi 700 mm leveä rulla ja kaksi 2286 mm leveää rullaa. Rullien halkaisijat kasvoivat 1250 mm:in. Tambuureista voitiin leikata vain kaksi muuttoa. Rullausasemista olivat käytössä asemat n:o 2 – 4 ja kapea rulla leikattiin asemalla n:o 2. Nippikuorma palautettiin edellisestä koepisteestä takaisin lähtöarvoon 3100 N/m ja loppuarvoon 3500 N/m. Tämä nippikuorma oli 400 N/m vähemmän kuin normaali nippikuorma. Näillä ajoparametreilla ajettiin yksi tambuuri kummaltakin superkalanterilta. Ensimmäinen leikattava tambuuri n:o 25 oli kiillotettu superkalanterilla I. Ensimmäisen muuton etureunan rullaan muodostui paha vana. Vanarullan päätyjen halkaisijat mitattiin. Kapean rullan etureunan halkaisija oli 5 mm pienempi kuin rullan takareunan halkaisija. TAPIO -analysaattorilla mitatuissa neliömassa- ja paksuusprofiileissa oli todella suuria vaihteluita (kuva 54). Paperin paksuudessa oli rullan reunoissa 1 µm ero.



Kuva 54. Viikon 40 tambuurin n:o 25 ensimmäisen muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I. Vanakohta on merkitty pystyviivoin.

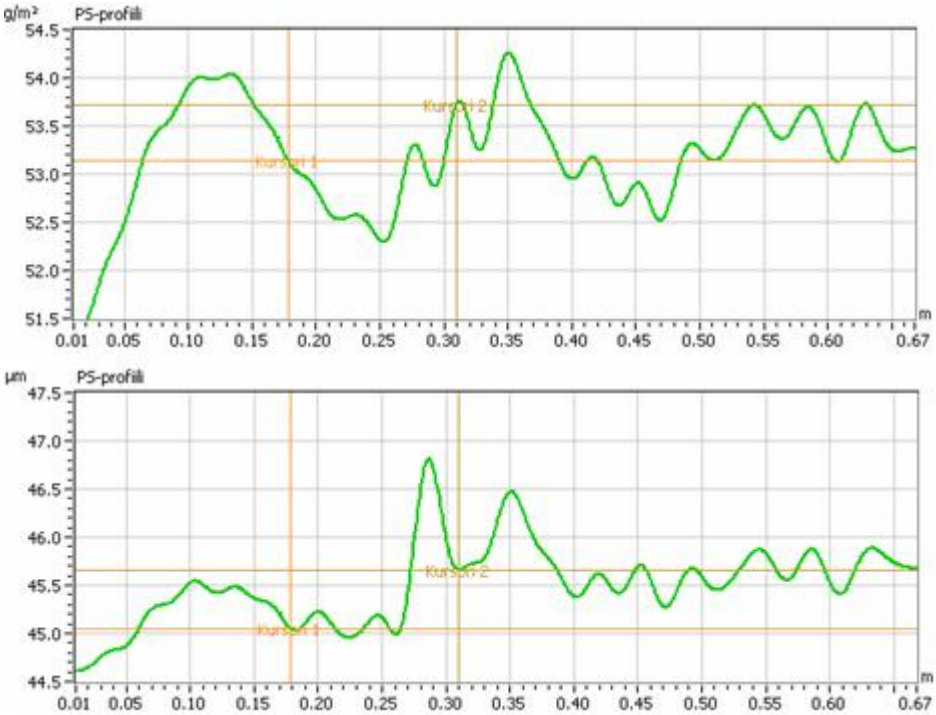
Kapeassa rullassa oli 2,5 g/m^2 neliömassaheitto 20 cm leveällä alueella ja yli 1,5 µm paksuusvaihtelu aiheuttivat pahan vanan. Näin suuria vaihteluita ei voinut hallita mitenkään pituusleikkurin ajoparametreilla. Vanan muodostuminen oli väistämätöntä. Saman tambuurin toisen muuton kapea etureunan rulla oli aivan samanlainen. Rullassa oli paha vana ja rullan päätyjen halkaisijoiden ero oli 4 mm. Rulla oli hylättävä.

Superkalanterilla II kiillotettu tambuuri n:o 27 leikattiin samoilla ajoparametreilla kuin tambuuri n:o 25. Ensimmäisen muuton etureunan rullassa oli vain lievää vanaa ja toisen muuton rullassa oli lievää epätasaisuutta. Rullia ei kuitenkaan hylätty, vaikka TAPIO -analysaattorin mittauksissa neliömassa- ja paksuusprofiileissa oli jyrkkiä vaihteluita 2,2 g/m^2 ja 1,5 µm (kuva 55).



Kuva 56. Viikon 40 tambuurin n:o 27 ensimmäisen muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla II. Lievä vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Tämän jälkeen leikattiin superkalanterilla I kiillotettu tambuuri n:o 28. Pituusleikkurin kiinnirullauksen kireyttä nostettiin 380 N/m:in nippikuorman pysyessä samana ensimmäisen muuton aikana. Ensimmäisessä muutossa etureunan rulla oli aivan yhtä pahasti vanoittunut kuin tambuurin n:o 25 etureunan rullat. Rullan päätyjen halkaisijoiden ero oli 5 mm. Neliömassa- ja paksuusprofiileissa oli edelleen suuria ja kapea-alaisia heilahduksia (kuva 57). Vanan muodostuminen rullaan oli väistämätöntä ja rulla hylättiin.



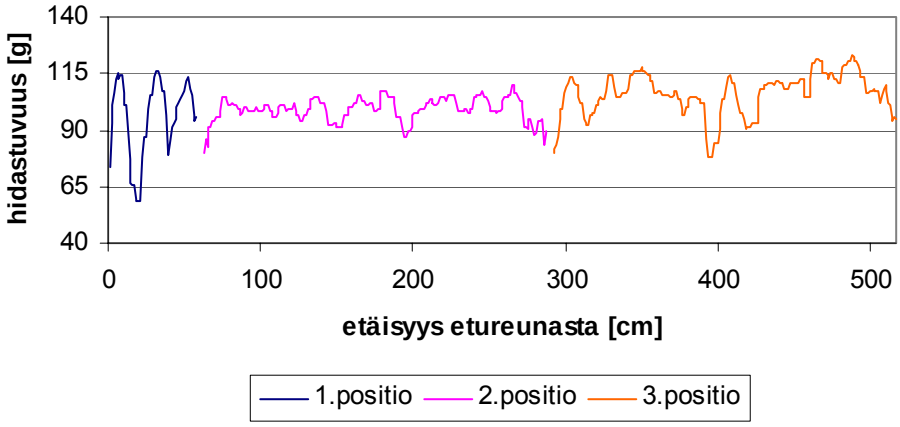
Kuva 57. Viikon 40 tambuurin n:o 28 ensimmäisen muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I. Paha vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Viimeiseen muuttoon laskettiin nippikuorma lähtötasolle 2700 N/m ja loppuarvoksi tuli 3100 N/m. Vanaa muodostui edelleen toisen muuton reunarullaan. Nippikuorman laskemisella ja kireyden nostolla ei saatu pelastettua kapeita reunarullia. Reuna-alueen jyrkät neliömassa- ja paksuusvaihtelut saivat aikaan huonot lähtökohdat onnistuneelle rullaukselle. Rullan halkaisijan kasvaessa paikalliset halkaisijavaihtelut rullassa kertautuivat yli "kriittisen" pisteen ja raina alkoi sopeutua tähän vanoittumalla. Vanat muodostuminen rullaan alkoi hieman eri rullan halkaisijoilla. Toisinaan vanaa syntyi aivan rullauksen loppuvaiheessa. Vanaa alkoi pääsääntöisesti muodostua rullaan, kun sen halkaisija ylitti 1000 mm. Vanarullien päätyjen halkaisijoiden erot olivat enää vain 1 mm.

Koeajon viimeisenä päivä pituusleikkurilla oli ajossa asete jossa oli yksi 600 mm leveä rulla ja kaksi kappaletta 2286 mm leveitä rullia. Rullien halkaisijat olivat edelleen 1250 mm. Tambuureista leikattiin kaksi muuttoa. Rullausasemista olivat käytössä asemat n:o 2 – 4. Kapea rulla leikattiin

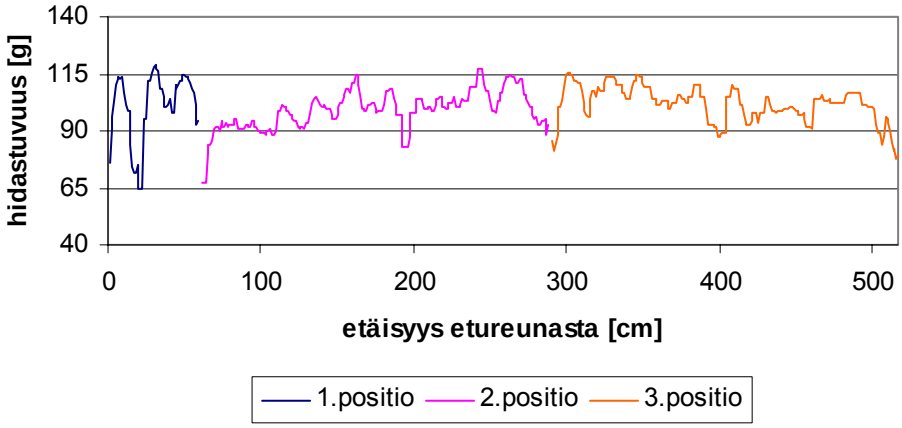
rainan etureunasta rullausasemalla n:o 2. Nippikuorma oli lähtötasoltaan 3100 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3500 N/m. Kiinnirullauksen kireys oli 330 N/m. Pituusleikkurin ajonopeus oli 27 m/s. Viimeisenä koeajopäivänä tutkittiin käytettävän rullausaseman ja rainan reunan sekä ajonopeuden vaikutusta vanan syntymiseen.

Tällä rullausasemajärjestyksellä ajettiin yksi tambuuri kummaltakin superkalanterilta ensimmäisenä koepisteenä. Superkalanterin II tambuurin n:o 45 ensimmäisen muuton kapeaan etureunan rullaan muodostui vanaa ja rulla hylättiin. Samoin kävi toisen muuton etureunan kapealle rullalle. Kummankin muuton etureunan rullien kovuusprofiileissa oli havaittavissa kapeita ja jyrkkiä kovuusvaihteluita (kuva 58).



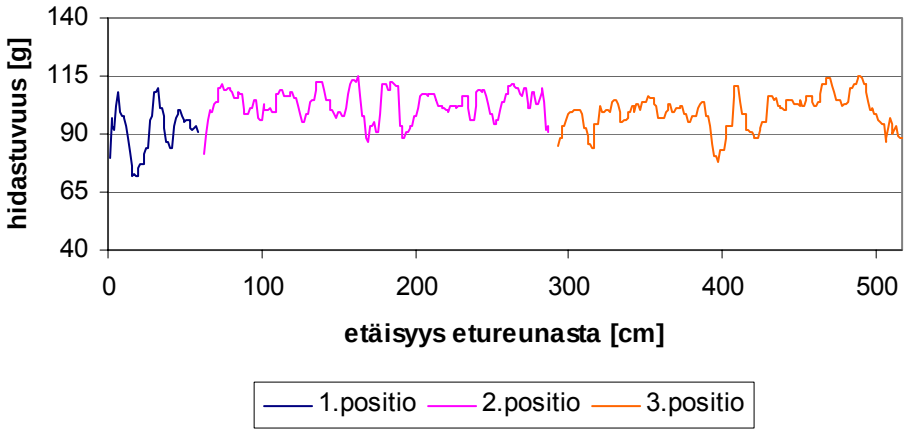
Kuva 58. Viikon 40 tambuurin n:o 45 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla II.

Superkalanterilla I kiillotetun tambuurin n:o 47 kummankin muuton etureunan kapeat rullat hylättiin vanan vuoksi. Edelliseen päivään verrattuna superkalanterin I tambuureista leikattujen kapeiden rullien päätyjen halkaisijoiden ero oli vain 1 mm kuten muissakin kolmannen päivän rullissa. Myös tambuurin n:o 47 etureunan rullissa oli jyrkkiä kovuusvaihteluita (kuva 59).



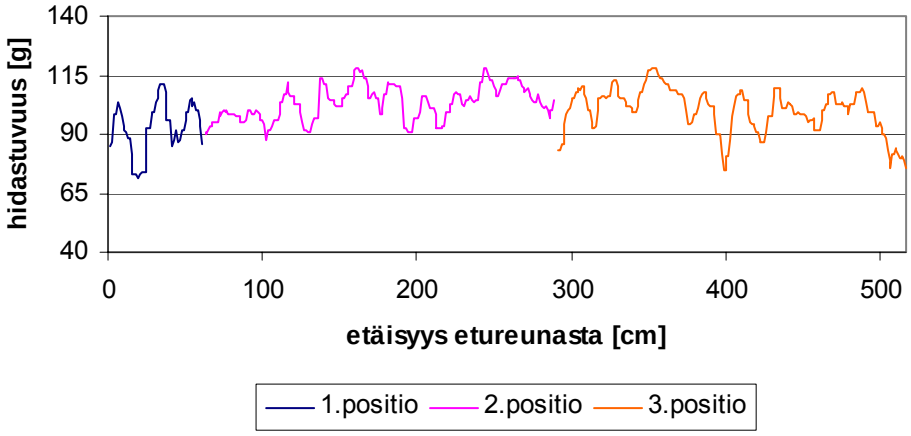
Kuva 59. Viikon 40 tambuurin n:o 47 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

Toisessa koepisteessä rullien paikkaa asetteessa vaihdettiin. Rullausasemista olivat käytössä asemat n:o 3 – 5 ja kapea rulla leikattiin rainan etureunasta rullausasemalla n:o 3. Tällä verrattiin pituusleikkurin sisä- ja ulkopuolen vaikutus vanan muodostumiseen. Tämän koepisteen ensimmäinen tambuuri n:o 48 oli superkalanterilta II. Ensimmäisen muuton etureunan rullaan muodostui vanaa ja rulla hylättiin. Toisen muuton rullaan muodostui kohtalaista vanaa. Rulla merkittiin pituusleikkurin pöytäkirjaan melkein hylkynä. Kapean rullan kovuusvaihtelut olivat jo vähäisempiä (vrt. kuvat 60 ja 58) kuin tambuurissa n:o 45.



Kuva 60. Viikon 40 tambuurin n:o 48 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla II.

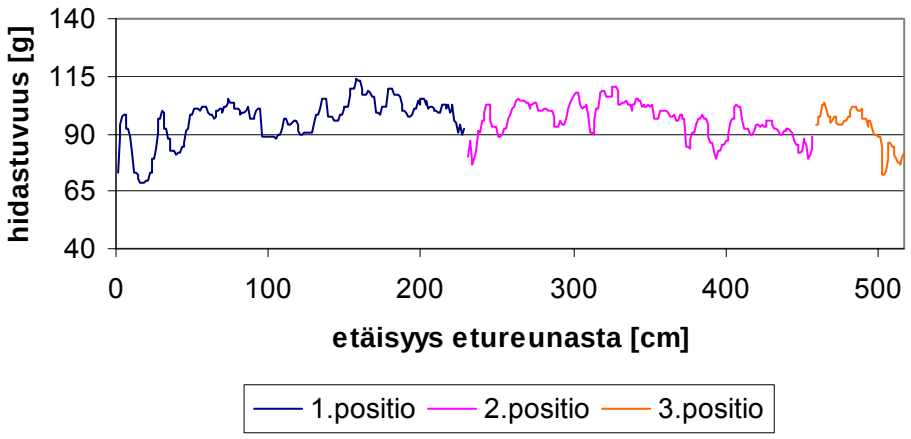
Superkalanterin I tambuurin n:o 46 ensimmäisen muuton etureunan rullaan muodostui hyvin lievää vanaa ja rulla meni asiakkaalle. Seuraavaan muuttoon lisättiin pituusleikkurin aukirullauksen oskillointia. Toisen muuton etureunan rulla oli täysin vanaton. Kapean rullan kovuusprofiilin vaihtelu oli vähäisin kaikista mitatuista reunarullista (kuva 61).



Kuva 61. Viikon 40 tambuurin n:o 46 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

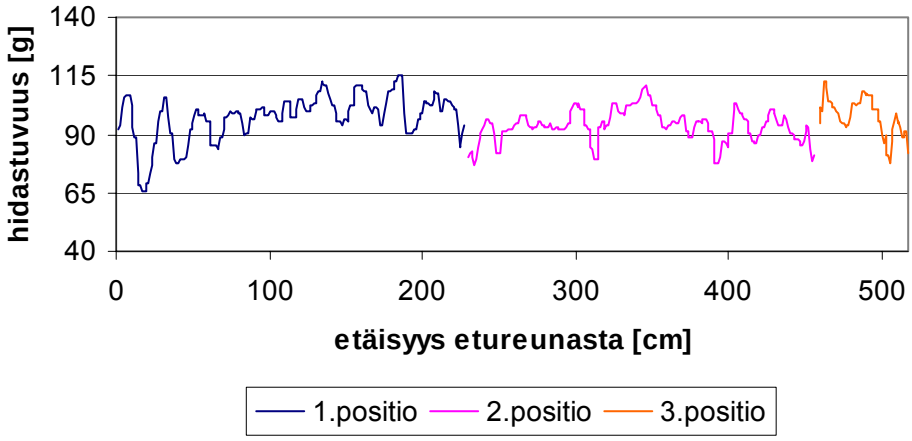
Rullien kovuustasossa ei ollut havaittavissa eroja riippumatta siitä, kummalla puolella pituusleikkuria etureunan kapea rulla leikataan. Ulkopuolen kapeisiin rulliin vana muodostui lievempänä tai sitä ei muodostunut ollenkaan.

Seuraavassa koepisteessä rullien paikkaa vaihdettiin siten, että kapea rulla siirrettiin rainan takareunaan rullausasemalle n:o 4. Rullausasemista olivat käytössä asemat n:o 2 – 4. Tällä toimenpiteellä saatiin selville rainan reunojen ero. Koepisteen ensimmäinen tambuuri n:o 51 oli kiillotettu superkalanterilla I. Tambuurissa oli havaittavissa tambuurivanaa rainan takareunassa. Tämä tambuurivana siirtyi asiakasrulliin ja rullat jouduttiin hylkäämään. Vana oli aivan rainan takareunassa, joka näkyy kapean rullan pehmeämpänä takareunana (kuva 62). Rainan etureunan profiilivirhe näkyi edelleen etureunan rullassa, mutta se ei aiheuttanut etureunan rullaan kuin lievän vanan ja rullaa ei tarvinnut hylätä.



Kuva 62. Viikon 40 tambuurin n:o 51 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

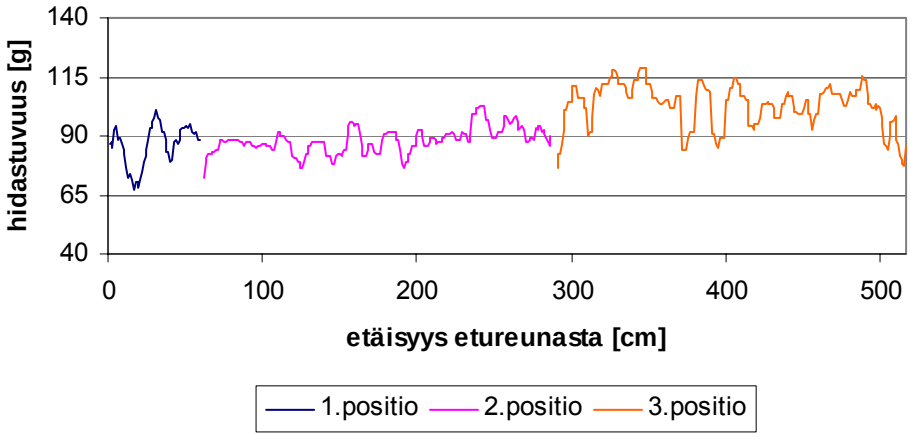
Tambuuri n:o 52 oli kiillotettu superkalanterilla II. Tässäkin tambuurissa oli takareunassa havaittavissa tambuurivanaa, joka siirtyi asiakasrulliin molemmissa muutoissa. Molemman muuton takareunan kapeat rullat oli hylättävä. Varsinkin ensimmäisen muuton kapean rullan takareuna oli pehmeä. Toisen muuton kapean rullan takareuna oli kovempi, mutta rullaan siirtynyt tambuurivana aiheutti rullan hylkäämisen (kuva 63). Rainan etureunassa oli edelleen havaittavissa kovuusvaihteluita, mutta ne aiheuttivat vain lievää vanaa 1. position rullan etureunaan.



Kuva 63. Viikon 40 tambuurin n:o 52 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla II.

Aukirullauksessa käytettiin edelleen suurempaa oskillointia, mutta sillä ei saatu takareunan tambuurivanaa levitettyä niin paljon, ettei vana olisi siirtynyt asiakasrulliin.

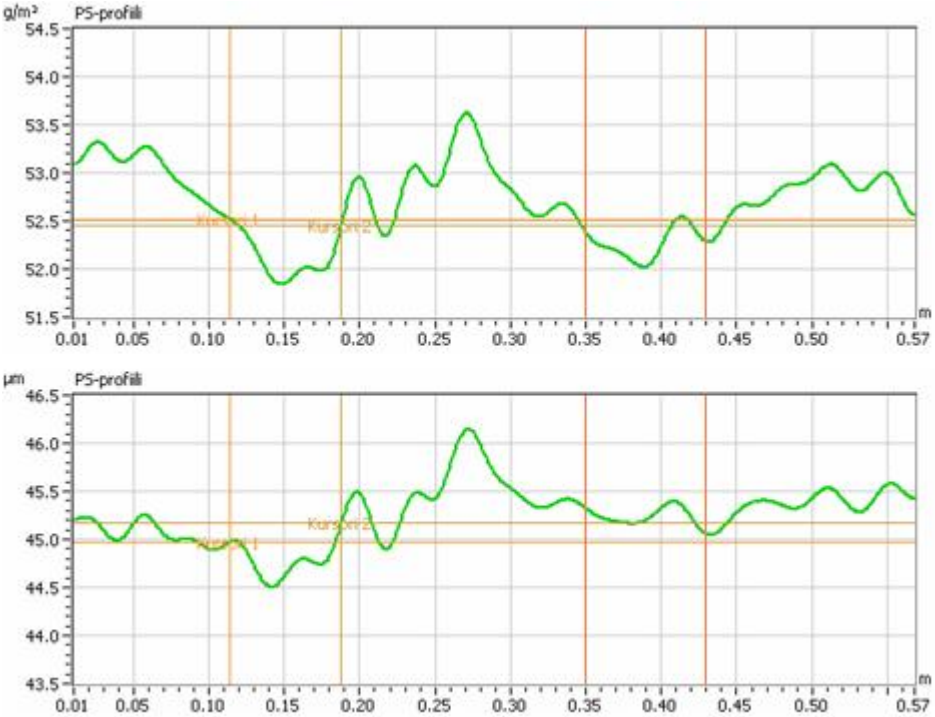
Viimeisessä koepisteessä kapea rulla siirrettiin asetteessa takaisin etureunaan rullausasemalle n:o 2. Viimeisessä koepisteessä kokeiltiin suuremman oskilloinnin vaikutus leikattaessa etureunan rulla pituusleikkurin sisäpuolella ja pituusleikkurin ajonopeuden vaikutus vanan muodostumiseen. Superkalanterin I tambuureista oli ja aikaisemmin havaittu muodostuvan pahempia vanarullia, joten superkalanterilla I kiillotetusta tambuurista n:o 53 leikattiin yksi muutto suuremmalla oskilloinnilla. Tambuurissa oli valmiiksi etureunassa tambuurivanaa, joka siirtyi asiakasrullaan. Rullauksen loppuvaiheessa rullaan syntyi myös pintavanaa. Kapea rulla hylättiin. Etureunan rullassa oli kovuusvaihteluita, samoin 3. position rullassa (kuva 64). Kapea rulla jouduttiin hylkäämään, mutta leveä 3. position rulla oli vanaton.



Kuva 64. Viikon 40 tambuurin n:o 53 toisen muuton asiakasrullien kovuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I.

Koeajon viimeinen tambuuri n:o 42 oli kiillotettu myös superkalanterilla I. Tämän tambuurin ensimmäinen muutto leikattiin ajonopeudella 20 m/s. Ajonopeuden laskulla ei ollut vaikutusta vanan muodostumiseen. Kapeaan rullaan syntyi kaksi erittäin pahaa vanaa ja rulla hylättiin. Tambuurin toinen muutto leikattiin ajonopeudella 30 m/s, mutta tälläkin ajonopeudella kapeaan rullaan muodostui pahaa vanaa. Ensimmäisen muuton kapeasta

rullasta otettiin malliarkkeja tutkittavaksi TAPIO -analysaattorilla. Rainan etureunassa oli neliömassassa noin 2 g/m^2 ja paksuudessa 1,7 µm kapea-alainen muutos (kuva 65). Näin jyrkät muutokset aiheuttavat väistämättä vanaa kapeisiin reunarulliin.



Kuva 65. Viikon 40 tambuurin n:o 42 ensimmäisen muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Tambuuri oli kiillotettu superkalanterilla I. Pahat vanakohdat on merkitty pystyviivoin.

Tambuurin n:o 42 (kuva 65) ensimmäisen muuton etureunan rullasta leikattiin uudelleenrullauskoneella kaksi pientä rullaa. Rullat olivat 25 cm leveitä ja paperia rullassa oli noin 2000 m. Rullat leikattiin siten, että kumpikin vanakohta jäi eri rulliin. URK:lla jouduttiin ajamaan todella hiljaa, jotta kapeiden rullien rullaus onnistui. Muutenkin liikuttiin URK:n äärirajoilla leikattavien rullien kapeudesta johtuen. URK:lla voidaan normaalisti leikata noin 40 cm leveitä rullia, joten nyt jouduttiin soveltamaan rullausperiaatteita rullauksen onnistumiseksi.

Näistä pikkurullista mitattiin vanakohdista TAPIO -analysaattorilla mitattavien suureiden konesuuntaiset vaihtelut ja niitä verrattiin toisen pikkurullan tasaisen kohdan konesuuntaisiin vaihteluihin. Mittaustuloksista rajattiin 1000 m alue ja tuloksia ei suodatettu ollenkaan. Tuloksista oli

havaittavissa, että mittausarvojen hajonta väheni siirryttäessä rullan huonolaatuisesta kohdasta parempilaatuiseen kohtaan. Rullan etureunan vanan kohdalla konesuuntainen hajonta oli voimakkainta (taulukko IX). Rullan tasaisesta kohdasta mitattujen arvojen hajonta oli luonnollisesti vähäisempää. Rullavanan muodostumista edesauttavat rainassa tapahtuvat normaalia suuremmat sekä poikki- että konesuuntaiset vaihtelut neliömassassa ja paksuudessa.

TAULUKKO IX Viikon 40 tambuurin n:o 42 ensimmäisen muuton etureunan rullan vanakohtien ja tasaisen kohdan TAPIO -analysaattorilla mitattujen suureiden konesuuntaiset vaihtelut.

		12–19 cm etur.	35–43 cm etur.	tasainen kohta
Neliömassa [g/m²]	keskiarvo	51,87	52,96	52,99
	hajonta	1,24	1,15	1,07
Paksuus [µm]	keskiarvo	44,95	45,97	46,03
	hajonta	1,02	0,97	0,91
Tiheys [kg/m³]	keskiarvo	1153,62	1151,64	1150,95
	hajonta	15,85	15,41	14,55
Tuhka [%]	keskiarvo	12,73	12,55	12,9
	hajonta	0,54	0,52	0,5
Transmissio [%]	keskiarvo	26,72	26,41	27,55
	hajonta	0,73	0,67	0,62
Kiilto yläpuoli [%]	keskiarvo	39,33	40,98	39,36
	hajonta	0,8	0,74	0,74
Kiilto alapuoli [%]	keskiarvo	40,46	40,83	40,51
	hajonta	0,66	0,63	0,57

Kaikki koeajon aikana leikattujen muuttojen asiakasrullien kovuusprofiilit on esitetty liitteessä VIII.

13.4. KOEAJON JOHTOPÄÄTÖKSET

Korkeiden, halkaisijaltaan 1250 mm rullien vanan muodostumiseen nippikuorman laskulla ei ollut vaikutusta, jos rainassa oli jo olemassa jyrkkiä profiilivaihteluita. Nippikuorman pienentämisen piti teoriassa auttaa vähentämään vanan muodostumista, mutta rainan reunoissa olevien suurten profiilivaihteluiden vuoksi näin ei tapahtunut. Nippikuorma oli koeajon aikana laitevalmistajan mukaan SC-paperille normaalia korkeammalla tasolla, mutta reilu nippikuorman pudotus ei parantanut

tilannetta. Kireyden lisääminen teoriassa pitäisi vähentää vanan muodostumista, mutta rainan reunojen profiilivaihteluista johtuen vanaa muodostui edelleen. Kireyden lähtötaso oli laitevalmistajan mukaan SC-paperille normaalia matalammalla tasolla. Nippikuorman ja kireyden muutokset eivät näkyneet asiakasrullien kovuustasoissa ollenkaan. Tämä johtui siitä, että kovuusmittauslaitteen iskuvoima rullan pintaan oli sen verran pieni, ettei se vaikuttanut kovin syvälle rullan säteen suunnassa. Kovuusmittalaite mittasi näin ollen rullan pintaosien kovuuden. Tämä kuitenkin oli riittävä tieto asiakasrullan rakenteesta. Rullien tarkempien kovuusprofiilien mittaus vaatii monimutkaisemmat laitteet, joka hidastaa usean rullan mittausten suorittamista.

Neliömassa- ja paksuusprofiileissa olevat jyrkät vaihtelut rainan reunassa aiheuttivat asiakasrullien päätyjen halkaisijoiden erot. Ohuella paperilla virheet rullauksessa kertautuvat rullan halkaisijan kasvaessa ja mahdollisuudet onnistuneelle rullan muodostumiselle ovat minimaaliset. Joissakin tambuureissa oli jo havaittavissa vanaa. Vana siirtyi tambuurista asiakasrulliin, jolloin pituusleikkurilla voitiin asiaa lieventää vain lisäämällä pituusleikkurin aukirullaimen oskillointia. Usein tästä toimenpiteestä ei ollut apua vanan ollessa tambuurissa jo valmiiksi pahanlaatuinen.

Kapean reunarullan sijoittelulla pituusleikkurin sisä- tai ulkopuolelle näyttäisi hieman olevan vaikutusta vanan muodostumiseen. Rullan sijoittaminen pituusleikkurin ulkopuolen asemille vähentää hieman vanan muodostumista. Tämä johtuu siitä, että rainan kulkiessa JR-1000 pituusleikkurin teräpöydältä ulkopuolen rullaustelalle, raina on pidemmän aikaa irti telasta kuin rainan kulkiessa sisäpuolen rullaustelalle. Vapaan viennin aikana rainassa olevat jännitykset pääsevät helpommin poistumaan.

Pituusleikkurin ajonopeudella ja sen muutoksilla ei ollut profiilivaihteluista johtuviin vanoihin vaikutusta. Pituusleikkurilla ei ollut mahdollisuutta alkaa hidastelemaan, sillä sen oli pystyttävä leikkaamaan paperikoneen tuottama paperi aiheuttamatta pullonkaulaa tuotantolinjalle.

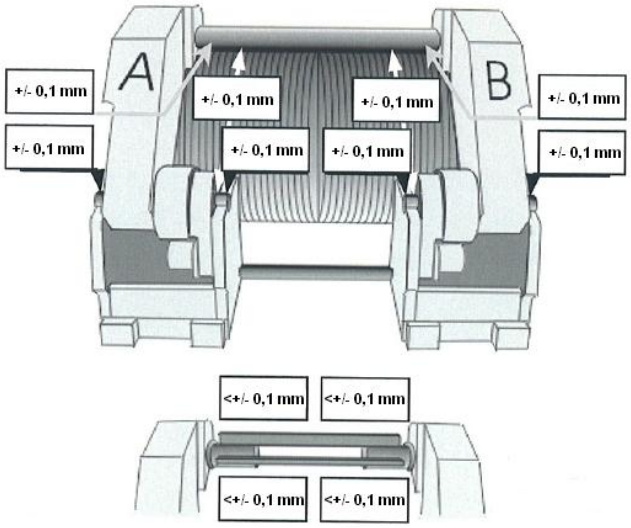
Vanakohdista TAPIO -analysaattorilla saadut tulokset osoittivat, että vanojen kohdalla paperin ominaisuudet vaihtelevat myös konesuunnassa. Tämä antaa viitteitä siitä, että vanaongelman syyt löytyvät paperikoneen märästäpäästä, viiraosan alueelta.

Superkalanterien samankaltaisuudesta ja samoista ajoparametreista huolimatta, kiillotettujen tambuurien kovuusprofiilit olivat erilaiset. Työssä ei tutkittu superkalanteria tarkemmin, mutta jatkotoimenpiteitä ajatellen seuraavaksi olisi syytä selvittää superkalantereista johtuvat erot. Hylkyrullat keskittyivät yleensä vain toisen superkalanterin tambuureihin ja kovuusprofiilien eroilla näyttäisi olevan yhteyttä hylyn muodostumiseen. Koeajon aikana superkalanterin I tambuureista leikattuja rullia jouduttiin hylkäämään enemmän. Kuitenkin esikokeiden tarkastelujakson aikana vanarullia muodostui selvästi enemmän superkalanteri II:n tambuureista.

Pituusleikkuri säilytti tambuurin kovuusprofiilin muodot asiakasrullien kovuusprofiileissa, joten rullien kovuusprofiilien vaihtelut johtuivat paperista. Sisä- ja ulkopuolen asemien käytöissä ja kuormituksessa ei ollut huomautettavaa, sillä sisä- ja ulkopuolen rullien kovuustasoissa ei havaittu eroavaisuuksia. Myöskään yksittäisten rullien kovuusprofiileissa ei ollut havaittavissa sellaisia eroja esim. vinoutta, jota ei olisi ollut jo tambuurissa havaittavissa. Tästä voitiin päätellä että, pituusleikkurin kuormituslaitteisto oli kunnossa.

Pituusleikkurin mekaanisella kunnolla on vaikutusta rullavanojen muodostumiseen. Pituusleikkurin rullausasemien linjaus on suoritettava huolella ja linjausten on pysyttävä paikoillaan. Rullausasemien linjauksessa toleranssit ovat erittäin pieniä (kuva 66). Pienetkin epäpuhtaudet, esim. teipin palat lattajohteella aiheuttavat rullausasemien linjauksen muuttumisen ja heikentävät rullauksen onnistumista. Myös väljät kohdat rullausasemien liikkuvissa osissa aiheuttavat hankaluuksia. Pituusleikkurin tarkastelujakson aikana rullausasemat linjattiin ja epäkeskorullien lukitus muutettiin tiukemmaksi sekä rullaustelojen, lattajohteiden ja pyöröjohteiden linjaus tarkistettiin. Myös rullausasemien

kuluneet osat on vaihdettu uusiin, esim. C-pesien liukupinnat ja kuormitussylinterien nivelet. Pituusleikkurin levitystelojen pinnat ovat kuluneet, joten seuraavaksi ne olisi pinnoitettava uudestaan. Etenkin rainan reuna-alueilla levityksellä on rullauksen onnistumista parantava vaikutus.



Kuva 66. JR-1000 pituusleikkurin rullausaseman linjaustoleranssit.

14. EHDOTUKSIA JATKOTOIMENPITEIKSI

Vanojen muodostuminen koeajon aikana ei ollut peräisin pituusleikkurista, mutta pituusleikkurilla kuluvien osien ennakoivaan huoltoon ja asemien linjauksiin kannattaa panostaa. Myös kaikkien telojen urien puhtaanapitoon kannattaa kiinnittää edelleen huomiota. Tällä tavoin saadaan minimoitua pituusleikkurin vaikutus vanan muodostumiseen. Viereisellä PK7:n pituusleikkurilla ajoparametreista nippikuorma on alhaisempi ja kireys on korkeampi. Pituusleikkurit ovat samantyyppiset kummallakin paperikonelinjalla. Siellä ajetaan lähes samaa paperia, joten olisi suositeltavaa yhtenäistää pituusleikkureiden ajoarvoja sekä leikkureiden että eri vuorojen ajomiehistöjen välillä.

TAPIO -analysaattorilla paljastuneiden neliömassa- ja paksuusprofiilien vaihteluiden perusteella kannattaa seuraavaksi vanan syitä alkaa selvittämään paperikoneen perälaatikosta ja viiraosalta. Näiden vaihteluiden vähentämisen jälkeen pituusleikkuri ei olisi niin herkkä muodostamaan vanoja asiakasrulliin. Jyrkkiä ja kapeita muutoksia neliömassassa voi aiheuttaa perälaatikon huulessa oleva kolhu tai epäpuhtaus. Viiraosan vedenpoistoelimissä saattaa myös olla epätasaista kulumista. Paperikoneen online-mittausten kuvaajien skaalausta tarkemmaksi kannattaa myös käyttää tehokkaammin hyväksi. Vanan muodostuminen oli epäsäännöllistä, joten se lisää haasteellisuutta vanaa synnyttävän tekijän selvittämiseen paperikoneella.
TAPIO -analysaattorin käyttöä kannattaa tehostaa, kun vanarullia alkaa muodostua pituusleikkurilla. Leikatusta asiakasrullasta malliarkkien ottaminen on helppoa ja TAPIO -analysaattorilla päästään helposti vanojen muodostumisen syihin kiinni. Malliarkkeihin on muistettava merkitä kynällä vanan kohta, sillä vanat saattavat kadota rainan vapautuessa rullausjännityksestä.

Superkalanterilla kannattaa tehostaa telojen kunnon tarkkailua ja vaihtaa kuluneet telat ajoissa kunnostettuihin teloihin. Superkalanterilla tapahtuvaa reunojen leikkausta kannattaa harkita. Kapealla koneella hyötyleveys hieman pienenee, mutta jos tällä keinolla saadaan hylkymäärää vähennettyä, niin parempi sekin on kuin hylätä aika-ajoin suurin osa kapeista reunarullista. Naapurilinjalla reunaleikkauksesta on hyviä kokemuksia.

Ehdottaisin TAPIO RQP -kovuusmittalaitteen ostamista tehtaalle. Kovuusprofiilien mittaaminen TAPIO RQP -kovuusmittalaitteella on paljon nopeampaa kuin PAROtester2 -kovuusmittalaitteella. Mittaamisen nopeutuessa niitä voidaan suorittaa useampia jolloin tulosten luotettavuus paranee. Mittausten luotettavuus on myös parempi, koska mittaus tapahtuu osin automaattisesti jolloin mittaajasta johtuvat vaihtelut

vähenevät. Tulosten käsittely on RQP:lla paljon helpompaa ja nopeampaa kuin PARO tester2:lla. RQP:n mittausohjelma toimii Microsoft Windows -käyttöjärjestelmässä ja tulokset voidaan siirtää suoraan esim. Excel-taulukkolaskenta-ohjelmaan.

LÄHTEET

1. Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P. *Paperin ja kartongin valmistus,* Opetushallitus, Hakapaino Oy, Helsinki 2000, 290 s.
2. KnowPap 5.0, VTT Tuotteet ja tuotanto, 1997–2003, [CD-ROM]
3. Haarla, A., *Printing and writing papers, Paper and Board Grades*, Paulapuro, H. (Ed.), Papermaking Science and Technology, Book 18, Fapet Oy, Helsinki, 2000, s. 28–30.
4. Ehrola, J., *Calendering*, Papermaking Part 3, Finishing, Jokio M. (Ed.), Papermaking Science and Technology, Book 10, Fapet Oy, Helsinki, 2000, s. 56–57, 110.
5. Roisum, D.R., *the Mechanics of Winding*, TAPPI Press, Atlanta, 1994, 237 s.
6. Lannes, P. & Kojo, T., Konerullaus. Helsinki 2001. AEL Metsäteollisuuden koulutuskeskus, Julkaisu P150627. *Paperikoneen kuivan pään toiminnot*, Taitokurssit, 70 s.
7. Kiiskinen, H., Paltakari, J. & Pakarinen, P., *Drying and paper quality*, Papermaking Part 2, Drying, Karlsson, M., (Ed.), Papermaking Science and Technology, Book 9, Fapet Oy, Helsinki, 2000
8. Olsen, J.E., Modeling of edge rolls defects, *Sixth international conference on web handling (IWEB)*, Stillwater, June 10-13, 2001, Oklahoma, 2002, s. 51-55
9. Frye, K.G., *Winding*, TAPPI Press, Atlanta, 1990, 117 s.
10. Pakarinen, P., Paperin vikaisuudet ja niiden analysointi; vanaisuus, kupruilu, käyristyminen. Helsinki 2000. AEL Metsäteollisuuden koulutuskeskus, Julkaisu P905602/00, *Kuituverkon rakenne ja toimivuus painatuksessa*, Insko-seminaari.15 s.
11. Rintala, R., Niemi, K. & Valtonen, E., Paperin laatuominaisuuksien mittaus. Espoo 1993, KCL, *Raina-tutkimusohjelma*. Raportti 11. 48 s.
12. Roisum, D.R., Reading a roll. *Tappi J*. **81**(1998)4, s. 205–211.

13. International Paper, http://www.internationalpaper.com/Paper/Paper%20Business%20Divisions/Commercial%20Printing.html, [viitattu 17.3.2005]
14. Metso Paper Oyj, sisäinen raportti, 2004.
15. Smith, R. Duane, *Roll and Web Defect Terminology*, TAPPI Press, Atlanta, 1995, 254 s.
16. Henevor, M.G., Eliminating sources of ridges in paper rolls. *Tappi* **60**(1977)10, s. 63–65.
17. Fu, Y., Dumont, G. & Davies, M., A nonlinear model for the paper machine dry weight CD profile. *Nord. Pulp Pap. Res. J*. **10**(1995)2, s. 129–132.
18. Begemann, U., Consistency cross direction profile: prequisities for a successful installation, *Papier* **52**(1998)6, s. 344–348, 351–354.
19. Schlupp, K., *Characteristics of a headbox slice jet at elevated speed*, Lisensiaattityö. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan osasto, Espoo 2000, 98 s.
20. Ylikauppila, J., Koskimies, J., & Ihalainen, J., Fliessverhalten des Stoffstrahls aus einem Stoffauflauf. *Wochenbl. Papierfabr*. **116**(1988)1, s. 11–15.
21. Pakarinen, P., & Kiviranta, A., A new insight into fiber orientation streaks*. Tappi papermaker's conference 2001*, Cincinnati, March 11–14, 2001. TAPPI Press, Atlanta, 2001, 8 s.
22. Niskanen, J., Nippipaineen tasaisuuteen vaikuttavat tekijät kalanteroitaessa. *Paperi ja Puu* **78**(1996)4, s. 169–171.
23. Munch, E.E. & Schmitz, C.W., How to save filled roll life, *TAPPI Paper Finishing and Converting Conference.* Nashville, October 22–25, 1979. TAPPI Press, Atlanta, 1979, s. 99–120.
24. Metso Oyj, pituusleikkurin huoltoraportti, 1997
25. Sonoco-Alcore, sisäinen koulutusmateriaali, 2001
26. Müller, G., Qualitäts- und Produktivitätssteigerung bei Rollenschneidmaschinen durch den Einsatz flexibler Walzenbeläge, *Wochenbl. Papierfabr.* **132**(2004)10, s. 561-565

27. Lyytinen, J., Metso Paper Oyj, suullinen tiedonanto, 2005
28. Anon., TAPIO® Analyzers PMA/TS Profiler/Proma, esite, Tapio Technologies, 2001, 8 s.
29. Tapio Technologies, http://www.tapiotechnologies.fi/paper_machine_analyzer.html, [viitattu 11.10.2005]
30. Anon., TSO TESTER Operating instructions, AB Lorentzen & Wettre, 1993, 58 s.
31. Anon., PAROtester2 -manuaali, 18 s.
32. Tapio Technologies, http://www.tapiotechnologies.fi/paper_roll_hardness.html, [viitattu 12.10.2005]

LIITELUETTELO

LIITE I	TAPIO -analysaattori
LIITE II	Lorentzen & Wettre TSO -orientaatiokulmamittalaite
LIITE III	PARO tester2 -kovuusmittalaite
LIITE IV	TAPIO RQP -kovuusmittalaite
LIITE V	TAPIO -analysaattorin profiilit
LIITE VI	L & W TSO -orientaatioprofiilit
LIITE VII	PARO tester2 -kovuusprofiilit
LIITE VIII	TAPIO RQP -kovuusprofiilit

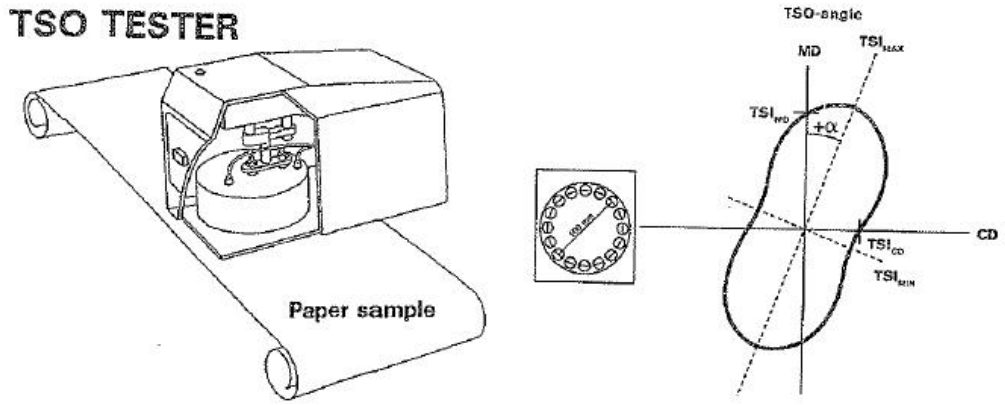
TAPIO -ANALYSAATTORI

Tapio® PMA on Tapio Technologies Oy:n kehittämä ja myymä raina-analysaattori, jolla voidaan mitata kone- ja poikkisuuntaisia näytteitä suurella resoluutiolla. Mittaustarkkuus voi olla jokaiselle suureelle jopa 10000 mittauspistettä metrille. Laitteeseen on mahdollista asentaa erilaisia mittausantureita mm. paksuus-, neliömassa-, kiilto-, transmissio-, huokoisuus-, tuhka-, remissio- eli heijastusluku- ja kuituorientaatioanturit. Lisäksi laitteeseen voidaan asentaa erillinen TPS -painojälkianturi, jolla voidaan painojäljen lisäksi mitata viiramarkkeerausta, poikkisuuntaista kutistumisprofiilia ja kalanterointimustumaprofiilia. Tässä työssä käytettiin neliömassa-anturia 5 mm aukolla sekä paksuus-, kiilto-, transmissio-, heijastuslukuantureita. Mittausantureiden paikat laitteessa on mitattu tarkkaan. Laite mittaa kaikki suureet samalla ajolla ja laitteeseen kytketty tietokone sovittaa mittaustulokset toisiinsa nähden oikeille paikoille. Mittaustulokset tallentuvat tietokoneelle, jolla niitä voidaan muokata laitevalmistajan toimittaman ohjelmiston avulla sopivaan esitysmuotoon. /28/. Tarkemmat tekniset tiedot löytyvät esim. viitteestä 28.

Kuva 1. Tapio® PMA -analysaattori /29/.

LORENTZEN & WETTRE TSO -ORIENTAATIOMITTALAITE

Vanallisista poikkiratamalleista mitattiin orientaatiokulma (TSO = Tensile Stiffness Orientation) Lorentzen & Wettren kehittämällä TSO -laitteella. Laite koostuu automaattisesti toimivasta mittalaitteesta, tietokoneesta ja laitevalmistajan kehittämästä ohjelmistosta (kuva 1). Laitteen toiminta perustuu ultraäänen nopeuden muutokseen paperin tason eri suunnissa. Ääni etenee nopeammin kiinteässä aineessa kuin ilmassa. Laite mittaa ultraäänen nopeuden ja laskee näistä tiedoista maksimiorientaatiosuunnan ja konesuunnan välisen kulman, jota kutsutaan suuntakulmaksi (TSO). Laite laskee myös mittaustuloksista paperille vetojäykkyysindeksit. /30/



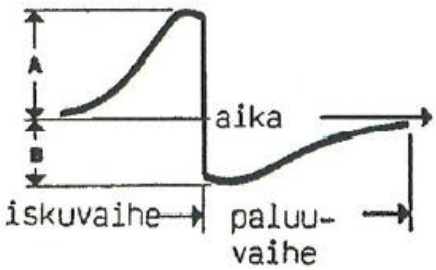
Kuva 1. Lorentzen & Wettre TSO -mittalaite ja sen mittausanturi /30/.

PAROtester2-KOVUUSMITTALAITE

PAROtester2 on sveitsiläisen Proseq SA:n markkinoima mittalaite, joka on suunniteltu mittaamaan paperi-, kelmu- ja filmirullien kovuuksia. Mittalaitteisto koostuu iskulaitteesta, näyttölaitteesta ja nauhakirjoittimesta (kuva 1). Mittaaminen tapahtuu siten, että jousivoimalla laukaistaan iskuri tarkastettavaan pintaan josta se sinkoutuu takaisin. Iskurin kumpaankin suuntaan tapahtuva liikenopeus mitataan. Tämä on toteutettu iskurin sisään sijoitetulla magneetilla, joka ohittaa kelan mittauksen aikana. Isku- ja paluuliikkeen aikana kelaan indusoituu jännite, jonka suuruus on riippuvainen iskurin nopeudesta. Mittausarvot muodostuvat isku- ja paluuliikkeiden nopeuksista (kuva 1). Mittausarvot käsitellään näyttölaitteessa joista muodostuu kovuusarvo L. Kovuusarvo määritellään seuraavasti: /31/

$$L = 1000\frac{B}{A} \tag{13}$$

jossa	L	kovuusarvo
	A	iskuliikkeen nopeus, m/s
	B	paluuliikkeen nopeus, m/s

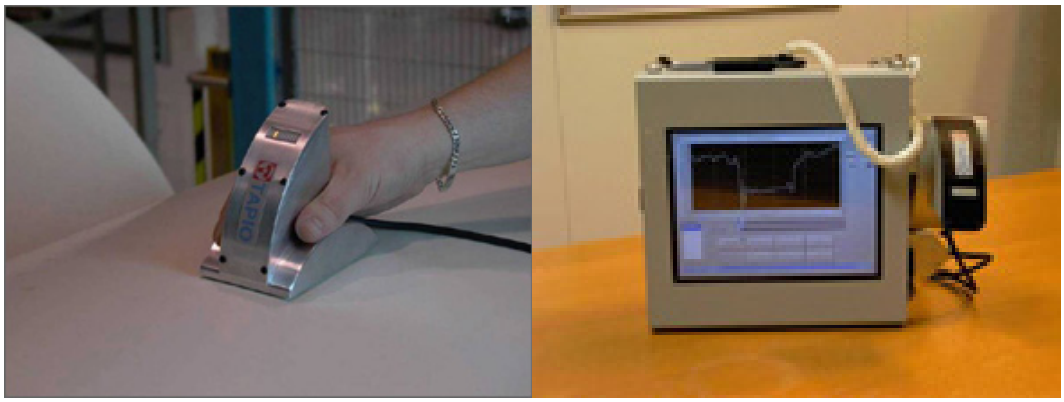


Kuva 1. Kovuuden mittaus sekä isku- ja paluuliikkeen nopeuksien määritelmä.

TAPIO® RQP -KOVUUSMITTALAITE

Tapio® RQP on Tapio Technologies:n kehittämä ja markkinoima rullien kovuusmittalaite. Laite koostuu mittalaitteesta, kannettavasta PC-tietokoneesta ja laitevalmistajan kehittämästä ohjelmistosta (kuva 1). Laite on suunniteltu nopeaan ja tarkkaan kone- ja asiakasrullien kovuusprofiilin mittaamiseen. Käsikäyttöisessä mittalaitteessa automaattisesti jousivoimalla toimiva iskuri, jonka hidastuvuutta laite mittaa sen osuessa rullaan ja automaattinen etäisyysmittari, joka mittaa mitattavan rullan leveyden. Automatiikka hoitaa iskurin liikuttamisen, joka iskee 10 kertaa sekunnissa. Laitteen liikuttamisnopeus ei vaikuta ollenkaan mittaustarkkuuteen, vaan ainoastaan mittausresoluutioon. Suositeltava mittausnopeus on noin 0,5 m/s, jolloin laite mittaa rullan kovuuden 5 cm välein. Laitteella voidaan mitata rullan kovuus rullan säteen suunnassa. Mittauksia voidaan toistaa tarpeen mukaan, sillä mittalaite ei vahingoita rullaa. /32/

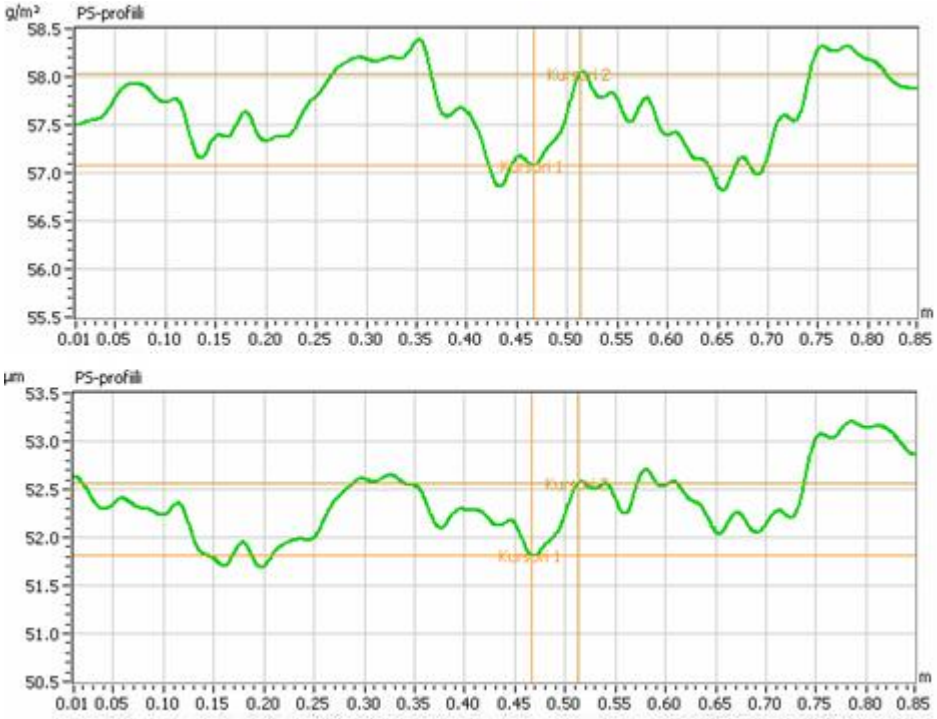
Mittaustulokset tallentuvat suoraan kannettavan tietokoneen kovalevylle, josta ne ovat helposti siirrettävissä jatkokäsittelyä varten. Tietokoneen käyttöjärjestelmänä on Microsoft Windows XP. Laite on selkeästi nopeampi ja käyttäjäystävällisempi kuin esimerkiksi PAROtester2 -kovuusmittalaite. Mittausten suuri tiheys ja laitteen nopeus helpottavat mittausten toistamista, jolloin tulosten luotettavuus paranee huomattavasti.



Kuva 1. Tapio® RQP kovuusmittalaitteen käsin liikuteltava mittalaite ja laitteisto kokonaisuudessaan.

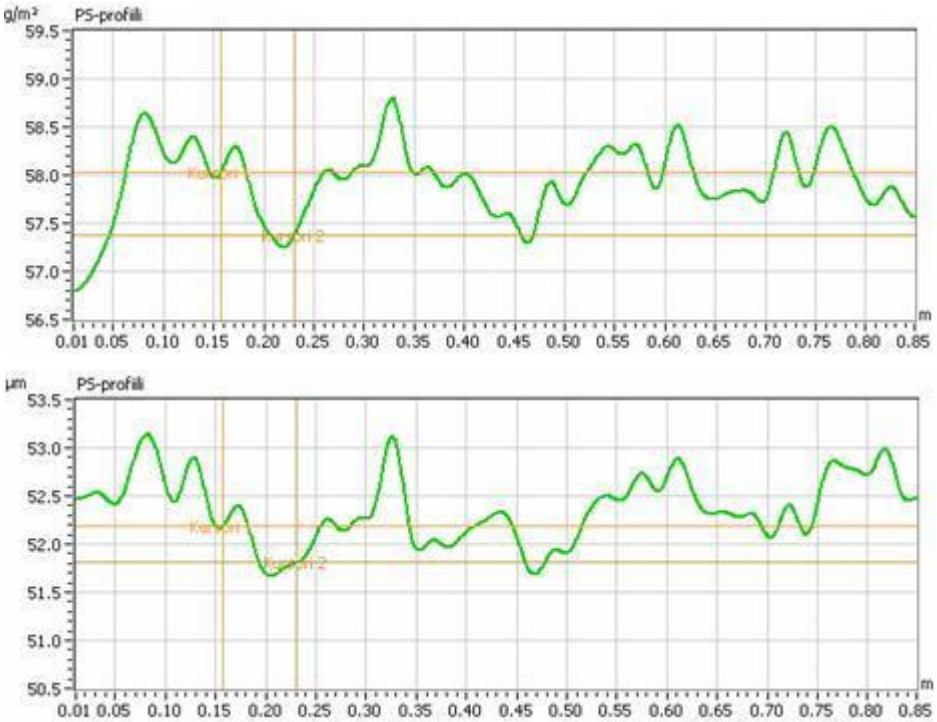
TAPIO -ANALYSAATTORIN PROFIILIT

Malliarkit näihin profiilimittauksiin on otettu leikatuista asiakasrullista. Rullat oli leikattu joko rainan etu- tai takareunasta. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Malliarkkien liittämisestä toisiinsa teipillä on arkkien molemmista reunoista jouduttu poistamaan noin 1,5 cm.



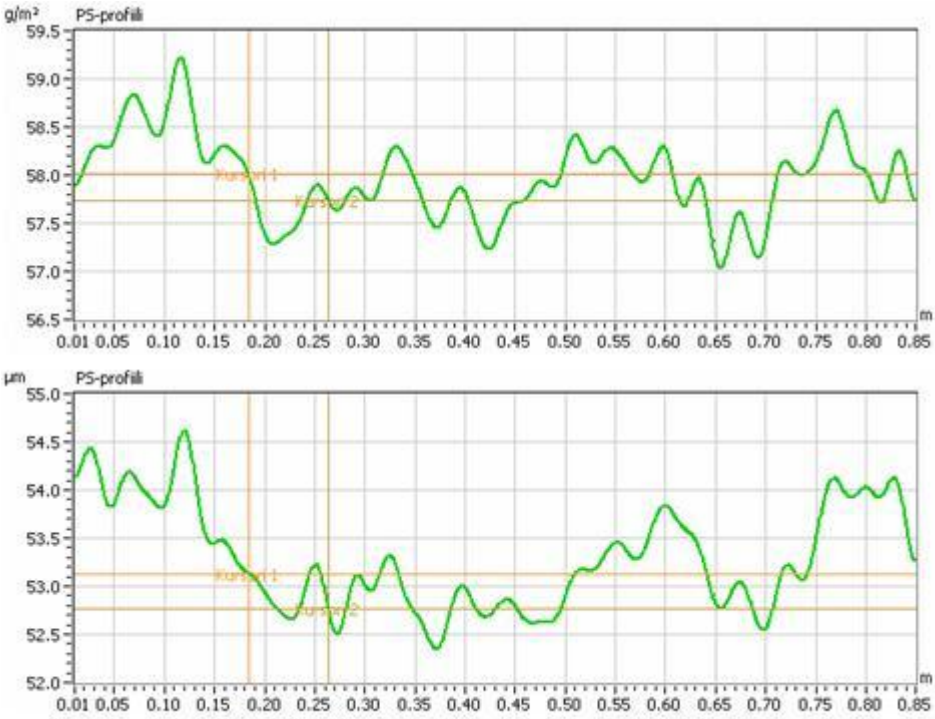
Kuva 1. Viikon 33 tambuuri n:o 45 1. muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Viikon 33 tambuurin n:o 45, 1. muuton etureunan rulla leikattiin 88 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 46,5 – 51,5 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla oli havaittavissa jyrkkä muutos neliömassassa. Neliömassan kasvaessa myös rainan paksuus kasvoi.



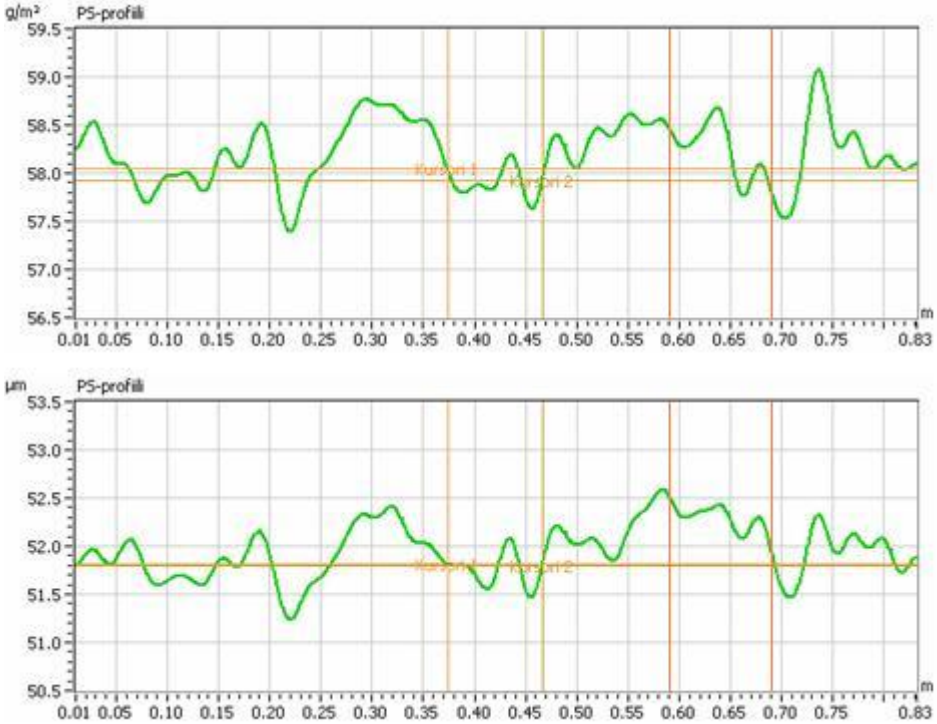
Kuva 2. Viikon 33 tambuuri n:o 54 3. muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Viikon 33 tambuurin n:o 54, 3. muuton etureunan rulla leikattiin 88 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 17 – 24 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla oli havaittavissa jyrkkä muutos neliömassassa ja paksuudessa.



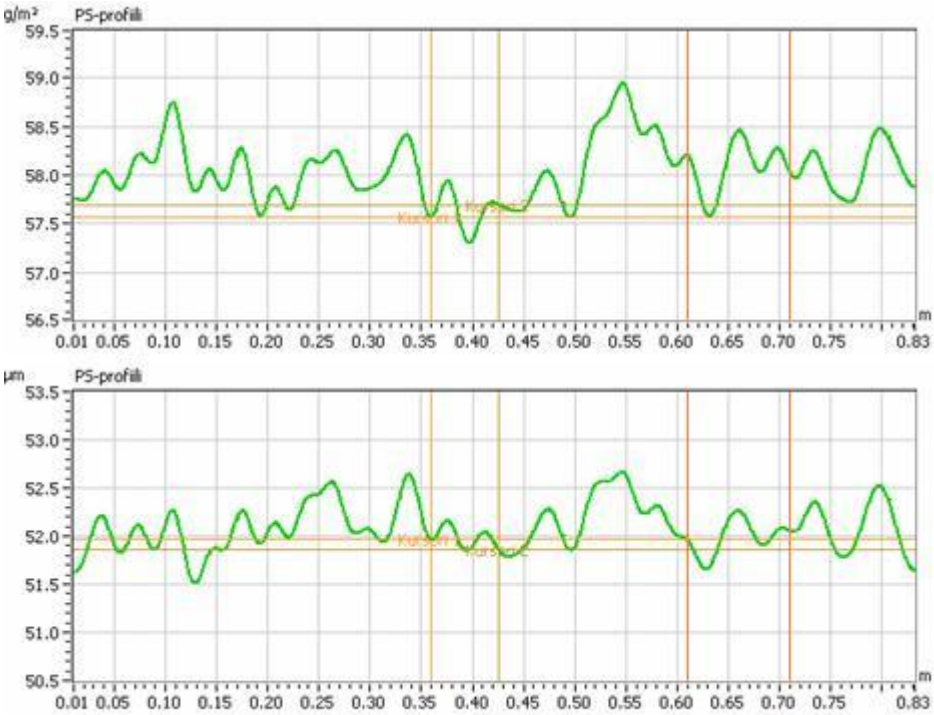
Kuva 3. Viikon 33 tambuuri n:o 56 3. muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Viikon 33 tambuurin n:o 56, 3. muuton etureunan rulla leikattiin 88 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 19 – 27,5 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla oli havaittavissa muutos neliömassassa. Kummastakin profiilista löytyi jyrkempiäkin muutoksia, mutta niihin kohtiin ei vanaa kuitenkaan muodostunut.



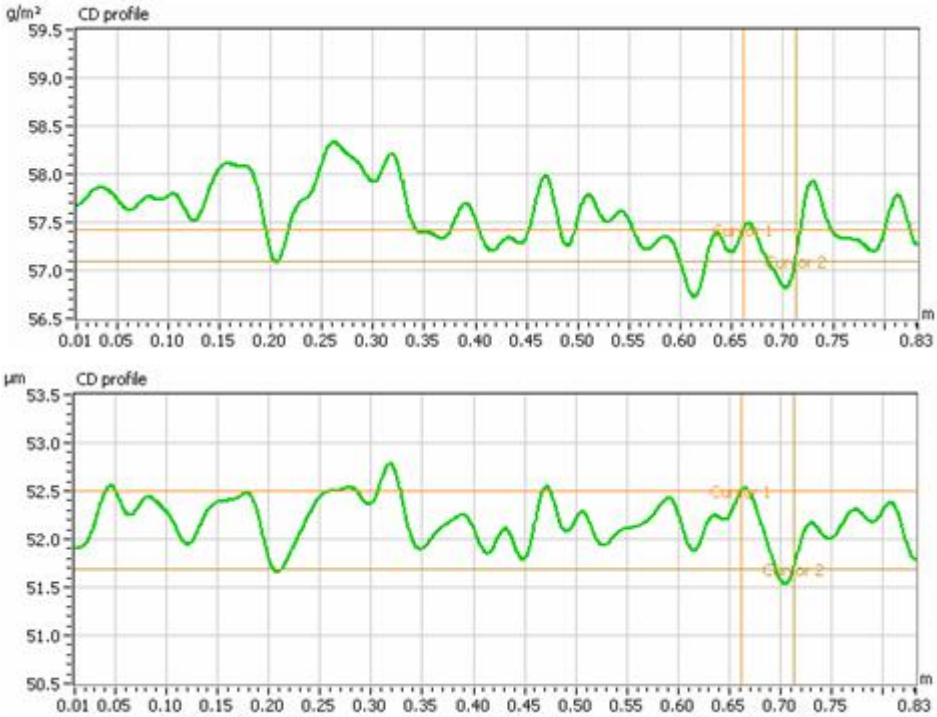
Kuva 4. Viikon 34 tambuuri n:o 54 1. muuton takareunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohdat on merkitty pystyviivoin.

Viikon 34 tambuuri n:o 54, 1. muuton takareunan rulla leikattiin 86 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 37 – 47 cm ja 59 – 69 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanojen kohdalla oli havaittavissa pieni muutos neliömassassa. Neliömassaprofiilista löytyi jyrkempiä muutoksia vanojen molemmin puolin.



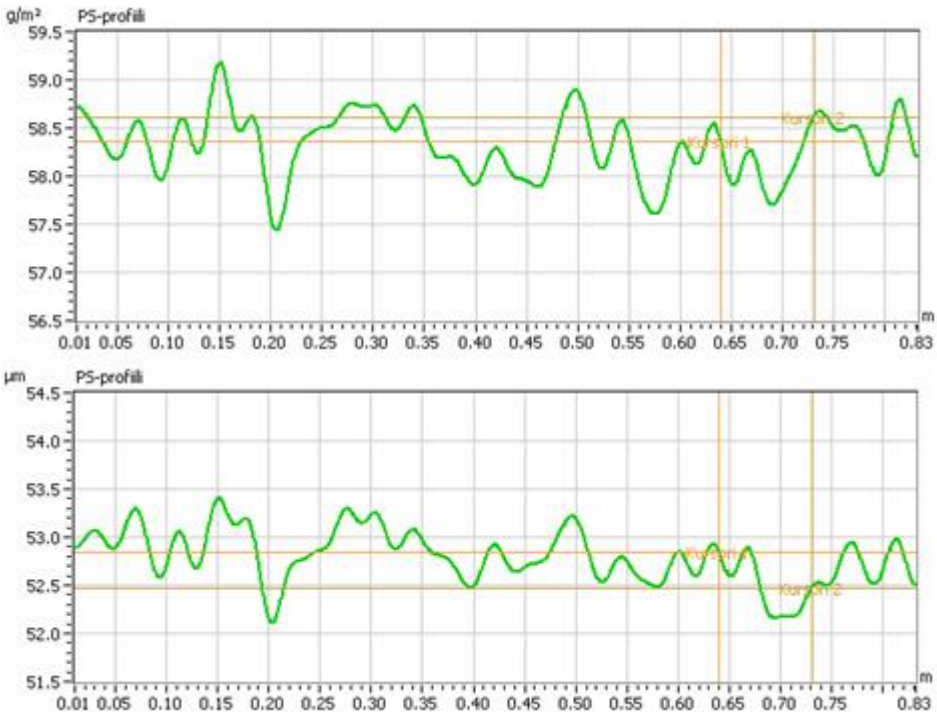
Kuva 5. Viikon 34 tambuuri n:o 55 1. muuton takareunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohdat on merkitty pystyviivoin.

Viikon 34 tambuuri n:o 55, 1. muuton takareunan rulla leikattiin 86 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 36 – 43 cm ja 61 – 71 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanojen kohdalla ei ollut havaittavissa normaalista poikkeavaa muutosta neliömassassa. Neliömassaprofiileista löytyi jyrkkä muutos vanojen välissä, noin 1,5 g/m^2.



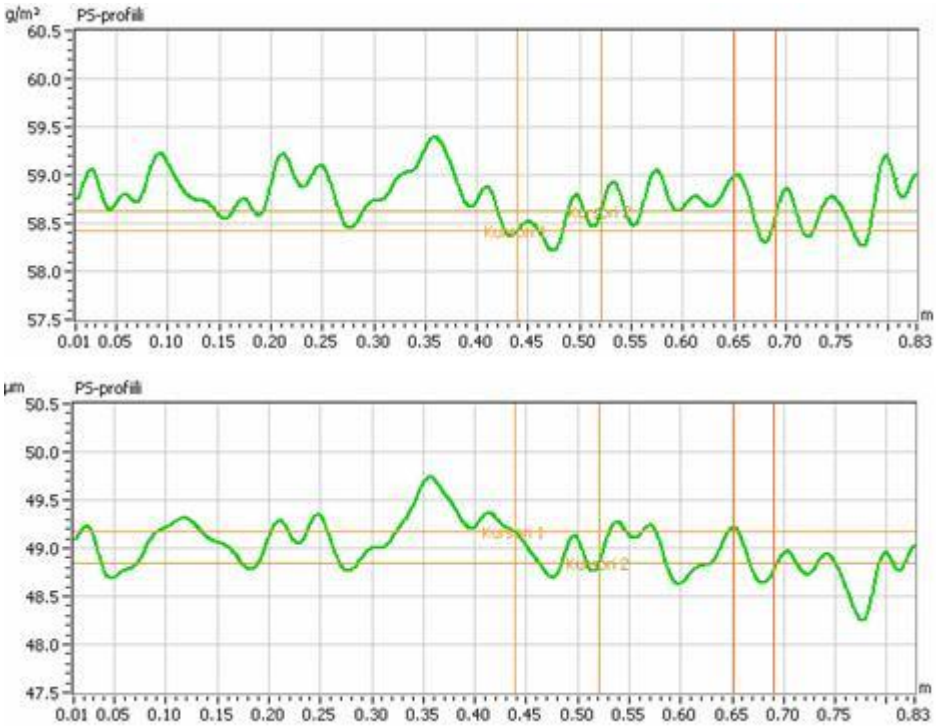
Kuva 6. Viikon 34 tambuuri n:o 56 1. muuton takareunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Viikon 34 tambuuri n:o 56, 1. muuton takareunan rulla leikattiin 86 cm leveäksi ja 118 cm halkaisijaan. Vanaa oli 66 – 71 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla oli noin 1 g/m^2 ja 1 µm muutokset neliömassa- ja paksuusprofiilissa. Neliömassaprofiilissa oli jyrkempi muutos lähellä rullan etureunaa, mutta siihen ei muodostunut vanaa.



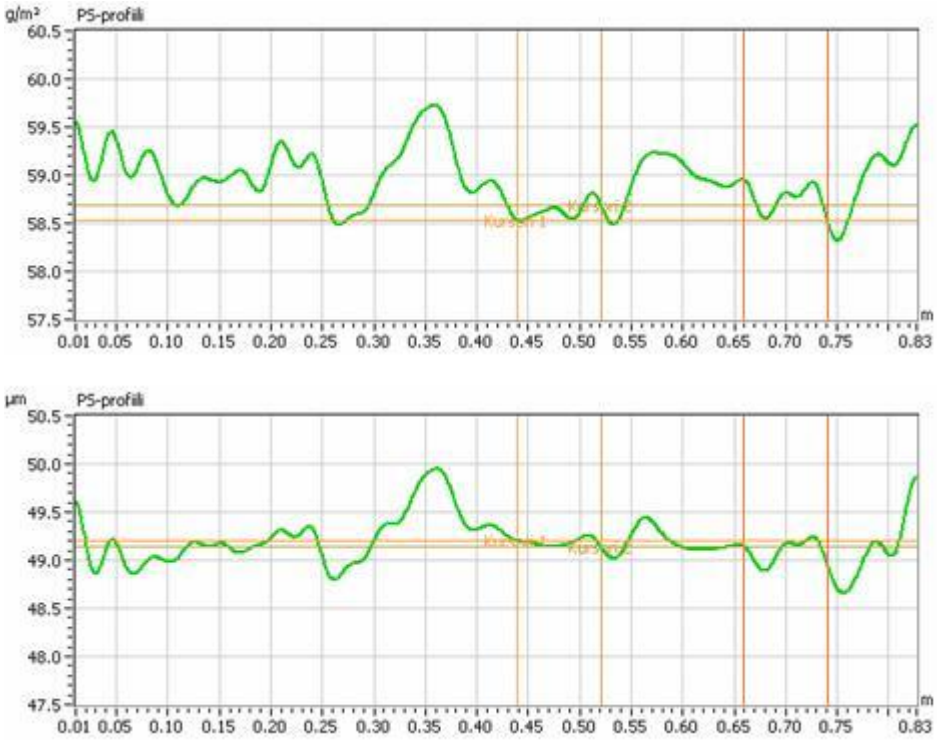
Kuva 7. Viikon 34 tambuuri n:o 56 2. muuton takareunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohta on merkitty pystyviivoin.

Viikon 34 tambuuri n:o 56, 1. muuton takareunan rulla leikattiin 86 cm leveäksi ja 118 cm halkaisijaan. Vanaa oli 64 – 73 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla oli vajaan 1 g/m^2 ja 1 µm muutokset neliömassa- ja paksuusprofiilissa. Neliömassaprofiilissa oli, samoin kuin ensimmäisessä muutossa, jyrkempi muutos lähellä rullan etureunaa, mutta siihen ei muodostunut vanaa.



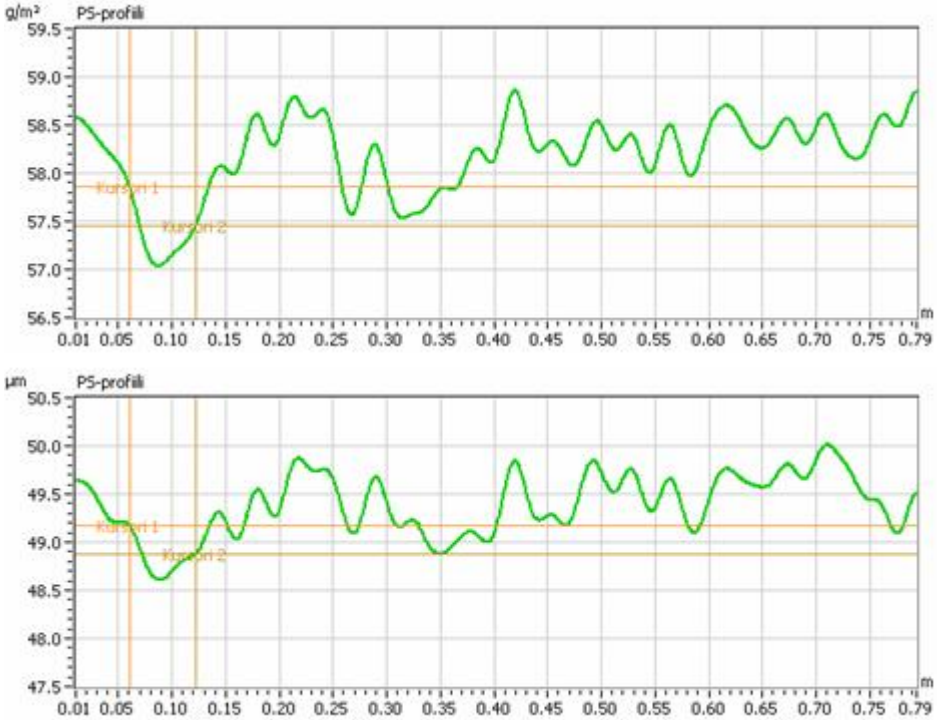
Kuva 8. Viikon 36 tambuuri n:o 2 1. muuton takareunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohdat on merkitty pystyviivoin.

Viikon 36 tambuuri n:o 2, 1. muuton takareunan rulla leikattiin 86 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 44 – 52 cm ja lievää vanaa 65 – 69 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan ja lievän vanan kohdalla muutokset neliömassa- ja paksuusprofiilissa olivat normaalin vaihtelun rajoissa muuhun profiiliin verrattuna. Neliömassa- ja paksuusprofiilit olivat suhteellisen tasaiset.



Kuva 9. Viikon 36 tambuuri n:o 2 2. muuton takareunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohdat on merkitty pystyviivoin.

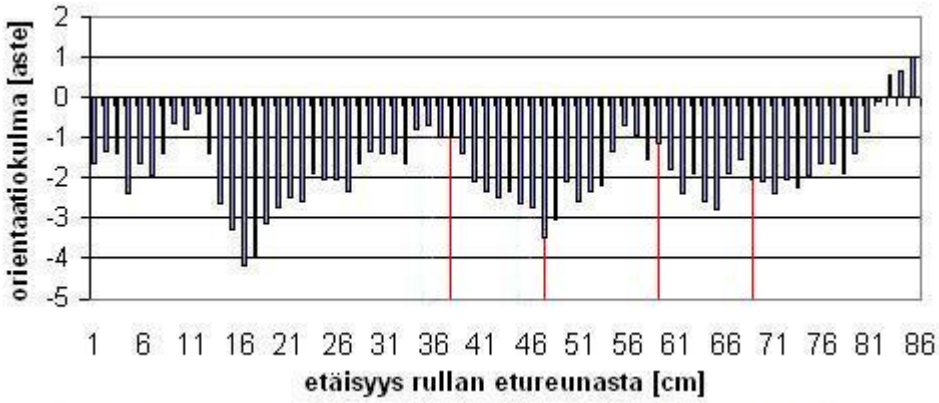
Viikon 36 tambuuri n:o 2, 2. muuton takareunan rulla leikattiin 86 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 44 – 52 cm ja lievää vanaa 66 – 74 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan ja lievän vanan kohdalla muutokset neliömassa- ja paksuusprofiilissa olivat normaalin vaihtelun rajoissa muuhun profiiliin verrattuna. Vanakohdan etureunan puolella oli reilun 1 g/m^2 muutos neliömassaprofiilissa, joka muodosti viereen vanaa.



Kuva 10. Viikon 36 tambuuri n:o 5 2. muuton etureunan rullan neliömassa- ja paksuusprofiilit. Vanakohdat on merkitty pystyviivoin.

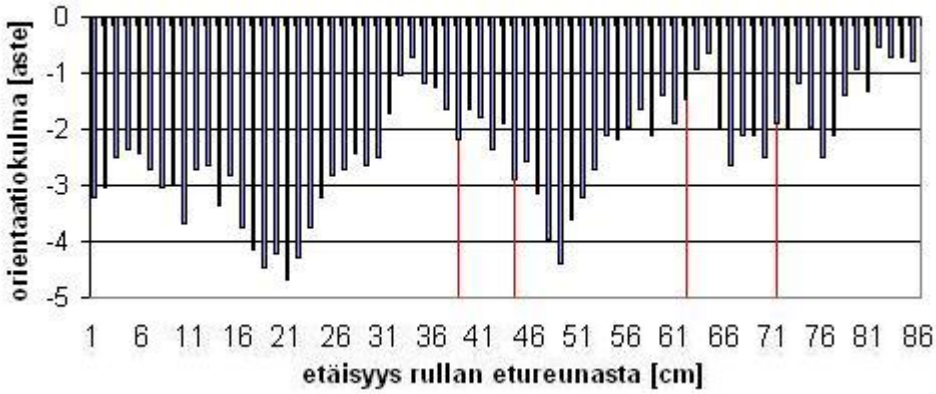
Viikon 36 tambuuri n:o 5, 2. muuton etureunan rulla leikattiin 83 cm leveäksi ja 120 cm halkaisijaan. Vanaa oli 6 – 13 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla oli 1,5 g/m^2 ja 1 µm muutokset neliömassa- ja paksuusprofiilissa. Neliömassaprofiilin "kuoppa" aiheutti vanan kapeaan ja korkeaan rullaan.

L & W TSO -ORIENTAATIOPROFIILIT



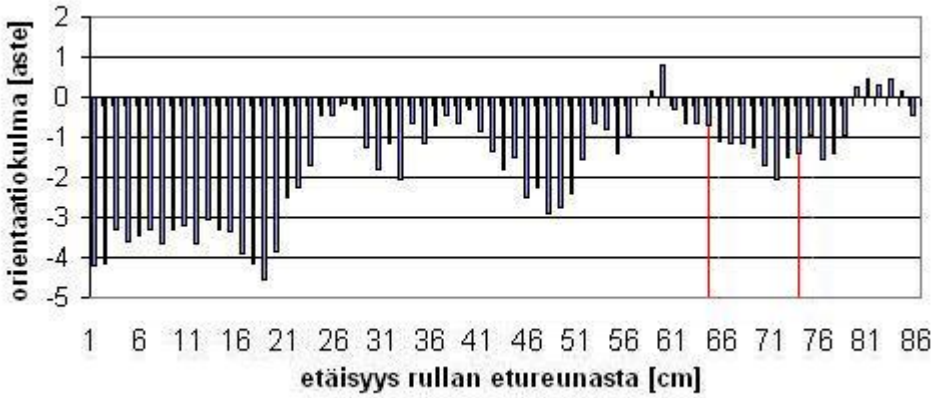
Kuva 1. Viikon 34 tambuurin n:o 54 ensimmäisen muuton takareunan rullan kuituorientaatioprofiili. Vanojen kohdat on merkitty punaisin viivoin.

Tambuurin ensimmäisen muuton takimmainen rulla oli 86 cm leveä ja halkaisija oli 120 cm. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Rullassa oli vanaa 38 – 47 cm ja 59 – 69 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanojen kohdalla orientaatiokulma muuttui enintään 2,5 astetta.



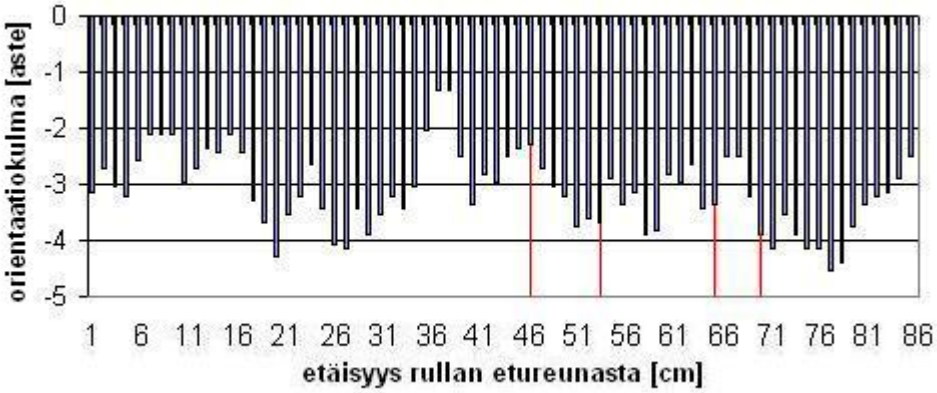
Kuva 2. Viikon 34 tambuurin n:o 55 ensimmäisen muuton takareunan rullan kuituorientaatioprofiili. Vanan ja epätasaisen kohta on merkitty punaisin viivoin.

Tambuurin ensimmäisen muuton takimmainen rulla oli 86 cm leveä ja halkaisija oli 120 cm. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Rullassa oli vanaa 37 – 43 cm ja epätasaista 61 – 71 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla ja sen molemmin puolin orientaatiokulma muuttui noin 3,5 astetta. Epätasaisen kohdalla orientaatiokulman muutos oli pienempi.



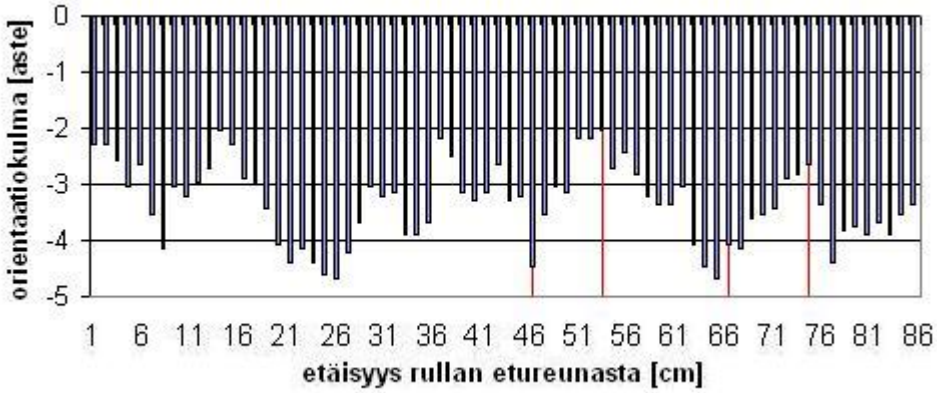
Kuva 3. Viikon 34 tambuurin n:o 56 toisen muuton takareunan rullan kuituorientaatioprofiili. Vanan kohta on merkitty punaisin viivoin.

Tambuurin toisen muuton takimmainen rulla oli 86 cm leveä ja halkaisija oli 120 cm. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Rullassa oli vanaa 64 – 73 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanan kohdalla orientaatiokulman muutos oli reilun asteen luokkaa.



Kuva 4. Viikon 36 tambuurin n:o 2 ensimmäisen muuton takareunan rullan kuituorientaatioprofiili. Vanojen kohdat on merkitty punaisin viivoin.

Tambuurin ensimmäisen muuton takimmainen rulla oli 86 cm leveä ja halkaisija oli 120 cm. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Rullassa oli vanaa 45 – 53 cm ja lievää vanaa 65 – 69 cm rullan etureunasta mitattuna. Vanojen kohdilla orientaatiokulman muutos oli reilun asteen luokkaa.

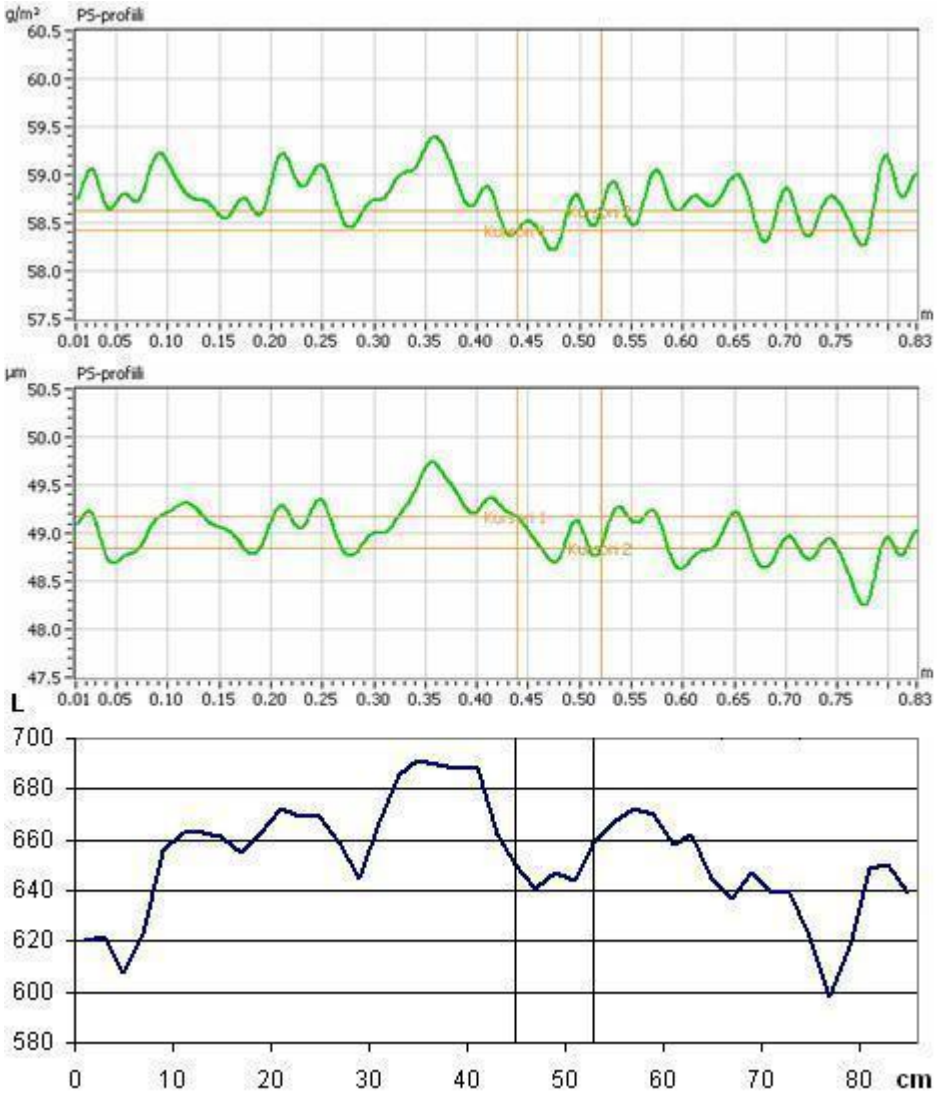


Kuva 5. Viikon 36 tambuurin n:o 2 toisen muuton takareunan rullan kuituorientaatioprofiili. Vanojen kohdat on merkitty punaisin viivoin.

Tambuurin toisen muuton takimmainen rulla oli 86 cm leveä ja halkaisija oli 120 cm. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2. Rullassa oli vanaa 45 – 53 cm ja lievää vanaa 66 – 74 cm rullan etureunasta mitattuna. Orientaatiokulma muuttui vanojen kohdalla enintään 2 astetta.

PAROtester2 -KOVUUSPROFIILIT

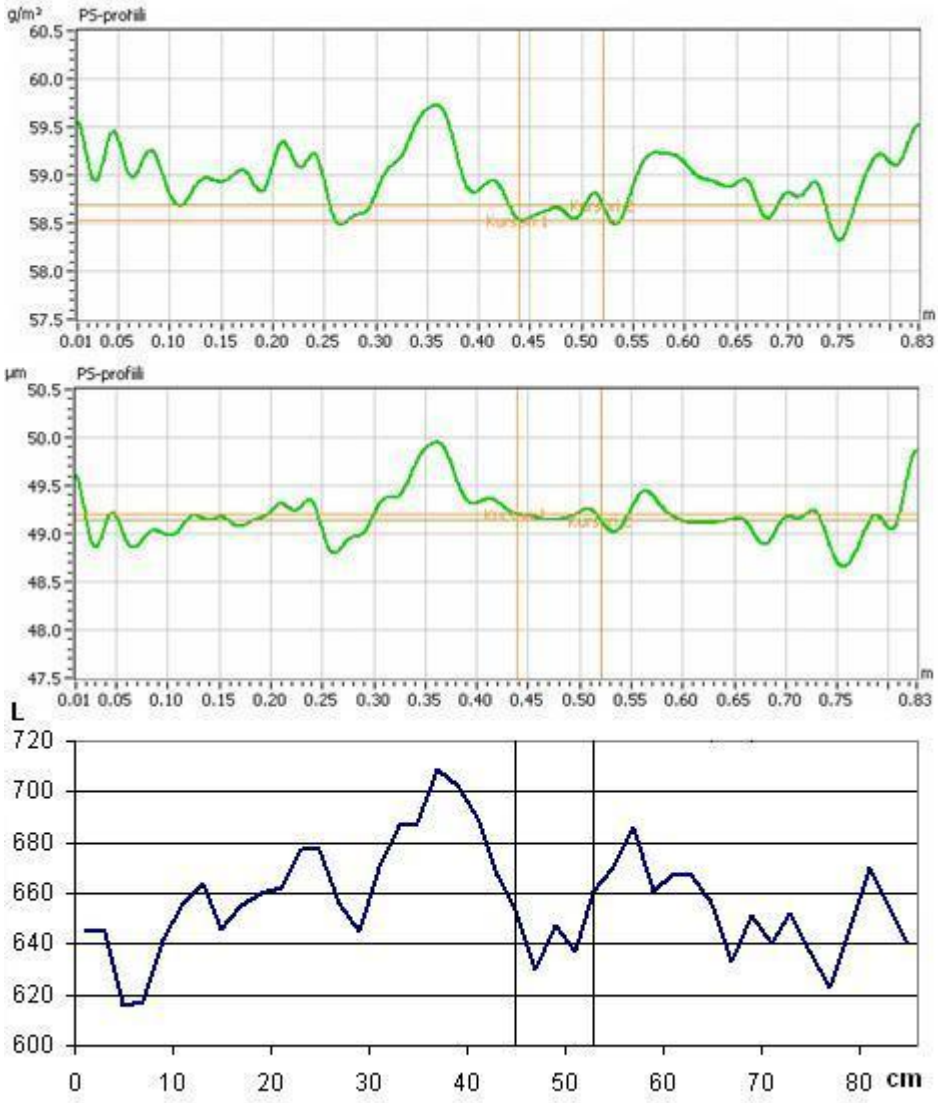
Kovuusprofiilit on mitattu viikon 36 tambuurista n:o 2. Tambuurista leikattiin kaksi muuttoa. Rullien halkaisijat olivat 120 cm. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty kummankin takareunan rullan kovuusprofiili yhdessä TAPIO -analysaattorilla mitattujen neliömassa- ja paksuusprofiilien kanssa. Paperin neliömassa oli 57 g/m^2.



Kuva 1. Viikon 36 tambuurin n:o 2 ensimmäisen muuton takareunan rullan neliömassa-, paksuus- ja kovuusprofiilit etäisyyden mukaan rullan etureunasta.

Rullan kovuusprofiilin muodot seurasivat paksuusprofiilia. Paksumpi kohta paperissa muodosti kireämmän ja kovemman kohdan rullaan.

Vanakohdan vasemmalla puolella oli paksumpi kohta ja noin 1 g/m^2 neliömassaheitto (kuva 2). Vanakohta oli jäänyt ympäristöään pehmeämmäksi, mutta rullan takareunan (noin 77 cm rullan etureunasta) ohuempi ja pehmeämpi kohta ei kuitenkaan synnyttänyt rullaan vanaa.



Kuva 2. Viikon 36 tambuurin n:o 2 toisen muuton takareunan rullan neliömassa-, paksuus- ja kovuusprofiilit etäisyyden mukaan rullan etureunasta.

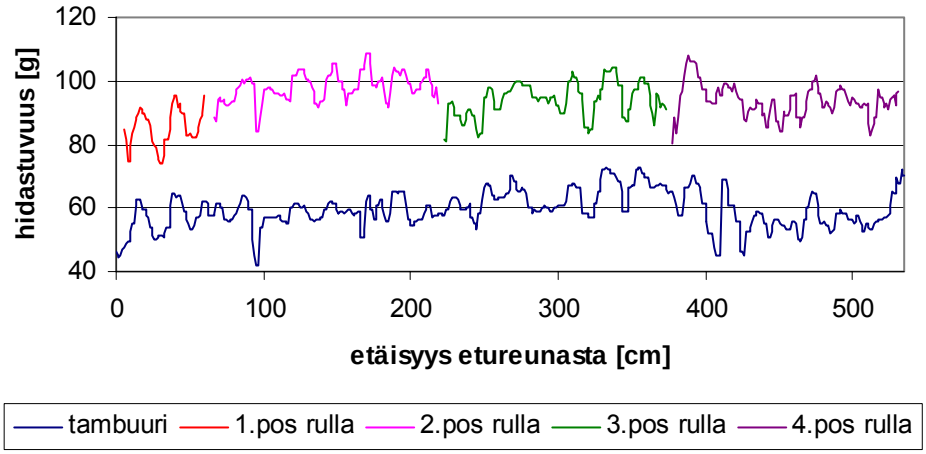
Vanakohdan vasemmalla puolella oli edelleen paksumpi kohta ja yli 1 g/m^2 neliömassaheitto. Vanakohta oli ympäristöään pehmeämpi, muttei kuitenkaan ollut rullan pehmein kohta. Paksuuspatin aiheuttamat halkaisijamuutokset rullassa aiheuttivat vanan.

TAPIO RQP -KOVUUSPROFIILIT

Koeajon aikana kaikkien mitattujen tambuurien ja asiakasrullien kovuusprofiilit.

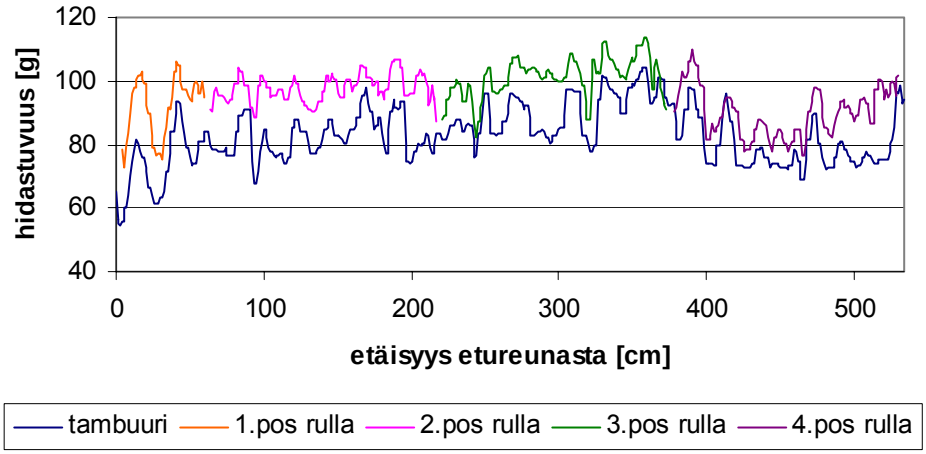
Eri superkalanterien tambuurien n:o 1 ja 3 kovuusprofiilien vertailu ja asiakasrullien kovuuksien vertailu tambuurien kovuuksiin.

Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1067 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 1 x 600 mm ja 3 x 1568 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 1 – 4 (kuvat 1 – 8).



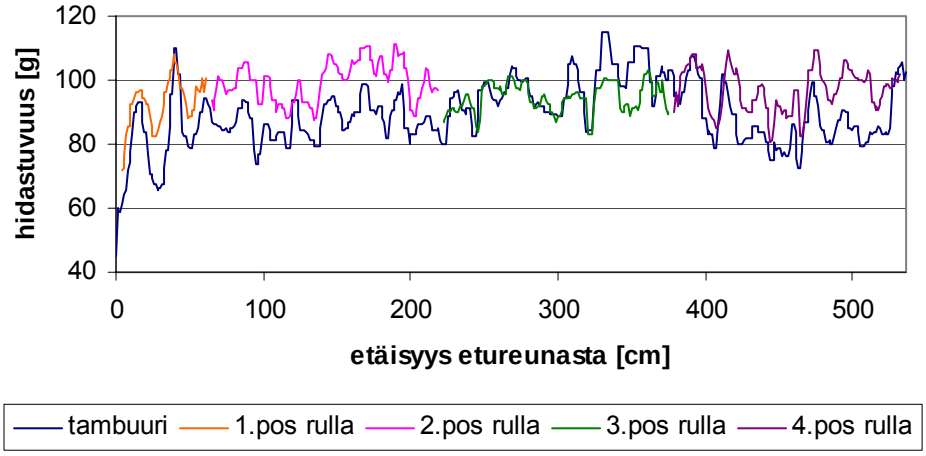
Kuva 1. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 1 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



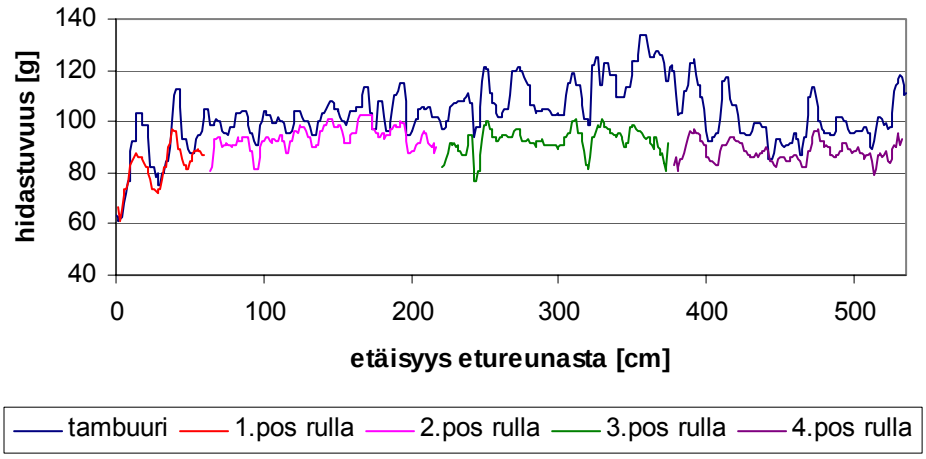
Kuva 2. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 1 toisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



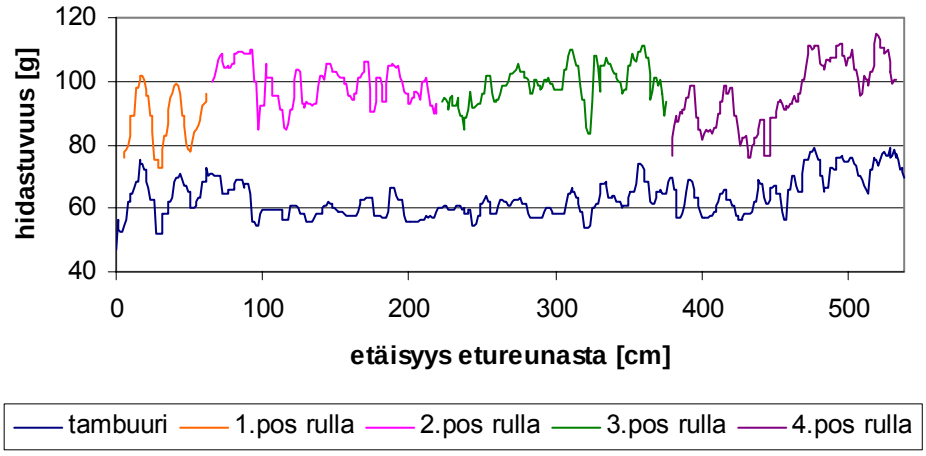
Kuva 3. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 1 kolmannen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



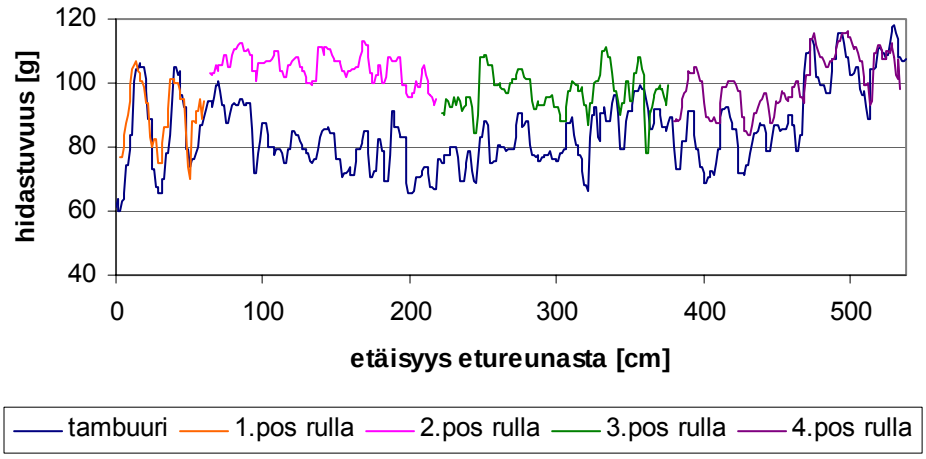
Kuva 4. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 1 neljännen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



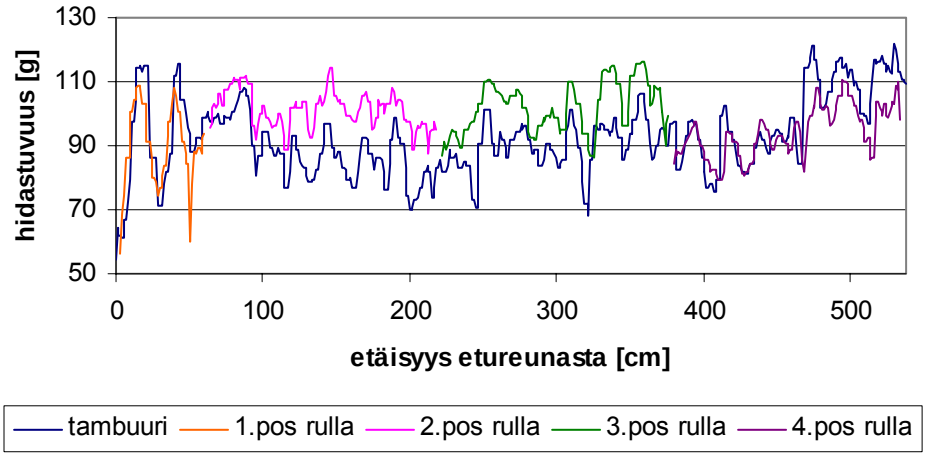
Kuva 5. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 3 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



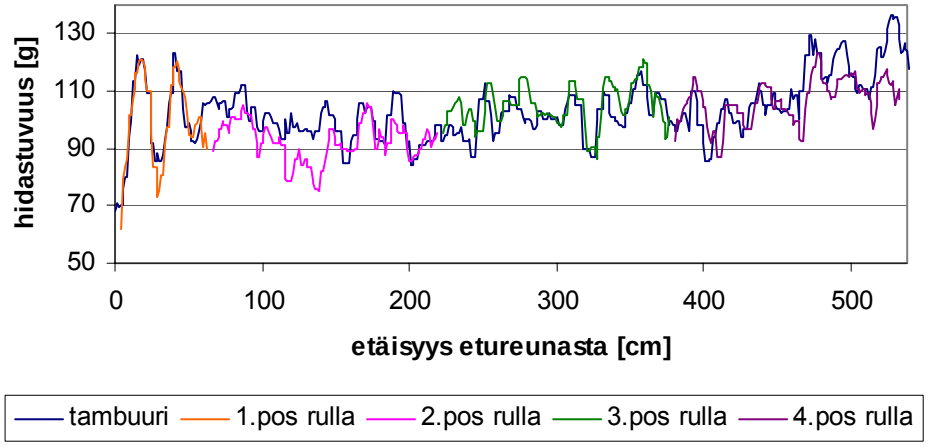
Kuva 6. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 3 toisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



Kuva 7. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 3 kolmannen muuton kovuusprofiilit.

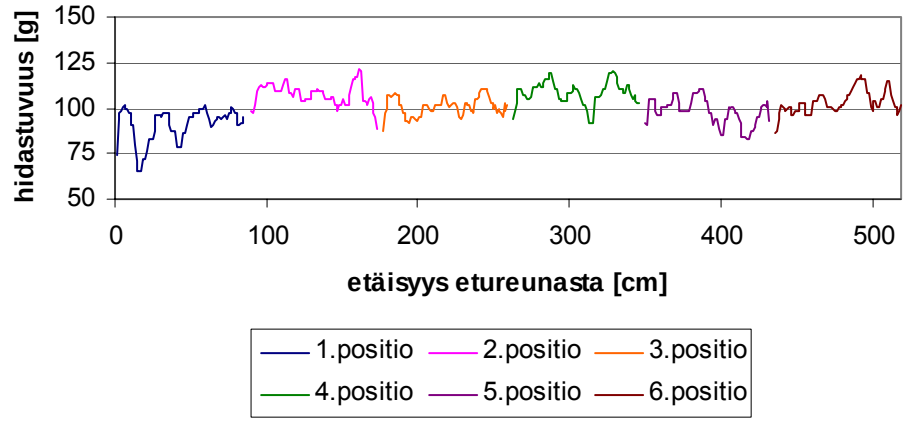
Ei rullahylkyä.



Kuva 8. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 3 neljännen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.

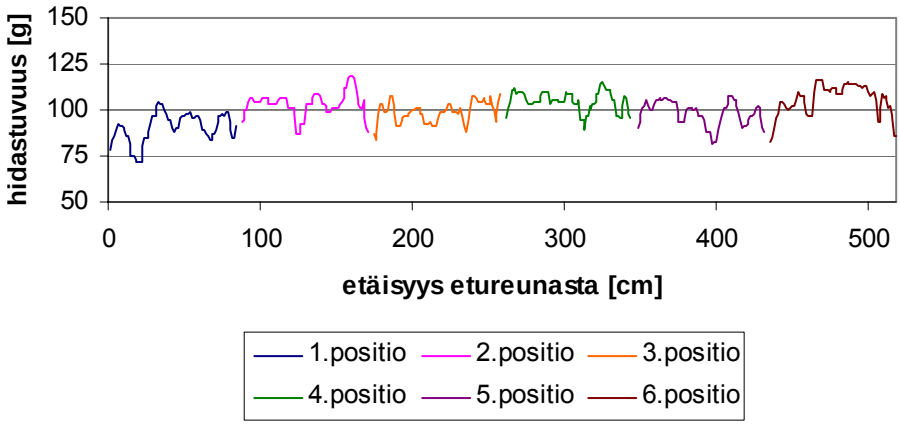
Tambuuri n:o 13 oli referenssitambuuri, jossa kiinnirullauskireys oli 330 N/m ja nippikuorman lähtötaso oli 3500 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3900 N/m.



Kuva 9. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 13 toisen muuton kovuusprofiilit.

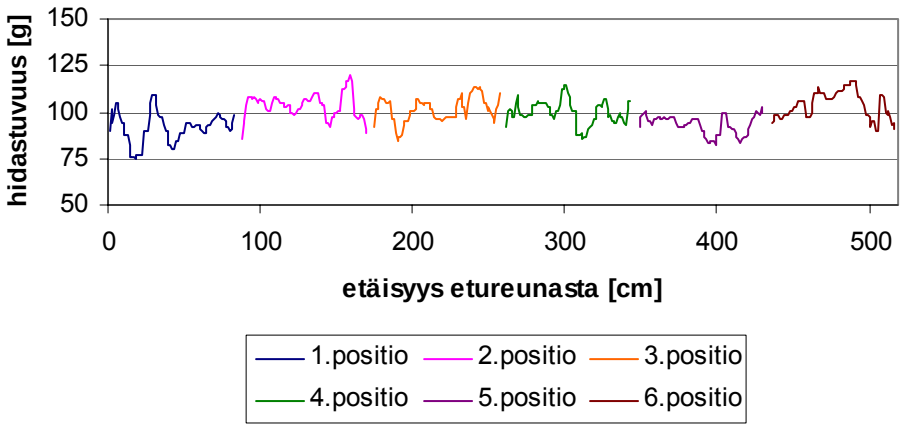
1. position rulla oli melkein hylky.

Tambuurien n:o 18 ja 14 kiinnirullauskireys oli 330 N/m ja nippikuorman lähtötaso oli pudotettu 3100 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3500 N/m. Tambuurin n:o 14 neljännessä muutossa nippikuorman lähtötaso laskettiin 2800 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3200 N/m.



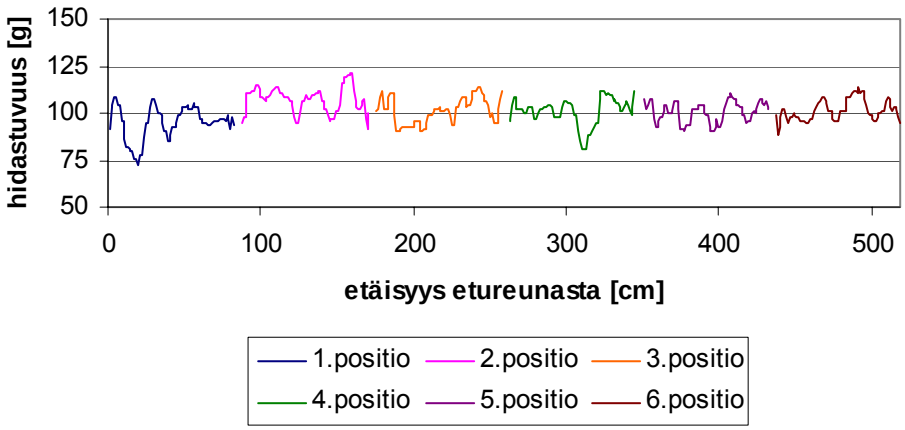
Kuva 10. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 18 toisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



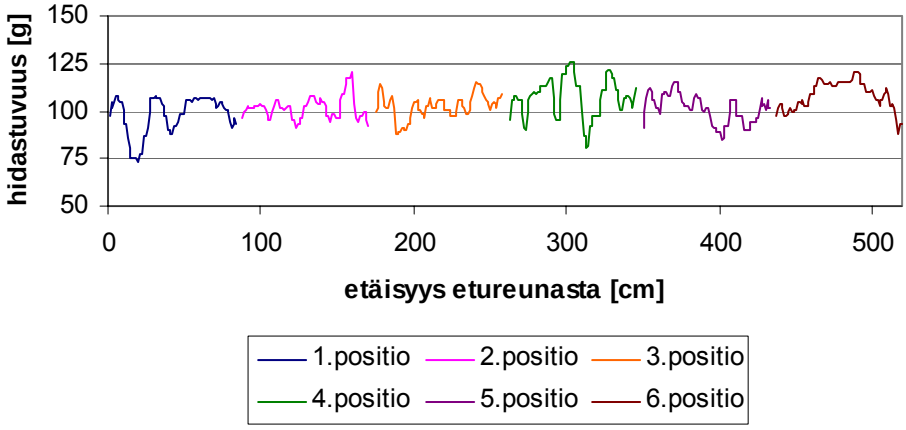
Kuva 11. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 14 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



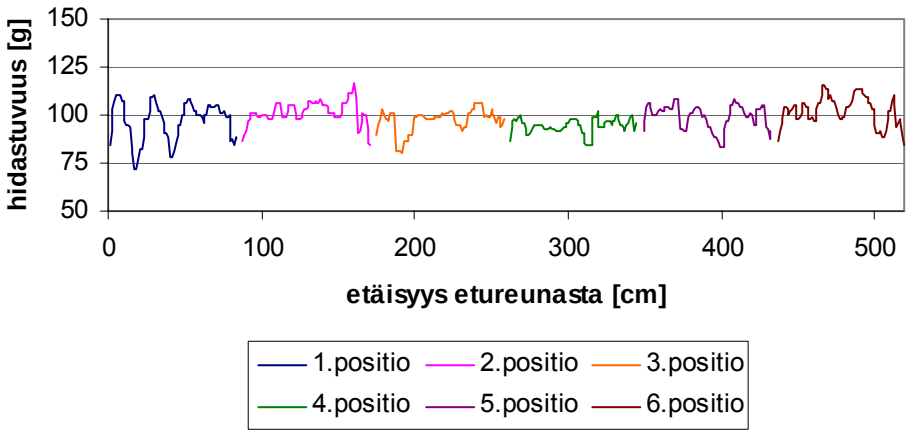
Kuva 12. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 14 toisen muuton kovuusprofiilit.

Ei rullahylkyä.



Kuva 13. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 14 kolmannen muuton kovuusprofiilit.

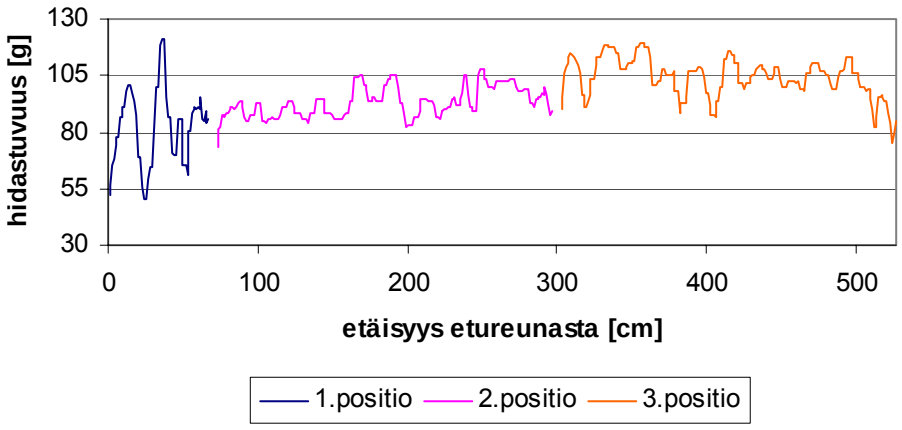
Ei rullahylkyä.



Kuva 14. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 14 neljännen muuton kovuusprofiilit.

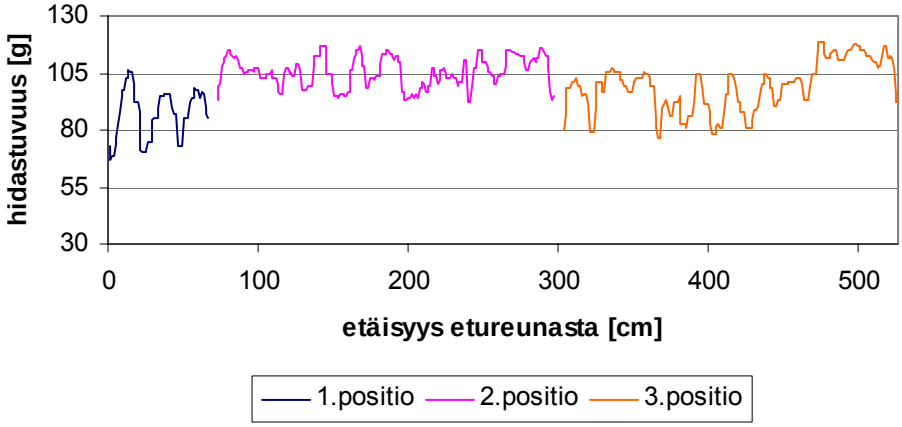
Ei rullahylkyä.

Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1000 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 6 x 865 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 1 – 6 (kuvat 9 – 14).



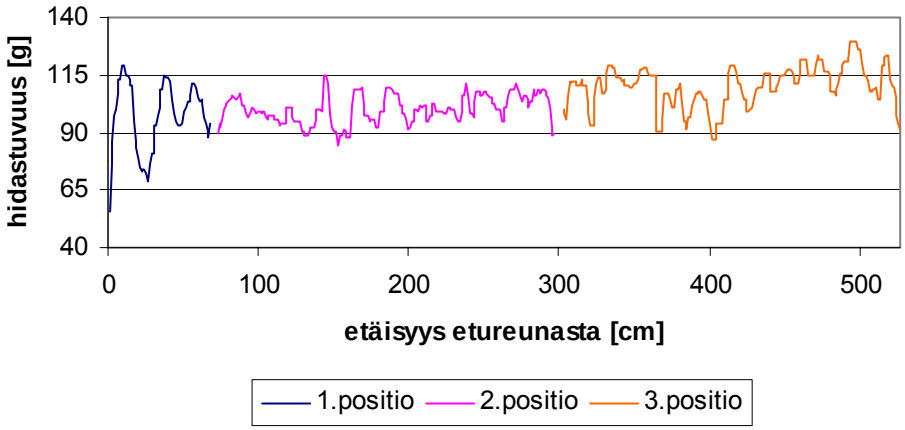
Kuva 16. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 25 toisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.



Kuva 17. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 27 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

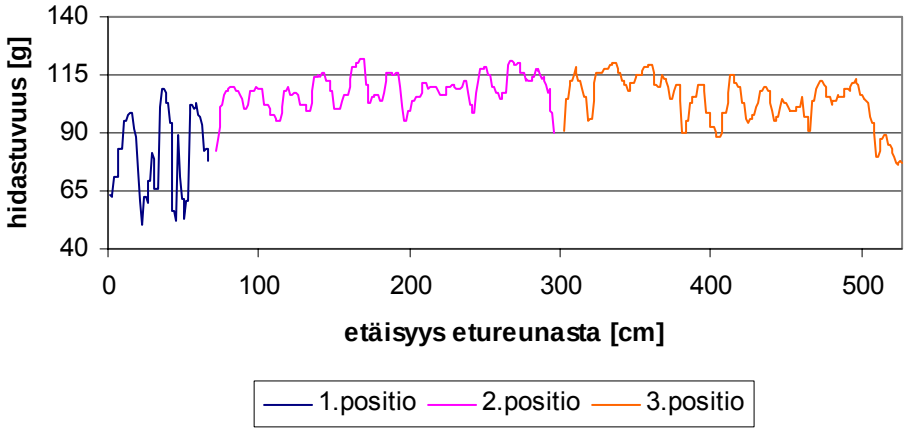
Ei rullahylkyä.



Kuva 18. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 27 toisen muuton kovuusprofiilit.

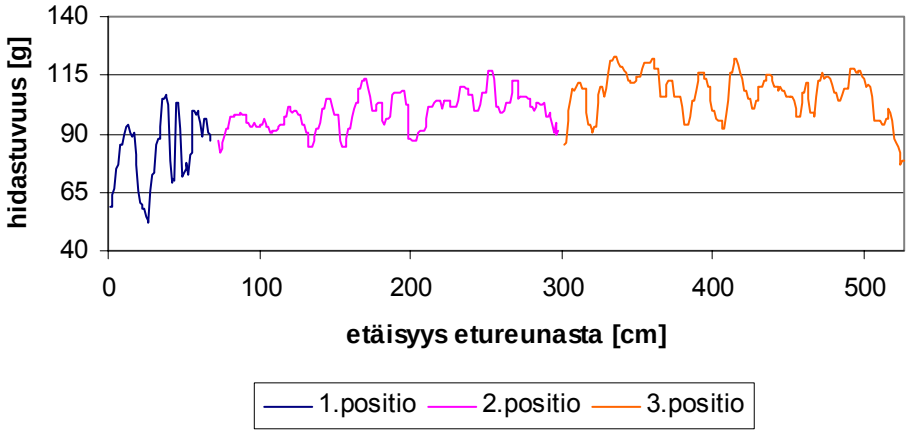
Ei rullahylkyä.

Tambuurin n:o 28 kiinnirullauksen kireys nostettiin arvoon 380 N/m. Nippikuorma pysyi samana eli lähtötaso oli pudotettu 3100 N/m, joka nousi ajon aikana arvoon 3500 N/m.



Kuva 19. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 28 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.

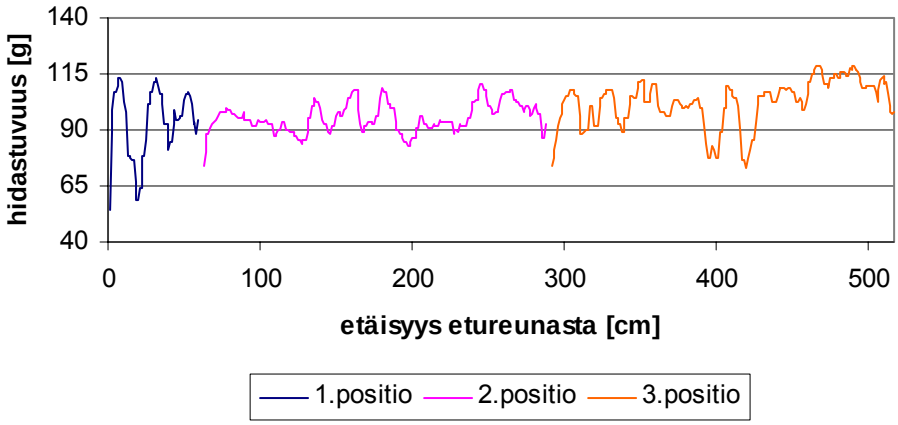


Kuva 20. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 28 toisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.

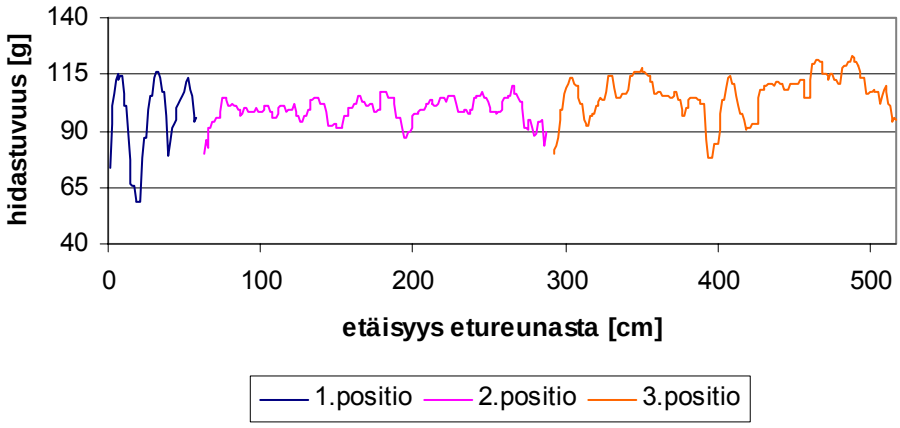
Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1250 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 1 x 700 mm ja 2 x 2285 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 2 – 4 (kuvat 15 – 20).

Kapean reunarullan paikan ja pituusleikkuriposition vaihtamisen vaikutusta testattiin tambuureilla n:o 45, 46, 47, 48, 51, 52 ja 53. Kiinnirullauksen kireys oli 330 N/m ja nippikuorma oli lähtötasoltaan 3100 N/m, joka nousi 3500 N/m:iin.



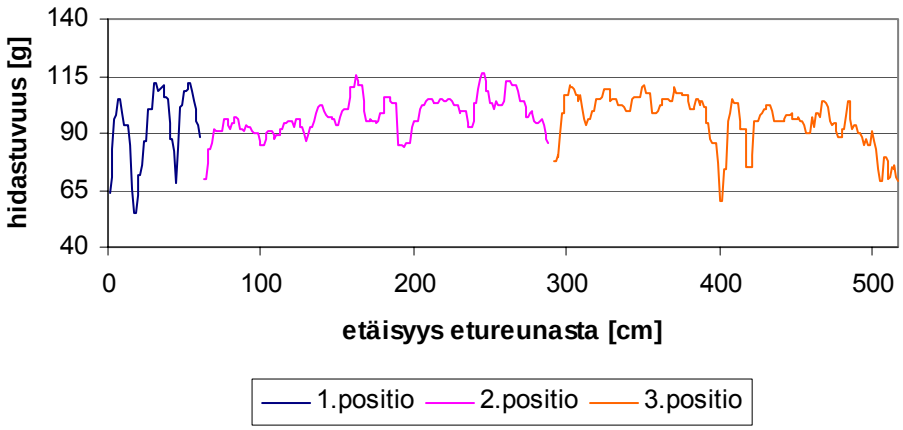
Kuva 21. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 45 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.



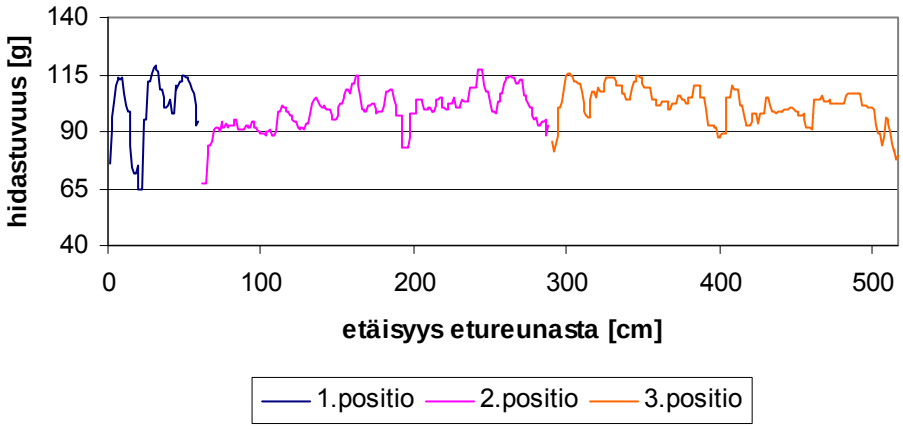
Kuva 22. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 45 toisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.



Kuva 23. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 47 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

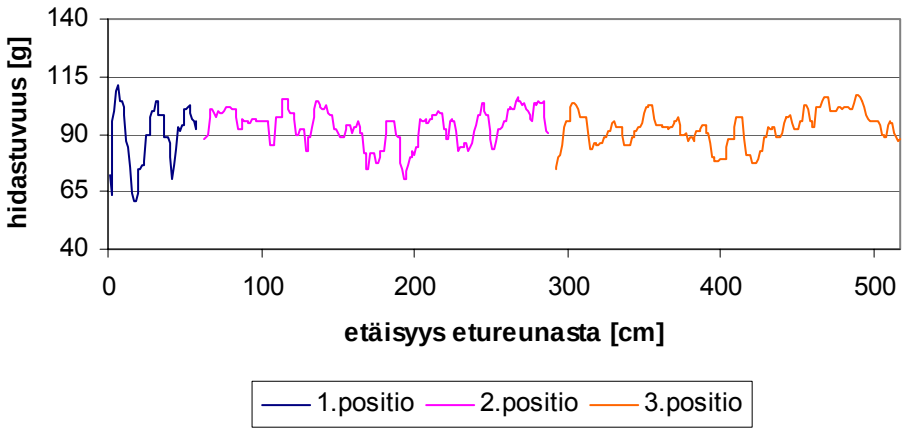
1. position rulla hylättiin, vanaa.



Kuva 24. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 47 toisen muuton kovuusprofiilit.

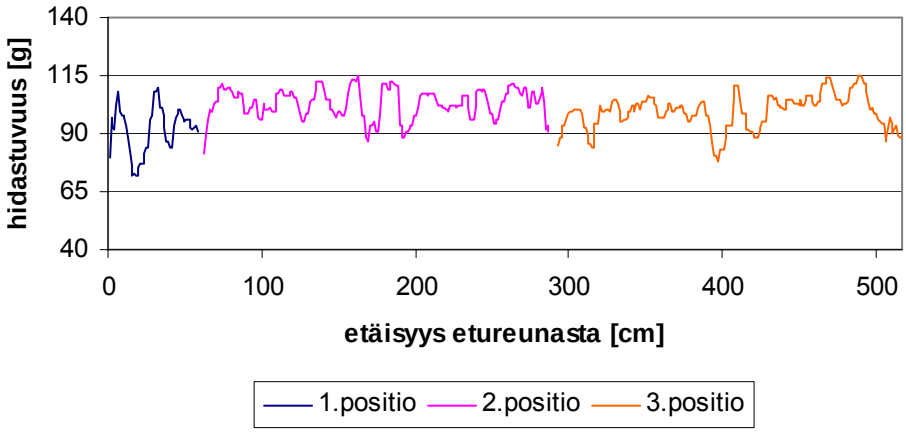
1. position rulla hylättiin, vanaa.

Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1250 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 1 x 600 mm ja 2 x 2285 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 2 – 4 (kuvat 21 – 24).



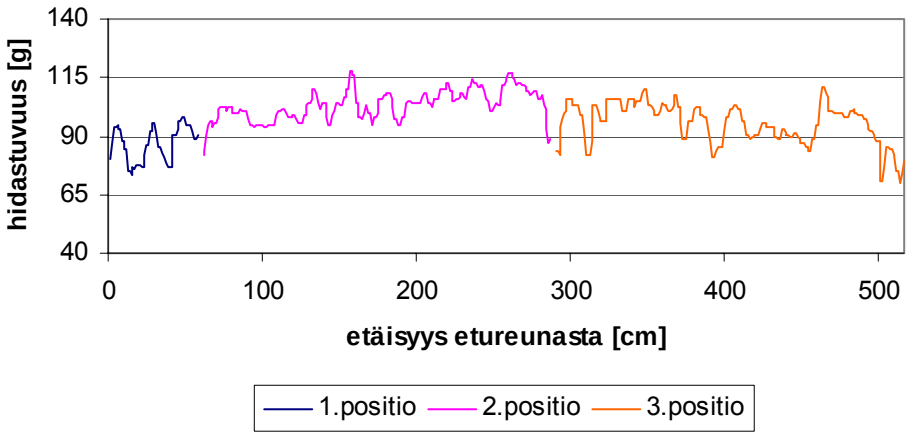
Kuva 25. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 48 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.



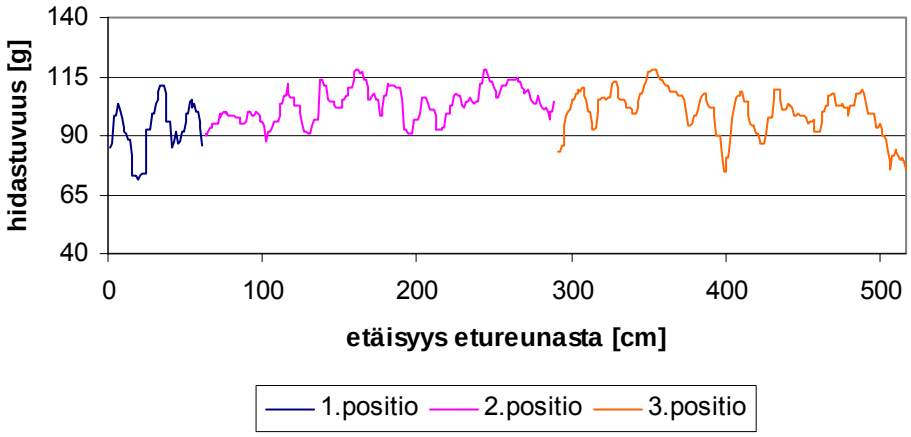
Kuva 26. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 48 toisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla oli melkein hylky, vanaa.



Kuva 27. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 46 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

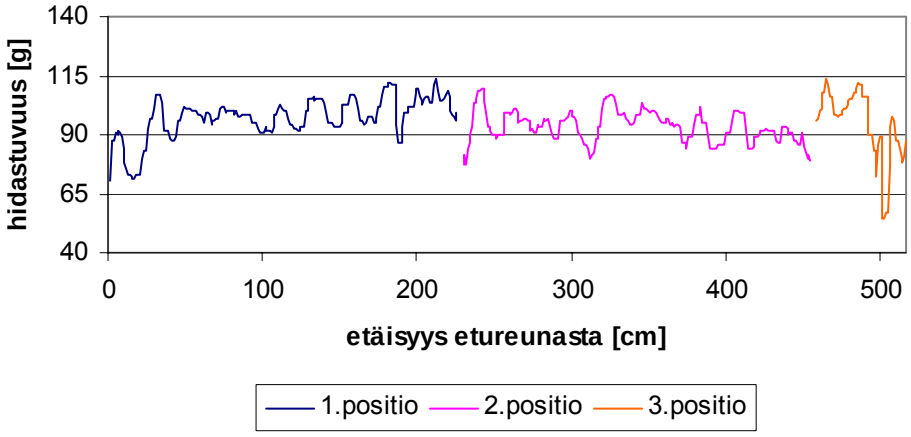
1. position rulla oli melkein hylky, vanaa.



Kuva 28. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 46 toisen muuton kovuusprofiilit.

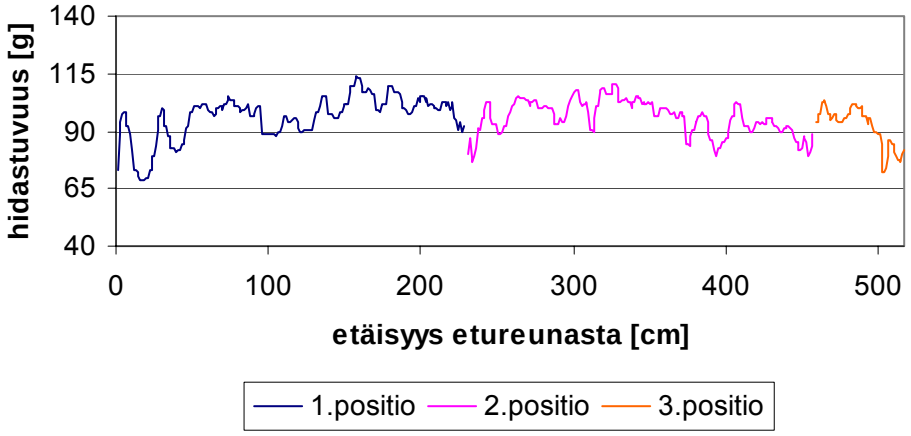
Ei rullahylkyä.

Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1250 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 1 x 600 mm ja 2 x 2285 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 3 – 5 (kuvat 25 – 28).



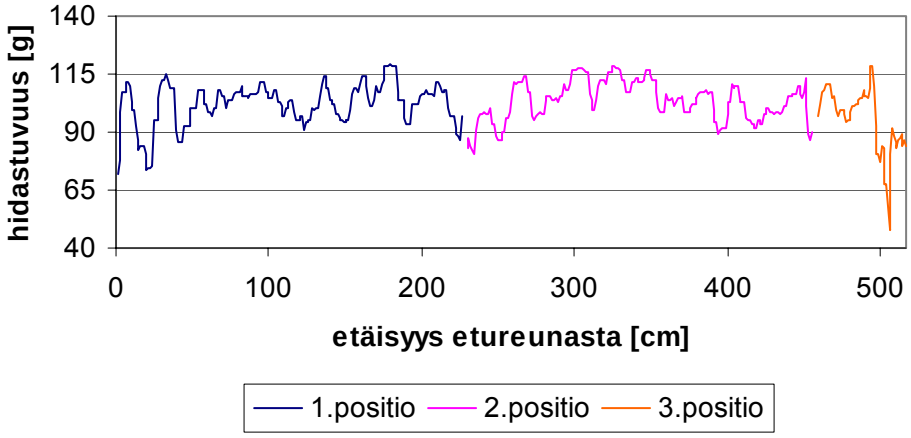
Kuva 29. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 51 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

3. position rulla hylättiin, vanaa.



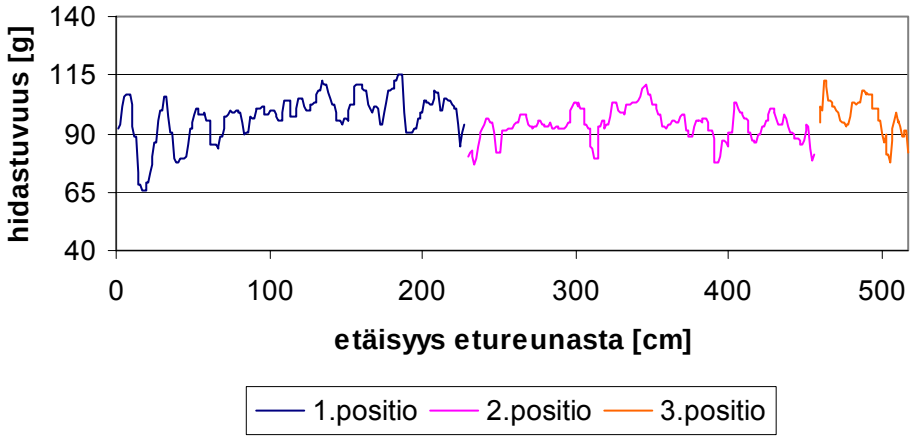
Kuva 30. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 51 toisen muuton kovuusprofiilit.

3. position rulla hylättiin, vanaa.



Kuva 31. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 52 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

3. position rulla hylättiin, vanaa.

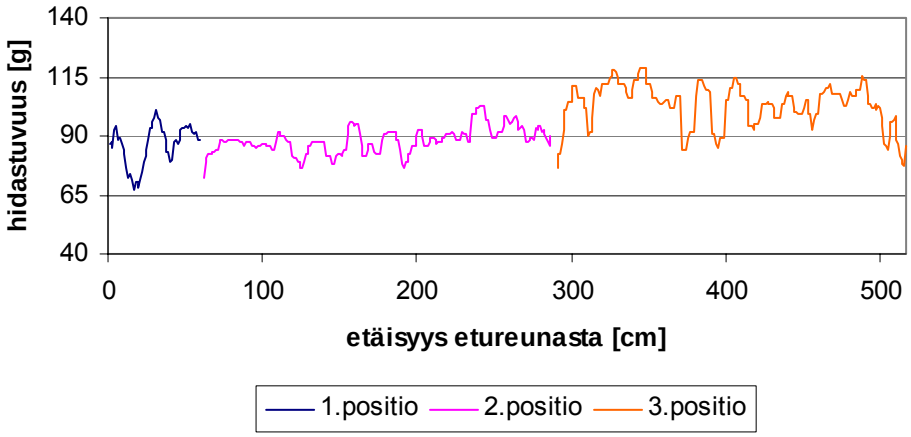


Kuva 32. Viikon 40 SC II:n tambuuri n:o 52 toisen muuton kovuusprofiilit.

3. position rulla hylättiin, vanaa.

Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1250 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 2 x 2285 mm ja 1 x 600 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 3 – 5 (kuvat 29 – 32).

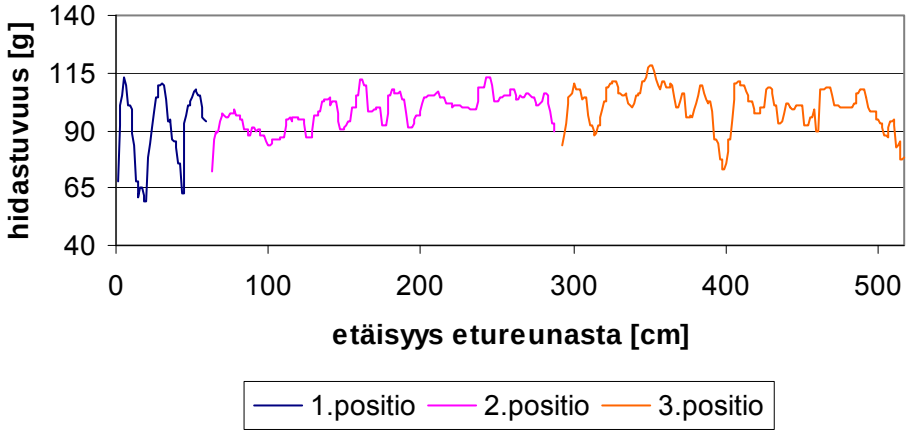
Tambuurin n:o 53 ajonopeus oli 27 m/s.



Kuva 33. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 53 toisen muuton kovuusprofiilit.

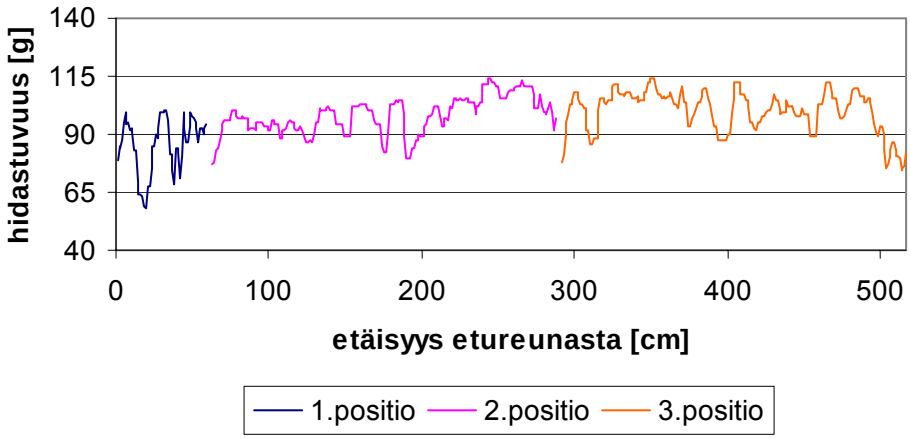
1. position rulla hylättiin, vanaa.

Tambuurilla n:o 42 kokeiltiin ajonopeuden vaikutus vanan muodostumiseen. Ensimmäinen muutto leikattiin ajonopeudella 20 m/s ja toinen muutto leikattiin ajonopeudella 30 m/s.



Kuva 34. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 42 ensimmäisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.



Kuva 35. Viikon 40 SC I:n tambuuri n:o 42 toisen muuton kovuusprofiilit.

1. position rulla hylättiin, vanaa.

Paperin neliömassa oli 51 g/m^2, rullien halkaisijat olivat 1250 mm ja asetteessa rullien leveydet olivat 1 x 600 mm ja 2 x 2285 mm. Käytetyt rullausasemat olivat n:o 2 – 4 (kuvat 33 – 35).