

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Puutekniikan koulutusohjelma / modernit puutuotteet

Helvi-Iiris Ristkari

IMPREGNOINTIKONEEN MITTAPALKIN SUORITUSKYVYN OPTIMOINTI

Insinööriyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

HELVI-IIRIS RISTKARI

Impregnointikoneen mittapalkin suorituskyvyn optimointi

Insinööri

97 sivua + 13 liitesivua

Työn ohjaajat

Yliopettaja Merja Mäkelä

Käyttöpäällikkö Sanna Lanki

Käyttöinsinööri Veli-Matti Knaapi

Käyttötekniikko Ilkka Vakkari

Toimeksiantaja

Kotkamills Oy

Maaliskuu 2013

Avainsanat

Impregnointi, mittapalkki, haihtuvat, hartsimäärä, laadunhallinta, kalibrointi, suorituskyky

Metsäteollisuuden tiukentuneilla markkinoilla kilpailukyvyn merkitys on kasvanut entisestään. Tuotteille ja prosesseille asetetaan jatkuvasti korkeampia laatu- ja tehokkuusvaatimuksia. Paperituotteiden jatkojalostuksessa, kuten impregnoinnissa, tuottavuuden tavoitteluun joudutaan paneutumaan aiempaa yksityiskohtaisemmin. Toimeksiantajana selvitettiin impregnointikoneen mittapalkin uusien antureiden soveltuvuutta vaneriteollisuudelle valmistettävien fenoli-impregnaattien online-mittaamiseen. Uuden laitteiston haluttiin nostavan prosessin automaatioastetta, parantavan tuotettua laatua ja vähentävän manuaalimittausten taajuutta.

Opinnäytetyössä yhdistettiin toimeksiantajan tavoiteasettelua yhdeksi, uuden mittapalkin käyttöönottoa raportoivaksi kokonaisuudeksi. Tutkimuksen aikana oltiin uuden beetasäteilyabsorptioon perustuvan neliömassa-anturin ja mikroaaltoanturin käyttöönottovaiheessa. Kosteutta mittaavan mikroaaltoanturin kalibroinnin avulla pyrittiin varmentamaan hankitun anturin soveltuvuus impregnaatin sisältämien haihtuvien aineiden määritykseen. Mittapalkin suorituskykyä arvioitiin vertaamalla online-mittauksia laboratoriomittauksiin ja uutta laitteistoa vanhaan. Käyttöönotossa keskityttiin teknisen suorituskyvyn ja taloudellisen kannattavuuden arviointiin.

Käyttöönottovaiheen tutkimuksissa todettiin neliömassa-anturin parempi suorituskyky vanhaan laitteistoon verrattuna. Kalibrointitoimenpiteiden ansiosta mikroaaltoanturi saatiin seuraamaan referenssimittauksia kohtuullisen hyvin. Työn tuloksena ei havaittu syitä, jotka kyseenalaistaisivat uusien antureiden hankinnan kannattavuuden. Tuotannon tunnuslukujen perusteella laskettiin uusitulle mittalaitteistolle takaisinmaksuaika. Tuotannonkehitystoimien ansiosta hankintaa pidettäneen taloudellisestikin kannattavana.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

RISTKARI, HELVI-IIRIS

Performance Optimization of Impregnated Paper Measurement Systems

Bachelor's Thesis

97 pages + 13 pages of appendices

Supervisors

Merja Mäkelä, Principal Lecturer

Sanna Lanki, Production Manager

Veli-Matti Knaapi, Production Engineer

Ilkka Vakkari, Production Supervisor

Commissioned by

Kotkamills Ltd

March 2013

Keywords

Impregnation, scanner, volatiles, resin, quality control, calibration, performance

The competitiveness has become more and more essential in the tightening markets of forest industry. Demands for products and processes in the further processed paper production are continuously getting higher. The pursuit of productivity must be elaborated further than so far have been used to. The assignment was to ensure purchased sensors' online measurement performance for phenolic resin impregnated paper. With this acquired system the goal was to enhance production, raise the automation level, and to diminish the frequency of manual sampling.

The purpose of this thesis is to combine the objectives of the commissioning company to a totality which reports the implementation of the new measurement system. During this research the basis weight sensor, based on beta radiation, and the microwave sensor were at their implementation phase. By calibrating the moisture measuring microwave sensor the aim was to ensure its measurement performance for resin impregnated paper volatile contents. On one hand, the technical performance was evaluated by comparing the online measurements to the reference laboratory measurements. On the other hand, the new online measurements were compared to old online measurements. In the follow-up of the o-frame scanner's implementation process the focus was in technical performance and cost-effectiveness.

By surveying the implementation phase the better performance of the new basis weight sensor was verified. Calibrating the microwave sensor also gave important information about its technical performance and the sensor was calibrated closer to good capability. The conclusions of this survey did not debate the usefulness of acquired QCS. The calculation of the repayment period was done with production values. Due to the functions of production development the economic consequences can be considered profitable.

ALKUSANAT

Toimeksiantajaani Kotkamills Oy:tä kiitän mielenkiintoisen tutkimustyön aiheesta, jonka myötä sain kasvattaa ammatillisia valmiuksiani työelämää varten. Sydämelliset kiitokseni annan ohjaajilleni käyttöpäällikkö Sanna Langille ja käyttöinsinööri Veli-Matti Knaapille, joiden kannustamana opinnäytetyö käynnistyi. Ohjaajistani käyttötunnus Ilkka Vakkari ansaitsee erityiskiitoksen tuotantoprosessiin perehdyttämisestä samoin kuin ammatillisten näkökulmien avaamisesta. Yhteiskiitos kuuluu myös impregnointitehtaan operaattoreille ja koko henkilökunnalle.

Osaltaan koulutuksestani vastasi myös tutkimani laitteiston toimittaneen Scienta Oy:n toimitusjohtaja Joakim Stenius. Hänet haluan mainita kiistämättömän ammattitaitonsa lisäksi kärsivällisen neuvonantonsa vuoksi.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan yliopettajalle Merja Mäkelälle haluan antaa tunnustusta ammattitaidollisena esikuvana toimimisesta. Ilman hänen kanssaan käymiäni keskusteluja olisi moni asia jäänyt vaille syvällisempää ammatillista tarkastelua. Opinahjoni opettajakuntaa haluan tässä kiittää miellyttävän oppimisympäristön luomisesta sekä joustavasta koulutusasenteesta.

Uppoutumiseni opinnäytetyöhön kuormitti kodinturvajoukkoinani toimineita, eli aviomiestäni Yrjö Ristkaria ja koiriamme Tarmoa ja Ollia. Mieheiltäni sain riittävästi kannustusta, ymmärrystä ja taloudellista tukea. Koirat huolehtivat ulkoilutuksestani. Tärkeänä perhetason voimavarana pidän myös äitini ylpeyttä ja mielenkiintoa työni etenemistä kohtaan.

Monet ihmiset ovat olleet tekemisissä kanssani tehdessäni tätä työtä. On siis mahdollista kiittää kaikkia, joilta olen saanut tukea, ohjausta ja ideoita. Jokainen kanssani yhteistyötä tehnyt otti minut hyvin huomioon. Yhteistyön tulokset kielinevät tutkitun laitteiston suorituskykyisyyden ohella tutkijansa lisääntyneestä ammatillisesta suorituskyvystä.

Kotkassa 1.3.2013

Helvi-Iiris Ristkari

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT	4
TERMI- JA LYHENNELUETTELO	7
1 JOHDANTO	8
2 IMPREGNAATTIEN VALMISTAMINEN VANERITEOLLISUUDELLE	9
2.1 Impregnaattien käyttö	9
2.2 Pinnoitettujen levytuotteiden testaus	11
2.3 Impregnointiprosessi	12
2.4 Hartsireaktio ja hartsin reaktiivisuus	14
2.5 Impregnointikone 4:n prosessikuvaus	15
3 LAADUNHALLINTA IMPREGNOINTITUOTANNOSSA	19
3.1 Impregnaattien laatukriteerit	21
3.1.1 Neliömassa ja hartsimäärä	22
3.1.2 Haihtuvien aineiden määrä	23
3.2 Ohjausjärjestelmä	25
3.3 Hartsimäärän mittaus ja säätö	30
3.4 Haihtuvien mittaus ja säätö	32
4 UUDEN MITTALAITTEISTON HANKINTA	35
4.1 Kenttäinstrumentointiin liittyvät vaatimukset	35
4.1.1 Beetasäteilijä impregnaattien mittaamisessa	37
4.1.2 Mikroaltoaanturi impregnaattien mittaamisessa	38
4.2 Investoinnin kannattavuus	40
4.2.1 Tuotantolukujen hankinta ja matemaattinen arviointi	42
4.2.2 Laitteiston takaisinmaksuaika	43
5 LAATUSUUREMITTAUSTEN SUORITUSKYVYN TOTEAMINEN	45
5.1 Matemaattiset menetelmät suorituskyvyn analysoinnissa	46
5.1.1 Normaalijakauma	46

5.1.2 Keskiarvo	48
5.1.3 Keskihajonta, otoskeskihajonta ja varianssi	48
5.1.4 Dynaaminen korrelaatio	50
5.1.5 Vaihteluväli	52
5.1.6 Lineaarinen riippuvuus kalibroinnissa	53
5.1.7 Mediaani	53
5.1.8 Korrelaatio	54
5.1.9 Suorituskykyluvut	56
5.2 Impregnoitukoneen mittausraporttien ja kalibroiaineston hankinta	58
5.3 Laadunhallintajärjestelmän tekninen suorituskyky	59
5.3.1 Hartsimäärän mittaaminen beetasäteilijällä	60
5.3.2 Haihtuvien mittaaminen mikroaaltoanturilla	73
5.3.3 Säätojärjestelmän vaikutus laadun stabiilisuuteen	85
5.4 Tilastollisen päättelyn sisältämät virheet	89
5.5 Laadunhallinnalliset jatkotoimet	90
6 YHTEENVETO	93

LIITTEET

- Liite 1. Ohuen puolinopeuskalvon hartsimittausten luottamusvälit
- Liite 2. Paksun puolinopeuskalvon hartsimittausten luottamusvälit
- Liite 3. Ohuen pikatahtikalvon hartsimittausten luottamusvälit
- Liite 4. Paksun pikatahtikalvon hartsimittausten luottamusvälit
- Liite 5. Hartsimäärän online- ja manuaalimittausten korrelaatiot
- Liite 6. Puolinopeuskalvojen haihtuvamittausten luottamusvälit
- Liite 7. Pikatahtikalvojen haihtuvamittausten luottamusvälit
- Liite 8. Haihtuvien online- ja manuaalimittausten korrelaatiot
- Liite 9. Ohuen puolinopeuskalvon kalibroinnin vertailu
- Liite 10. Pikatahtikalvojen kalibroitivertailu
- Liite 11. Suorituskykyluvut
- Liite 12. Koeajoraportti

TERMI- JA LYHENNELUETTELO

Aukirullain	impregnointikoneen alkupäässä sijaitseva rullainpukki
Flow	impregnaatista mitattu pursenäyte (mm)
Haihtuvat	impregnaatista mitatut haihtuvat aineet (%)
Impregnaatti	hartsilla kyllästetty paperin jatkojaloste
Kiinnirullain	impregnointikoneen loppupäässä sijaitseva rullainpukki
Kulmakerroin	kalibroinnissa käytetyn regressiosuoran kulmakerroin
Leijukuivain	kuivausyksikkö impregnointikoneessa
Mittapää	mitta-anturin sijaintipaikka
Nippirako	impregnointiosassa; nippitelojen välinen säädettävä rako
Offset	online-mittaustuloksen tasokorjaus
Refloksointi	reaktioseoksen keittäminen hauteessa
Ratanopeus	paperin etenemisnopeus prosessissa
SELMA	impregnointikoneen keskustietokone, ohjausjärjestelmä
Vahvistus	hartsinsäädön vahvistus
CD	poikittaissuuntainen (Cross Direction)
DCS	hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed Control System)
IK4	impregnointikone 4
LCL	alempi valvontaraja (Lower Control Limit)
LSL	alempi toleranssiraja (Lower Specification Level)
MD	koneensuuntainen (Machine Direction)
OPC	teollisuusautomaation avoimen tiedonsiirron standardi (Open Connectivity via Open Standards)
PLC	ohjelmoitava logiikkajärjestelmä (Programmable Logic Controller)
QCS	laadunhallintajärjestelmä (Quality Control System)
SPC	tilastollinen prosessinohjaus (Statistical Process Control)
T	tavoite- tai asetusarvo
USL	ylempi toleranssiraja (Upper Specification Level)
UCL	ylempi valvontaraja (Upper Control Limit)

1 JOHDANTO

Suomen metsäteollisuudessa on jo pitkään painotettu korkean jatkojalostusasteen merkitystä kansallisten ja kansainvälisten markkinaosuuksien ylläpitämisessä. Tiedetään, että jatkossa globaaleilla markkinoilla kilpailukyvyyn merkitys kasvaa entisestään. Kun erikoistuotteille, kuten pinnoituskalvot, asetetaan jatkuvasti korkeampia laatu- ja tehokkuusvaatimuksia, täytyy valmistuksen olla tehokasta ja pitkälle automatisoitua. Siten laadunhallintajärjestelmästä tulee entistä tärkeämpi.

Teollisten prosessien hallinnan edellytyksenä voidaan pitää kaikkien systeemin kannalta oleellisten parametrien jatkuvatoimista mittausta ja säätöä. Koska online-laatumittauksia käytetään impregnointikoneen ohjaamiseen, ne vaikuttavat säätötuloksiin ja sitä kautta tuotteen laatuun. Vaihtelut laatusuureiden mittaamisessa ja säädössä vaikeuttavat energian ja raaka-aineiden käytön ennakoitua. Perinteisten prosessimittausten ohella mielenkiinto kohdistetaan suureisiin, jotka ovat suorassa yhteydessä lopputuotteen energiatehokkuuteen, laatuun ja tuottavuuteen. Ennen vanhaan laatua tarkkailtiin pääasiassa tuotenäytteiden laboratoriomittauksilla, mutta nyt halutaan analysoida reaaliajassa suoraan prosessista. Nostamalla prosessien automaatioastetta ja tarkkailemalla laatua online-mittauksin vastataan tehokkuushaasteisiin. Tehokas mittaus- ja säätöjärjestelmä edellyttää mittauksilta korkeaa tasoa. Mittausten on annettava oikeaa tietoa laatusuureista, sillä tuloksilla on todellista arvoa vain siinä tapauksessa, että mittauksiin voidaan luottaa.

Insinööriyössä tutkitaan uuden mittapalkin hankinnan hyödyllisyyttä Kotkamills Oy:n impregnointitehtaalla Kotkassa. Työssä keskitytään tarkastelemaan Kotkan tehtaan impregnointikoneeseen 4 (IK4) asennetun mittalaitteiston suorituskykyä. Laitteisto on tutkimuksen alussa otettu käyttöön, mutta sen toimintaa optimoidaan vastaamaan laajan tuoteskaalan tarpeisiin. Jo aiemmin hankintaprosessin aikana oli tehtaalla ilmennyt tarve mitata laitteistojen suorituskykyä ja hankintojen myötä syntyvää taloudellista hyötyä. Suorituskyvyn perusteena pidetään laitteiston kykyä tuottaa stabiilia, laatuksiteerit täyttävää laatua ja taloudellisen hyödyn mittarina tehokkaampaa tuotantoa. Toimeksiantoon sisältyy myös se, että lasketaan mittalaitteistolle takaisinmaksuaika. Tavoitteena on uuden mittapalkin ja oheislaitteiden hankinnan kannattavuuden arviointi teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta.

2 IMPREGNAATTIEN VALMISTAMINEN VANERITEOLLISUUDELLE

Impregnaatti-nimitystä käytetään melamiini-, urea- ja fenoliformaldehydihartsilla kyllästetyistä paperituotteista. Impregnaatit ovat puolivalmisteita, joita käytetään korkeapainelaminaattien runkopapereina ja levytuoteteollisuuden liimaus-, maalaus- ja pinnoituskalvoina. Kaikille tuoteryhmille on yhteistä suuri kulutuksen- ja iskunkestävyys. Dekoratiivisia korkeapainelaminaatteja käytetään muun muassa julkisten tilojen ja kuljetusvälineiden sisustuksissa. Impregnoituilla kalvotuotteilla puolestaan pinnoitetaan levyjä rakennus- ja kuljetusvälineiteollisuuden tarpeisiin sekä liikennemerkkien valmistukseen. UV-altisteisiin kohteisiin, kuten mainostauluihin, on myös omat impregnaattinsa. Fenolihartsilla kyllästetyt tuotteet ovat kuviopainettuja laatuja lukuun ottamatta yksivärisiä. (Kotkamills Oy 2011: 21 - 22.) Impregnaateille on ominaista kovettuminen kemiallisten reaktioiden vaikutuksesta ja lisäksi kovettumisreaktion palautumattomuus ja hyvä korkeiden lämpötilojen sietokyky (Koponen 2002: 156 - 157).

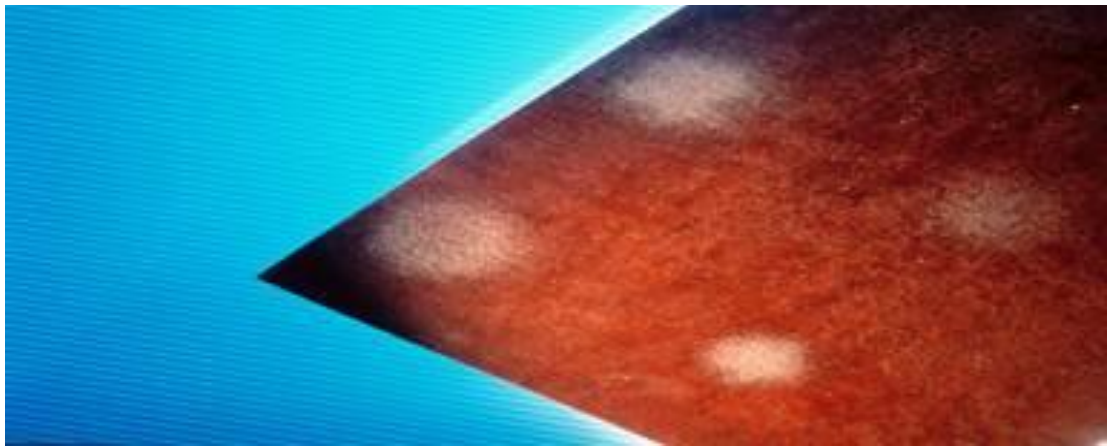
Kotkamills Oy on yksi maailman johtavista impregnaattien valmistajista. Yhtiöllä on maailmanlaajuinen myyntiorganisaatio. Impregnointitehtaat, jotka sijaitsevat Kotkassa ja Malesiassa, tuottavat vuosittain 37 000 tonnia pinnoitus- ja runkokalvoja. Kotkan impregnointitehtaan kokonaisliikevaihdosta 90 % tulee viennistä. Viennin erikoisosaamisaluetta on Venäjä. (Kotkamills Oy 2011: 21 - 22.)

2.1 Impregnaattien käyttö

Vaikka melamiinikalvoilla ja laminaateilla pinnoitetaan kuitu- ja lastulevyjä, on tyyppillisin impregnaatista jalostettu levytuote filmipinnoitettu vaneri. Tällaisilla vanerituotteilla on pitkät perinteet rakennus- ja kuljetusvälineiteollisuudessa levyjen helpon työstettävyyden ja hyvien lujuusominaisuuksien ansiosta. Fenolifilmipinnoitus tekee vanerista erittäin soveliaan betonivalulevyn. (Koponen 2002: 156). Pinnoitetut vanerilevyt kestävät erinomaisesti kulutusta, kosteutta, kemikaaleja, hyönteisiä ja mikroorganismeja. Reunamaalaus lisää runkolevyn säänkestävyyttä. Lisäksi sileä pinnoite on hygieeninen helpon puhdistettavuutensa ansiosta. Pinnoitteella voidaan edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi tavoitella parempia kitkaominaisuuksia, mikäli tarvitaan levytuotetta esimerkiksi kulkutasoihin tai kuljetusvälineiden lattioihin. (Metsäteollisuus ry 2005: 14.)

Valtaosa impregnaateista valmistetaan vaneriteollisuuden tarpeisiin. Vanerin pinnoitusprosessi asettaa impregnaatin valmistukselle omat haasteensa, sillä pinnoitettavasta puumateriaalista ei koskaan saada täysin tasalaatuista. (Kaulio 2012.)

Impregnoitu filmi puristetaan levyn pintaan korkeassa paineessa ja lämpötilassa. Puristuksen yhteydessä pintaan voidaan puristaa myös levyn kitkaominaisuuksia parantava kuvio viiralla tai manttelilla. Pinnoitettavan levyn kosteus saa yleensä vaihdella 5 - 15 %, mutta paras lopputulos saavutetaan pintakosteuden ollessa 6 - 10 %. Tällöin korkeassa lämpötilassa aktivoituvat hartsin juoksevuus on riittävä liimaamaan pinnoitteen levyyn ja aikaansaa kovan ja kestävä pinnan. Peruslevyn liiallinen kosteus lisää nestemäisen hartsin tunkeutuvuutta, mutta samalla heikentää pinnanlaatua. Samalla periaatteella liian kosteasta levystä, tai impregnaatista, höyrystyvä vesi aiheuttaa kalvon kuplimista. (Kotkamills Oy 2011: 29 - 33.) Puristusmenetelmästä johtuen levyn pinnan, ja vanerilla muunkin rakenteen, kaikki epätasaisuudet näkyvät kalvon pinnassa (kuva 1). Vanerin pinnoituksen onnistuminen riippuu kalvon tartunnasta ja pintaviilun ominaisuuksista. Paksuustoleranssien rajat ovat myös tiukat, eikä paksuuden vaihtelu saisi olla enempää kuin $\pm 0,2$ mm. Tätä suuremmat vaihtelut aiheuttavat pinnoitukseen harmaita kohtia ja kalvon huonoa tarttumista (Koponen 2002: 159.)



Kuva 1. Viiluissa olevat reiät vaikuttavat pinnoituksen onnistumiseen (Kotkamills Oy 2011).

Levynjalostajasta riippuen pinnoituksessa käytetään joko yksivälisiä pikatahtipuristimia tai monivälisiä kerrospuristimia. Puristusaine riippuu puristuslämpötilasta ja -ajasta. Pinnoitustapahtumassa hyödynnetään puristusdiagrammia, jossa maksimipainetta pidetään kolmasosa puristusajasta. Tämän jälkeen painetta alennetaan vaiheittain. Kuumapuristukselle on olemassa omat vanerityyppistä riippuvat ohjeavonsa. Pikatahtipuristuksessa käytetään suurempia lämpötiloja ja puristusaineita. Kerrospuris-

timella puristetaan kerralla useita levyjä. Siksi kerrospuristimella puristettavat puolinopeuskalvot poikkeavat ominaisuuksiltaan yksivälipuristimella puristettavista pikatahtikalvoista. Tärkeätä pinnoituksessa on puristimen sulkeutumisaika laskettuna hetkestä, jolloin kalvo koskettaa kuumaa puristinlevyä. Tästä ajasta käytetään nimitystä avoin aika. (Koponen 2002: 155 - 160.) Kerrospuristimessa avoin aika on pidempi, joten puolinopeuskalvolta vaaditaan hitaampaa aktivoitumista lämmön vaikutuksesta. Pikatahtikalvoilta taas vaaditaan nopeampaa reaktiivisuutta ja soveltuvuutta lyhyeen puristusajaksi korkeammassa paineessa. Viirauksessa puristusajaksi pidennetään viiran lämmönjohtavuuden vuoksi (Kotkamills Oy 2011: 31.)

2.2 Pinnoitettujen levytuotteiden testaus

Pinnoitetulle vanerille on olemassa standardoidut testausmenetelmänsä. Puun biologista kestävyyttä vanerissa kasvatetaan merkittävästi liimauksen, pinnoituksen ja reunasuojauksen lisäaineilla. Näiden ohella oikeanlainen käyttö- ja asennustapa vaikuttavat levytuotteen käyttöikänsä. Suomalainen pinnoitettu ja reunasuojattu vaneri täyttää EN 636-3 -standardin vaatimukset. Pinnoituskalvon laatua ja pinnoitustapahtuman onnistumista mitataan toteamalla tuotteen kypsyyden häränsilmä- tai valutestillä. (Metsäteollisuus ry 2005: 23 - 26.)

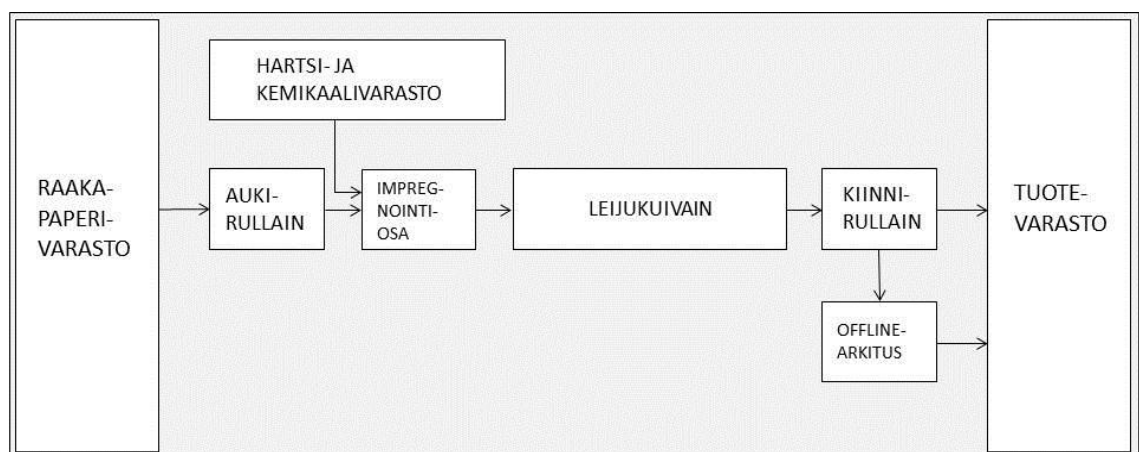
Häränsilmätestissä levyn pinnalle asetetaan puolipallon muotoinen lasi, jossa on natriumhydroksidin vesiliuosta. Kypsymättömästä kalvosta irtoaa tällöin liuokseen väriainetta. Valutestillä simuloidaan betonointitapahtumaa tekemällä näytekalvoksen päälle betonivalu. Pinnoite ei saa värjätä betonia, vaikka valua pidetään UV-kaapissa 5 tunnin ajan. Molemmissa menetelmissä värjäytyminen arvostellaan, sillä se kieli kalvon raakuudesta. (Metsäteollisuus ry 2005: 23 - 26.)

Levytuotteen vesihöyryn- eli kosteudenläpäisevyyden huomioiminen on tärkeää, kun suunnitellaan kosteudelle altistuvia rakenteita. Vanerin vesihöyrynläpäisevyydellä ilmaistaan levyn läpi diffusoituneen vesihöyryn määrää aikayksikössä. Puun hygroskooppisuudesta johtuen kosteudenläpäisevyys suurenee vanerin kosteuden kasvaessa. Vanerin kosteudenläpäisevyydenä käytetään standardeja BS 3177 ja DIN 53122, joissa on omat luokkansa pinnoitetulle vanerille. Säälle altistuviin kohteisiin tarkoitetuille levyille voidaan suorittaa säänkestotesti. Tällöin sääilmioita jäljitellään altistamalla levynäyte vedelle, lämpötilan vaihteluille ja UV-säteilylle. (Metsäteollisuus ry 2005: 23 - 26.)

Levynäytettä voidaan myös keittää vedessä tai kaliumhydroksidin vesiliuoksessa. Rakennus- ja kuljetusvälineiteollisuuden käyttöön tarkoitettujen vanerit altistuvat käyttökohteissaan mekaaniselle rasitukselle ja erilaisille kuormille. Pinnoitteen mekaanisen rasituksen kestävyydelle on olemassa omat testausmenetelmänsä, joista käytetyimmät ovat kulutuksen kesto (DIN 53799) ja jyräystesti (SFS 3939). Kulutuksen kesto testataan laboratoriossa niin kutsutulla Taber-kokeella. Kokeessa pinnoitetun levyn pintaa hiotaan koneellisesti jäljitellen pinnan kulumista esimerkiksi hiekan tai metallilastujen vaikutuksesta. Koetta jatketaan kalvon puhki kulumiseen asti ja tulos ilmaistaan kierroslukuina. Jyräystestissä levyn pintaa kuormitetaan käyttöolosuhteisiin verrattavissa olevalla kuormalla, jota liikutellaan. Saatu tulos ilmoitetaan käytetyn kuorman massalla ja liikkeiden määrällä. (Metsäteollisuus ry 2005: 23 - 26.)

2.3 Impregnointiprosessi

Impregnointiprosessissa raakapaperi kuljetetaan impregnointikoneeksi kutsutun laitekokonaisuuden läpi. Prosessin (kuva 2) lopputuotteena syntyy paperin jatkojalosteita, puolivalmisteita, joita käytetään laminaatti- ja levyteollisuuden raaka-aineina. Kotkamills Oy:n tehtailla Kotkassa on kaksi impregnointikonetta, joista impregnointikone 3:lla (IK3:lla) valmistetaan laminaattiteollisuuden runkopaperia sekä kalvoja ja IK4:lla yksinomaan pinnoituskalvoja (Kotkamills Oy 2009: 4).

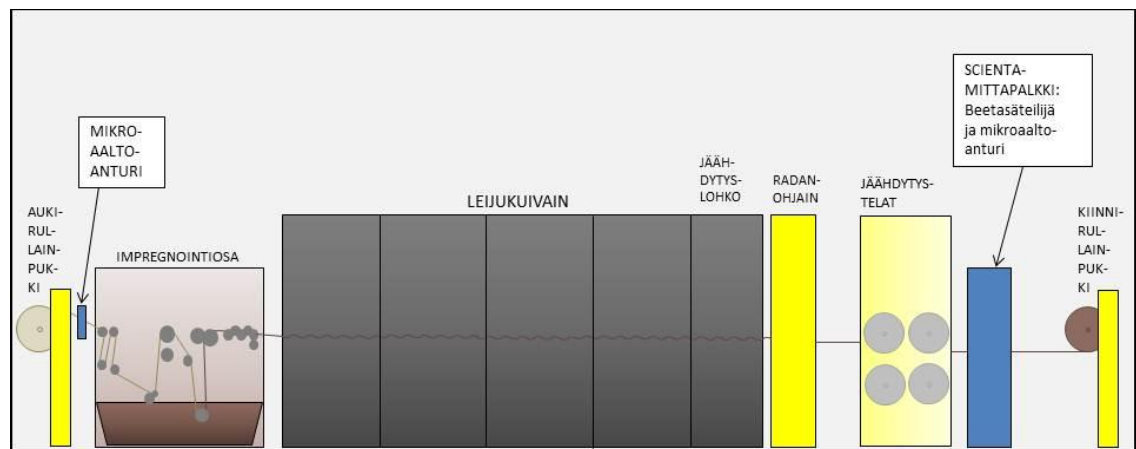


Kuva 2. IK4:n pääprosessit ovat impregnointiosa ja leijukuivain.

Impregnoinnilla lisätään paperituotteiden lujuutta, jäykkyyttä, tiiveyttä sekä kosteuden- ja lämmönkestoa. Impregnointitehtaalla paperit kyllästetään käyttötarkoituksesta riippuen fenoli-, urea- tai melamiinihartsilla. Hartsiliuos sisältää myös irrotus- ja väriaineita. Paperi impregnoidaan esikondensaatilla, joka muutetaan leijukaapin korkeassa lämpötilassa kiinteäksi, mutta vielä reagoivaksi aineeksi. Jäähdyttämällä tuote ennen

rullausta saadaan kovettumisreaktio lähes kokonaan katkaistua. Silti reaktion hidas jatkuminen rajoittaa kalvojen varastointiaikaa. Asiakkaan tehtaalla impregnaatti jalostetaan valmiiksi tuotteeksi, jolloin kovettumisreaktio viedään loppuun kuupuristimella tapahtuvan pinnoitustapahtuman yhteydessä. (Koponen 2002: 157.)

Impregnointitehtaalla hartsien ohentamiseen ja koneenosien puhdistamiseen käytetään orgaanisia liuottimia, kuten metanolia ja vettä (Knaapi 2012). Metanolin (CH_3OH) aineenvaihduntatuotteena syntyy formaldehydiä. Hartsit ja vahvemmat orgaaniset liuottimet ovat myrkyllisiä hengitettynä, iholla ja nieltynä. Lisäksi ne ovat syövyttäviä ja muodostavat ilman kanssa räjähdysalttiin seoksen. (Antila ym. 2003: 231 - 232, 243.)



Kuva 3. Impregnointikone on laitekokonaisuus, jonka laadunhallintaa on hajautettu koneen alku- ja loppupäähän.

Impregnointikone IK4 on Vits Maschinenbau GMBH:n vuonna 1988 valmistama laitekokonaisuus (kuva 3), joka muodostuu impregnointiosasta, leijukuivaimesta ja jäähdytysosasta (Kotkamills Oy 2009: 4 - 9). Sen viritetty maksimijonopeus on 125 m/min, mutta todellisuudessa tuoteriippuvainen ajonopeus on 40 - 100 m/min. Impregnoitavien tuotteiden neliömassat vaihtelevat IK4:lla 77 - 220 g/m². (Vakkari 2012.) Koneen alku- ja loppupään toimintaa valvotaan erillisistä valvomoista. Työntekijöiden tehtävät on jaettu vastuualueisiin valvomoittain, mutta ajon aikana vastuu koneen häiriöttömästä käynnistä ja tuotteen laadusta on operaattorilla. (Kaulio 2011: 2 - 4).

2.4 Hartsireaktio ja hartsin reaktiivisuus

Fenolisiin hartseihin kuuluu lukuisia määriä erilaisia variaatioita, mutta tämän työn kannalta oleellisia ovat hartsit, joilla kyllästetään paperituotteita vaneriteollisuuden pinnoitekalvoiksi. Fenoliformaldehydihartsit eli bakeliitti on vanhin synteettinen kermamuovi ja sitä käytetään myös vaneriteollisuuden liimana. Käyttö perustuu verrattomiin sään-, kosteuden- ja lämmönkesto-ominaisuuksiin. Fenoliformaldehydihartsit ovat kuumakovettuvia polymeereja. Lämmön vaikutuksesta kovettuessaan fenoliformaldehydihartsista muodostuu liukenematon ja sulamaton pinnoite tai sideaine. Impregnoitussa paperituotteessa se toimii molempina. (Lehtonen & Lehtonen 2008: 227.) Fenoliformaldehydihartsin komponentit ovat fenoli eli hydroksidibentseeni (C_6H_5OH) ja formaldehydi eli metanaali (CH_2O). Metanaali syntyy, kun metaanista poistetaan kaksi vetyä ja vapautuneisiin sidoksiin sitoutuu happiatomi. Tyydyttymättömänä hiilivetynä se on tyydyttyneitä reaktiokykyisempi. (Antila ym. 2003: 231 - 232.)

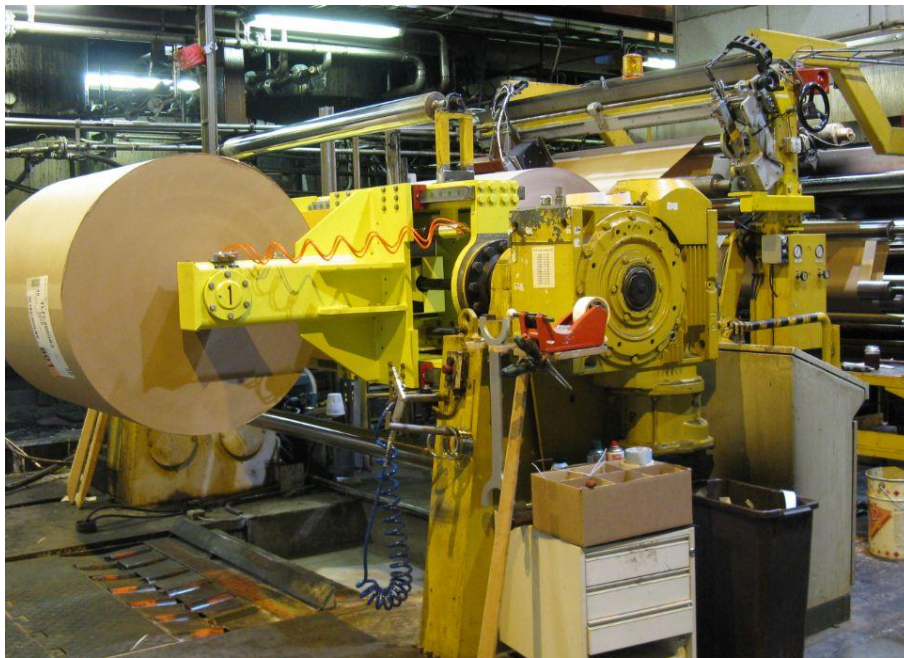
Impregnoinnissa käytetyt esikondensaattit valmistetaan tehtaalla panosprosessina. Reaktion jatkuvuuden vuoksi hartsien säilymisaika on suhteellisen lyhyt, korkeintaan muutamia viikkoja. Fenoliformaldehydi kuuluu polykondensaatiomuoveihin. Polykondensaatioreaktiossa lohkeaa polymeroinnin seurauksena pienimolekyylinen yhdiste, kuten vesi, kloorivety tai ammoniakki. (Lehtonen & Lehtonen 2008: 227.) Panosreaktorissa valmistus tapahtuu kondensoimalla fenoli ja formaldehydin vesiliuos, eli formaliini, polymeeriksi. Katalyytti muodostaa näistä viskoosin liuoksen, joka kovettuu lämmön vaikutuksesta. Polymerointireaktioksi kutsutaan tapahtumaa, jossa orgaaninen yhdiste yhtyy yhteen tai useampaan samanlaiseen molekyyliin. Reaktiossa pienimolekyyliset monomeerit ketjuttuvat yhteen suureksi makromolekyyliseksi eli polymeeriksi. Reaktiotuotteet eroavat toisistaan siten, että niillä on keskenään ja lähtöainesten kanssa erisuuruinen moolimassa mutta sama prosentuaalinen koostumus. (Lehtonen & Lehtonen 2008: 211, 225 - 227.)

Hartsinvalmistuksessa raaka-aineita refloksoidaan 50 - 100 °C:ssa hartsista riippuen eripituisia aikoja. Tämän jälkeen seos tislataan. Tislauksen seurauksena saavutetaan haluttu kuiva-ainepitoisuus, minkä jälkeen reaktio pysäytetään. Reaktion kinetiikan tutkiminen on haastavaa, sillä muodostumiseen vaikuttavat komponenttien suhteiden lisäksi reaktiolämpötila, formaldehydin ja fenolin moolisuhde, raaka-aineiden puhtaus

ja väkevyys sekä reaktioastian ja panoksen laatu ja koko. (Ihalainen 1993: 8 - 9.) Hartsien reaktiivisuudella tarkoitetaan kovettumis- tai polymeroitumisherkkyyttä lämmön vaikutuksesta. Kiihkeimmillään hartsireaktio on 120 - 200 °C:ssa. Varastoinen seurausena reaktiivisen hartsin osuus tuotteessa hiljalleen vähenee, mutta jäljelle jäävän hartsin reaktiivisuus puolestaan hieman nopeutuu. Reaktiivisuudella siis määritetään, kuinka nopeasti hartsin polymeroituminen käynnistyy. Jos reaktiivisuus on suuri, tarvitaan reaktion käynnistämiseksi pienempi määrä energiaa. (Kettunen 2013.)

2.5 Impregnointikone 4:n prosessikuvaus

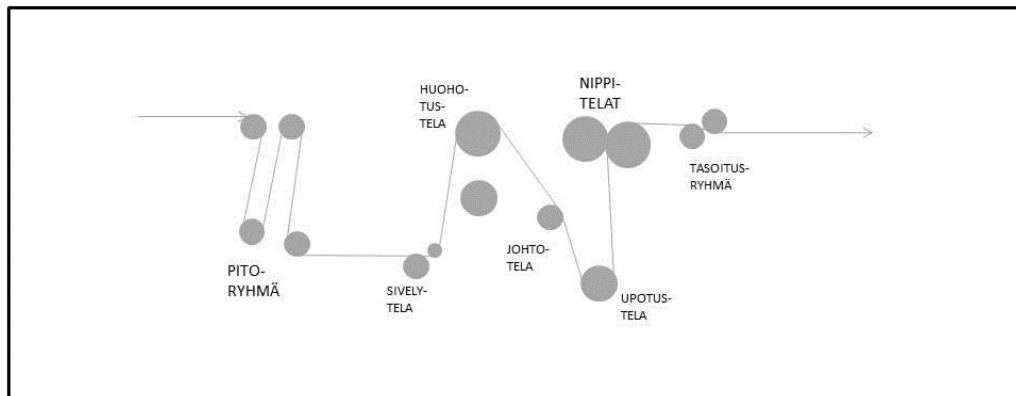
Kotkamills Oy:n IK4:n aukirullauspäässä huolehditaan hartsipanoksen valmistuksen ja hartsialtaan toiminnan varmistamisen lisäksi raaka-aineiden riittävydestä ja raakapaperin pujotuksesta. Aukirullaimessa raakapaperirullaa pyöritetään moottoroitujen karojen varassa (kuva 4). Valvomoissa huolehditaan, ettei rullanvaihdosta aiheudu haittaa koneen toiminnalle ja tuotteen laadulle. (Kaulio 2011: 2 - 4.) Raakapaperin kosteutta ja neliömassaa seurataan jatkossa jatkuvatoimisella aukirullaimen online-kosteusmittarilla.



Kuva 4. IK4:n uudessa aukirullainpukissa rulla pyörii karojen varassa.

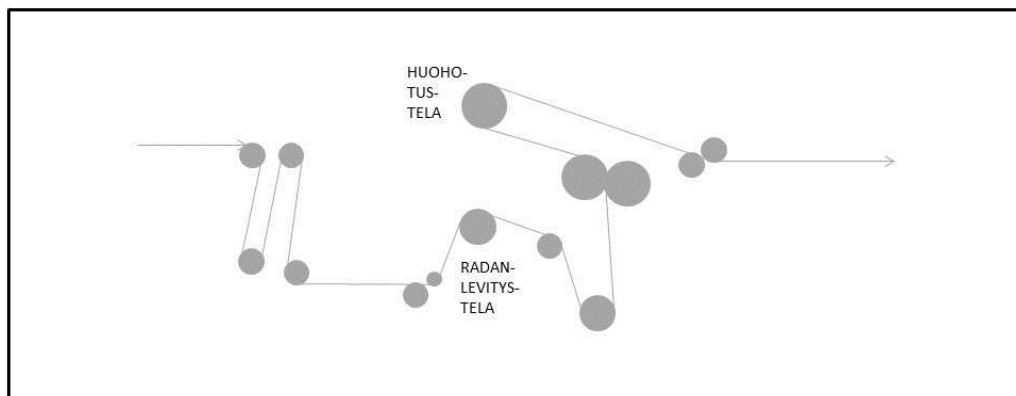
Aukirullaussessa raakapaperirullan pyörimisnopeus säätyy automaattisesti ratanopeuteen sopivaksi. Aukirullainpukin toimintaperiaatetta suunniteltaessa on huomioitu prosessin jatkuvatoimisuus myös rullanvaihdon yhteydessä

Hartsipanos sekoitetaan sekoitussäiliössä ja siirretään ennen ajon aloitusta ajosäiliöön. Ajosäiliöstä hartsia kierrätetään hartsialtaassa niin, että epäpuhtaudet suodatetaan pois ja pinnankorkeus pysyy automaattisesti vakiona. Hartsipanosten laatukohtaiset reseptit saadaan tehdastietojärjestelmästä. Impregnointiosassa raakapaperi kiristetään, ohjataan ja kuljetetaan hartsialtaaseen kuljetinteloilla. Radan kireys ja hartsin imeytymisaika on riippuvainen pujotustavasta ja telojen asemista ja pyörimisnopeuksista toisiinsa nähden. Impregnointiosassa koostuu useasta telasta, joista osa toimii itsenäisesti ja osa ryhminä. Paperin imukyvyistä ja hartsista riippuu kulloinkin käytetty pujotustapa, joka on määritetty laatukortistossa (Kotkamills Oy:n laatukortit 2013).



Kuva 5. Impregnoitavan paperin kireyteen ja hartsin imeytymisaikaan vaikuttaa paperin pujotustapa.

Ensimmäinen telaryhmä on nimeltään pitoryhmä (kuva 5), ja siihen kuuluu neljä telaa, joita pyörittää yksi moottori. Viidettä telaa kutsutaan sivelytelaksi ja sen avulla huolehditaan paksujen paperilaatujen esikostutuksesta ennen hartsialtaaseen upotusta. Sivelytelalle paperin ohjaa pienikokoinen, vapaasti pyörivä aputela. Sivelytelalla kasteltuun paperiin syntyviä vekkejä voidaan oikoa niin kutsutun radanlevitystelän avulla.



Kuva 6. Kun huohotustelan asemaa muutetaan, on hartsilla enemmän aikaa imeytyä paperiin.

Huohotustelan kautta pujotettuna märkä paperiraina saa enemmän imeytymisaikaa ennen nippiteloja tai tasoitusryhmää (kuva 6). Tällä ehkäistään hartsin tarttuminen teloihin ja parannetaan imeytymistä. Johtotela ja upotustela pyörivät vapaasti. Johtotelan kautta kuljetettuna paperi ohjautuu hyvässä kulmassa hartsialtaassa pyörivälle upotustelalle. Upotustela upottaa paperin hartsialtaaseen. (Kotka 2012.)

Altaassa raakapaperi imeytetään hartsilla ja imeytetty paperi kuljetetaan edelleen nippiraon läpi. Nippitelojen välistä kulkeutuvaan paperiin saadaan Dip-Squeeze -menetelmällä laadullisesti haluttu määrä hartsia ja samalla ylimääräinen hartsi puristuu pois. Nippiraon puristuspuheen vaikutuksesta paperi myös kyllästyy paremmin (Ihalainen 1993: 11). Reunojen hartsimäärää ohennetaan kaavaimilla. (Kotkamills Oy 2009: 5.) Nippirakoa säädetään hoito- ja käyttöpuolelle erikseen 0,001 mm tarkkuudella. Viimeinen telaryhmä ennen leijukuivainta on tasoitustelaryhmä.



Kuva 7. Leijukuivain aukirullauspäästä katsottuna: kuivaimen täytyy olla pitkä, jotta impregnaatin vaiheittainen kuivaaminen onnistuisi halutulla tavalla.

Impregnaatti kuivataan leijukuivaimessa (kuva 7), jossa kuivatettavaa paperirataa kannatellaan ilmasuuttimilla. Kuivauksen aikana imprgenoidusta paperista haihdutetaan ylimääräinen liuotin pois ja samalla lämmöllä kiihdytetään hartsin polymeroitumista. Leijukuivain koostuu neljästä erikseen säädettävästä lohkoista, joista jokaisessa on oma puhallin. Puhallusilma lämmitetään pattereilla, joissa lämmönsiirtimenä toimii termoöljy. Lämmitetty ilma ohjataan kuivaamaan ja kannattelemaan paperirataa leveiden, rakomaisten suuttimien läpi. Puhalluksen aiheuttaman nosteen vaikutuksesta paperi kulkee kuivaimen läpi koskematta mihinkään. Paperiradan alapuolella on kaksi

suutinta yläpuolen yhtä suutinta kohden. Suutinten sijoittelu yhdessä kuuman puhallusilman kanssa saa aikaan sen, että paperi kulkee kuivaimessa aaltoillen. (Jyrälä ja Kotka 2012.)

Hartsireaktion käynnistymistä ja voimakkuutta hallitaan lohkojen vaiheittaisella lämmönostolla. Sillä estetään liian nopeasti impregnaatin pinnasta käynnistyvä reaktio. Lämpötilaa nostetaan kolmessa ensimmäisessä lohossa ja lasketaan neljännessä. Viidennessä lohossa, jäähdystyslohossa, pyritään hallitusti esijäähdyttämään tuote ennen jäähdystysteloja ja estämään sen tarttuminen radanohjaustelaan. Paperirata asemoidaan koneen poikittaissuunnassa radanohjaintelalla, joka sijaitsee leijukuivaimen ja jäähdystystelosten välissä. Jäähdystysteloilla tuote jäähdytetään lähelle huoneenlämpötilaa. Jäähdytyksellä pyritään hallitusti pysäyttämään hartsireaktio, jottei reaktion jatkuminen aiheuttaisi tuotteen liimaantumista rullauksen, kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Menetelmällä pyritään säilyttämään kalvon reaktiivisuus niin, että mahdollistetaan sen muokkautuvuuden aktivoituminen myöhemmin levyn pinnoituksen yhteydessä.



Kuva 8. IK4:n kiinnirullaimella tuotteesta otetaan näytteet laatumäärityksiä varten. Valmis kalvorulla pakataan asiakkaan vaatimusten mukaisesti.

Ennen kiinnirullainta sijaitseva mittapalkki mittaa jatkuvatoimisesti valmiin tuotteen laatuarvot, joiden perusteella automaattisäätö huolehtii koneen ajoarvoista. Valmiista rullasta otetaan kiinnirullauksen (kuva 8) yhteydessä vastaanytteet (manuaalinen referenssimittaus), joista määritetään *hartsimäärä*, *haihtuvat aineet* ja *flow*-arvo valvomon pienoislaboratoriossa. Valmis tuote voidaan pakata rullana tai arkittia. (Kaulio 2011: 2 - 6.)

3 LAADUNHALLINTA IMPREGNOINTITUOTANNOSSA

Impregnointituotantoa seurataan päivittäisissä palavereissa tehtaalla, jolloin tarkastellaan tuotanto- ja hylkymääriä sekä laadullisten tavoitteiden toteutumista ja häiriöaikoja. Palavereiden perusteella ohjataan tuotantoa ja laboratoriota laadunvarmistuksessa. Laadunhallinnalla tarkoitetaan kaikkia sellaisia valmistusprosessiin kohdistuvia toimia, joilla vaikutetaan siihen, että tuote täyttää valmistusspesifikaatiot ja että valmistuskustannukset ovat samalla optimissaan.

Paperin laatusuureita seurataan nykyisin lähes poikkeuksetta online-mittausten avulla. Radan yli poikkisuunnassa kulkeva mittapää mittaa asennetuista antureista riippuen yhtä tai useampaa laatusuuretta. Myös impregnaattien valmistuksessa on kiinnostuttu online-mittauksista paremman suorituskyvyn vuoksi. (Scienta Oy:n www-sivut 2013. QCS for Impregnated paper). Perinteisesti paperituotteiden laatua on todennettu asiakkaalle laboratorioanalyysiin pohjautuen, mutta jatkuvatoimisella tuotantolinjalla ei voida hyödyntää laboratoriomittausten periaatteita muutoin kuin manuaalisten referenssimittausten muodossa (Mäkelä 2003: 16, 26).

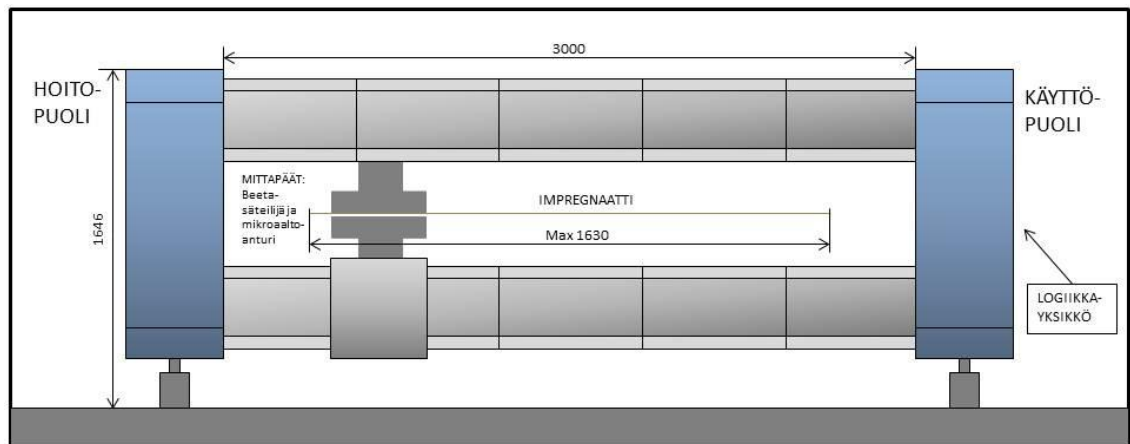


Kuva 9. Operaattori tarkkailee prosessia monitorien välityksellä. Kuvasta nähdään mittapalkin monitori-, impregnointikoneen valvontakamerat, ohjausjärjestelmä ja tehdastietojärjestelmä.

Online-laadunhallintajärjestelmän avulla saadaan minuuteissa enemmän mittaustietoa kuin manuaalimittauksilla viikossa. Lisäksi oikein säädetyn järjestelmän toiminta on jatkuvaa, korjautuu välittömästi ja huomioi automaattisesti mittauksissa ilmenneet poikkeamat asetusarvoista. (Scienta Oy:n www-sivut 2013.) Online-mittaukset perustuvat kuitenkin epäsuoriin mittausmenetelmiin, joissa laatusuureita kuvataan toisten

suureiden välityksellä. Tällainen mittausmenettely asettaa suuria vaatimuksia mittaus-
ten suorituskyvyille, sillä tuotantonopeudet ovat korkeita. Säättöpiirien toiminnassa on
väkisinkin viivettä, sillä tuotteen laatu diagnosoidaan käsin ja mittapalkilla vasta kiin-
nirullauksen yhteydessä. (Mäkelä 2003: 16.) IK4:n hartsisäädössä mittapalkin mittaus-
ten perusteella säätöjen ohjausvaikutukset kohdistetaan impregnointikoneen alkupään
nippiteloille.

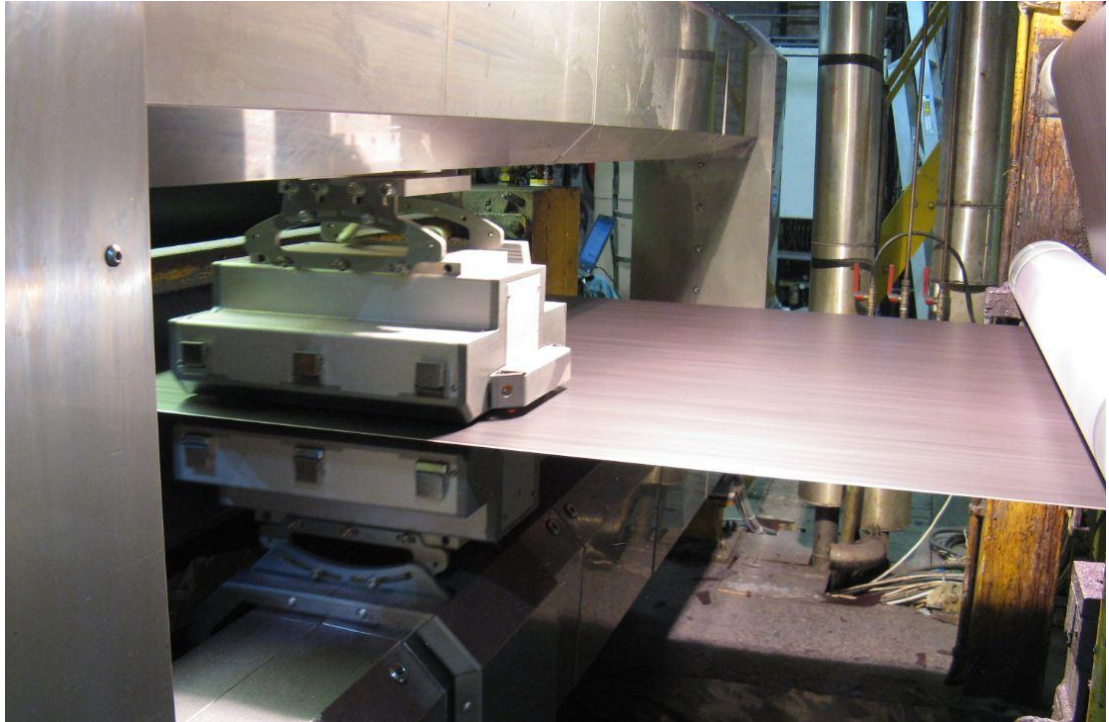
Laadun kokonaisvaihtelu voidaan jakaa kolmeen osaan. Pitkittäisprofiiliksi eli tren-
diksi kutsutaan konesuuntaista (MD) vaihtelua ja poikittais- eli radansuuntaista vaihte-
lua poikki-profiiliksi (CD). Kun pitkittäis- ja poikittaisvaihtelut vähennetään kokonais-
vaihtelusta, kutsutaan jäljelle jäänyttä vaihtelua jäännösvaihteluksi. (Mäkelä 2003:
14.) Impregnointikoneen valvomossa (kuva 9) seurataan online-mittausten poikittais-
ja pitkittäissuuntaista vaihtelua valvomomonitorilta. Uusitun järjestelmän ansiosta
tehdasjärjestelmään tallentuneet mittautulokset voidaan siirtää taulukkomuotoon esi-
merkiksi tilastollista analyysia varten.



Kuva 10. Scientia-mittapalkin mitatessa impregnaatti kulkee mittapäiden välistä. Mittapäät traversoivat poikittaissuunnassa impregnoitun paperiradan yli.

Impregnointikone 4:llä käytetään uutta Scientia System 9 -mittapalkkia, joka on suunniteltu raskaaseen teollisuuskäyttöön. Suunnittelussa on huomioitu mittaus-
ten kannalta haasteelliset korkeat kosteusolosuhteet. Laitekonstruktio on suunniteltu sellaiseksi, ettei se sisällä säännöllisesti huollettavia tai vaihdettavia osia. Mittapalkissa hyödyn-
netään standardiosia ja sisäänrakennettuna Siemensin logiikkajärjestelmää. IK4:lle asennettu mittapalkki koostuu o-mallisesta mittaraamasta, jossa on radan yli poik-
kisuuntaan edestakaisin kulkeva, traversoiva, mittapää (kuva 10). Järjestelmän sisä-
iseen tiedonkeruuseen on oma kenttävyönsä. Logiikkayksikkö on osa mittaraamia ja

asennettu käyttöpuolen runko-osaan niin, että kaikki toiminnan kannalta tärkeät osat ovat pölyltä ja kosteudelta suojassa. Scienta-laitteisto on liitetty tehdasjärjestelmään kenttäväylän avulla ja valvomoon asennettu monitori laatusuureiden tarkkailua sekä palkin etäkäyttöä ja kalibrointia varten. (Scienta Oy 2012b.)



Kuva 11. Scienta-mittapalkin mittapäät traversoivat liikkuvan paperiradan yli.

Mittaustapahtumassa impregnaatti kulkee o-mallisen mittaraamin läpi ja mittapäiden välistä (kuva 11). Mittapäiden väliin jää 13 mm rako. Mittapäiden liikkumista hallitaan itsenäisellä taajuusmuuttajaohjatulla moottorilla. Mittapähän on asennettu mitta-asanturit ja -lähettimet neliömassan ja haihtuvien mittaamista varten, minkä lisäksi niissä on impregnaatin reunan tunnistavat anturit. Tarvittaessa mittapäät saadaan erilleen puhdistusta ja huoltoa varten. Mittapäiden pölynsuojaus on toteutettu paineistamalla mittapäät sisältäpäin, mikä ehkäisee hiukkasten kulkeutumisen rakenteen sisään. Mittaikkunoiden tuotantoajon aikaisesta puhdistuksesta huolehtii ilmaveitsi, jossa poikittain paperirataan nähden asennetusta raosta puhalletaan paineilmaa. Kosteuden aiheuttamien ongelmien pois sulkemiseksi koko laitteisto on ilmajäähdytteinen. (Scienta Oy 2012b.)

3.1 Impregnaattien laatukriteerit

Vaikka impregnaatteja on valmistettu Suomessa teollisessa mittakaavassa jo 50-luvulta lähtien, puuttuu alalta oma standardisoimisjärjestelmänsä. Pitkän historian ai-

kana on silti käytännön tarpeeseen syntynyt erilaisia laadunvarmistuskeinoja. Laadunvarmistuksessa sovelletaan osin paperiteollisuuden käytäntöjä. Vaikka kaikki näistä eivät ole suoraan sovellettavissa, ovat myös seuratut suureet paperiteollisuusjohdannaisia. (Kaulio 2012.) Standardien mukaista testausta voidaan tehdä vain mittalaitteille ja pinnoitetuille levyille. Kotkamills Oy:n impregnointitehtailla on parhaiten laatua todentaviksi suureiksi valittu *hartsimäärä*, *flow* ja *haihtuvat*. Sekä online- että laboratoriomittauksissa impregnaatin neliömassaa käytetään määrittettäessä haihtuvia ja hartsimäärää. Manuaalimittaustulokset kirjataan tehdastietojärjestelmään valvomolaboratorion tietokoneen välityksellä. Raaka-aineena käytetyn voimapaperin ominaisuudet on laskennassa tähän asti oletettu vakioiksi. (Knaapi 2011: 1 - 11.)

Hartsimäärää tarkkaillaan tuotannossa tuoteominaisuuksien varmistamiseksi, sillä kalvon pääkomponentit ovat hartsi ja raakapaperi (Kettunen 2013). Haihtuvia tarkastelemalla saadaan tietoa tuotteen sisältämästä vedestä ja muista kaasuuntuvista aineista. Flow'n avulla saadaan tietoa hartsimäärän ja haihtuvien yhteisvaikutuksesta ja impregnaatin käyttäytymisestä kuumapuristuksessa. Flow määritetään laboratoriossa flow-testerillä. Testauksessa jäljitellään pinnoitustapahtumaa puristamalla kalvonäytettä vanerin pinnoitusolosuhteita vastaavassa paineessa ja lämpötilassa. Saatu tulos ilmoitetaan näytekappaleen reunojen yli puristuneena osuutena kappaleen halkaisijasta. (Knaapi 2011: 3 - 11.) Laatuksien keskinäiset painotukset vaihtelevat tuotteittain ja asiakkaittain. Seuraamalla näitä suureita valmistusprosessin aikana pyritään tuottamaan asiakasta tyydyttävää laatua ja takaamaan kohtuullinen tuotteen säilymisaika.

3.1.1 Neliömassa ja hartsimäärä

Paperituotteiden ja -jalosteiden yhteydessä neliömassalla tarkoitetaan paperin massaa grammoina neliömetriä kohden (g/m^2). Neliömassa koostuu paperin kuiva-aineista ja vedestä. Impregnaatin neliömassaan vaikuttaa raakapaperin kosteuden ja kuivapainon lisäksi valmistuksessa käytetyn hartsin määrä. Laskennan avulla voidaan tarkastella neliömassaa ilman veden vaikutusta. Siksi absoluuttisen kuivan neliömassan vaihtelut kielivät vaihtelusta lähes kaikissa paperituotteen ominaisuuksissa. Paperin lujuus ja tiiviys yleensä kasvavat neliömassan kasvaessa, mutta erilaisilla raaka- ja lisäainevaihtoilla voidaan myös parantaa näitä ominaisuuksia. Samalla painavamman tuotteen valmistukseen kuitenkin sitoutuu enemmän raaka-ainetta ja energiaa, mikä vaikuttaa

suoraan valmistuskustannuksiin. Prosessissa tärkein seurattu kriteeri ei niinkään ole neliömassan vaihtelu vaan kaikkien ominaisuuksien tasaisuus. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000: 73 - 74.)

Neliömassaa tärkeämpänä seurattuna laatusuureena impregnaattien valmistuksessa pidetään tuotteen sisältämää hartsimäärää. Hartsi on impregnaatin toinen pääkomponentti paperin lisäksi. Se antaa impregnaatille sen toiminnalliset ominaisuudet ja suurimman osan laadullisista ominaisuuksista. Paperi on valmiin tuotteen kannalta vain kantaja-aine, joka varmistaa impregnaatin lujuuden ja tietynlaisen sitkeyden. Impregnointiprosessin onnistumista määrittää parhaiten tuotteeseen impregnoituneen hartsin määrä suhteessa raakapaperiin. Toinen syy hartsin seurannalle on impregnaatin stabiilisuuden seuranta. Hartsin kulutusta lisäävät impregnoitavan paperin huokoisuus, alhainen kosteus ja neliömassa. Näiden vuoksi kulutusta seuraamalla saadaan tietoa myös raakapaperin laadusta. Hartsin määrää kontrolloimalla hallitaan laatuominaisuuksien ohella impregnaatin neliömassaa. Käytännössä riittävällä hartsimäärällä taataan impregnaatin tarttuvuus pinnoitettavaan levyyn, vaikka olosuhteiden ja komponenttien yhteisvaikutus vaikuttaa tähänkin. Tehdasjärjestelmän laatukortistossa on kullekin laadulle ilmoitettu hartsimäärän vaihtelua koskevat toleranssirajat (Kotkamills Oy:n laatukortit 2013). Impregnoituneen hartsin määrä lasketaan kalvotuotteen kuivasta neliömassasta sekä laboratorio- että online-määrittämisessä. Nykyisellään molemmissa laskentavoissa raakapaperin neliömassan ja kosteuden oletetaan pysyvän vakiona. Koneellinen määrittäminen perustuu beetasäteilyn absorptioon perusteella määritettyyn neliömassaan, josta järjestelmä laskee kuivan hartsin määrän. Laboratoriomäärittämisessä (Knaapi 2011: 3 - 9) absoluuttisen kuivan tuotteen neliömassan perusteella hartsimäärä on

$$R_d = A_d - B_d \quad (1)$$

R_d impregnaatin hartsimäärä (g/m^2)

A_d impregnaatin neliömassa kuivana (g/m^2)

B_d raakapaperin neliömassa kuivana (g/m^2).

3.1.2 Haihtuvien aineiden määrä

Haihtuvien mittauksella saadaan tietoa impregnaatin sisältämien haihtuvien aineiden ohella hartsireaktion onnistuneesta pysäyttämistä. Jotta hartsireaktio voidaan viedä

loppuun pinnoitustapahtuman yhteydessä, jätetään impregnaattiin haihtuvia aineita säilytystä ja varastointia silmällä pitäen. Vasta pinnoitustapahtumassa impregnaatti kuivatetaan kokonaan. Impregnaatti on, kuten aiemmin mainittu, puolivalmiste. Periaatteessa haihtuvien avulla havainnollistetaan impregnaatin kosteutta. Poikkeava nimitys johtuu kuitenkin siitä, että impregnaattien kohdalla ei voida suoraan puhua kosteudesta, sillä haihtuvat sisältävät veden lisäksi muitakin aineita. Fenoli-, formaldehydi- ja metanoli-jäämät tekevät haihtuvista palavan kaasun. Vettä haihtuvat aineet sisältävät kahdessa olomuodossa: vapaana vetenä ja reaktiovetenä. Reaktioveden ja vapaan veden suhde riippuu kulloinkin käytetystä prosessista eikä yleensä ole vakio. Vapaan veden osuus vaihtelee ollen lähtötilanteessa vallinneen oletuksen mukaisesti puolet tai kolmannes haihtuvien kokonaismäärästä. (Stenius 2011: 1 - 3.)

Laboratoriomittausten yhteydessä haihtuvilla tarkoitetaan melamiini- ja fenoliformaldehydihartsikyllästetyissä kalvotuotteissa tapahtuvaa massahäviötä, joka määritetään pitämällä tuotetta 160 °C:n lämpötilassa 5 minuutin ajan ja punnitsemalla tuote tämän jälkeen. Lämpökaapissa impregnaatista saadaan poistumaan myös reaktio- eli kondenssivesi. Vertaamalla erotusta alkuperäiseen tuotteen massaun haihtuvien prosentuaalinen osuus (Knaapi 2011: 3 - 9) impregnaatin neliömassasta on

$$V_m = \frac{A_m - A_d}{A_m} * 100 \% \quad (2)$$

V_m impregnaatin haihtuvat (%)

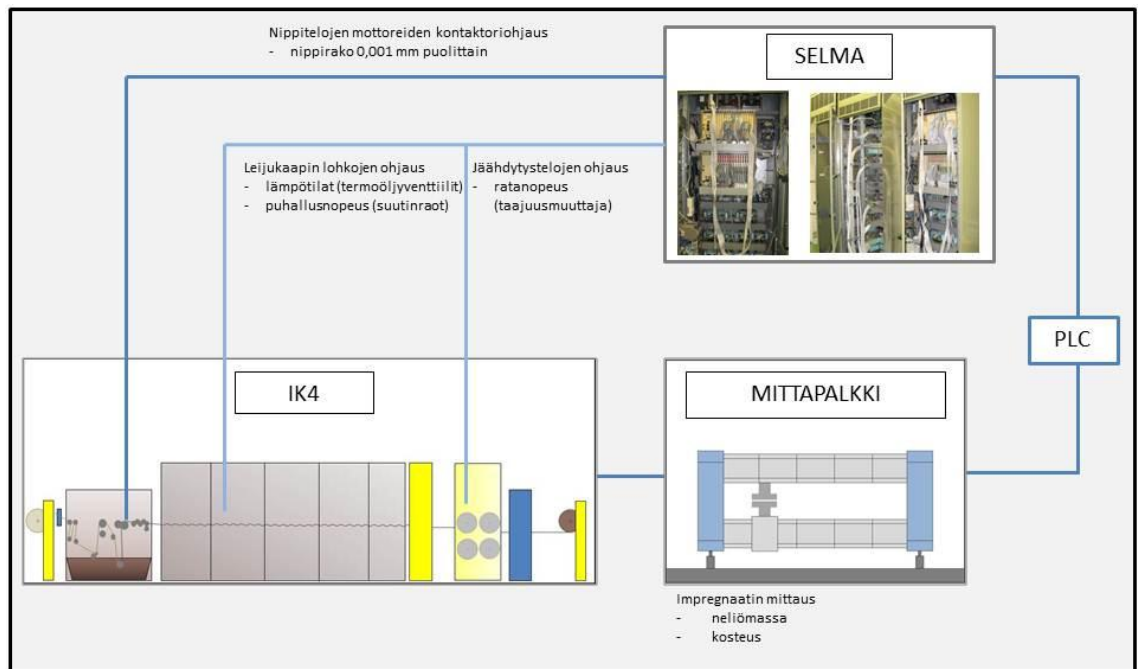
A_m impregnaatin neliömassa (g/m^2)

A_d impregnaatin neliömassa kuivana (g/m^2).

Haihtuvien online- ja laboratoriomittausten onnistumiseen vaikuttavat monet seikat. Laboratoriomittauksissa kuitenkin online-mittauksia enemmän muuttujat, kuten jäähdytyslämpötila, näytteenottoon kulunut aika ja mittaajan työskentelytapa, saattavat aiheuttaa tuloksiin vaihtelua. Tehdasjärjestelmän laatukortistossa on kullekin laadulle ilmoitettu haihtuvien toleranssit eli vaihtelua koskevat ylä- ja alarajat (Kotkamills Oy:n laatukortit 2013).

3.2 Ohjausjärjestelmä

Impregnointikoneetta ohjataan valvomoista, sillä koneen toiminta on pitkälle automatisoitua. Kone työllistää kerrallaan vain kolmesta neljään henkilöä. Ainoastaan laadun- ja rullanvaihdot sekä näytteenotto- ja häiriötilanteet vaativat jalkautumista. (Kaulio 2011: 1 - 4.) Impregnointi on prosessi- ja säätöteknisesti vaativaa. Koneella on lukuisia mittaus-, ohjaus- ja säätöpiirejä, joiden lisäksi säädettävillä suureilla on keskinäisiä riippuvuussuhteita. Valvomossa tarkkaillaan koneen toimintaa prosessimonitorien välityksellä. Koneen käyttö (kuva 12) edellyttää operaattorilta korkeatasoista laitetuntemusta ja kausaliitteiden ymmärtämistä. Valvomossa on ohjausjärjestelmällä (Strömbergin Selma Marine) eli prosessin keskustietokoneella oma monitorinsa, jonka välityksellä valvotaan ja hallitaan ajonopeutta, leijukuvaimen puhallusnopeutta ja -lämpötiloja sekä paperiradan kireyttä. Laatuksitekniikan tarkkailuun on oma diagnostiikkatietokoneensa sekä häiriöiden ja manuaalimittausten kirjaamiseen on oma monitorinsa.



Kuva 12. IK4:n laatusuureita mitataan mittapalkilla, ohjausjärjestelmänä on mittapalkkiin integroitu logiikkayksikkö (PLC) ja prosessin keskustietokone Selma, jonka kautta välitetään tieto toimilaitteelle (hartsinsäädössä nippitelat).

Jo tätä työtä aloitettaessa on hartsin automaattisäätö toteutettu suljetun säätöpiirin periaatteella ja uusi laitteisto on tehtaalla käytössä. Suljetun säätöpiirin automaattinen toiminta perustuu takaisinkytkentään tai -kytkentöihin. Takaisinkytkennällä tarkoite-

taan saadun mittausinformaation lähettämistä takaisin säätölohkolle. Säätojärjestelmän tarkoitus on saada järjestelmä toimimaan annettujen ohjeiden mukaisesti.

Asetusarvon vertauksesta säätösuureeseen käytetään nimitystä oloarvo, joka on säätösuureen hetkellinen arvo. Mittausanturi tunnustelee muutoksia järjestelmän lähtösuureessa ja muodostaa niistä anturisuureen. Anturisuure muunnetaan mittalähettimellä standardiviestimuotoiseksi mittasuureeksi. Käskyelin muuttaa sille tulevan ohjaussuureen vertailusuureeksi. Eroelin välittää vertailusuureen ja mittasuureen erotuksesta muodostetun erosuureen säätölohkolle. (Savolainen & Vaitinen 2003: 12 - 15.)

Dip-Squeeze -menetelmässä hartsin imeytymistä hallitaan säätämällä impregnointiosan telojen nopeuksia, pyörimissuuntaa, asemia, puristusaineita ja radan kireyttä. Pitoryhmän telojen pyörimisnopeudella ja -suunnalla hallitaan radan kireyttä impregnointiosassa ja leijukuivaimessa. Asetusarvo syötetään ohjausjärjestelmään pyörimisnopeuden prosentuaalisena osuutena ajonopeudesta. Järjestelmä huolehtii asetusarvon ylläpitämisestä avoimen säätöpiirin periaatteella. Paperirataa oikova radanlevitystela on moottoroitu ja sen profiilia säädetään syöttämällä ohjausjärjestelmään profiilin kokoa tai suoruutta muuttavia arvoja. Huohotustelan pyörimisnopeutta säädetään ohjausjärjestelmästä samalla periaatteella kuin muitakin telanopeuksia.

Nippirakoa voidaan säätää 0,001 mm tarkkuudella hoito- ja käyttöpuolelle erikseen. Käsiajossa operaattori syöttää järjestelmään arvot halutulle nippiraolle. Automaattiajossa mittapalkilta tullut hartsimäärän lisäys- tai vähennysviesti saa aikaan ohjausjärjestelmässä raonsäätökomennon. Tasoitusteloiden asemia voidaan muuttaa käsin ja nopeutta ohjausjärjestelmästä, mutta kolme telaa pyörii rataa vasten ja yksi on kiinteä-akselinen. Impregnointiosassa teloiden säätimenä toimii ohjausjärjestelmä, joka pitää operaattorin asettamat asetusarvot vakioina avoimen säätöpiirin periaatteella. (Kotka 2012.) Ratanopeutta hallitaan säätämällä kuljetusteloiden ja aukirullaimen karojen moottoreita, joissa taajuusmuuttaja huolehtii pyörimisnopeuden muuttamisesta automaattisesti asetusarvoa vastaavaksi.

Leijukuivaimen nopeuden säädöstä puhuttaessa tarkoitetaan suuttimista tulevan kuivaustuliman virtausnopeuden säätämistä. Lämpötilaa säädetään avaamalla tai sulkemalla termoöljyventtiileitä. Tällöin hallitaan lämmityspatterille viedyn kuuman öljyn määrää. Asetusarvo ilmaistaan ohjausjärjestelmässä venttiilin aukioloosenttina; 100 % kuvaa täysin auki olevaa venttiiliä. Lämmönhukkaa estetään säädettävillä poistoilma-

venttiileillä, joiden säätö on samantapainen. Leijukuivaimen lohkojen kiertoilman nopeuden ja lämpötilan laatukohtaiset säätöarvot on määritelty prosessin ohjausjärjestelmään tallennetuissa resepteissä. (Kotka 2012).

Operaattori huolehtii avoimen säätöpiirin periaatteella seuraavista ohjaustoiminnoista ja Selma-ohjausjärjestelmä asetuservojen ylläpitämisestä impregnointiosalla:

- hartsin imeytymisaika; paperin pujotustapa ja ratanopeus
- paperiradan suoruus ja kireys; nippirako, telojen pyörimissuunnat, -nopeudet, asemat, puristusaineet ja radanlevitystelan profiili.

Leijukuivaimella Selma-ohjausjärjestelmä ylläpitää operaattorin määräämänä seuraavia asetuservoja:

- lohkojen lämpötilat; termoöljyventtiilien aukiolo (%)
- puhallusilman nopeus ja määrä; suuttimien aukiolo (%)
- poistoilmaventtiilien aukiolo (%)
- paperiradan kireys; impregnointiosan pitoryhmän telojen ja jäähdystelosten pyörimisnopeus prosenttiosuutena ratanopeudesta (%)
- ratanopeus; jäähdystelosten pyörimisnopeus (m/min).

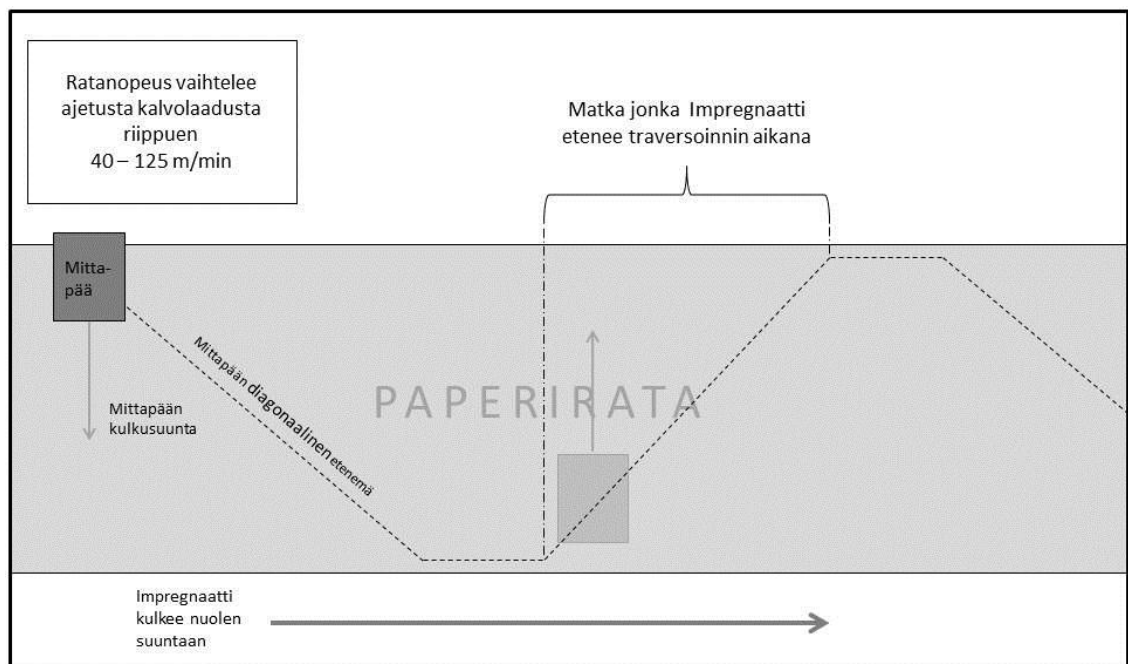
Kommunikointi uuden mittalaitteiston ja olemassa olevan ohjausjärjestelmän välillä on toteutettu mittapalkkiin integroidun logiikkayksikön avulla. Logiikkayksikkö on liitetty tehdasjärjestelmään OPC-rajapinnan kautta. OPC-rajapinta oli tehtaalla uusittu aiemmin 2000-luvulla. Ohjausjärjestelmän avoimen säätöpiirin periaatteella toimivat säädöt toimivat kuten ennenkin. Sen sijaan automaattisäätöjen vaatima laskenta toteutetaan mittapalkkiin integroidussa Siemensin logiikkayksikössä. Scientan PLC:sta ohjaustieto välitetään kenttäväylän yhdistämänä Selma-ohjausjärjestelmästä toimilaitteille. Uuden mittalaitteiston mukana hankittu käyttöliittymä välittää diagnostiikkamonitorin kautta operaattorille tärkeää tietoa prosessin muuttujista. Saadun informaation perusteella operaattori voi tarvittaessa muuttaa asetuservoja ohjausjärjestelmään.

Yhtenä laitehankinnan mahdollisuutena nähdään myös haihtuvien automaattinen, suljetun säätöpiirin ohjaus logiikkayksikön avulla. Tässäkin skenaariossa uusi laitteisto huolehtii mittauksesta ja logiikkajärjestelmä välittää ohjaustiedon Selmalle, joka automaattisesti ohjaa toimilaitteiden välityksellä prosessia toivottuun suuntaan.

Impregnointiprosessin automaatiojärjestelmä huolehtii suljetun säätöpiirin periaatteella seuraavista ohjaus- ja säätötoiminnoista:

- hartsin mittauksen perusteella nippiraon säätö
- tulevaisuudessa haihtuvien mittauksen perusteella ratanopeuden säätö.

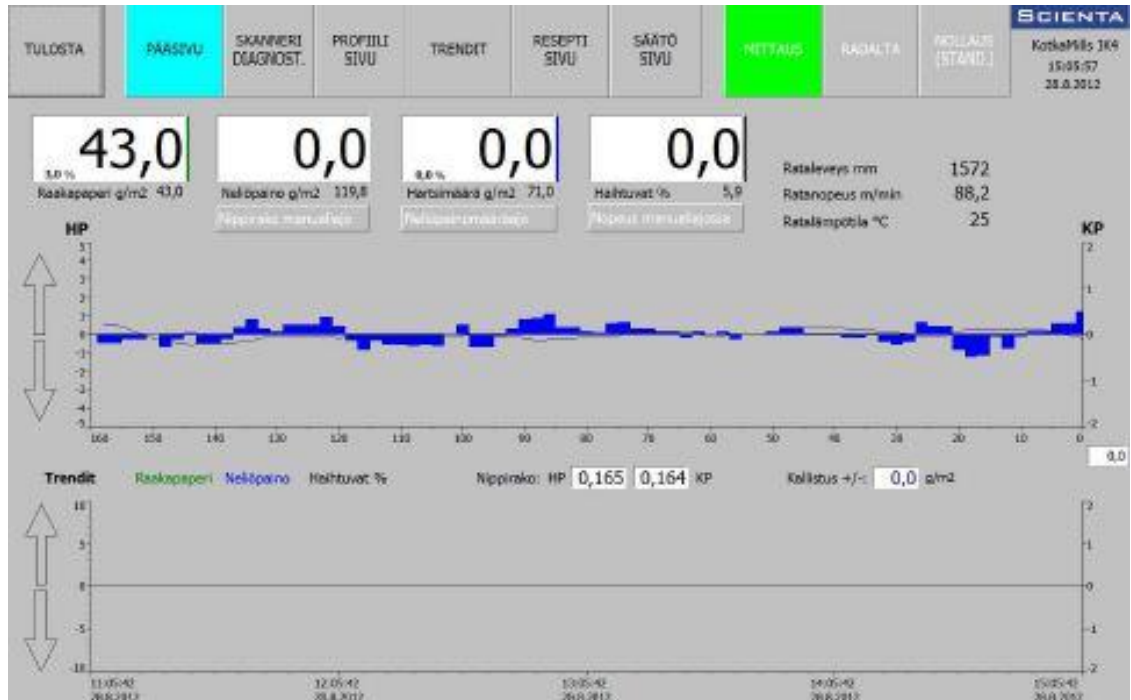
Kotkamills Oy:n IK4:lle asennetun Scienta System 9 -mittapalkin mittapäiden traversointi (kuva 13) radan yli kestää ajossa olevan kalvolaadun leveydestä riippuen noin 11 sekuntia. Kalvolaadusta riippuen rataleveys vaihtelee 1270 mm:n ja 1560 mm:n välillä, mittaraamille ilmoitettu rakenteellinen maksimileveys on 1630 mm.



Kuva 13. Mittapään diagonaalinen eteneminen liikkuvalle paperiradalle. Antureiden ilmaisema mittausprofiili on todellisuudessa enemmän pitkittäis- kuin poikittaissuuntainen.

Ratanopeus vaihtelee tuotantoajossa kalvon paksuudesta ja leveydestä riippuen 40 m/min ja 100 m/min välillä; IK4:n viritetty maksiminopeus voi olla jopa 125 m/min. Näin mittapään etenemään matkaan vaikuttaa eniten ratanopeus. Alhaisilla nopeuksilla ajettaessa mittapää etenee 7,5 m ja suuremmilla nopeuksilla 17,5 m matkan diagonaalisesti paperirataan nähden. Yhden traversoinnin ajalta mittaikkunalla saadaan tuloksia poikkisuuntaan nähden 20 mm välein. Paperiradan leveydestä ja ratanopeudesta siis riippuu, kuinka taajalti mittauksia lopulta saadaan. Paperiradan leveys vaikuttaa edettyyn matkaan vain hieman, ja siksi ajonopeus on tässä merkityksellisin muuttuja. Tulokset tallentuvat järjestelmään 20 s välein kahden traversoinnin ajalta niin, että

viimeisimmän traversoinnin mittausten keskiarvoa suodatetaan edellisen traversoinnin keskiarvolla (moving average). Tätä arvoa käytetään myös säätösignaalin perusteena.



Kuva 14. Diagnostiikkamonitorin profiilinäkymän avulla voidaan seurata tärkeimpiä laatusuureita ajon aikana (Scienta Oy 2012a: 6).

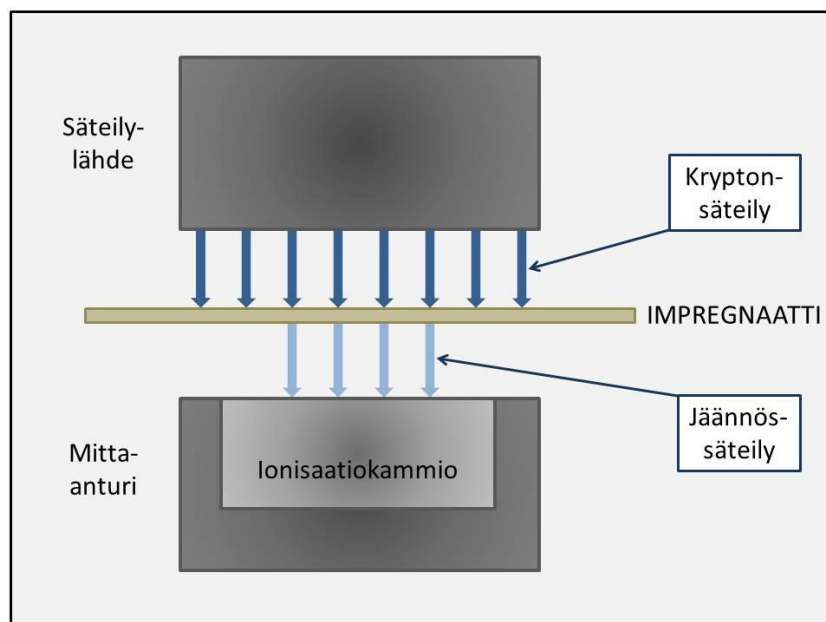
Diagnostiikkamonitorin ylälaitaan (kuva 14) hetkellisarvot päivittyvät yhden sekunnin välein. Traversoinnin ajalta saadut mittausravot nähdään reaaliaikaisina valvomonitorilta radan poikkiprofiilina, jossa yksi pylväs kuvaa yhtä suodatettua mittaustulosta. Todellisuudessa poikkiprofiilina nähty trendi antaa totuudenmukaisemman kuvan radan pitkittäissuuntaisesta vaihtelusta, sillä mittapää liikkuu hitaasti suhteessa liikkuvaan paperirataan (kuva 13). Tuloksia suodattamalla tasataan radan suuntaista liukumaa tuloksissa, sillä erikseen määritettävä säätöväli voi olla esimerkiksi 200 metriä. Ohjausviiveeseen vaikuttavat säätöväli, kuollut aika ja ajonopeus. On tärkeää, että säätöväli määritetään riittävän suureksi, jotta laitteisto ehtii tehdä analyysin edellisen säädön seurauksista ennen seuraavaa säätötoimenpidettä.

Diagnostiikkänäkymä valvomon monitorille (kuva 14) muodostuu poikkiradan mittauspisteistä. Profiilinäkymällä havainnollistetaan viimeisimmän traversoinnin hartsimäärän jakaumaa poikittaissuunnassa. Yksi pylväs kattaa 20 mm alueen ratalevyydestä. Siten poikkisuuntainen erottelukyky, eli resoluutio, on teoriassa 20 mm. Tällöin 1600 mm leveän radan mittaukset näkyvät siis 80 pylväänä. Haittuvien trendi nähdään monitorille piirtyvänä käyränä. Näkymää voidaan skaalata profiilin laidoissa

nähtävillä nuolilla. Alemman trendin avulla voidaan tarkastella laatusuureita pidemmällä aikavälillä. Sivun ylälaudassa näkyvät seurattujen laatusuureiden keskiarvoistetut tulokset. Skanneridiagnostiikka-sivulla voidaan tarkastella laatusuureiden hetkelisarvojen lisäksi mittapään olosuhdetietoja.

3.3 Hartsimäärän mittaus ja säätö

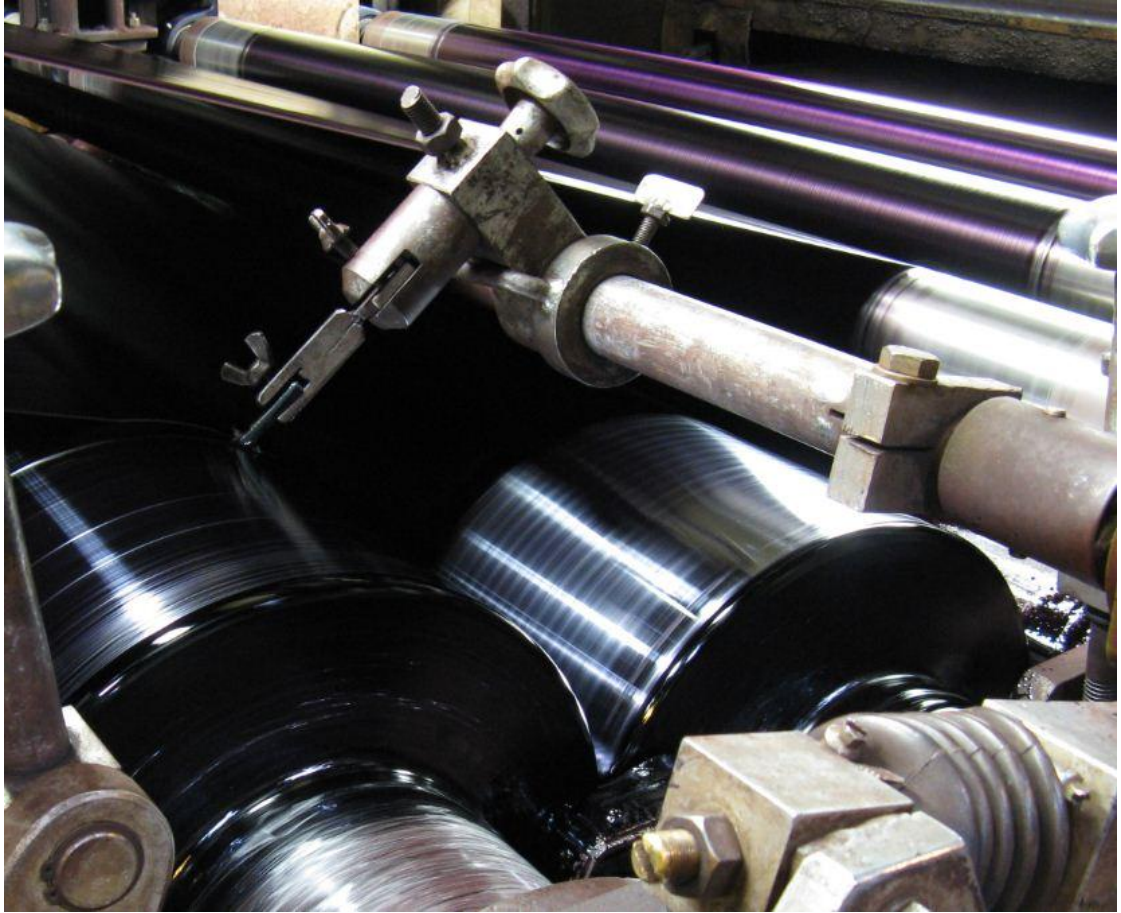
Hartsimäärä lasketaan neliömassasta. Neliömassan mittaaminen radioaktiivisella beetasäteilyllä perustuu paperituotteen läpi tunkeutuneen jäännössäteilyn mittaamiseen. Poikittain paperiradan yli kulkeva mittapää kuljettaa radan yläpuolista säteilijää ja vastakkaisessa kohdassa radan alapinnalla mitta-anturia. Anturi mittaa säteilyn vaimenemista. (Karhuketo ym. 2004: 33 - 34.) Osa tuotteeseen kohdistetusta säteilystä läpäisee sen ja osa absorboituu sen kuituihin ja täyteaineisiin (kuva 15).



Kuva 15. Neliömassa-anturin mittausperiaate hyödyntää radioaktiivisen ^{85}Kr -säteilyn vaimenemista.

Mittapään kaasutäytteisessä ionisaatiokammiossa on mittauselektrodi, jonka ilmaisimelle joutuneet elektronit aiheuttavat ionisoitumisen. Kammion kaasumolekyylit ionisoituvat siis impregnaatin läpäisseen jäännössäteilyn vaikutuksesta. Kammioon synnytetty sähkökenttä aiheuttaa ionisoitumiseen verrannollisen sähkövirran, jonka elektronit ja ionit kulkeutuvat elektrodille. Elektrodeille siirtyminen saa aikaan signaalin, josta saatu nanoampeerialueen mittausviesti vahvistetaan ja suodatetaan. Käsitelty signaali muunnetaan analogisesta digitaaliseksi. (Mäkelä 2003: 26 - 30.) Anturin si-

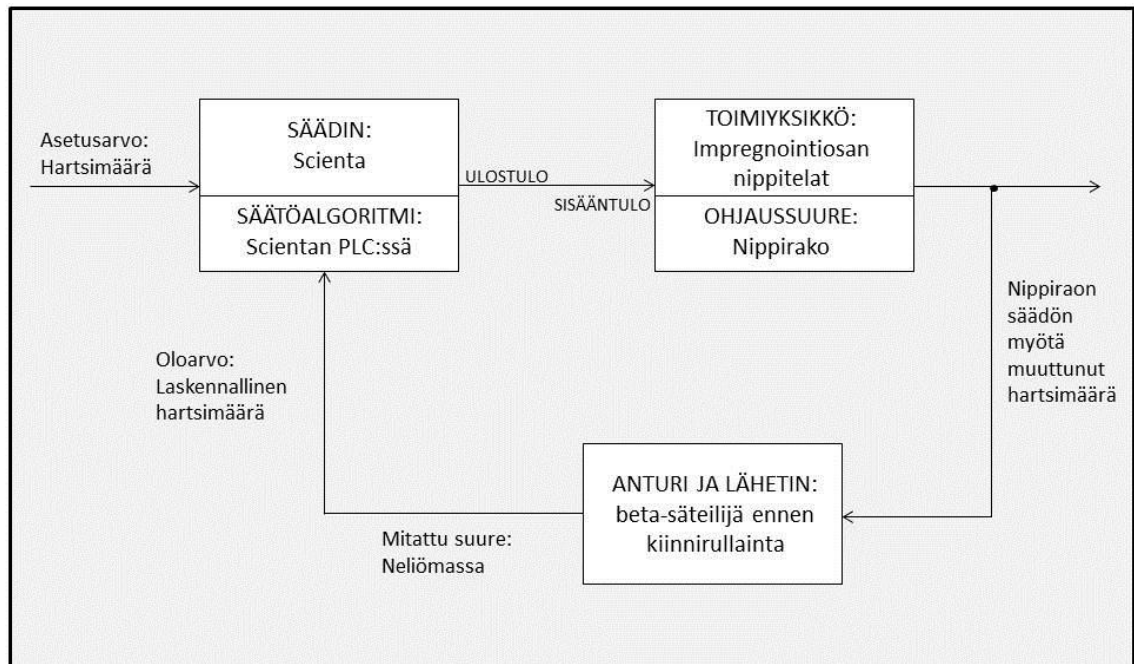
säinen prosessori tekee signaalimuunnoksen, suodattaa ja linearisoi tuloksen ja välittää sen kenttäväylän kautta laatumittausjärjestelmään (Scienta Oy:n www-sivut 2013).



Kuva 16. Nippitelojen välistä kulkeutuvaan paperiin saadaan laadullisesti haluttu määrä hartsia ja samalla ylimääräinen hartsi puristuu pois. Keskivasemmalla myös reunakaavain, joka poistaa impregnaatin reunasta ylimääräisen hartsin.

Impregnointikoneen automaattiajossa ohjausjärjestelmä säätelee mitatusta neliömassasta määritetyn hartsimäärän perusteella nippirakoa (kuva 16). Neliömassaan vaikuttavat tällä säätöperiaatteella raaka-aineena käytetyn voimapaperin kosteuden ja neliömassan ohella hartsin annostelu ja lopputuotteen kosteus. Hartsimäärän säätämiseksi on reseptissä (Kotkamills Oy:n laatukortit 2013) määritetty laatukohtainen asetusarvo, jonka laitteiston automaattikäyttö pyrkii toimilaitteita säätämällä pitämään. Säätöä tarkasteltaessa voidaan todeta mitatun neliömassan olevan tulosuure ja laskennallisen hartsimäärän ohjaussuure. Säädon tilasuureita ovat hartsipanoksen ikä ja viskositeetti sekä raakapaperin ominaisuudet. Säätoalgoritmeilla pyritään pitämään järjestelmän tila stabiilina ja lähtösuure määrättyssä ohjeellisessa arvossaan ohjaussuuretta muuttamalla.

Automaattiajossa mittapalkin logiikkayksikössä määritetty, poikkeamaan suhteutettu ohjaussignaali välitetään ohjausjärjestelmän lähettämänä nippitelojen moottoreille. Mikäli oloarvo poikkeaa asetusarvosta enemmän kuin 2 g/m^2 , antaa logiikka ohjausjärjestelmälle säädön vahvistukseen suhteessa olevan uuden asetusarvon. Erotuksen ollessa pienempi kuin 2 g/m^2 antaa logiikka ohjausjärjestelmän välityksellä kiinteän pulssin nippirakomoottoreille. (Scienta Oy 2012a: 5.)



Kuva 17. Automaattiajossa hartsinsäätö tapahtuu mittaustakaisinkytkennän avulla.

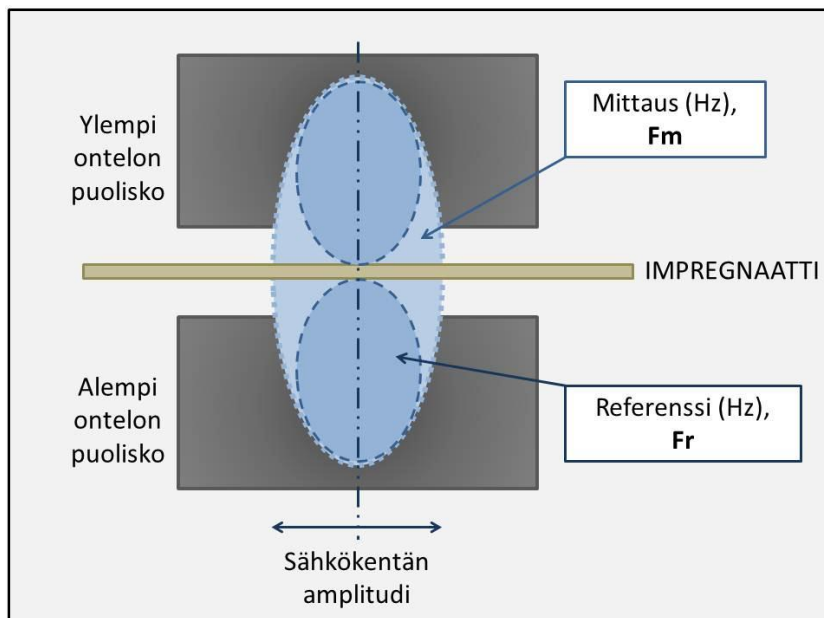
Säädön ”kuollut alue” määrittää pienimmän poikkeaman asetusarvosta, johon systeemi ei reagoi säätökomennolla. Säädön kuollut alue voidaan määrittää järjestelmään Scienta-diagnostiikkatietokoneen säätösivun kautta. Samalla sivulla voidaan hallita säätöväliä eli sitä, kuinka monta metriä paperirata etenee säätöjen välillä. (Scienta Oy 2012a: 5.) IK4:n hartsin automaattiajossa on kyseessä suljettu säätöpiiri (kuva 17), jossa logiikkajärjestelmän säätöalgoritmi laskee mittaustuloksen perusteella ohjausjärjestelmälle ohjauskomennon, josta tieto välitetään edelleen nippiraon moottoreille. (Vakkari 2012.)

3.4 Haihtuvien mittaus ja säätö

Aiemmin haihtuvien seuranta on tehtaalla perustunut tuotantoajossa tehtyihin manuaalimittauksiin. Tällöin säännöllisesti otetusta näytteestä on määritetty valvomon pienoislaboratoriossa haihtuvat, hartsimäärä ja flow. Tähän saakka haihtuvien säätämi-

sestä on huolehdittu siis manuaalimittausten perusteella. Manuaalimittauksen perusteella on säädetty ajonopeutta ja leijukuivaimen lämpötiloja halutun haihtuvaton saavuttamiseksi. Tavoitteena on kuitenkin haihtuvien säädön automatisoiminen, kun mittausten suorituskyvystä saadaan varmuus. Tehtaalle asennettuun uuteen mittapalkkiin on asennettu mikroaaltoanturi, jonka suorituskyky pyritään tässä työssä varmentamaan.

Impregnaattien kosteuden määrittäminen on mittausteknisesti haastavaa, ja uusi mikroaaltomenetelmä poikkeaa paperituotteiden kosteusmittauksissa perinteisesti käytetystä infrapunamittauksesta (Stenius 2011: 1 - 3). Mikroaaltomittauksen edut infrapunamittaukseen nähden perustuvat mikroaaltojen parempaan aineenläpäisevyyteen. Mikroaaltotekniikan hyödyntäminen mittauksissa perustuu materiaalien dielektrisiin ominaisuuksiin ja mitattavalle aineelle määritettyyn dielektrisyysvakioon. Yksinkertaistettuna kuivempi aine läpäisee mikroaaltoja märkää ainetta enemmän. Tämä puolestaan perustuu veden säteilyabsorptioon (Figiel ym. 2010: 53.) Lämpötila vaikuttaa mittaustulokseen aineeseen sitoutuneen veden vuoksi, mutta vaikutusta voidaan vähentää mittalaitteen virityksellä tai vakioimalla mittaolosuhteet (Scienta Oy 2012c).



Kuva 18. Dielektrisyteen perustuvassa mittausmenetelmässä käytetään referenssitaajuutta, jotta mittaus saadaan riippumattomaksi lämpötilamuutoksista (Figiel ym. 2010: 54).

Vedellä on selluloosaa korkeampi dielektrisyysvakio, joten paperituotteen kosteutta voidaan mitata sen dielektrisyiden perusteella. Työssä tutkitun mikroaaltoanturin (Microwave Cavity Resonator) resonanssitaajuuksista yksi aistii muutoksia dielektri-

syydessä ja tuotteen koostumuksessa, toinen puolestaan toimii referenssitaajuutena (kuva 18). Taajuuksien erotus on suoraan verrannollinen tuotteen sisältämään vesimäärään. Mittausanturissa on sisäänrakennettu prosessori, joka huolehtii signaali-muunnoksesta ja suodatuksesta. Anturin käsittelemä arvo välitetään laatumittausjärjestelmään. Kun saatua arvoa verrataan logiikkayksikössä neliömassamittauksen arvoon, saadaan kosteus ilmaistua prosenttiosuutena. Tämä mahdollistaneet tulevaisuudessa helpon valvonnan ja automaattisen kuivauksenhallintaprosessin. Referenssitaaajuuden ansiosta mittausprosessi saadaan riippumattomaksi ympäristön lämpötilamuutoksista (Scienta Oy 2012c).

Mikroaaltoanturin suorituskykyyn eivät vaikuta paperituotteen väri, lisäaineet tai paksaus. Toisaalta joidenkin lisäaineiden omilla dielektrisyysominaisuuksilla, esimerkiksi kuviopainatuksella, saattaa olla vaikutusta mittaustuloksiin, mutta tätä voidaan vähentää kalibroinnin avulla. (Stenius 2011: 3.) Impregnaateista fenoliformaldehydihartsilla kyllästetyt tuotteet ovat melamiinihartsikyllästettyjä vaikeampia mitattavia. Samoin hyvin tummat kalvot absorboivat kosteussignaalia tehokkaasti ja ovat siksi mahdottomia paperin läpäisevän infrapunamittauksen kannalta. (Stenius 2011: 1 - 3.)

Haihtuvia säädetään muuttamalla ratanopeutta ja leijukuivaimen lämpötiloja, joiden arvot on määritelty laatukohtaisissa resepteissä (Kaulio 2011: 3). Nopeus- ja lämpötila-arvoja muuttamalla kontrolloidaan impregnaatista kuivatuksen aikana kaasuntuvi-
en aineiden määrää. Mitä hitaammin impregnaatti kulkee leijukuivaimessa, sitä pidempään se on alttiina lämmön vaikutukselle ja sitä kuivempaa se on kuivauksesta tullessaan. Samalla periaatteella korkeammat leijukuivaimen lämpötilat nopeuttavat haihtumista ja teoriassa vaativat ajonopeuden kasvattamista. Ajonopeuksien säädössä on kuitenkin huomioitava lämpötilan lisäksi muun muassa ajetun kalvolaadun paksuus ja leveys sekä hartsipanoksen ikä ja viskositeetti. Se, kuinka suuri nopeuden muutos haihtuviin vaikuttaa, riippuu ajetusta kalvolaadusta sekä edellä mainituista seikoista. Operaattorin kokemus on tähän asti ollut ratkaiseva tekijä laadun toteutumisessa, sillä vaihtelevat ajo-olosuhteet ja usein toistuvat laadunvaihdot vaativat jatkuvaa näytteenottoa, ajoparametrien seuranta ja säätämistä.

4 UUDEN MITTALAITTEISTON HANKINTA

Tehtaan tutkimus- ja kehitystyön tavoitteina voidaan pitää tuotetun laadun parantamista laadunhallintaa modernisoimalla. Nämä tavoitteet voidaan tässä työssä edelleen jakaa neljään osa-alueeseen, joita ovat käyttöönottovaiheiden raportointi, mittaus- ja säätötekniikan suorituskyvyn optimointi sekä hankinnan kannattavuuden varmentaminen teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Uuden laitteiston mittauksia analysoimalla halutaan varmistaa mittalaitteiston suorituskyky osana impregnointikoneen säätöjärjestelmää. Toiminnan laadullisena tavoitteena puolestaan pidetään laatukriteerit täyttävää stabiiliä tuotetta, jonka valmistukseen sitoutuneiden kustannusten määrä on optimoitu. Täten laitehankinnan kannattavuutta mitataan tuotannon tehostumisen ja laadun parantumisen ohella taloudellisesta näkökulmasta laskemalla laitteistolle takaisinmaksuaika.

Prosessin suorituskykyä voidaan arvioida monella tavalla, mutta tärkeimpänä pidetään tuotteen laadun stabiilisuutta. Stabiili laatu kielii prosessin onnistumisesta siinä missä raaka-aineiden ja energian hallitusta käytöstäkin. Stabiilisuus käsitteenä on kuitenkin moniselitteinen. Puhuttaessa laadun stabiilisuudesta kuvataan tuotannon onnistumista. Mittalaitteiston stabiilisuus on osa tätä, mutta samanaikaisesti sitä voidaan kuvata mitausten toistettavuudella ja uusittavuudella (Mäkelä 2003: 50). Myös mittalaitteiston stabiilisuuden tutkiminen on aiheellista, kun varmennetaan hankinnan kannattavuutta antureiden suorituskyvyn perusteella.

4.1 Kenttäinstrumentointiin liittyvät vaatimukset

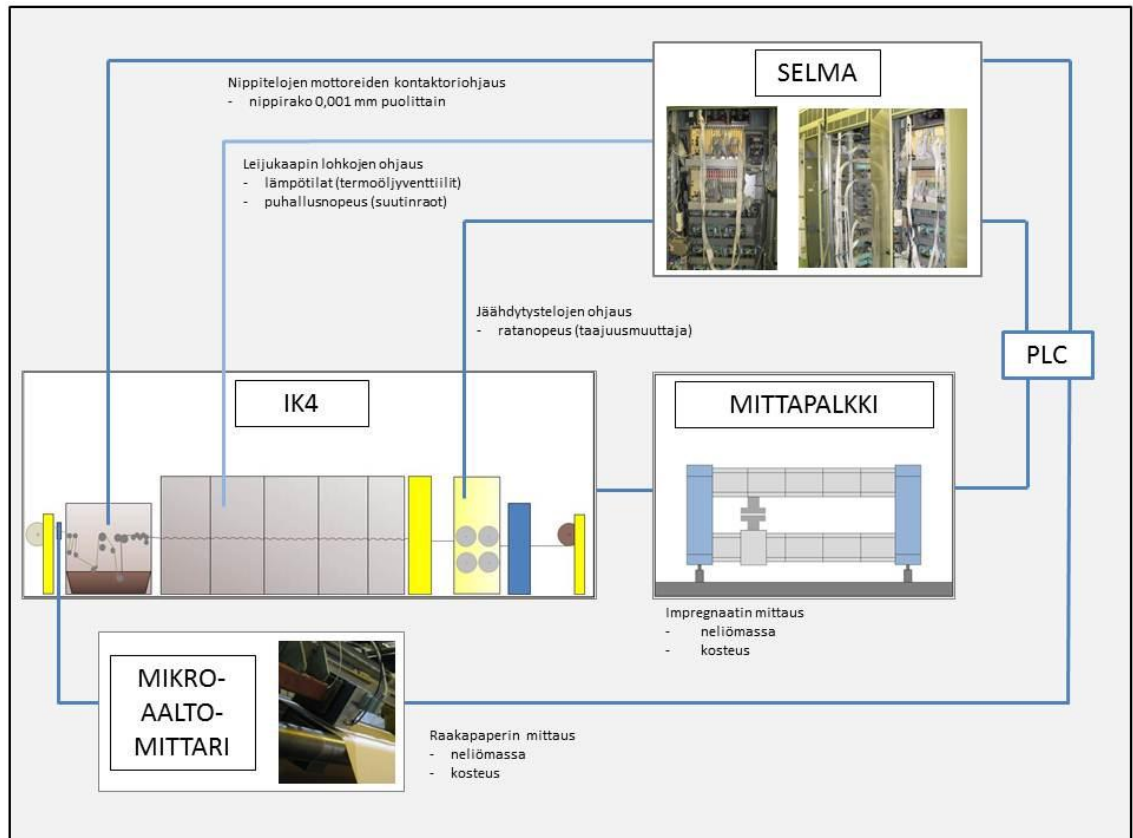
Automaation ja mittaustekniikan kehityksen myötä voidaan laadunhallintajärjestelmien käytöllä alentaa tuotantokustannuksia ja nostaa laatutasoa. Laadun online-tarkkailu on liian pitkään ollut enimmäkseen lopputuotteen tarkkailua, jolla on todettu tuotetun laadun stabiilisuus ja asiakaskriteereiden täytyminen. Tällä tavoin lopputuotetta tarkkailemalla on varmennettu koko prosessin onnistumista. (Metsäteollisuuden Työntajaliitto 1981: 31.) Lopputuotteen laatu indikoikin koko prosessin onnistumista hyvin, mutta jo valmistuneen tuotteen laatua ei testaamalla voida enää parantaa (Karhuketo ym. 2004: 27). Laadusta vastaa viime kädessä koneenhoitaja, jonka apuvälineeksi mittalaitteisto on hankittu. Tuotantoajossa tehtävää antureiden kalibrointia halutaan vähentää tulevaisuudessa. Tähän saakka kalibrointia on tehty tarpeen tullen tuotantoajan aikana.

Hajauttamalla laaduntarkkailua ja sijoittamalla mittaavaa laitteistoa myös koneen alkupäähän voidaan tarkkailla ennaltaehkäisevästi raaka-aineita ja prosessia. Tällä pyritään ohjailemaan prosessia kriteerit täyttävän lopputuotteen synnyttämiseksi. Toisaalta jalostusteollisuuden raaka-aineiden laaduntarkkailuna voidaan pitää myös spesifikaatioita, laatusopimuksia ja pistokoetarkastuksia, joita tehdään impregnointitehtaalla esimerkiksi raaka-aineena käytetylle voimapaperille. Tällainen toiminta perustuu keskinäiseen luottamukseen siitä, että kukin toimintaketjun osa pyrkii hoitamaan osuutensa kunnolla ja raportoimaan, mikäli tuotannossa on havaittu poikkeamia. Menetelmä säästää työtä ja kustannuksia, muttei poista virheen mahdollisuutta, vaikka vähentää sen todennäköisyyttä. Prosessin raaka-aineita tarkkaileva mittaus- ja säätöjärjestelmä voi edelleen auttaa vähentämään tätä todennäköisyyttä ja varmentamaan sopimusten pitävyyttä. (Karhuketo ym. 2004: 26.)

Online-mittausantureilta edellytetään hyvää stabiilisuutta ja mekaanista kestävyyttä olosuhteiden vaihtelusta ja vaativuudesta riippumatta. Niiden tulee olla helposti ja nopeasti huollettavia sekä kooltaan mahdollisimman pieniä. Ne eivät myöskään millään tavalla saa häiritä tuotantoajoa. Laitteiston stabiilisuudella tarkoitetaan sen kykyä ylläpitää tarkkuutensa ajan kulumisesta, ajetusta laadusta ja olosuhteiden muutoksista huolimatta. Mittalaitteiston virityksen tulee olla sellainen, että siltä saadaan johdonmukaisesti mahdollisimman oikeaa tietoa säätöjärjestelmälle. Mittareiden suorituskykyä voidaan todentaa monella tavalla. Varsinaista standardointia ei ole olemassa. (Mäkelä 2003: 26, 49.) Tuotannon kannalta on kuitenkin olennaista tietää, että automaattiseen mittaus- ja säätöjärjestelmään voidaan luottaa. Laitteiston on annettava tarkka tieto juuri siitä suureesta, jota halutaan mitata. Laitteen tarkkuus on kuitenkin käsitteenä kvalitatiivinen, eikä sillä ole suuren luonnetta. Kvantitatiivinen virheettömyys ilmaistaan mittausten epätasaisuutta kuvaavien käsittein, puhutaan mittausepävarmuudesta. Mittausepävarmuus sisältää systemaattisen virheen lisäksi muita epävarmuuskomponentteja. Jos näitä ei korjata, puhutaan mittausepävarmuudesta. (Aumala 2000: 157.)

Kotkamills Oy:n Kotkan impregnointitehtaan IK4:lla käyttöön otettu Scienta System 9 -mittalaitteisto sisältää kolme mitta-anturia, joista kaksi on sijoitettu lopputuotetta tarkkailevaan mittapalkkiin (kuva 19). Tuotteen sisältämän hartsin määrityksessä käytetty beetasäteilijä hyödyntää mittauksessa radioaktiivista säteilyä, samoin kuin koneella aiemmin käytössä ollut Roibox-mittalaite. Kuvasta nähdään myös raaka-aineen

tarkkailua varten hankittu mikroaaltoanturi. Kuvan mukaisesti toteutettu, laajemmin automatisoitu, laadunhallintajärjestelmä vähentäisi operaattorin työtaakkaa. Avoimen säätöpiirin periaatteella säädettäviksi jäisi näin ollen aiempaa vähäisempi määrä toimilaitteita. Tässä työssä beetasäteilijän ohella halutaan todentaa mittapalkkiin asennetun mikroaaltoanturin suorituskykyä. Anturi hyödyntää uudenlaista mittaustapaa impregnaattien mittaamisessa.

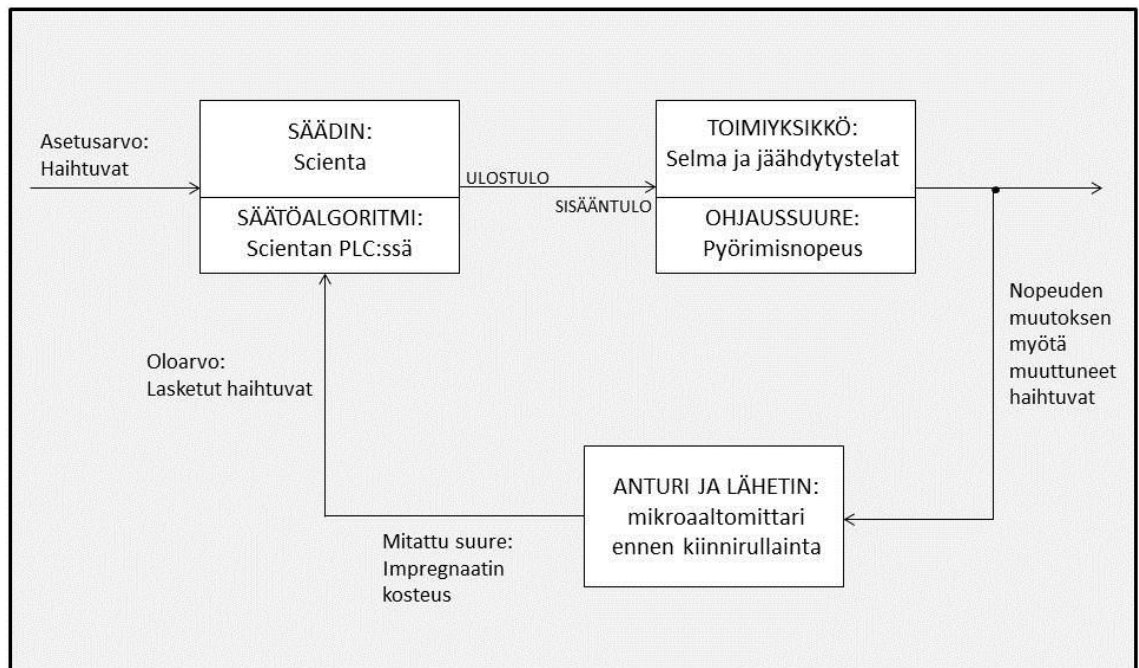


Kuva 19. Laitteiston modernisoinnilla tavoitellaan laadunhallinnan hajauttamista prosessin alku- ja loppupäähän. Hartsin automaattisäätö toteutetaan nippirakoa ja haihtuvien säätö ratanopeutta muuttamalla.

4.1.1 Beetasäteilijä impregnaattien mittaamisessa

Tehtaalla aiemmin käytössä olleella vanhalla laitteistolla laatusuureiden online-tarkkailussa keskityttiin pääasiassa hartsimäärän mittaukseen ja säätöön. Vanha järjestelmä ei enää pystynyt vastaamaan tuotannon tehostamistarpeisiin, minkä lisäksi teknisen tuen ja varaosien saatavuus oli ajan myötä heikentynyt. Tärkeimpänä tuotannon tehostamistarpeena nähdään ajonopeuksien ja ylösajoaikojen nopeuttaminen. Lisäksi laadunhallintaa haluttiin tarkentaa niin, että kilpailukyky muihin valmistajiin nähden paranee. Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena onkin uuden ja vanhan mitta-

tä, että mittauksiin voidaan luottaa ajetusta kalvolaadusta riippumatta. Haihtuvien suorituskäytännön mittaamisen myötä voitaneen onnistuneesti muodostaa säätöpiiri (kuva 20) ratanopeuden ja haihtuvien välille niin, että haihtuvien säätö saadaan automatisoitua tuotannossa ja laadun ylösajossa. Haihtuvien säätimen tulosuurena on asetusarvosta vähennetty oloarvo (lasketut haihtuvat). Haihtuvien määrää pyritään säätämään ensisijaisesti ratanopeuden avulla (kuvassa ohjaussuure). Leijukuivaimen lohkojen lämpötilat pyritään pitämään vakiona. Automaattisäädöllä pyritään pitämään järjestelmän tila stabiilina ja tarkkailtu suure määrättyssä ohjeellisessa arvossa.



Kuva 20. Haihtuvien säätämiseksi ratanopeuden avulla muodostetaan säätöpiiri.

Kuvan mukaisesti muodostettu säätöpiiri hyödyttäisi hartsin automaattisäätöä, sillä online-tietona järjestelmään välittyviä haihtuvia käytetään systeemissä yhtenä muuttujana hartsimäärän laskennassa. Määritetyn hartsimäärän perusteella puolestaan säädetään nippirakoa, jonka avulla tuotteeseen saadaan haluttu määrä hartsia. Haihtuvien automaattisäädön eräänä mahdollisuutena nähdään se, että hyvin toimivan automaattisäädön myötä stabilisoituvat haihtuvat vähentäisivät hajontaa myös hartsimäärän automaattisäädössä. Lisäksi vähentynyt tarve leijukuivaimen lämpötilojen ajon aikaiseen säätelyyn vähentänee prosessiin sitoutuvan lämpöenergian tarvetta ja on yksi elinehto mikroaaltomittaustuloksen ja haihtuvien korrelaation löytymiselle.

Mittaraamiin sijoitetulla mikroaaltoanturilla voidaan mitata haihtuvien lisäksi valmiin tuotteen neliömassaa. Mittausmenetelmä voi onnistuessaan korvata radioaktiivisen sä-

teilylähteen käytön neliömassan mittaamisessa ja näin parantaa laitteen kanssa työskentelevien työturvallisuutta ja helpottaa anturin kunnossapitoa. Nykyisen radioaktiivisen säteilylähteen käyttö edellyttää kontrolloitua dokumentointia, minkä lisäksi säteilijän hankinta- ja hävitysprosessi lisää kustannuksia. Siirtyminen mikroaltoaanturin käyttöön voi tulevaisuudessa olla myös yrityksen imagon kannalta hyvä asia.

4.2 Investoinnin kannattavuus

Teollisuudessa toimitaan aina pitkällä tähtäimellä. Toiminnassa tavoitellaan koneajan myymistä mahdollisimman tehokkaasti, sillä tehdas saa rahaa vain myydyistä tuotteista. (Karhuketo ym. 2004: 25.) Tuotannon kannattavuutta alentavat yleensä tuotantolinjan häiriöt, hylkylaatu, asiakkaiden tyytymättömyys sekä raaka-aineen ja energian kulutus. Tapa, jolla määrällisiä ja laadullisia voimavaroja käytetään markkinoiden tehokkaassa hyödyntämisessä ja kilpailukyvyn kasvattamisessa, määrittyy strategian kautta. Kulloiseenkin tilanteeseen sopivien strategisten toimien tunnistaminen vaatii taidokasta ajattelua eikä onnistu kaavamaisten menetelmien avulla. Rohkeiden siirtojen taustalla voi olla ajatus siitä, ettei kilpailua voiteta pelkällä puolustautumisella. (Pellinen 2003: 286.)

Strategisen ajattelun avulla suhteutetaan erilaatuisia tietoja keskenään. Yritysjohdon päätöksenteossa sillä ja kannattavuuslaskelmilla on merkittävä yhteys. Molemmissa käsitellään tärkeitä, pitkälle tulevaisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Investointilaskelmat nähdään strategisen suunnittelun eräänä muotona. Molemmissa tavoitellaan yrityksen edun mukaisten toimintojen määrittelyä. Tärkeänä erona tuotannon strategiseen ajatteluun verrattuna kannattavuuslaskelmissa edellytetään kvantifiointia. Asiat halutaan numeeriseen muotoon, jotta niitä voidaan tarkastella objektiivisesti. Strategista perustelua voidaan käyttää kannattavuuslaskelmissa kvantifioinnin taustalla, kun määritetään toiminnan kehitykselle numeerista arvoa. Laskentaa hyödynnetään strategisen päätöksenteon apuna tuottamassa määrällistä ja etenkin rahamääräistä tietoa päätöksentekijöitä kiinnostavista asioista. Laskennalla on myös tärkeä tehtävä realististen rajojen asettajana. (Pellinen 2003: 284 - 287.) Investoinnin kannattavuuden selvittämiseksi on olemassa useita yleisesti tunnettuja menetelmiä. (Haverila ym. 2009: 199 - 205.)

Tiedetään, että yksittäisten tuotantolaitosten taloudellisen suorituskyvyn arviointiin vaikuttaa eniten tuotannon mittakaava. Tuotantolaitoksen liikevaihto on suurin lai-

teinvestointeihin vaikuttava tekijä, ja siksi kokonaisinvestoinnin kannattavuutta määrittää parhaiten investoinnin takaisinmaksuaika. Hankittu laitteisto maksaa itsensä takaisin vain, jos investoinnille on olemassa taloudelliset perusteet. Tuotannon tärkein tehtävä on ottaa laitteistosta kaikki hyöty irti. Käyttämällä konetta käytettävissä olevaan aikaan nähden mahdollisimman tehokkaasti asiakasta tyydyttävän laadun tuottamiseen taataan korkein mahdollinen takaisinmaksu laitteistoon sidotulle pääomalle. (Karhuketo ym. 2004: 25.)

Prosessin monien muuttujien ja osaprosessien toisistaan erillisten mutta keskenään vuorovaikutuksessa olevien hallintamenetelmien vuoksi on mittalaitteiston mukanaan tuomien hyötyjen arviointi haastavaa. Online-laadunhallinnalla kontrolloidaan prosessin kriittisimpiä osa-alueita, mutta prosessin kokonaishallinta on viime kädessä tuotantohenkilökunnan tekemistä ratkaisuisista riippuvainen. Toisaalta aikaisemmin IK 4:n automatisointi rajoittui lopputuotteen perusteella tehtyyn hartsimäärän säätöön, minkä lisäksi manuaalimittausten perusteella operaattori huolehti niinkin kriittisen asian kuin haihtuvien säätämisestä. Tällöin mahdollisten ongelmien ennakointi riippui henkilökunnan valppaudesta. Uuden laitteiston mukanaan tuomien mahdollisuuksien toimivuutta tässä prosessissa halutaan selvittää ja samalla varmentaa parannusten toteuttaminen. Uudistusten myötä pysyviksi muuttuvien toimintatapojen ja rakenteiden pitäisi näin tukea strategisia toimia.

Tuotannon näkökulmasta prosessilaitteiston toimivuudelle asetetaan korkeita odotuksia. Prosessin hallinnan kannalta on säätöjärjestelmän tärkein tehtävä saada säädettävä järjestelmä toimimaan sille annettujen kriteerien mukaisesti. Online-mittausten yleisinä tasovaatimuksina pidetään vikojen ja häiriöiden jäljittämisen ohella antureiden automaattista kalibrointia, mittaustulosten tarkastelumahdollisuutta pitkällä ja lyhyellä aikavälillä pitkittäis- ja poikittaissunnassa sekä mittausten nopeutta ja riittävää edustavuutta tarkkailun ja säätötoimintojen perustana sekä korkeaa käytettävyysastetta. Laitteisto ei myöskään saa häiritä tuotantoajoa (Mäkelä 2003: 16.)

Tässä tutkimuksen osassa halutaan saada tietoa IK4:n tuotannossa mittalaitteiston hankinnan myötä tapahtuneista muutoksista. Käytännössä halutaan saada numeerista vahvistusta sille, että hankinta on organisaation kannalta hyödyllinen. Teemaan liittyvänä tavoitteena on häiriökehityksen, hylkymäärissä tapahtuvien muutosten, hyötysuhteen, aikahyötysuhteen, laadunvaihtoaikojen nopeutumisen ja raaka-aineen kulu-

tuksen tarkastelu. Oleellista on muiden laadullisten seikkojen ohella laitteiston tehtaalle tuoman lisäarvon arvioiminen. IK4:n automaatioasteen nostamisen toivotaan tuovan helpotusta tuotantohenkilökunnan työhön ja vähentävän inhimillisten muuttujien vaikutusta prosessiin. Tutkimalla näitä asioita halutaan selvittää, kehittykö prosessi toivottuun suuntaan.

4.2.1 Tuotantolukujen hankinta ja matemaattinen arviointi

Työn tämän osan tulosten ja menetelmien julkaisua on rajoitettu toimeksiantajan pyynnöstä. Tiedonkeruu takaisinmaksuajan laskemiseksi aloitettiin tarvittavien investointitietojen ja tuotantolukujen hankinnasta. Tarvittiin erityisesti tietoa investoinnin suuruudesta ja hankinnan tuoman hyödyn myötä muodostuvasta nettotuotosta. Valmistuskustannusten optimointi tarkoitti tässä yhteydessä niiden minimointia. Tiedonhankinta aloitettiin prosessiin ja viiteryhmiin tutustumalla. Aineistoa kerättiin haastattelun ja havainnoinnin ohella tehdasjärjestelmästä sekä alan kirjallisuudesta. Tuotannon tunnusluvuista niitä, joita tässä voitiin hyödyntää, selvitettiin haastattelemalla tehtaan toimihenkilöitä. Lisäksi varmennettiin, mitä takaisinmaksuajan menetelmää tietojen pohjalta voidaan käyttää. Työn aiemmassa kohdassa mainitun strategisen päättelyn perusteella valittiin ne seikat, joiden perusteella laskettiin laitteistolle takaisinmaksuaika.

Tuotantoraporttien hankinnassa hyödynnettiin tehdastietojärjestelmään automaattisesti kirjautuvia tuotantoraportteja sekä hylkymäärä- ja häiriöaikatilastoja. Järjestelmän käyttöä aineiston hankinnassa helpotti se, että systeemissä hakukriteereiksi voitiin valita vain IK4:ää koskevat tiedot. Yhdessä toimihenkilöiden kanssa arvioitiin, mitkä luvuista olivat käyttökelpoisimpia. Häiriöistä nettotuoton laskentaan valittiin ne, joiden uskottiin olevan yhteydessä mittalaitteiston kyvykkyyteen. Investoinnin hintana tässä työssä käytettiin summaa, jossa on huomioitu laitekokonaisuuden hankintahinnan ohella asennus- ja suunnittelutöihin käytetty rahamäärä.

Kuten mainittua, kannattavuuden arviointiin on talousmatematiikassa olemassa lukuisia keinoja. Tässä työssä laskenta toteutettiin käyttäen yksinkertaista takaisinmaksuajan menetelmää (kaava 3). Laskentakorko jätetään menetelmässä huomiotta, minkä vuoksi tapa on erittäin yksinkertainen ja yleisesti käytetty. Menetelmän suosiota selittää myös tulevien tuottojen kertymisen arvioinnin vaikeus. Sen avulla selvitettiin, minkä ajan kuluessa hankinnan nettotuotot ylittävät perushankintakustannukset. Tu-

losta on siis tulkittava niin, että hankintakulujen kattamiseen kulunut aika (vuosissa) on

$$Takaisinmaksuaika (a) = \frac{\text{Perushankintameno (€)}}{\text{Nettotuotto vuodessa (€/a)}}. \quad (3)$$

Edellä esitettyyn kaavaan nettotuoton ajateltiin muodostuvan säästöistä, jotka muodostuvat vähentyneistä häiriöistä ja hylkymääristä. Säästöjen arvioinnissa otettiin huomioon tuotannon lyhentyneet häiriöajat ja hylkylaadun vähentymisen myötä lisääntynyt myytäväksi kelpaava laatu. Seurantajakson lukuja verrattiin aiempien vuosien vastaaviin jaksoihin.

Nettotuotto määritettiin laskemalla lyhentyneiden häiriöiden myötä säästetylle tuotantoajalle konetuntihinta (€/h), eli oikeastaan parantunut käyntiaste, ja myyntiin kelvaneelle laadulle neliöhinta (€/m²). Seurattuna jaksona käytettiin syys-marraskuuta 2012, jolloin uuden laitteiston teknistä suorituskykyä muutenkin varmennettiin. Seuranta-ajanjaksoa verrattiin vuoden 2011 vastaavaan ajanjaksoon ja lisäksi vuosien 2009 - 2011 vastaavien ajanjaksojen keskiarvoon. Tarkasteltiin siis vastaavan ajanjakson tuotantolukuja myös vuosilta 2009, 2010 ja 2011. Vertailuajanjaksojen valinnan taustalla vallitsi oletus siitä, että valitulla aikavälillä tuotanto-olosuhteet ja -ajat ovat vuodesta riippumatta suunnilleen vakiot.

4.2.2 Laitteiston takaisinmaksuaika

Merkittävin seurannan myötä syntynyt havainto oli se, että häiriöajat oli tuotannonkehitystoimien myötä saatu vähenemään vertailujaksoihin nähden merkittävästi. Myös seuratulla ajanjaksolla häiriöiden suuntaus voitiin havaita vähenevänä. Lisäksi laadunvaihtoaikoihin huomattiin kuluneen selvästi aiempia vuosia vähemmän aikaa. Toisaalta laadunvaihtojen optimoimisen ja pidempien ajojen voidaan katsoa vaikuttaneen tähän suotuisasti, samoin kuin häiriöihin muutenkin. Kun verrattiin seurantajakson häiriöitä vastaavaan edellisen vuoden ajanjaksoon, todettiin häiriöiden vähentyneen 20,9 %. Verrattuna edellisten kolmen vuoden vastaavien jaksojen keskimääräiseen kuukausittaiseen häiriötuntimäärään, oli vähennystä tapahtunut 17,8 %. Hyvänä lähtökohdana konetuntihinnan parantumiseen voitiin pitää häiriö- ja laadunvaihtoaikojen lyhentymistä. IK4:n tuotantotehokkuuden, eli nettoneliöiden suhteen tuotantoaikaan, huomattiin olevan likimain samaa tasoa vertailuajanjaksoihin nähden. Sen sijaan

myyntiin kelpaavan laadun, nettotuotannon, havaittiin neliömetrimääräisesti kasvaneen vertailuajanjaksoihin nähden. Samalla hylkylaatu oli vähentynyt edellisvuoden tarkastelujaksoon verrattuna 15,0 % ja edellisten kolmen vuoden jaksojen keskiarvoon nähden 14,7 %. Tärkeimmät säästöt syntyivät lyhentyneiden häiriöaikojen lisäksi vähentyneestä hylkylaadusta. Tuotannonkehitystoimien myötä tapahtuneiden muutosten todettiin tuoneen yritykselle säästöä. Häiriöihin ennen kulunut aika saatiin tarkastelujaksolla paremmin käytettyä tuottavaan toimintaan. Myydyistä tuotteista saatavaa tuottoa puolestaan lisäsi hylkymäärän vähentyminen.

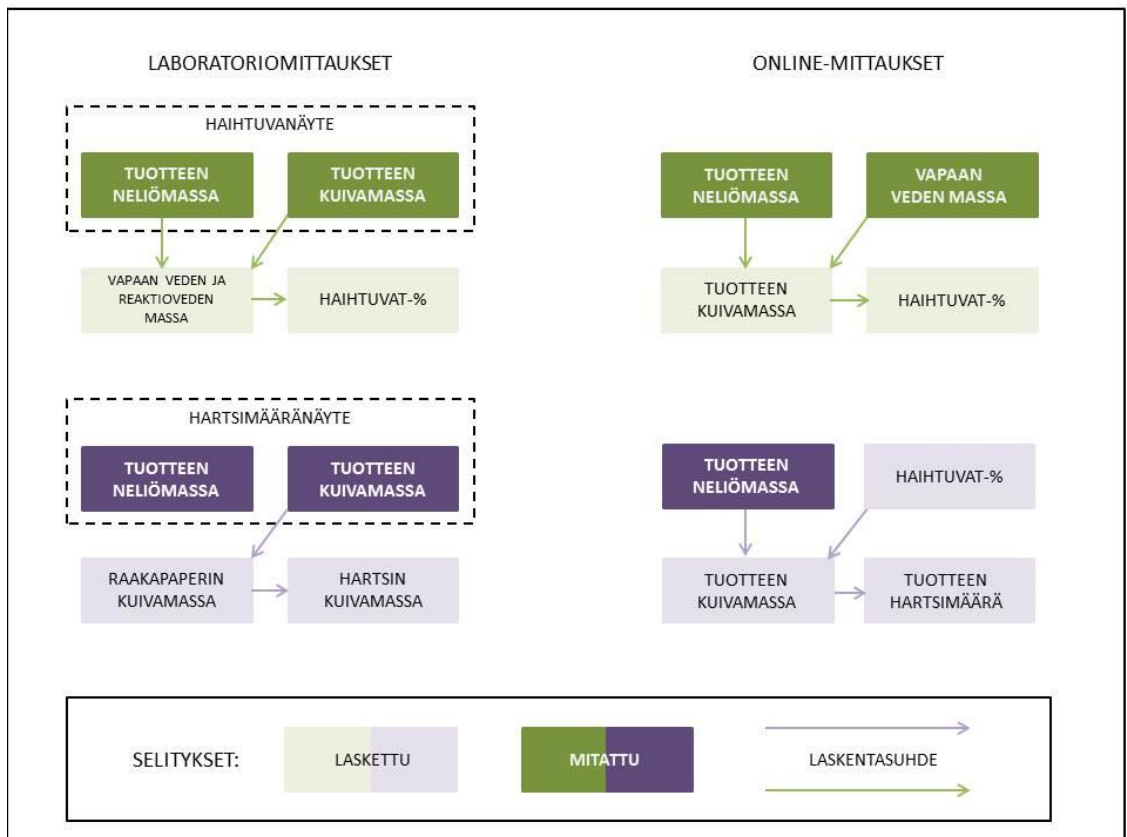
Takaisinmaksuajan laskemisessa käytettyjen tuotantolukujen perusteella nähtiin, että tuotantomäärät olivat kasvaneet aiempien vuosien vastaaviin ajanjaksoihin verrattuna. Lisäksi tuntimääräisesti häiriöihin ja laadunvaihtoihin oli kulunut vähemmän aikaa. Näiden perusteella laskettu nettotuotto antoi takaisinmaksuajaksi x,xx vuotta, kun vertailuajankohtana käytettiin viimeisten kolmen vuoden syys-marraskuun keskiarvoa. Takaisinmaksuajaksi saatiin x,xx vuotta, kun verrattiin vuoden 2011 syys-marraskuuhun. Erilaisista määritystavoista huolimatta tulosten välillä ei ollut suurta eroa. Todettiin, että takaisinmaksuaika oli tehtaan silloiseen tuotantotasoon nähden kohtuullinen.

Kannattavuusanalyysin tekeminen on aina enemmän tai vähemmän epätarkkaa, kun tulevaisuuden kysynnän ja tuotantolukujen arviointi on liki mahdotonta. Hyötyjen arviointi vitysvaiheessa oli vaikeaa. Mittausraporttien perusteella voitiin jo joulukuussa nähdä suotuisa linjaus mittareiden suorituskyvyssä ja joitakin edellytyksiä tuotannonkehitysodotusten toteutumiseksi. Raaka-aineen säästöstä näin lyhyellä tarkastelujaksolla saatu juuri muuta näyttöä kuin se, että mahdollisuus siihen on olemassa. Laitehankinnan hyödyttävyyttä voitaneen tulevaisuudessa lisätä, mikäli toleranssirajat määritetään laadullisesti uudelleen.

Toteutetussa laskentatavassa hankinnan taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttivat tehtaalta tehdyt muutkin tuotannonkehitystoimet. Kaikkia ei siis voitu lukea hankitun mittalaitteiston ansoiksi, vaikka hankintaprosessi päivittää laitteiden ohella totuttuja toimintatapoja. Se, kuinka paljon uusi laitteisto tulevaisuudessa taloudellisesti hyödyttää, selviää vasta ajan kuluessa ja on suurelta osin riippuvainen tuotannon tulevasta mittakaavasta. Vaikutti kuitenkin siltä, että prosessin kehitystoimien edetessä edellytyksiä odotusten täyttymiseen on olemassa.

5 LAATUSUUREMITTAUSTEN SUORITUSKYVYN TOTEAMINEN

Laatusuuremittauksia tarkastellaan seuraavassa antureittain. Osin suorituskykyä arvioidaessa arvioidaan anturin suorituskykyä, osin mittausten ja säätöpiirien suorituskykyä. Tutkimuksessa aiemmin mainittiin, että prosessin suorituskyvyn kannalta oleellisenä pidetään tietoa siitä, tuottaako laitteisto stabiilia laatua. Laadun stabiilisuuden tutkimisessa käytetään pääasiassa manuaalimittausdataa ja rinnalla tarkastellaan anturin mittauskkykyä. Vanhan ja uuden laitteiston vertailussa tärkeimmiksi kriteereiksi nostetaan hajontojen ja vaihteluvälien tarkastelu. Vertaamalla käsi- ja palkkimittauksia keskenään saadaan tietoa mittausten yhdenpitävyydestä. Tällaiseksi sanotaan mittausten dynaamista korrelaatiota, joka on paperiteollisuudessa käytetty menetelmä nimienomaan mittausten vertailemiseksi. Näillä menetelmillä halutaan saada tietoa prosessissa laiteusinnan myötä tapahtuneista muutoksista.



Kuva 21. Impregnaattien laatuksiteereiden laskentasuhteet riippuvat määrittävästä.

Menetelmien vertailtavuuteen liittyvä ristiriita tiedostetaan, sillä manuaalimittauksissa käytetään erilaista määrittäystapaa kuin online-mittauksissa. Kuvaan (kuva 21) merkityillä nuolilla kuvataan suureiden välistä laskentasuhdetta. Tummallalla pohjalla olevat suureet kuvaavat mitattua ja vaalealla pohjalla olevat laskettua laatusuuretta. Molem-

piin määrittystapoihin sisältyy välivaiheita. Kuvassa vasemmalla havainnollistetaan valvomon laboratoriomäärittystä, jossa laatusuureet saadaan punnituista tuotteen kuiva- ja märkämassoista laskemalla. Haihtuvien laboratoriomäärittys perustuu kuivatuksessa tapahtuvaan massahäviöön ja hartsimäärän impregnaatin (tuotteen) kuivamassasta määritettyyn kuivan hartsin määrään. Online-mittauksia havainnollistetaan kuvassa vasemmalla. Online-määrittelyssä molemmat tutkituista antureista mittaavat laatusuureen suoraan paperista ja laskenta tapahtuu välittömästi. Määrittely on kuitenkin epäsuora ja hartsimäärä saadaan beetasäteilijällä mitatusta neliömassasta, kun tuloksesta vähennetään laskennalliset haihtuvat. Haihtuvien online-mittaustulos saadaan beetasäteilijällä mitatusta tuotteen neliömassasta ja mikroaaltoanturilla mitatusta vapaan veden määrästä laskemalla. Näin ollen online- ja offline-mittausten vertailu sisältää kahden analyysin virheet, jotka voidaan määrittää korkeintaan suuntaa-antavasti ilman toistettavuus- ja uusittavuuskokeita.

5.1 Matemaattiset menetelmät suorituskyvyn analysoinnissa

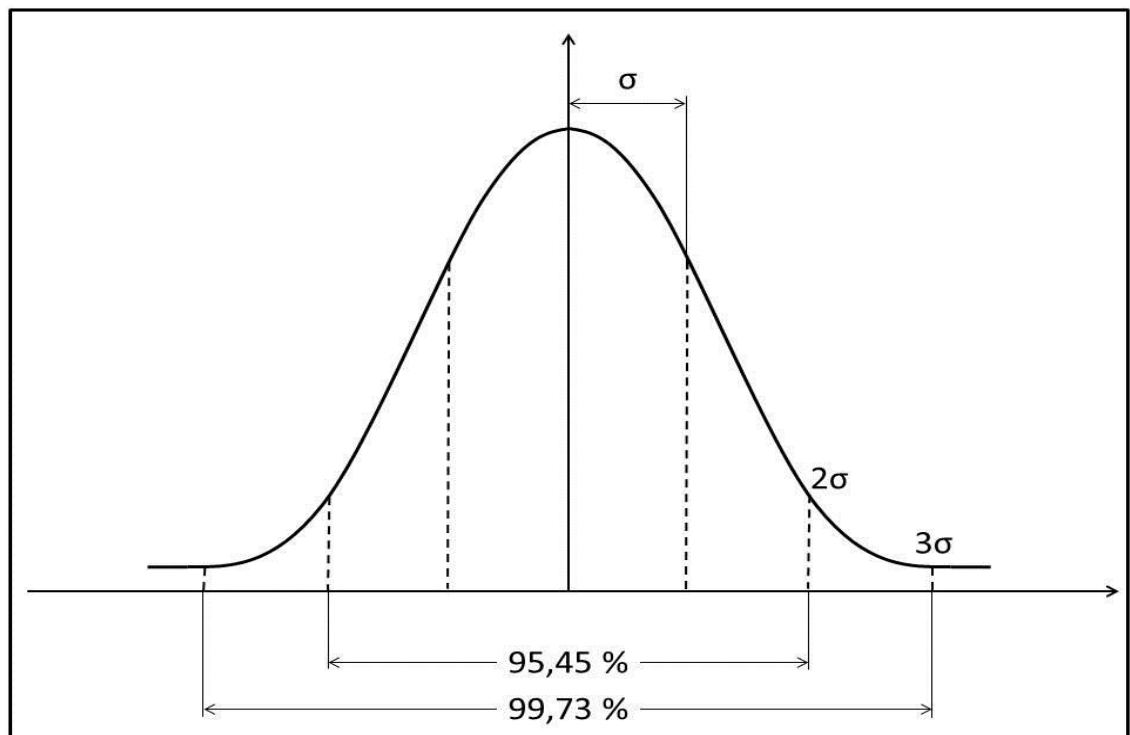
Prosessiin vaikuttaa samaan aikaan suuri määrä muuttujia, joiden vaikutus vaihtelee. Lopputulos lähenee yleensä normaalijakaumaa, sillä sen muodostaa kaikkien vaihtelevien tekijöiden yhdistelmä. Jakauma kuitenkin elää jatkuvasti, sillä siihen vaikuttavat sekä luonnollinen vaihtelu että eri tekijöiden muutokset. Hajonnan kasvusta ja vaihtelun lisääntymisestä kielien jakauma yleensä levenee. Vaihtelun lisääntyminen heikentää prosessin suorituskykyä. Kun jakauman keskiarvo siirtyy lähemmäs tavoitearvoa, paranee suorituskyky. Prosessin vaihtelun luonnetta voidaan tutkia jakauman muotoa (kurtosis) tai vinoutta (skewness) tutkimalla. Todellisessa prosessituotannossa jakauman normaalisuuteen kuitenkin vaikuttaa säätötekniikka ja tulosten jakaumat ovatkin korkeintaan lähellä normaalisuutta. Normaalijakauman edellytyksenä on nimittäin se, että suuren näytemäärän arvoista osa lähestyisi ääretöntä. Esimerkiksi mitaustulokset saattavat näin ollen olla jakaumaltaan vinoja tai muutoin rajoitettuja. (Salomäki 1999: 164 - 165)

5.1.1 Normaalijakauma

Normaalijakauma on kaikista todennäköisyysjakaumista yleisin. Käytännössä esimerkiksi teollisen tuotannon tuoteominaisuudet ja havaintovirheet ovat yleensä likimain normaalisti jakautuneita. Normaalijakauma on symmetrinen jakauma, sillä puolet ja-

kaumaa noudattavista satunnaismuuttujan arvoista on odotusarvoa pienempiä ja puolet suurempia. Satunnaismuuttuja on sijoittunut käyrälle, jonka korkeutta määrittää keskiarvo ja leveyttä hajonta eli $X \sim N(\mu, \sigma)$. Toisaalta satunnaismuuttujien lukumäärällä eli näyte-erän koolla on vaikutusta jakauman normaalisuuteen, sillä satunnaismuuttujan jakauma on sitä tarkemmin normaalin, mitä suurempi näyte-erä on. (Holopainen & Pulkkinen 2008: 144 - 146.)

Normaalijakauman hyödynnettävyys tilastollisessa päätöksenteossa perustuu jakauman symmetrisyyteen todennäköisyyksien suhteen. Apuna jakauman kertymäfunktion todennäköisyyksien laskennassa käytetään standardoitua normaalijakaumaa, jossa tietyn arvon todennäköisyyden laskenta perustuu normittamiseen $N(0, 1)$. Hajontoja käytetään myös SPC- ja Six Sigma -teorioissa normaalijakauman todennäköisyyksiin (kuva 22) pohjautuen. Kahden hajonnan etäisyydelle keskiarvosta molempiin suuntiin sijoittuu 95,45 % ja kolmen hajonnan 99,73 % mittaustuloksista (Salomäki 1999: 164 - 165).



Kuva 22. Hajonnan sijoittuminen normaalijakaumaan ja hajontaa vastaavat todennäköisyydet (Salomäki 1999: 177).

5.1.2 Keskiarvo

Aritmeettinen keskiarvo lasketaan jakamalla muuttujien summa niiden lukumäärällä. Eri ajokertojen keskiarvoja vertaamalla saadaan tietoa muun muassa mitatun suureen tasollisista muutoksista ajan suhteen. Laskemalla saadaan estimaatti prosessin oletusta tuloksesta seuraavasti

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4)$$

\bar{x}	keskiarvo
x_i	muuttujan i:s arvo, yksittäinen mittaustulos
n	mittausten lukumäärä.

Vertaamalla referenssin ja mitta-anturin tulosten keskiarvoja toisiinsa, voidaan tehdä näiden välistä vertailua. Tämän lisäksi voidaan tutkia näiden keskinäisen suhteen muutoksia viritystoimien seurauksena. Muutokset eri ajokertojen keskiarvoissa voivat kieliä laadun stabiilisuuden ja olosuhteiden vaihtelusta siinä missä sääöllisistäkin muutoksista. Lisäksi prosessin vaihtelun oletetaan vaikuttavan myös keskiarvoon, sillä hajonnan pienentyessä poikkeamat pienenevät, eivätkä poikkeuta keskiarvoakaan niin voimakkaasti. Keskiarvoa voidaan pitää normaalisti jakautuneen näyte-erän tärkeimpänä tunnuslukuuna jakauman hajonnan ohella. Keskiarvon heikkoutena voidaan toisaalta nähdä sen taipumus muuttua poikkeavien tulosten suuntaan. Siksi työssä tutkitaan mittausten sijaintia myös aineistoille laskettujen mediaanien (kaava 11) avulla. Online-mittauksissa keskiarvoa hyödynnetään tulosten suodatuksessa. Tällä tavoin käsitelty ”mittaustulos” on todellisuudessa usean mittauksen perusteella määritetty keskiarvo. Keskiarvoistamalla tasataan pitkän ajan vaihtelua ja se perustuu liukuvaan keskiarvoon (moving average), jossa keskiarvo lasketaan uusimpien mittaustulosten perusteella. Käsitely vähentää online-mittausten hajontaa.

5.1.3 Keskihajonta, otoskeskihajonta ja varianssi

Keskihajonta on matemaattinen tunnusluku, jolla ilmaistaan tulosten levinneisyyttä keskiarvon molemmille puolille. Suuri keskihajonnan arvo kieliä tulosten hajaantumista laajemmalle ja pieni suppeammalle alueelle. Koko perusjoukon (populaation) ha-

jonnin (σ) avulla kuvataan koko tutkitun muuttujajoukon hajontaa. (Holopainen ja Pulkkinen 2008: 155.) Tästä syystä se jo sinällään antaa hyvän kuvan prosessin stabiilisuudesta, kun tavoitteena on tuottaa laatua, jossa vaihtelu on mahdollisimman vähäistä. Yksinään hajontojen vertailu ei kuitenkaan anna tietoa muusta kuin muuttujien jakautumisesta ja tarvitsee rinnalleen muita analyysikeinoja.

Käytännössä perusjoukon keskihajontaa ei yleensä tunneta, minkä vuoksi se korvataan otoksesta lasketulla keskihajonnalla s . Mikäli näyte-erä on pieni ($n < 30$), ei keskiarvon jakauma ole välttämättä normaalin. Otokeskihajonnan määrittämisessä on huomioitu otoskoon pienuus pienentämällä jakajaa yhdellä (kaava 5). Tällä keinolla pyritään vähentämään otoskoon pienuudesta johtuvaa hajonnan pienenemistä ja muodostamaan käyttökelpoisempi kuva hajonnasta. Lähteen (Holopainen ja Pulkkinen 2008: 90, 155) mukaisesti otokeskihajonta on

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5)$$

s	otoskeskihajonta
n	näytteiden lukumäärä
\bar{x}	mittausten keskiarvo
x_i	yksittäinen mittaustulos.

Laadunhallintaan liittyvää ristiriitaa kuvaavat mittausten hajontaan kohdistetut odotukset. Suurimpana odotuksena nähdään tavoite hajonnan pienentämisestä, mutta samalla anturin tulisi antaa tuotteen vaihtelusta mahdollisimman oikeaa tietoa säätöjärjestelmälle. Siinä missä anturin halutaan mittaavan laajaltikin hajonneita arvoja, halutaan säätöjärjestelmän säätävän hajontaa mahdollisimman pieneksi. Tässä työssä otokeskihajonnat lasketaan jokaisen tarkastellun ajokerran mittaustuloksille. Tiedetään, että hajonnan suuruuden arviointi on vaikea tulkita, ellei sitä verrata johonkin. Siksi hajontoja tarkastellaan tässä työssä vertailemalla referenssin ja anturin tulosten hajontoja. Lisäksi tutkitaan laitteistoon tehtyjen muutosten vaikutusta tulosten hajontaan. Laadunvaihtelun ylä- ja alarajojen kuvaamiseksi on myös trendikuvaajiin lisätty referenssiiviivat, jotka kuvastavat sallitun vaihtelun ylärajaa (USL) ja alarajaa (LSL) sekä tavoitearvoa (T). Rajojen symboleina on käytetty SPC-teoriasta tuttuja lyhenteitä.

Varianssi on yleisesti käytetty suureen vaihtelua kuvaava luku. Se on sukua keskihajonnalle, sillä se voidaan ilmaista hajonnan neliön avulla. Lähteen (Figiel ym. 2010: 103) mukaisesti kokonaisvaihtelu laatusuureessa muodostuu ainakin kahdesta tekijästä

$$s_T^2 = s_P^2 + s_M^2 \quad (6)$$

s_T^2	kokonaisvaihtelu
s_P^2	mitatun tuotteen vaihtelu
s_M^2	mittaussvaihtelu.

Tämän periaatteen valossa ymmärretään se seikka, että vaihtelua lisäävät prosessin muuttujat siinä missä tuotteen vaihtelukin. Kokonaisvaihtelu siis koostuu tuotteen todellisen vaihtelun lisäksi laatusuureen määrittämistä virheestä. Periaatetta voidaan pitää yhtenä Pythagoraan lauseen sovellutuksista ja kokonaisvaihtelu kolmion hypotenuusana siinä missä tuotteen vaihtelu ja mittaussvaihtelu kateetteina. Tämän periaatteen soveltaminen edellyttää kuitenkin jakauman normaalisuutta. Toisaalta vaihtelu katsotaan yleisesti normaalijakautuneeksi, vaikka sen taustalla käytetyt mittaukset eivät sitä olisikaan. Esimerkkikaavassa on kirjallisuudesta poiketen käytetty hajonnan symbolina s-kirjainta, sillä tässä työssä kaikki määrittäykset perustuvat otoskeskihajontaan.

5.1.4 Dynaaminen korrelaatio

Lisäksi aritmeettista keskiarvoa käytetään mittausten dynaamisen korrelaation määrittämisessä, kun lasketaan manuaali- ja palkkimittausten erotukselle (mittavirheelle) keskiarvoa (Mäkelä 2003: 49). Myös dynaamista korrelaatiota ajan suhteen tarkasteltaessa voidaan tehdä johtopäätöksiä prosessin kehityksestä mittalaitteiston käyttöönoton myötä. Vertailtavien mittausten välisen erotuksen keskiarvo lasketaan kaavalla

$$e_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i\text{online}} - x_{i\text{lab}})}{n} \quad (7)$$

e_{av}	suureen online- ja manuaalimittausten erotusten keskiarvo
$x_{i\text{online}}$	suureen yksittäinen online-mittaus
$x_{i\text{lab}}$	suureen yksittäinen manuaalimittaus.

Erotusten hajontaa voidaan käyttää toisena dynaamisen korrelaation keinona havainnollistamassa online- ja laboratoriomittausten poikkeamien hajontaa. Hajontaa voidaan virheestä lasketun keskiarvon ohella käyttää online-mittausanturin suorituskyvyn takuuarvoina, mikäli määrittäminen tehdään aina sovitulla tavalla. (Mäkelä 2003: 51 - 52). Otokeskijonnan tapaan laskettuna erotusten hajonta on

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - e_{av})^2}{n-1}} \quad (8)$$

s_e suureen online- ja manuaalimittauksien hajonta

e_i online- ja manuaalimittausten i :s erotus.

Dynaamisen korrelaation mukaisesti määritettyjen arvojen toivotaan normaalitilanteessa tietenkin olevan mahdollisimman pieniä. Pieni erotusten keskiarvo kielii mittausten tasollisesta vastaavuudesta. Erotusten hajonnan puolestaan voidaan katsoa olevan osoitus anturin stabiilisuudesta. Työssä käytettynä tutkitaan erotusten keskiarvon avulla mittausten tasollista vastaavuutta ja hajonnan avulla sen muutoksia viritystoimien seurauksena.

Piirtämällä mittaustuloksista trendejä saadaan visualisoitua vaihtelu hyvin ymmärrettävään muotoon. Tulkinnan edellytyksenä pidetään kuitenkin prosessin kausaliiteettien ymmärtämistä. Tässä työssä hyödynnetään trendikuvaajia, kun tutkitaan referenssimittausten ja online-mittausten välistä yhteyttä. Trendeissä nähdään selvästi mittausten sijoittuminen toleranssialueeseen nähden sekä mitatun laatusuureen vaihtelun kehitys muun muassa viritetyksen vaikutuksesta. Kuvaajissa hyödynnetään dataa, jossa online-mittauksena nähdään valmistuneen tuoterullan mittausten keskiarvo ja referenssinä tuotantoajossa otettu käsimitaus. Vaihtelusta saadaan visuaaliseksi muutettua tietoa jo trendikuvaajien pohjalta, mutta myös muut tilastolliset tunnusluvut visualisoidaan tulkinnan helpottamiseksi. Kuvaajiin sallitun vaihtelun ylä- ja alarajat (USL ja LSL) eli tehtaan toleranssit sekä tavoitearvo (T) on merkitty SPC-teorian mukaisin lyhentein. Tällä keinolla helpotetaan graafisten esitysten tulkintaa ja nähdään yksiselitteisesti vaihtelun suuruus suhteessa sallittuun.

5.1.5 Vaihteluväli

Vaihteluvälin avulla kuvataan havaintoaineiston kokonaispeittoa (Holopainen & Pulkkinen 2008: 89). Lasketun vaihteluvälin perusteella saadaan tietoa laadullisesta vaihtelusta myös silloin, kun epäillään, että näyte-erän pienuudesta tai muusta syystä johtuen tulosten jakauma ei ole normaalin. Tällaisessa tilanteessa sitä voidaan hyödyntää yhdessä mediaanin kanssa tulosten sijainnin ja vaihtelun estimaattina. Mittaus-tulosten vaihtelua voidaan näin verrata sallittuun vaihteluun eli laatusuureiden tole-ranssirajoihin ja tavoitearvoon. Vaihteluväliä merkitään tässä työssä symbolilla R ja se määritetään yksinkertaisesti vähentämällä havaintoaineiston suurimmasta arvosta ai-neiston pienin arvo. Tällä periaatteella vaihteluväli on

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (9)$$

R vaihteluväli
 x_{max} näyte-erän suurin tulos
 x_{min} näyte-erän pienin tulos.

Tiedetään, että hallitun prosessin edellytyksenä pidetään mahdollisimman pientä laa-dullista vaihtelua. Impregnaatin laadullinen vaihtelu halutaan pieneksi myös sen vuok-si, että tuotteen säilytyksen aikainen hartsireaktion jatkuminen (ikäntyminen) ja käyt-täytyminen pinnoituksessa olisi mahdollisimman hyvin ennakoitavissa.

Mittausten avulla halutaan tietoa laadullisesta vaihtelusta siinä missä säädön avulla vaihtelua pyritään pienentämään. Vaihtelun avulla voidaan mitata tuotetun laadun sta-biilisuutta ja tällä tavoin siinä eri ajokertojen välillä tapahtuneita muutoksia tutkimalla saadaan tietoa viritysten onnistumisesta. Vaihtelua voidaan vaihteluvälin lisäksi kuva-ta otoskeskihajonnan avulla ja molempia voidaan SPC-teoriaan tukien verrata sallit-tuun vaihteluun eli toleranssialueeseen.

Antureiden kalibroinnissa halutaan saada mittauksia sallitun vaihtelun eli toleranssira-jojen ulkopuolelta. Mittausalueen määrittäminen on tärkeää etenkin silloin, kun mitta-uslaitteen ominaiskäyrää voidaan muuttaa virittämällä laitetta. Mittausalue määrite-tään vaihteluvälin kaavalla, mutta sen leveyttä kuvataan määritetyn vaihteluvälin it-seisarvolla (Aumala 2001: 158).Vaihtelua saatetaan viritys- tai kalibroitimielessä kasvattaa, jotta varmistetaan anturin suorituskyky myös silloin, jos prosessi tuottaa ei-

toivottua laatua. Tällä menettelyllä toivotaan saatavan säätöjärjestelmään luotettavaa tietoa laadullisista poikkeamista.

5.1.6 Lineaarinen riippuvuus kalibroinnissa

Mittalaitteessa tavoitellaan teknistä riippuvuutta mittalaitteen ulostulon ja mitattavan signaalin välillä. Mittalaitteen ulostulon ajatellaan olevan lineaarinen suhteessa mitattavaan ilmiöön. Tällöin riippuvuutta voidaan kuvata suoran yhtälön avulla ja lineaarisesta riippuvuudesta voidaan ajatella käytettäväksi kalibroinnissa. Lineaarista yhteyttä voidaan siis hyödyntää, paitsi silloin kun tutkitaan suureiden välistä yhteyttä, myös silloin kun kalibroidaan mittalaitetta. Metrologiassa kalibroinnilla tarkoitetaan toimia tämän yhteyden jäljittämiseksi esimerkiksi suoran yhtälön avulla

$$y = ax + b \tag{10}$$

- y mittalaitteen ulostulo
- a regressiosuoran kulmakerroin (slope, span, gain)
- x anturin mittaussignaali
- b offset eli tasokorjaus eli x:n poikkeama y:stä.

Mittaustuloksen eli mittalaitteen ulostulon (y) ja mitattavan signaalin (x) välisen yhteyden jyrkkyyttä kuvaa suoran kulmakerroin (a). Tässä työssä lasketaan uusia kulmakertoimia virityksen tueksi. Haihtuvien mikroaaltoanturin kalibroinnissa pyritään edellä esitetyn kaavan mukaisesti määrittämään eri kalvolaatujen haihtuville sopivat kalibrointi-arvot.

5.1.7 Mediaani

Mediaania voidaan käyttää, vaikka jakauma olisi epäsymmetrinen tai havaintoarvoista jotkut poikkeaisivat muista arvoista huomattavasti. Mediaani eli keskiluku on havaintojoukon keskimäinen havainto. Se siis jakaa järjestetyn havaintojoukon kahtia niin, että puolet havainnoista on sitä pienempiä ja puolet suurempia. Jos havaintoarvoja on parillinen määrä, esitetään mediaani jompanakumpana keskimmäisistä arvoista. SPC-teoriassa mediaani voidaan ilmaista myös keskimmäisten arvojen keskiarvona. Luokitellun tilastoaineiston mediaani lasketaan seuraavalla kaavalla. (Holopainen & Pulkki-

nen 2008: 80 - 82.) Tässä työssä mediaani, samoin kuin muutkin tunnusluvut, määritetään taulokointiohjelman avulla seuraavan kaavan mukaisesti

$$M_d = L_{M_d} + \frac{\frac{n}{2} - F_{M_d-1}}{f_{M_d}} * C_{M_d} \quad (11)$$

- M_d luokitellun tilastoaineiston mediaani
- L_{M_d} mediaaniluokan todellinen alaraja
- F_{M_d-1} mediaaniluokkaa edeltävän luokan kumulatiivinen frekvenssi
- f_{M_d} mediaaniluokan frekvenssi
- C_{M_d} mediaaniluokan luokkaväli
- n havaintoarvojen lukumäärä.

Vaikka keskiarvon ja mediaanin avulla mitataan periaatteessa samaa asiaa, voivat ne samasta aineistosta määritettynä poiketa toisistaan. Tämän ilmiön selittää se, että keskiarvoon vaikuttavat joukosta selvästi poikkeavat havaintoarvot. Vertailemalla mediaania ja keskiarvoja voidaan tehdä päätelmiä tulosten jakautuneisuudesta ja jakauman muodosta ilman graafista mallinnusta. Tässä työssä mediaania käytetään, kun tutkitaan mittausten sijaintia sekä hartsin- että haihtuvamittauksissa. Mediaanien vertailusakin referenssinä käytetään vastaavasta aineistosta määritettyjä manuaalimittausten mediaaneja. Tarkkailemalla muutoksia keskiarvossa ja mediaanissa saadaan mahdollisesti tietoa myös eri muutosten vaikutuksesta prosessiin. Hartsinkulutuksen muutoksia voidaan muun muassa jo keskiarvojen avulla. Mediaania voidaan käyttää myös yhdessä keskiarvon kanssa tulosten jakautuneisuuden arvioinnissa, sillä niiden ollessa lähekkäin, voidaan jakauman katsoa olevan lähes normaalin.

5.1.8 Korrelaatio

Pearsonin tulomomenttikorrelaatiota hyödynnetään tutkittaessa anturimittausten ja manuaalimittausten välistä yhteyttä. Vaikka referenssin ja online-mittauksen näytteenottotavassa on eroavaisuuksia, on määrittämisen kohteena oleva tuote kuitenkin sama. Online-mittauksen mittaustulos tosin on koko mitatun tuoterullan vaihtelun seuraus siinä missä referenssinä toimiva käsimittaus pieni ote rullan loppupäästä. Korrelaatiokertoimen avulla mitataan kuitenkin tässä työssä yhteyden voimakkuutta, sillä uskotaan kehittyneen järjestelmän mittauksella olevan yhteys referenssinsä kanssa. Pear-

sonin tulomomenttikorrelaatiota merkitään symbolilla r ja se lasketaan havaintoaineiston tunnuslukujen perusteella seuraavasti (Holopainen & Pulkkinen 2008: 233 - 235)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

n	havaintoarvoparien lukumäärä
x_i	x :n i :s havainto
y_i	y :n i :s havainto
$x_i; y_i$	havaintoarvopari
\bar{y}	y -havaintojen keskiarvo
\bar{x}	x -havaintojen keskiarvo.

Esitetty Pearsonin korrelaatiokerroin mittaa muuttujien välillä olevaa lineaarista yhteyttä ja saa arvoja aina vain -1 : ja $+1$:n väliltä. Jos muuttujilla ei ole minkäänlaista lineaarista riippuvuutta, on korrelaatiokerroin lähellä nollaa. Muuttujilla voi silti olla muunlaista riippuvuutta. Mitä lähempänä korrelaatiokerroin on lukua 1 , sitä voimakkaampi on lineaarinen yhteys. Negatiivinen riippuvuus tarkoittaa sitä, että muuttujat sijaitsevat laskevalla suoralla. Vaikka yhdeksi Pearsonin korrelaatiokertoimen hyvistä puolista voidaan sanoa riippumattomuus tutkittavien muuttujien suuruudesta toisiinsa nähden, on se herkkä joukosta huomattavasti poikkeaville arvoille. Erityisesti pienissä aineistoissa yksikin voimakkaasti poikkeava arvo vaikuttaa korrelaatiokertoimeen. (Holopainen & Pulkkinen 2008: 233 - 235.). Tästä johtuen pienten aineiston korrelaatiota tarkastellessa tulee noudattaa kriittisyyttä ja odottaa pieniltä aineistoilta suhteessa parempaa korrelaatiota.

Korrelaatiokertoimet lasketaan tässä työssä anturimittausten ja käsin tehtyjen referenssimittausten välille, erikseen beetasäteilijälle ja mikroaaltoanturille. Lisäksi korrelaatiota käytetään kalibrointi-arvojen määrittämisessä mikroaaltoanturille. Anturi- ja manuaalimittausten erilaisesta määrittystavasta johtuen täydellistä korrelaatiota ($r = 1$) mittausten välille ei odoteta löytyvän. Korrelaatioita tutkimalla halutaan lähinnä selvittää, onko anturi- ja referenssimittaustuloksilla minkäänlaista yhteyttä. Korrelaatioiden määrittämisessä joudutaan ottamaan huomioon anturisuureen käsittely sille tehdyllä tasakorjauksella

5.1.9 Suorituskykyluvut

Kun prosessin laatumittausjärjestelmästä saatuja mittaustuloksia verrataan tuotespesifikaatioiden asettamiin rajoihin, kuvataan prosessin suoritus- tai laaduntuottokykyä. SPC-teorian mukaan prosessin suoritus- ja laaduntuottokyky (eng. Capability Index) voidaan määrittää laskennallisesti. Toleranssivaatimuksen sisältävän prosessin suorituskykyä kuvataan siis indeksimuotoisten tunnuslukujen avulla. Indeksien avulla kuvataan prosessin suhteellista suorituskykyä. Laaduntuottokyvyn ilmaisemiseen käytetään C_p - ja C_{pk} -indeksejä, joiden avulla voidaan ilmaista prosessin mittaustulosten hajontaa toleranssialueeseen nähden. Indeksien hyödynnettävyys perustuu oletukseen, että tulokset ovat normaalisti jakautuneita ja prosessi tilastollisesti hallinnassa. Nyrkisääntönä C_p -indeksillä voidaan pitää sitä, että suorituskykyisen prosessin tulisi saada arvoja, jotka ovat yli 1,33. Käytännössä alarajana pidetään arvoa 1. C_{pk} -indeksin tulisi saada arvoja yli 1,50, jotta prosessin suorituskyky luokitellaan luotettavaksi. Käytännössä arvot, jotka ovat pienempiä kuin 1 kertovat prosessin suorituskyvyn olevan heikko. Kohtuullisena tilannetta pidetään, jos luku on 1,33 - 1,50. (Salomäki 1999: 146, 175 - 176.)

Maksimisuorituskykyluvusta käytetään lyhennettä C_p ja sen avulla kuvataan sitä, mihin prosessi teoriassa pystyy toleranssivaatimuksensa suhteen. Indeksia määrittäessä toleranssialue jaetaan kuusinkertaisella prosessin keskihajonnalla (kaava 5), joka kattaa 99,73 % prosessin vaihtelusta. Alue vastaa kolmen sigman etäisyydellä keskiarvosta olevia valvontarajojen välejä, eli vaihtelu voi olla myös toleranssialueen ulkopuolella. Salomäen mukaan (1999: 175) maksimisuorituskyky on

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 * s} \quad (13)$$

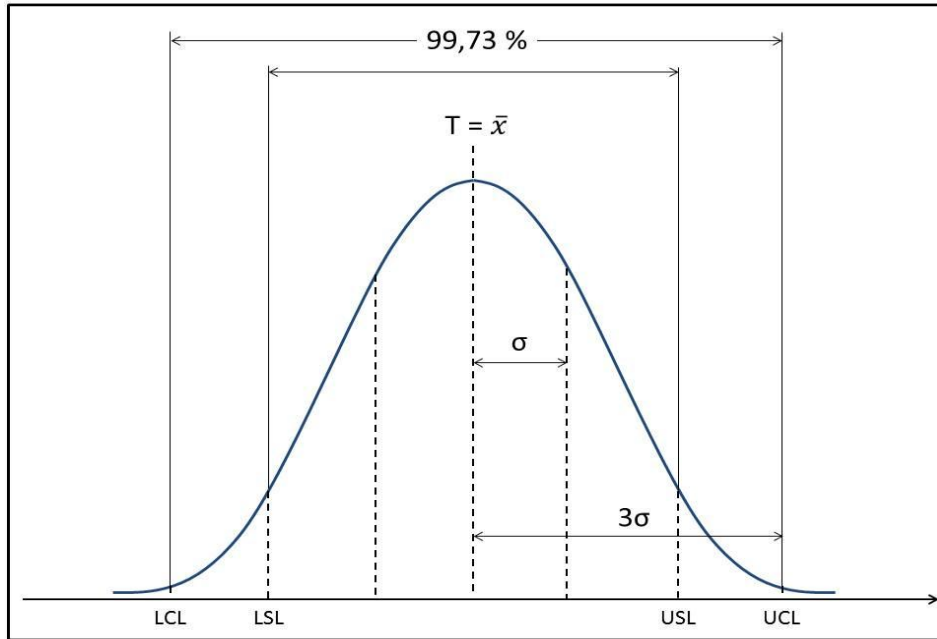
USL ylempi toleranssiraja

LSL alempi toleranssiraja

s otoskeskihajonta.

Teoreettinen maksimisuorituskyky ilmaistaan valitun otoksen vaihtelun suuruudella. C_p -indeksi jättää keskiarvon huomiotta, mutta C_{pk} -indeksillä voidaan havainnollistaa myös prosessin jakauman sijainti toleranssialueen ylä- ja alarajoihin (USL ja LSL) nähden. Kuvassa (kuva 23) on esitetty tilanne, jossa tulosten keskiarvo on sama kuin

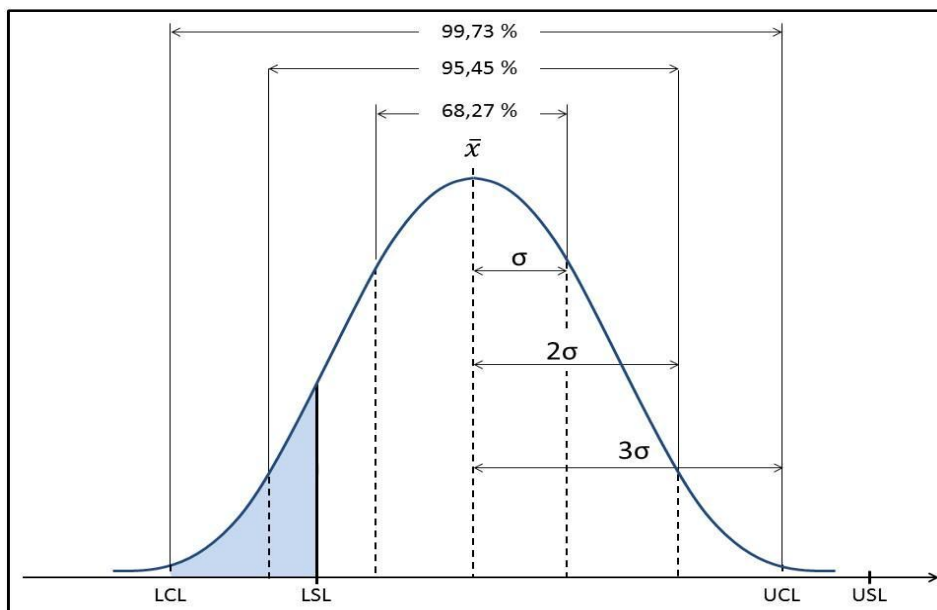
tavoitearvo (T). Toleranssirajat asetuvat symmetrisesti jakaumaan ja ovat kolmen hajonnan etäisyydellä olevien valvontarajojen (LCL ja UCL) sisäpuolella.



Kuva 23. Jakauma tilanteesta jossa tavoitearvo (T) on sama kuin tulosten keskiarvo.

Epäkeskeisyyden korjauskerroin otetaan käyttöön, kun laadulla on kaksipuolinen toleranssi, jonka tavoitearvo ei ole toleranssin keskellä (kuva 24). Epäkeskeisyyden korjauskerroin (k) lasketaan lähteen (Salomäki 1999: 175 - 176) mukaan seuraavasti

$$k = \frac{T - \bar{x}}{\frac{1}{2} * (USL - LSL)}. \quad (14)$$



Kuva 24. C_{pk} -indeksiä määrittää kuvan kaltaisessa tilanteessa alempi toleranssiraja LSL.

Näin saadaan laskettua prosessin todellinen suorituskyky ja huomioitua myös jakauman mahdollisesti epäkeskeinen muoto. Lähteen (Salomäki 1999: 176) mukaan prosessin vaihtelun toleranssialueeseen nähden huomioiva suorituskyky on

$$C_{pk} = (1 - k) * C_p. \quad (15)$$

Tässä työssä suorituskykyluvut lasketaan, kun tutkitaan mikroaltoaanturin virityksen seurauksia prosessin suorituskyvyn kannalta. Luvut määritetään erikseen manuaali- ja online-mittauksille, kun tutkitaan mikroaltoaanturin ja beetasäteilijän suorituskykyä. Näin saadaan viitteitä myös prosessin suorituskyvyn kehittymisestä kalibroinnin ja virityksen vaikutuksesta. Lukuja arvioidaan lähinnä vertaamalla. Tiedetään, että suodatuksella saadaan parannettua näennäisesti mittausten suorituskykyä, joten edellä mainitun vertailun avulla halutaan varmentaa se, että online-mittauksilla saadaan todennukainen käsitys prosessin suorituskyvystä.

5.2 Impregnointikoneen mittausraporttien ja kalibrointiaineiston hankinta

Tässä tutkimuksessa näyte-erien kokoa määrittäväksi tekijäksi nousi käsin tehtyjen referenssimittausten näytteenottotaajuus. Kullakin näytteenottohetkellä saadun online-tuloksen ja manuaalimittauksen vertailtavuutta puolsi oletus siitä, että kyseisellä hetkellä ympäristön olosuhteet voitiin olettaa jotakuinkin stabiileiksi ja näyte otettiin samasta kohdasta paperirataa. Online-mittausten voitiin katsoa olevan sattumanvaraisempaa dataa ja sikäli edustavampi otos tuotteesta. Käsimittausten edustavuutta puolsi lähinnä se, että näytteet otettiin paperiradan molemmista reunoista ja tällä keinoin ajateltiin voitavan estimoida poikittaissuuntaista vaihtelua. Impregnaatissa valmistuksen jälkeenkin jatkuvan reaktion vuoksi mittausajankohdan ja -menetelmän huomioiminen oli käsinäytteenotossa tärkeää. Mittausten suorituskyvyn analysoimiseksi valittiin fenoli-impregnaateista neljä seurantalautua. Kalvoista kolme oli väriltään kastanjanruskeita ja yksi mustanruskea. Seurantaan laadut valittiin sillä perusteella, että tiedettiin niiden mikroaltoihiin perustuvan mittaamisen olevan haastavaa. Lisäksi ne kuvastivat hyvin suurinta osaa tuotannosta.

Mittausten ja säätöjärjestelmän suorituskyvyn analysoimiseksi kerättiin tehdastietojärjestelmään tallennettuja online-mittausraportteja, joita oli saatavilla noin kymmenen vuoden ajalta. Vanhempaa aineistoa tarvittiin, kun verrattiin keskenään uutta ja van-

haa laitteistoa ja uudempaa, kun tutkittiin uuden laitteiston suorituskykyä. Tuloksia uuden laitteiston käyttöönoton seurantaan kerättiin elo- ja joulukuun väliltä. Vanhan laitteiston vertailuaineistoiksi valittiin likimain samansuuruisia näyte-eriä noin yhden vuoden ajalta ennen uuden laitteiston hankintaa. Viimeisessä, säätöjärjestelmän suorituskykyä käsittelevässä, kappaleessa tarkasteltiin syksyllä 2012 kerätyn mittausaineiston lisäksi dataa tammikuun 2013 ensimmäisiltä ajokerroilta.

Mitta-anturien suorituskyvyn analysoimiseksi käytettiin kuitenkin vain sellaista dataa, jossa oli nähtävillä rullan lopusta online-mittauksena mittausjärjestelmään tulostunut arvo ja referenssinä manuaalimittaus tulos samalta hetkeltä. Seurantalaaaduista valittiin kustakin useampia otoksia käyttöönoton tilastollista tarkastelua ja graafista visualisointia varten. Näytteet mittausraporteista muodostettiin niin, että online-mittauksia edusti koko tuoterullan keskiarvo, jolle referenssinä oli operaattorin tekemä vastanäyte (manuaalimittaus). Näin näytteitä saatiin tuotantoajossa ohuemmillä kalvolaaduilla kerran tunnissa ja paksummilla hieman harvemmin. Kalibroinnissa käytettiin samaan tapaan järjestelmään kirjattua dataa. Tulosten toteamisosassa tarkasteltiin teknistä suorituskykyä likimain kronologisessa järjestyksessä.

5.3 Laadunhallintajärjestelmän tekninen suorituskyky

Mittapalkkiin oli hartsin määrittystä varten asennettu beetasäteilijä. Haihtuvia mitattiin mikroaaltoanturilla. Lähtötilanteessa molemmat anturit oli otettu tehtaalla käyttöön ja niitä viritettiin vastaamaan laajan tuoteskaalan vaatimuksiin. Seurantaan valittujen neljän kalvolaadun tiedettiin olevan haastavia mitattavia niiden tumman värin ja kemiallisten ominaisuuksien vuoksi.

Laboratorio- ja online-mittausten vertailtavuuteen vaikuttaa muun muassa se, että anturin mittaussignaalia suodatetaan aiemmilla mittaustuloksilla. Tästä ja muista mittausteknisistä syistä anturimittausten vaihtelu näkyy yleensä manuaalimittauksia vähäisempänä. Samalla vähäinen vaihtelu ja referenssiin suhteutettuna pienempi hajonta on tavoiteltu ominaisuus, jolla ehkäistään laatusäätöjärjestelmän liiallista huojuntaa. Suodatuksella pyritään vähentämään säätöjärjestelmän ylireagoitusta ja suodatuksella ajatellaan vähennettävän mittaussysteemissä ilmenevää kohinaa. Säätöjärjestelmälle siis oikeastaan annetaan todellisuutta vähäisempää tietoa vaihtelusta. Toisena näkökulmana voidaan pitää keskiarvoistamisen hajontaa vähentävää taipumusta, joka saa anturien ulostulot joka tapauksessa näyttämään vaihtelun todellista vähäisempänä. Se, että sää-

tö tapahtuu käsiteltyjen tulosten perusteella, asettaa haasteensa myös online- ja laboratoriomittausten välisen korrelaation oikeana pidetyn tason määrittämiselle.

Tuloksia uuden laitteiston käyttöönoton seurantaan kerättiin elo- ja joulukuun väliltä. Vanhan laitteiston vertailuaineistoiksi valittiin likimain samansuuruisia näyte-eriä noin yhden vuoden sisällä ennen uuden laitteiston hankintaa. Viimeisessä, säätöjärjestelmän suorituskykyä käsittelevässä, kappaleessa tarkasteltiin syksyllä 2012 kerätyn mittausaineiston lisäksi dataa 2013 tammikuun ensimmäisiltä ajokerroilta, jotta saatiin näyttöä mikroaaltoanturin virityksen vaikutuksesta säätöjärjestelmän suorituskykyyn. Beetasäteilijän ja mikroaaltoanturin suorituskykyä tarkasteltiin omissa kappaleissaan. Kolmannessa kappaleessa tarkasteltiin antureiden virityksen ja kalibroinnin vaikutuksia säätöjärjestelmän suorituskykyyn.

5.3.1 Hartsimäärän mittaaminen beetasäteilijällä

Beetasäteilijä oli tutkimuksen alussa asennettu ja otettu käyttöön, mutta viritystoimia tehtiin vastaamaan laajan ja haastavan tuoteskaalan vaatimuksiin. Suorituskyvyn tutkimiseksi vertailtiin manuaali- ja online-mittauksia, joita tarkasteltiin graafisen visualisoinnin ohella laskemalla näyte-erille tilastollisia tunnuslukuja. Tässäkin näyteerien koko määrittyi manuaalimittausten taajuuden perusteella. Erien edustavuuteen vaikutti näytteenottotapojen erilaisuus (kuva 21) ja se, että tuloksia saatiin tuotantoajasta harvakseltaan. Tarkastelujakson alkupäässä haihtuvia mittaavan mikroaaltoanturin kalibrointiin ei vielä paneuduttu, mikä osaltaan vaikutti nähtyyn hartsin onlinevaihteluun. Online-määrityksessä hartsimäärä lasketaan vähentämällä tuotteen neliömassasta haihtuvat. Haihtuvien online-tuloksen vähäisestä vaihtelusta johtuen hartsimäärän vaihtelu nähtiin kenties alussa todellista suurempana. Tästä johtuen säätöjärjestelmän suorituskyvyn uskottiin parantuvan vielä haihtuvien mittaamiseen käytettävää mikroaaltoanturia viritettäessä.

Tutkiminen aloitettiin keräämällä mittausdataa ja visualisoimalla sen vaihtelua graafisesti. Sekä vanhan että uuden laitteiston trendikuvaajat (kaaviot 1 - 8) piirrettiin manuaalinäytteenottohetkellä saaduista online- ja manuaalimittaustuloksista, joten kaavioissa havainnollistettiin melko pitkän ajan vaihtelua. Saatu informaatio laatusuureen vaihtelusta olikin molemmilla määritystavoilla enintään suuntaa-antavaa. Uuden laitteiston ensimmäisten ajokertojen perusteella laadituista trendikuvaajista havaittiin tutkimuksen alussa hartsimäärän huojuntaa. Tätä pyrittiin 12.9. korjaamaan hartsin hie-

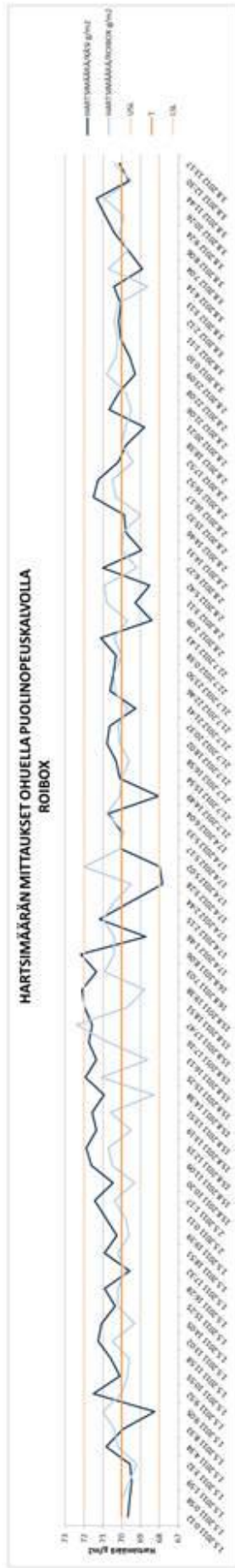
nosäädön vakiopulssia (säätöperiaate esitelty työssä sivuilla 31 - 32) lyhentämällä. Tässä vaiheessa tutkimusta kuitenkin paneuduttiin enemmän aiemmin käytössä olleen laitteiston tunnuslukujen laskentaan ja visualisointiin.

Vaihtelun kuvaaminen trendein asetti jonkin verran haasteita tulkitsijalleen, sillä online-kuvaajissa periaatteessa havainnollistettiin anturin mittauspisteistä laskettuja keskiarvoja. Tällä tavoin kahden ajokerran välillä tapahtunut muutos saatetaan tulkita liukuvaksi, vaikka ero on todellisuudessa tasomainen. Kuvissa pisteiden tasoeroja siis yhdistää viiva. Lisäksi vanhan laitteiston aineistoille piirrettyjä kuvaajia tutkiessa oli huomattava, että mittausdataa ei ole kerätty aikajärjestyksessä. Tämä saattoi osaltaan vaikuttaa kuvaajissa havaitun vaihtelun suuruuteen. Lisäksi se seikka, että vanhan laitteiston ajalta ei ollut saatavissa tietoa ajon aikana tehdyistä kalibroinneista, häiritsi aineiston tulkintaa.

Trendein kuvaamista jalostettiin eteenpäin laatimalla näyte-eristä määritettyjen tunnuslukujen perusteella luottamusvälejä kuvaavat kuvaajat. Tällaiset kuvaajat tehtiin numeerisen tarkastelun helpottamiseksi. Erilliset kaaviot laadittiin keskiarvoista ja -hajonnoista sekä mediaaneista ja vaihteluväleistä. Tulosten avulla saatiin visualisoitua laadun vaihtelu 95 % luottamusrajojen (2 sigma) sisäpuolella ja varmennettua mediaanien ja vaihteluväliden avulla. Luottamusvälejä tutkimalla voitiin tehdä päätelmiä mittauksen uusittavuudesta, vaikkei kyseessä ollutkaan uusittavuutta varten järjestetty tilanne. Uusittavuusmääritelmien tekemisen voidaan yleensäkin todeta olevan paperiteollisuudessa haasteellista ja määrittämisongelman toistuvan kirjallisuudessa 70-luvun lopulta tähän päivään.

Lähtötilanteessa tehtaalla oli hartsinsäädön algoritmille määritetty vahvistus 0,5. Käytettyä vahvistusta muutettiin työn edetessä kerran, 0,5:stä 1,0:an. Muutosten vaikutuksia tarkasteltiin laitetoimittajan tekemien päivitysten ja mikroaaltoanturin viritysten vaikutusten ohella tämän osion myöhemmissä vaiheissa.

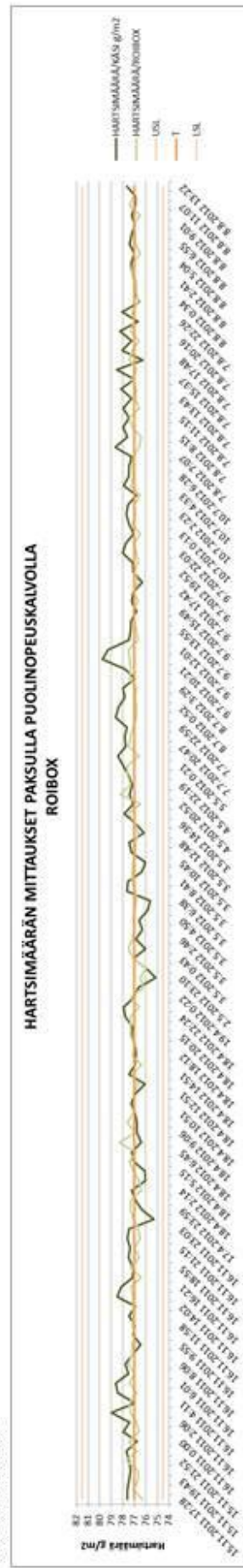
Puolinopeuskalvoilla tutkiminen aloitettiin vertaamalla vanhan mittapalkin trendikuvaajia (kaaviot 1 - 8) uuden laitteiston vastaaviin. Vanhan laitteiston kuvaajissa eri ajokertojen välillä voitiin huomata selvempiä tasollisia eroja, mikä viitanee siihen, että viritys oli ollut hankalaa. Kuvaajia tarkastelemalla nähtiin, että hartsin manuaalimittaukset mukailivat online-mittauksia uudella laitteistolla vanhaa paremmin.



Kaavio 1. Ohuen puolinopeuskalvon hartsimitauksista vanhalla laitteistolla nähdään, että mittausten korrelaatio vaihteli ajokerroittain



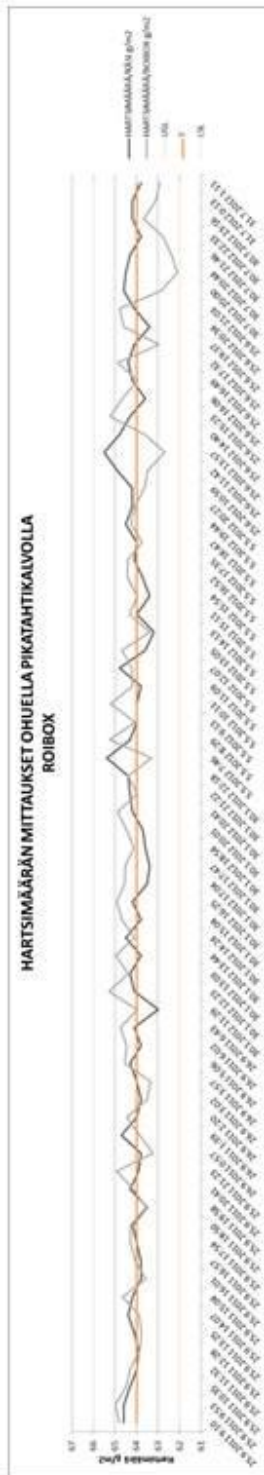
Kaavio 2. Ohuen puolinopeuskalvon hartsimitauksista uudella laitteistolla nähdään, että mittausten korrelaatio oli jo alussa hyvä. Tarkastelujakson lopussa vaihtelu väheni selvästi.



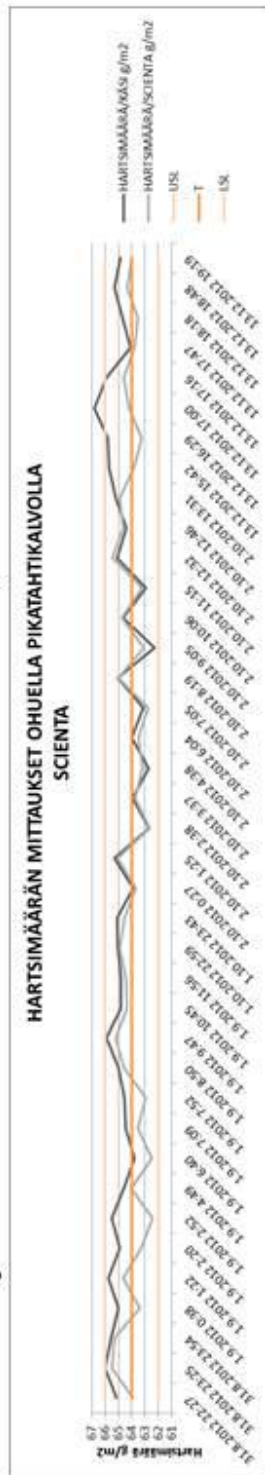
Kaavio 3. Paksun puolinopeuskalvon hartsimitauksista vanhalla laitteistolla nähdään, että online-mittaukset sijoituivat liiaksi tavoitearvon tuntumaan.



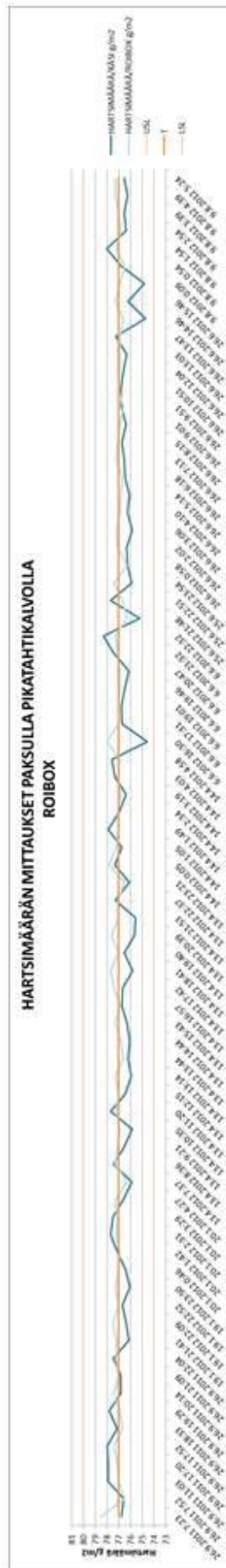
Kaavio 4. Paksun puolinopeuskalvon hartsimitauksista uudella laitteistolla huomataan, että mitaukset korreloivat hyvin ja vaihtelu on jakson lopussa vähentynyt.



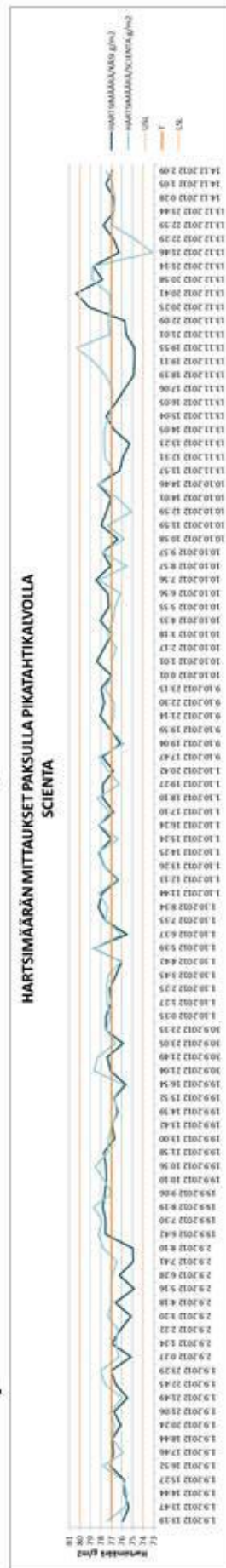
Kaavio 5. Ohuen pikatahtikalvon hartsimitauksista vanhaalla laitteistolla nähdään, että mittausten välillä oli korrelaatiota toisinaan.



Kaavio 6. Uuden laitteiston trendikuvaajasta nähdään mittausten välinen hyvä korrelaatio ja jakson loppupäässä häirinnyt pölyntyminen.



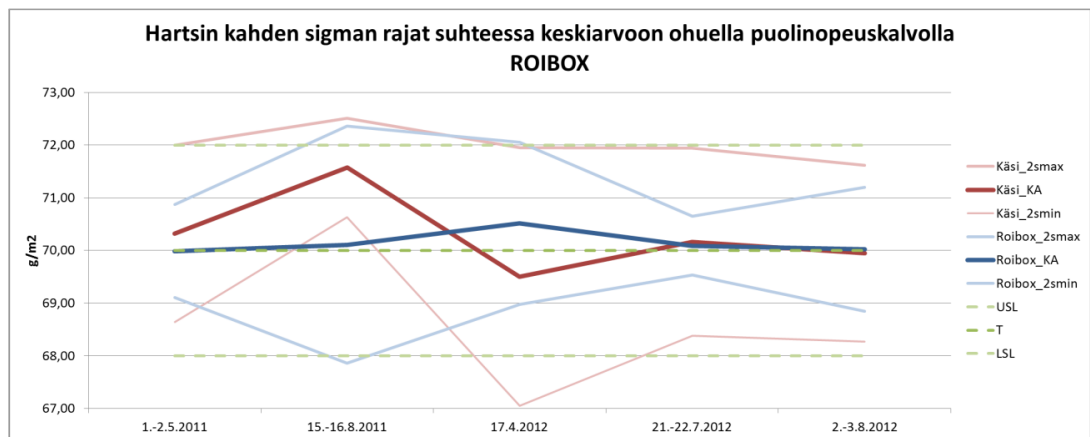
Kaavio 7. Paksun pikatahtikalvon hartsimitauksista vanhaalla laitteistolla huomataan, että mittauksilla on korrelaatiota vain toisinaan.



Kaavio 8. Hartsimitauksista uudella laitteistolla nähdään, että jakson puolivälissä saavutetaan hyvä korrelaatio, mutta lopussa pölyntyminen häiritsee.

Jo tämän perusteella voitiin tulkita uuden anturin suorituskyvyn olleen hyvä, kun lisäksi tiedettiin, että uuden laitteiston aikana oli tasokorjauksia tuotantoajossa tehty harvakseltaan ja yleensä korjauksen tarve oli ollut vain joitakin kymmenyksiä. Kun trendikuvaajiin lisättiin sallittua vaihtelualuetta kuvaavat toleranssiviivat, huomattiin, että vanhalla laitteistolla oli mitattu vaihtelua laivemmalla alueella. Lisäksi nähtiin, että vaihtelualue uuden laitteiston aikana keskittyi paremmin toleranssialueen keskelle sekä online- että manuaalimittauksissa. Tätä voitiin myös pitää yhtenä merkinä uuden laitteiston hyvästä suorituskyvystä. Trendikuvaajista voitiin siis havaita, että toimilaitteen ja säätimen välinen yhteys oli saatu vanhaa laitteistoa suorituskykyisemmälle tasolle puolinopeuskalvojen osalta jo melko varhaisessa vaiheessa.

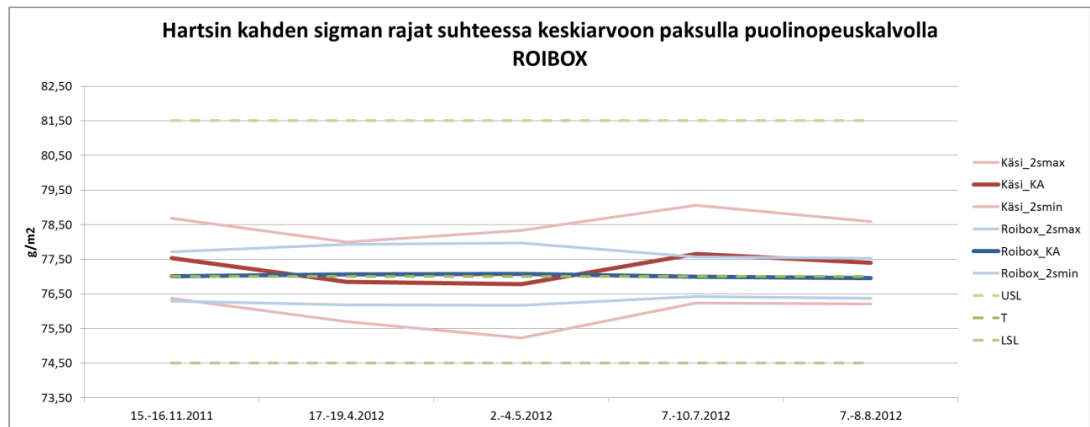
Seuraavaksi tarkasteltiin puolinopeuskalvoille piirrettyjä kuvaajia, joissa havainnollistettiin vaihtelun ($2s = 2\sigma$) ja odotusarvon sijaintia suhteessa toleranssialueeseen (liitteet 1 ja 2). Kaavioissa katkoviivoilla esitetään sallittua vaihtelualuetta ja tummemmilta viivoilla online- ja manuaalimittausten odotusarvoja. Kuvaamalla laadun vaihtelua tällä tavoin, huomattiin, että online- ja manuaalimittausten mukailevuudessa oli vanhalla laitteistolla ollut huomattavia eroja ajokertojen välillä. Kuvia varten määritettiin ohuen puolinopeuskalvon luottamusvälit näyte-erien manuaali- ja online-mittauksille ajokerroittain.



Kaavio 9. Luottamusrajoja ja odotusarvoja tarkastelemalla nähtiin, että stabiilin laadun saavuttaminen ohuessa puolinopeuskalvossa oli vanhalle laitteistolle haaste.

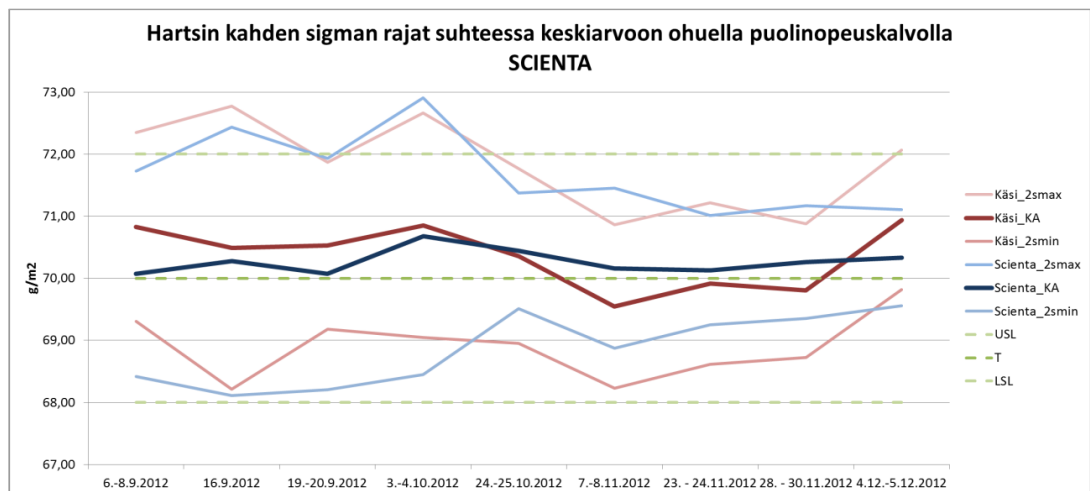
Yllä olevasta kuvasta (kaavio 9) nähtiin, että 95 % luottamustason saavuttaminen ohuessa puolinopeuskalvossa oli vanhalle laitteistolle vaikeaa, eikä online-mittausten odotusarvolla ollut suurta korrelaatiota manuaalimittauksien kanssa. Kun tarkasteltiin vastaavalla tavalla paksulle puolinopeuskalvolle laadittua kuvaajaa (kaavio 10), huo-

mattiin, että jo vanhalla laitteistolla hartsimäärän vaihtelu oli keskittynyt kauemmas toleranssin ylä- kuin alarajasta. Tuloksena todettiin, että 95 % luottamustaso oli ohutta puolinopeuskalvoa todennäköisempi saavutettava, vaikka kuvasta nähtiin myös se, etteivät online-mittaukset juurikaan mukailleet manuaalimittauksia.



Kaavio 10. Vanhalla laitteistolla paksun puolinopeuskalvon online-mittaukset eivät mukailleet manuaalimittauksia.

Viritysvaiheessa puolinopeuskalvoille piirrettyjä kuvaajia tutkimalla huomattiin säätöjärjestelmänsuorituskyvyn kehittymistä ajan ja viritysten edetessä. Ohuen puolinopeuskalvon laadunvaihtelusta piirretystä kuvaajasta (kaavio 11) huomattiin vaihtelun erityisen selvää pienenemistä lokakuussa tehtyjen logiikkapäivityksen ja hartsinsäädön vahvistuksen (17.10.2012) muuttamisen myötä. Manuaalimittausten odotusarvon huomattiin kuvassa myös keskittyvän tavoitearvon alapuolelle ja silti 95 % todennäköisyydellä selvästi toleranssirajojen sisäpuolelle.



Kaavio 11. Ohuen puolinopeuskalvon mittausten suorituskyvyssä tapahtuva muutos havaittiin odotusarvon parempana sijoittumisena tavoitearvoon nähden sekä vaihtelun pienenemisenä.

Ohuen puolinopeuskalvon mediaaneille ja vaihteluväleille piirretystä kuvaajasta (liite 1) tarkasteltuna tulokset nähtiin vähemmän vaikuttavina. Silti voitiin selvästi huomata sekä online- että manuaalimittausten mediaanin siirtyneen virityksen myötä lähemmäs tavoitearvoa. Tämän perusteella voitiin ajatella toleranssirajojen tarkistamiseen olevan mahdollisesti tulevaisuudessa tarvetta.

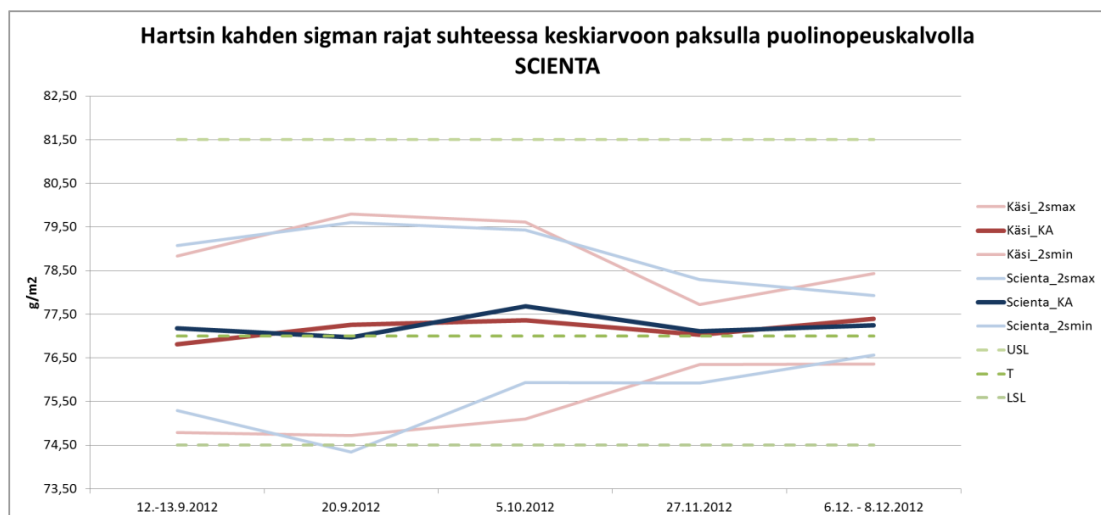
Manuaalimittausten perusteella laskettujen otoskeskihajontojen numeerisen tutkimisen perusteella nähtiin, että ohuemmalla puolinopeuskalvolla hajonnat manuaalimittauksissa pienenevät vanhan mittalaitteiston hajontoihin nähden 27,0 %. Uuden laitteiston virityksen myötä kehitys oli tarkastellulla ajanjaksolla selvempää, sillä vaihtelu väheni virityksen myötä ohuemmalla puolinopeuskalvolla 28,5 % tarkastelujakson alkupään keskimääräiseen hajontaan nähden. Samoista mittaustuloksista määritettyjen vaihteluvälien (liite 1) osalta muutos ei prosentuaalisesti ollut yhtä suurta, mutta suuntaukseltaan samankaltaista. Ohuen puolinopeuskalvon manuaalimittausten keskimääräinen vaihteluväli oli vanhan laitteiston keskimääräiseen verrattuna 8,70 % pienempi, ja uuden laitteiston lähtötilanteen keskimääräiseen verrattuna 13,4 % pienempi.

Korrelaatiokertoimista piirretyissä kuvaajissa (liite 5) nähtiin yhdeltä ajokerralta kaksi pylvästä. Vasemmanpuoleiseen pylväeseen laskettiin korrelaatio suoraan online- ja manuaalimittausten ja oikeanpuoleiseen tasokorjaamattoman online- ja manuaalimittausten välille. Näitä kahta vertaamalla nähtiin myös se, miten offset vaikutti korrelaatioon. Ohuelle puolinopeuskalvolle lasketut korrelaatiokertoimet näyttivät kaikille uuden laitteiston tarkastelujakson ajokerroille määritettynä online- ja manuaalimittausten yhteyden olevan keskimäärin 0,70. Korrelaation nähdään tosin pienentyneen 17.10. jälkeen saaduilla aineistoilla. Syy saattaa olla haihtuvien mittausten vaikeutumisessa talvikauden alettua. Toinen mahdollinen aiheuttaja tälle saattoi olla mittapäiden pölyntyminen, sillä ohutta puolinopeuskalvoa ajetaan toisinaan pian pikatahtikalvojen jälkeen. Raaka-aineiden tai tuotanto-olosuhteiden muutosten vaikutusta ei voida sulkea mahdollisten aiheuttajien joukosta, sillä marraskuun lopun näyte-erästä eteenpäin laskettuna korrelaatio jälleen hieman paranee, muttei yllä tarkastelujakson alkupään tasolle.

Paksulle puolinopeuskalvolle laaditusta kuvaajasta (kaavio 12) nähtiin, että vaihtelu pieneni tarkasteluajanjaksolla ja keskittyi toleranssialueen alalaitaan. Samankaltainen ilmiö havaittiin tällä kalvolaadulla myös vanhan laitteiston mittauksia tutkiessa. Edis-

tyksen katsottiin johtuvan onnistuneesta säätöjärjestelmän virityksestä, joka näytti soveltuvan erityisesti tälle kalvopaksuudelle ja hartsin viskositeetille. Luottamusvälin sijainti kaukana ylemmästä toleranssirajasta voisi antaa aiheen toleranssirajojen uudelleen määrittämiselle.

Tutkimalla näyte-erille manuaalimittausten perusteella laskettuja otoskeskihajontoja, huomattiin, että hajonnat pienenevät vanhan laitteiston vaihteluun nähden 34,5 %. Uuden laitteiston käyttöönoton alkuun nähden kehitys oli vieläkin huomattavampaa, sillä hajonta pieneni logiikkapäivitystä edeltävään aikaan nähden 63,1 %. Paksummalla puolinopeuskalvolla manuaalimittausten perusteella lasketut vaihteluvälit (liite 2) pienenevät vanhan laitteiston keskimääräiseen nähden 53,6 % ja uuden laitteiston lähtötilanteeseen nähden 64,7 %. Laskennassa huomioitiin vain näyte-erät ennen mikroaltoaanturin viritysarvojen muutosta, joten näiden vaikutuksesta luvut saattavat edelleen muuttua.



Kaavio 12. Paksun puolinopeuskalvon vaihtelun pieneneminen oli viritystoimien onnistumisen kannalta esimerkillistä.

Korrelaatiokertoimet (liite 5), jotka laskettiin paksun puolinopeuskalvon online- ja manuaalimittausten välille, olivat kaikilta uuden laitteiston tarkastelluilta ajokerroilta keskimäärin 0,80. Näissä kuitenkin havaittiin ohuen puolinopeuskalvon kanssa samankaltainen, joskaan ei yhtä suuri, putoama loka-marraskuun näyte-erien välillä. Tämän jälkeen yhteyden voimakkuus jälleen kasvoi ja ylsi joulukuun alun näyte-erässä likimain tarkastelujakson alkupään tasolle. Näyte-erien koon ja määrittävien erot huomioiden manuaali- ja online-mittausten välistä yhteyttä voitaneen pitää merkittävänä.

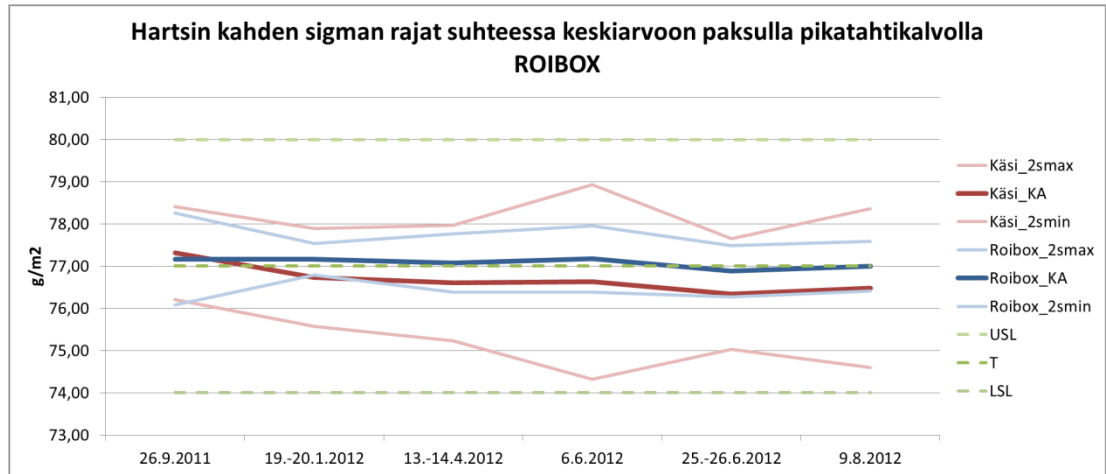
Kaikilla käytetyillä keinoilla tarkasteltuna todettiin, että puolinopeuskalvojen vaihtelu väheni uuden laitteiston myötä. Vaihtelun muodostumisen periaatteeseen (kaava 6) nojaten voitiin todeta vaihtelun pienenemisen puolinopeuskalvoilla olevan huomattavaa ja sen merkittävydestä kielinee stabiilimpi laatu.

Myös pikatahtikalvojen osalta kerätyn mittausdatan analysointi aloitettiin vanhan ja uuden laitteiston trendikuvaajia vertaamalla. Viivakuvaajista (kaaviot 5 - 8) nähtiin, että vanhan laitteiston aikana manuaali- ja online-mittausten välinen vastaavuus oli ollut kausittaista ja toisinaan korrelaatio nähtiin käänteisenä. Kuvaajia tulkittaessa olikin huomattava, että viivoilla havainnollistettiin pisteiden liittymistä toisiinsa eikä niinkään laatusuureen liukumaa. Samalla nähtiin, että vanha laitteisto ei aina reagoinut pitoisuusmuutoksiin. Lisäksi vanhan laitteiston mittauksissa oli havaittavissa kausittaista ajautumaa pois sallitun vaihtelun alueen keskeltä. Tämän katsottiin viittaneen siihen, että tasokorjauksen muuttaminen ajon aikana oli ollut työlästä.

Uudella laitteistolla oikea taso manuaali- ja online-mittausten välillä löytyi ohuelle pikatahtikalvolle lokakuun alussa. Samoihin aikoihin nähtiin myös paksun pikatahtikalvon online- ja manuaalitrendien alkaneen korreloida paremmin. Uuden laitteiston tarkastelujakson loppupäässä todettiin molemmilla pikatahtikalvoilla mittausten häiriintyminen pölyyntymisen ja haihtuvien vurityksen seurauksena. Paksulla kalvolla ongelma havaittiin kaavioissakin dramaattisempana, sillä pölyntyminen oli runsaampaa, eikä oikeita mittapäiden puhdistus- ja antureiden nollaustoimenpiteitä osattu vielä toteuttaa. Ohuen pikatahtikalvon kuvaajassa näkyvää tasoeroa ajanjakson loppupäässä selittänee eniten mikroaaltoanturin kalibrointisuoran kulmakertoimen muutos, jonka seurauksena beetasäteilijän offsetia ei heti ymmärretty muuttaa. Trendikuvaajissa voitiin vähäisestä aineistosta huolimatta nähdä suorituskykyisyyden aineksia jo uuden laitteiston käyttöönoton alkupäässä.

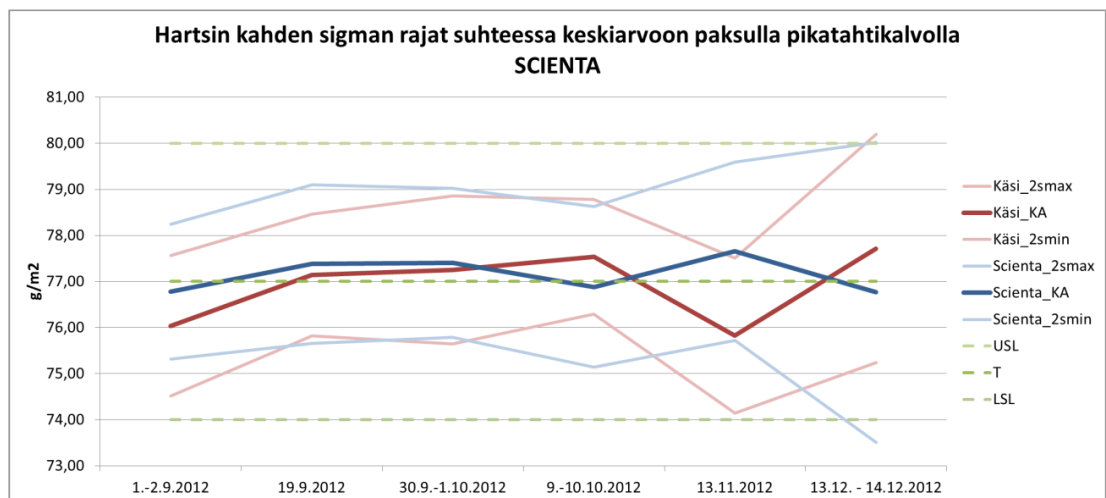
Seuraavaksi laadittiin pikatahtikalvoille kuvaajat, joissa havainnollistettiin vaihtelun ja odotusarvon sijoittumista toleranssialueeseen (liitteet 3 ja 4). Kuvaajia varten laskettiin aikaleimana näkyvältä ajokerralta saaduille manuaali- ja online-mittauksille keski- ja hajontaluvut. Kvantamalla hartsimäärän vaihtelua tällä tavoin, havainnollistettiin mittausten uusittavuutta ja lisäksi SPC-teoriassakin käytettyjä 95 % luottamusvälejä. Vanhan laitteiston mittauksista voitiin tällä tavoin kuvattuna todeta, ettei online-mittausten odotettu arvo ollut kovin lähellä manuaalimittausten vastaavaa. Vanhan

laitteiston luottamusvälikuvaajaa (kaavio 13) tarkastelemalla nähdään, että laatusuureen vaihtelu on keskittynyt lähemmäs toleranssialueen ala- kuin ylälaitaa. Lisäksi kuvasta voidaan nähdä melko pysyvä tasoero online- ja manuaalimittausten välillä.



Kaavio 13. Vanhan laitteiston mittauksilla oli hartsimäärän vaihtelusta saatu selvästi todellista myönteisempi kuva.

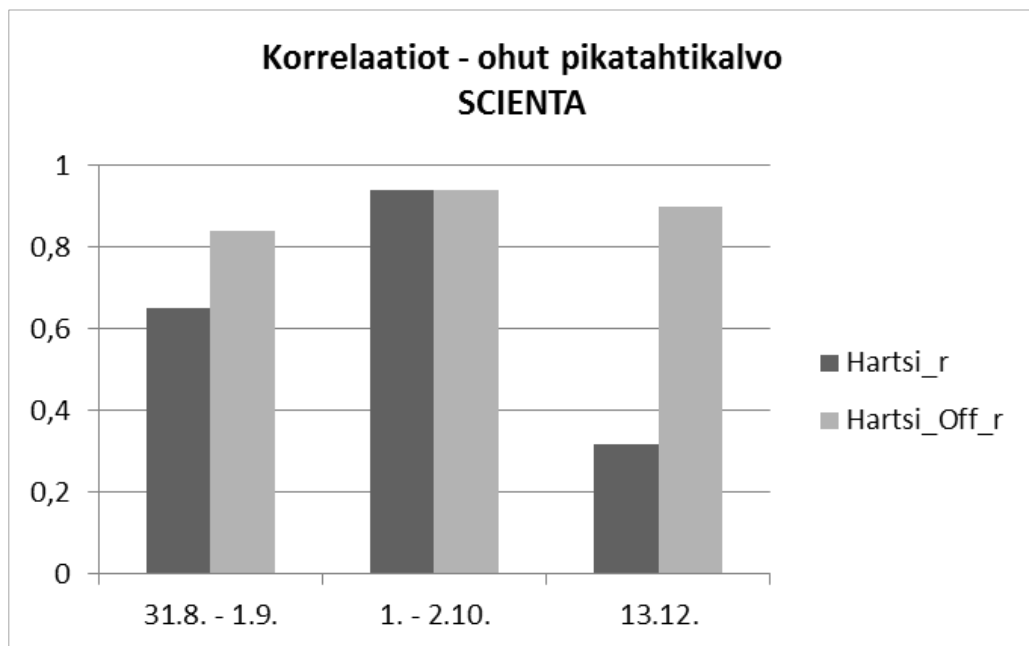
Uuden laitteiston kuvaajista havaittiin, ettei vaihtelu tarkastellulla ajanjaksolla mukailut manuaalimittausten vaihtelua yhtä selvästi kuin puolinopeuskalvoilla. Molempien pikatahtikalvojen tunnuslukujen (liitteet 3 ja 4) tulkintaa myös häiritsi uuden laitteiston tarkastelujakson loppupäässä mittauksia häirinyt mikroaaltoanturin kalibrointi- arvojen muuttaminen sekä mittapäiden pölyyntymisongelma, jonka vaikutuksia nähtiin myös alla olevassa kuvassa (kaavio 14).



Kaavio 14. Viritystoimien suotuisuuden todentamista häiritsi mittapäiden pölyyntymisongelma, jonka vaikutuksia nähdään kuvassa 13.11. ja 13.12..

Tutkimusta uuden laitteiston osalta häiritsi aineiston vähäisyys, sillä ohuelle pikatahtikalvolle saatiin näyte-eriä vain kolmelta ja paksulle kuudelta ajokerralta. Ohuen pikatahtikalvon tarkastelusta ainakin viimeinen ajokerta ja paksun pikatahtikalvon kaksi viimeistä ajokertaa jouduttiin pölyyntymisongelmien vuoksi jättämään tarkastelun ulkopuolelle.

Pikatahtikalvojen uuden laitteiston manuaali- ja online-mittausten välille lasketut korrelaatiokertoimet olivat keskimäärin samaa tasoa puolinopeuskalvoille määritettyjen kerrointen kanssa (liite 5). Ohuelle pikatahtikalvolle saadaan keskimäärin korrelaatiota 0,90 ja paksulle 0,70 (kaavio 15). Kertoimet eivät vaihdelleet ajokertojen välillä yhtä voimakkaasti kuin puolinopeuskalvoilla, mikä viitanee paitsi pienempiin näyteeriin myös vähäisempään vaihteluun. Korrelaatiokertoimista laadittuja pylväsdia-grammeja tarkastellessa nähtiin, ettei mittapäiden pölyntyminen juuri vaikuttanut manuaali- ja online-mittausten korrelointiin. Sen sijaan offsetin kautta se vaikutti korrelaatioon tasokorjatun online-mittaustuloksen ja manuaalimittauksen välillä.



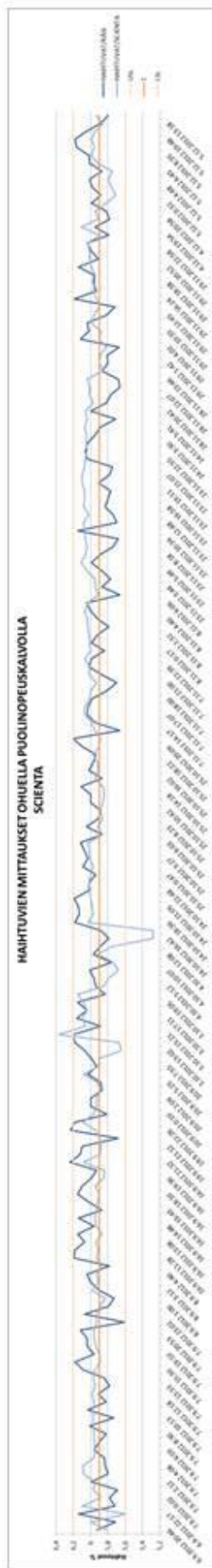
Kaavio 15. Hartsimittausten suorituskyky nähtiin hyvänä jo käyttöönoton alkuvaiheessa.

Kun tutkittiin pikatahtikalvojen näyte-erille manuaalimittausten perusteella laskettuja otoskeskihajontoja, huomattiin, että hajonnat pienentyivät virityksen seurauksena paksulla pikatahtikalvolla 18,4 % vanhan laitteiston keskimääräiseen hajontaan nähden. Uuden laitteiston seurantajakson alkupään keskimääräiseen vaihteluun nähden kehitys oli myös selkeää, sillä hajonta väheni virityksen myötä 16,2 %. Laskenta toteutettiin

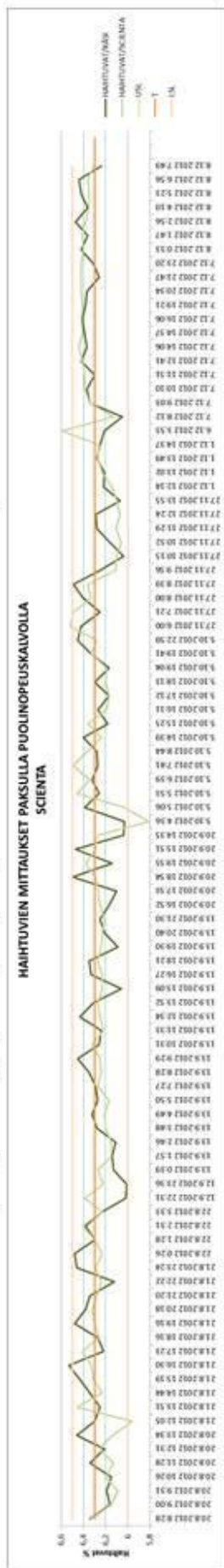
vertaamalla logiikkapäivityksen ja hartsinsäädön vahvistuksen lisäämisen jälkeen saatujen hajontojen keskiarvoja vanhan laitteiston keskimääräiseen ja uuden laitteiston muutosta edeltävien aineistojen keskimääräiseen hajontaan. Vaihteluvälien vertailu tehtiin samalla periaatteella, mutta siinä havaittu kehitys ei ollut aivan yhtä selkeää. Vanhan laitteiston näyte-erien keskimääräiseen vaihteluväliin verrattuna vaihtelu uudella laitteistolla oli viritysten jälkeen 8,90 % vähäisempää. Kun verrattiin uuden laitteiston käyttöönoton alkupään keskimääräiseen vaihteluväliin, pieneni vaihtelu 8,00 %. Laskennassa ei huomioitu mikroaaltoanturin virityksen seurauksia, joten näiden vaikutuksesta luvut saattavat edelleen muuttua.

Jo uuden laitteiston trendejä (kaaviot 1 - 8) tutkimalla huomattiin, että vaihtelu oli tarkastelujakson alussa suurempaa ja väheni jakson loppua kohti mentäessä. Kehitykselle saatiin matemaattinen vahvistus laskemalla aineistoille hajontaluvut. Silti keskiarvoista ja hajonnoista laskettujen luottamusvälien tilanteen pysyvyydestä ei ollut mahdollista tehdä kovin luotettavia tulkintoja vastoinkäymisistä ja aineiston vähäisyydestä johtuen. Logiikkapäivityksen ja kulmakertoimen muutoksen vaikutuksista ei pikatahtikalvojen hartsimittauksen suorituskyvyn arvioimiseksi saatu yhtä selvää näyttöä kuin puolinopeuskalvoille, sillä mittapäiden pölyntyminen vaikeutti aineiston perusteella tehtävien suorituskyky päätelmien tekoa loka-marraskuusta alkaen. Silti hartsinsäädön vahvistuksen lisäämisellä ja lokakuussa tehdyllä logiikkapäivityksellä voitiin pikatahtikalvoillakin havaita olevan osuutta vaihtelun pienenemiseen.

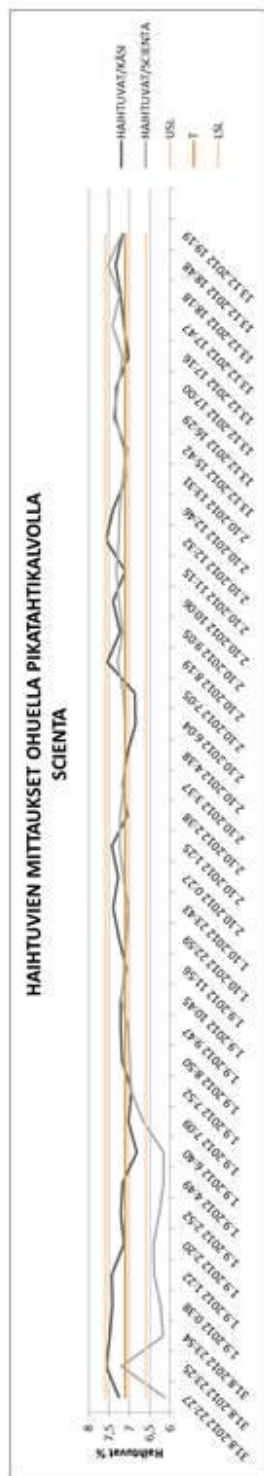
Kaikkien seurattujen kalvolaatujen hartsimäärien manuaalimittausten hajonta oli uudella laitteistolla keskimäärin 26,6 % vanhan laitteiston hajontaa pienempi. Laadun stabiilisuuden todettiin lisääntyneen tavoitearvoa paremmin mukailevien keskilukujen ja aiempaa huomattavasti vähäisemmän vaihtelun perusteella. Tulkinnat varmistettiin tutkimalla manuaalimittauksia. Se, että manuaalimittausten vaihtelu väheni online-mittausten mukana, voitiin tulkita signaaliksi siitä, että prosessi alkoi tuottaa stabiilimpaa laatua ja uusi säätöjärjestelmä oli vanhaa suorituskykyisempi. Mikäli laadun kokonaisvaihtelun ajatellaan muodostuvan, kuten paperin laatusuureiden vaihtelua ja mittaamista käsittelevissä lähteissä ilmaistaan (kaava 6), kehityksen tulkittiin myönteisenä. Johtopäätöksenä voitiin todeta, että hartsinsäädön vahvistuksen lisääminen oli logiikkapäivityksen ohella tehostanut mittausten säädön toimintaa. Suorituskykyisyyden puolesta puhunee stabiilimpi laatu.



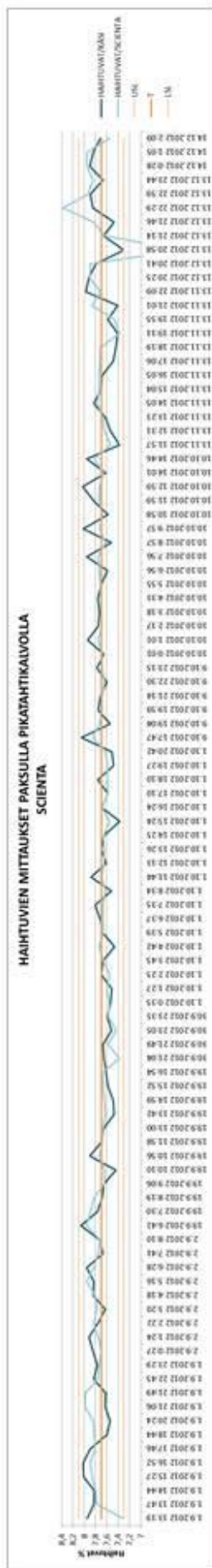
Kaavio 16. Haihtuvtrendistä nähdään, että jakson loppupäässä (4.12.) tehty kalibrointi saa online-mittausten nähdynvaihtelun mukalemaan manuaalimittauksia.



Kaavio 17. Paksun puolinopeuskalvon haihtuvamittauksiin pienellä kalibroinnin kulmakertoimen lisäämisellä (27.11.) ei havaittu olevan vaikutusta.



Kaavio 18. Ohuen pikatahtikalvon haihtuvtrendissä nähdään jo hieman kalibroinnin vaikutuksia jakson loppupäässä (13.12.).



Kaavio 19. Haihtuvtrendissä nähdään kalibroinnin näkyvää vaihtelua lisäävä vaikutus jakson loppupäässä (13.12.). Pölyntyminen häiritsi tulkintaa.

5.3.2 Haihtuvien mittaaminen mikroaaltoanturilla

Mikroaaltoanturi oli koko tarkastelujakson ajan kalibrointi- ja viritysvaiheessa. Mittausten analysoinnin taustalla olikin ajatus manuaali- ja online-mittausten vertailusta. Päätelmät tehtiin manuaali- ja online-mittauksille lasketuista tilastollisista tunnusluvuista. Haihtuvamittausten tutkimisessa tärkeän roolin sai mikroaaltoanturin viritykseen osallistuminen, jonka ohessa anturin suorituskyky tuli tutkituksi. Tärkeimpänä osa-alueena voitiin pitää näyte-erien perusteella tapahtuvaa uusien kalibrointi-arvojen laskemista. Edustavan aineiston saaminen anturin kalibroimiseksi osoittautui kuitenkin haasteelliseksi, sillä koeajoille ei ollut tuotantoajossa sijaa. Lisäksi tulkintoja ei voitu rajata tehtäväksi pelkästään mikroaaltoanturin osalta, sillä haihtuvien online-mittaustulosta käytetään hartsimäärän laskennassa. Saatua haihtuva-arvoa vaikuttaa hartsinsäätöön siinä mielessä, että järjestelmä laskee tuotteen neliömassasta hartsimäärän tuotteen kuivan neliömassan perusteella (kuva 21).

Graafisen visualisoinnin perusteella käynnistettiin tutkimukset ja alettiin tehdä havain- toja manuaali- ja online-mittausten dynaamisesta yhteneväisyydestä. Haihtuvien trendikuvaajat (kaaviot 16 - 19) piirrettiin manuaalinäytteenottohetkellä saaduista online- ja manuaalimittaustuloksista. Manuaalimittaus määritettiin valvomon laboratoriossa valmistuneen tuoterullan lopusta otetusta näytearkista ja online-näyte edusti tuoterul- lan loppua, ollen keskiarvo viimeisimmistä kahdesta traversoinnista. Täten molempien näytteiden perusteella saatu tieto prosessin laatusuureiden ”todellisesta” vaihtelusta oli suuntaa-antavaa.

Heti alussa trendikuvaajista huomattiin, että online-mittaustulosten vaihtelu oli refe- renssiin nähden lähes olematonta. Täten haihtuvien vähäinen muutos online- mittauksissa (suureen muutoksen näkymättömyys järjestelmässä) ei antanut todenmu- kaista tietoa myöskään hartsin muutoksista säätöjärjestelmään. Nähty, vähäinen vaih- telu tulkittiin niin, ettei anturin sen hetkinen viritys antanut totuudenmukaista kuvaa laatusuureen vaihtelusta. Kun trendejä tarkasteltiin huolellisemmin, voitiin huomata hieman referenssin vaihtelua myötäilevää vaihtelua online-mittauksissa. Tästä päätel- tiin, ettei mittaussignaalia oltu vahvistettu tarpeeksi.

Mikroaaltoanturin kalibrointia varten suunniteltiin ja toteutettiin koeajotyypiset tilan- teet tuotantoajossa kolmella kalvolaadulla. Kahdella ensimmäisellä kerralla pyrittiin nostamaan haihtuvia ratanopeuden avulla koeajoraportin (liite 12) mukaisesti. Kol-

mannella kerralla seurattiin uusien viritysarvojen vaikutusta laatuun heti arvojen vaihtamisen jälkeen. Ajoista saatu mittaussaineisto hyödynnettiin kalibrointi-arvojen määrittämisessä. Parempien kalibrointi-arvojen laskennassa käytettiin lineaarisen kalibroinnin periaatetta (kaava 10). Regression avulla siis etsittiin niitä arvoja, joiden avulla anturin ulostulo saatiin paremmin vastaamaan referenssimittaustulosta. Vertailu tehtiin Excel-taulukossa. Kalibrointi aloitettiin taulukoimalla mittaustulokset. Taulukossa (taulukko 1) voidaan tarkastella ohuen pikatahtikalvon mittaustuloksia.

Taulukko 1. Mikroaltoaanturin kalibrointi-arvoja 1. - 2.10.2012.

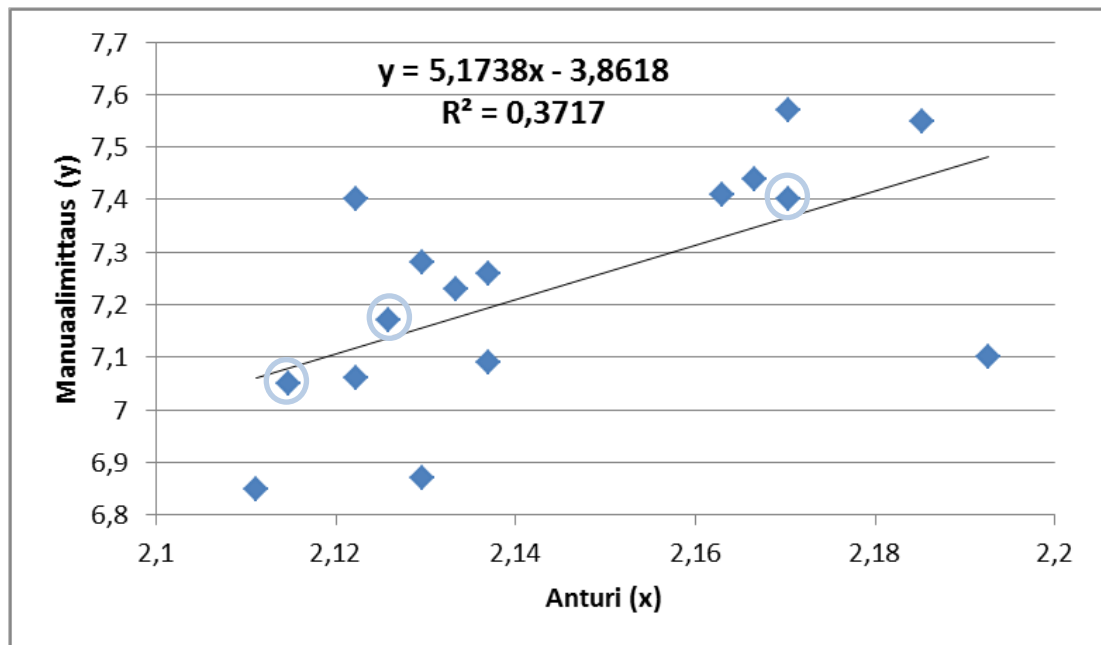
Mittausaika	Manuaali	Online	Offset	Kulma- kerroin	Anturi
	y		b	a	x
1.10.2012 22:59	7,26	7,07	1,3	2,7	2,1370
1.10.2012 23:43	7,40	7,03	1,3	2,7	2,1222
2.10.2012 0:27	7,28	7,15	1,4	2,7	2,1296
2.10.2012 1:25	7,44	7,25	1,4	2,7	2,1667
2.10.2012 2:38	7,06	7,23	1,5	2,7	2,1222
2.10.2012 3:37	7,17	7,14	1,4	2,7	2,1259
2.10.2012 4:38	7,05	7,11	1,4	2,7	2,1148
2.10.2012 6:04	6,85	7,10	1,4	2,7	2,1111
2.10.2012 7:05	6,87	7,15	1,4	2,7	2,1296
2.10.2012 8:19	7,55	7,30	1,4	2,7	2,1852
2.10.2012 9:05	7,23	7,16	1,4	2,7	2,1333
2.10.2012 10:06	7,40	7,26	1,4	2,7	2,1704
2.10.2012 11:15	7,10	7,32	1,4	2,7	2,1926
2.10.2012 12:32	7,57	7,26	1,4	2,7	2,1704
2.10.2012 12:46	7,41	7,24	1,4	2,7	2,1630
2.10.2012 13:31	7,09	7,17	1,4	2,7	2,1370

Kalibrointitoimilla haluttiin muuttaa haihtuvien mittaussignaalin (anturisuureen) käsittelyssä käytettyjä arvoja niin, että manuaali- ja online-mittaustulokset vastaisivat toisiinsa mahdollisimman tarkasti. Online-mittausten haluttiin peittävän kattavasti koko laatusuureen mahdollinen vaihtelualue. Siksi taulukkoon haluttiin mittaustuloksia mahdollisimman laajalta vaihtelualueelta. Anturin tehdasjärjestelmään tallentuneita online-mittaustuloksia ei sellaisenaan voitu käyttää, vaan niitä oli käsiteltävä vastaamaan anturisuuretta. Tämä tehtiin vähentämällä saadusta tuloksesta offset ja jakamalla näin syntynyt erotus vanhan kalibrointisuoran kulmakertoimella. Määrittäminen perustui aiemmin esitettyyn regressioteoriaan (kaava 10) suoran yhtälön avulla. Tämän perustella anturin ulostulo x taulukossa oli

$$x = \frac{y-b}{a} \quad (16)$$

- y online-mittaustulos
 b mittausten offset
 a mittausten kulmakerroin.

Jyrkempi kalibroinnin kulmakerroin saa mittalaitteen ulostulon näkymään laaduntarkkailussa selvempänä muutoksena. Kalibrointi suoritettiin vertaamalla mikroaaltoanturin antamia tuloksia valvomolaboratoriossa tehtyihin manuaalisiin referenssimittauksiin. Saatuja online- ja manuaalimittaustuloksia voitiin graafisesti verrata alla olevan kuvan (kaavio 20) mukaisesti.

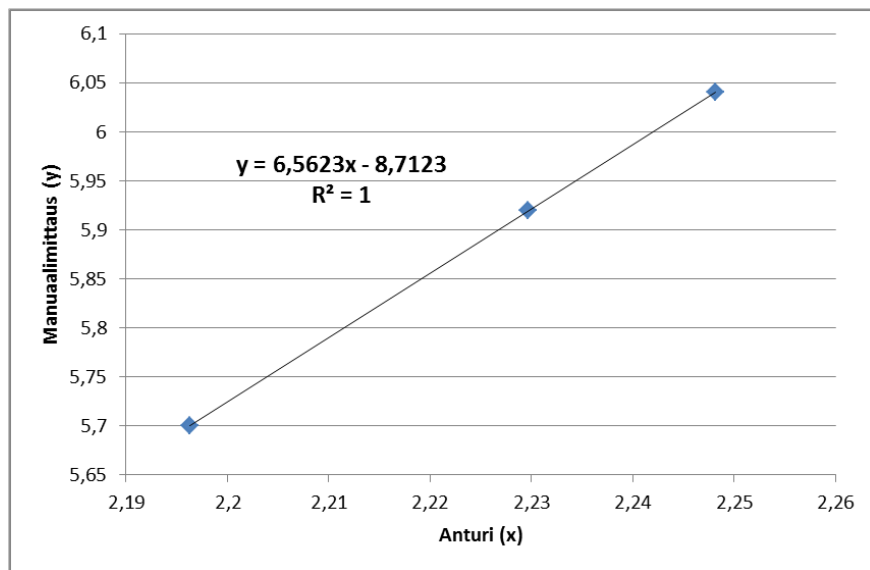


Kaavio 20. Kaikki saadut online- ja manuaalimittausten vastin pisteet yhdistettiin trendiviivalla. Kuvaa ympäröitiin edustavimmat pisteet.

Koska mittalaitteessa tavoitellaan teknistä riippuvuutta mittalaitteen ulostulon ja mitattavan signaalin välillä, mittaustuloksen (y) ja mitattavan signaalin (x) välisen yhteyden jyrkkyyttä kuvaa suoran kulmakerroin (a). Online- ja manuaalimittausten yhteyden eli korrelaation (kaavio 20: R^2) halutaan olevan mahdollisimman voimakas. Käytännössä sen haluttiin olevan lähellä 1:stä, mutta 0,9-alkuisetkin voitiin hyväksyä.

Mittaustulokset eivät pistekuvaajassa välttämättä aina muodosta lineaarista pistejoukkoa. Siksi valittiin kuvan näyte-erästä parhaiten edustavat pisteet. Sopivimmat pisteet nähdään kaaviossa (kaavio 20) ympäröityinä. Yhdistämällä valitut pisteet uuteen ku-

vaan viivalla suoraksi saatiin taulukko-ohjelmasta helposti sekä yhteyden voimakkuutta kuvaava korrelaatiokerroin että uudet kalibrointi-arvot. Ympyröityjen pisteiden perusteella määritettyjä kalibrointi-arvoja voidaan tarkastella pikatahtikalvojen kalibrointia käsittelevässä osassa (kaavio 23). Käytännössä uusien kalibrointi-arvojen avulla käsiteltynä anturisuure antaa ne arvot, joilla mittaukset samoissa olosuhteissa vastaavat toisiaan. Kalibroinnin olosuhderiippuvuus on yksi hyvä syy sille, miksi tuotantolosuhteiden stabiilisuus on tärkeää. Kalibrointi-arvojen esittämisessä edetään tämän jälkeen siinä järjestyksessä, kun arvoja on tehdasjärjestelmään muutettu.



Kaavio 21. Ohuen puolinopeuskalvon reseptiin päivitetään kuvan mukaiset viritysarvot.

Ohuelle puolinopeuskalvolle saatiin edellä esitetyllä määritystavalla kulmakertoimeksi, ajokerrasta hieman riippuen, arvoja välillä 2,51 - 7,92. Eri määrityskertojen keskiarvoksi saatiin 5,31 ja mediaaniksi 4,82. Virityksessä kulmakerroin muutettiin 2,70:sta 6,56:een (kaavio 21) 4.12.2012. Muutoksen jälkeen nähtiin trendikuvaajassa (kaaviot 16 ja 25) online-mittausten vaihtelun lisääntyneen. Online- ja manuaalimittausten vaihtelujen haluttiinkin tulevan lähemmäs toisiaan, jotta saatiin näyttöä sille, että haihtuvien ja impregnaatista mikroaaltoanturilla mitatun kosteuden välille oli löydettävissä korrelaatio.

Tilastollisia tunnuslukuja tutkittiin mainittujen aineistojen perusteella. Taulukoihin valittiin mittaustulokset niin, että tarkastellun kalvolaadun marras-joulukuussa tehdyt mittaukset yhdistettiin omaksi näyte-eräkseen ja joulutammikuussa tehdyt mittaukset omakseen. Tällä pyrittiin tarkastelemaan nimenomaan mikroaaltoanturin kalibroinnin ja virityksen vaikutuksia mittauksiin. Kun jälkimmäisen aineiston manuaali- ja online-

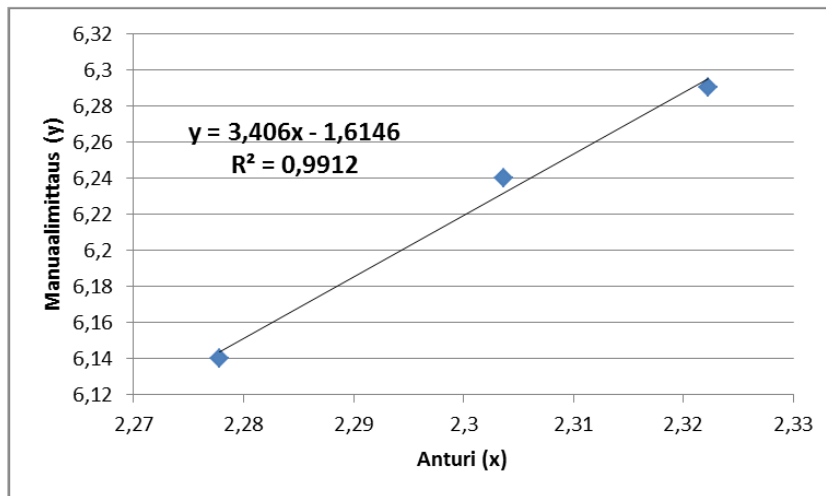
mittauksille määritettiin otoskeskihajonta, huomattiin, että se oli online-mittausten (0,15 %) ja manuaalimittausten (0,17 %) välillä lähes yhtä suuri. Vertailuaineistossa, jolla kerroin oli 2,70, saatiin online-mittausten hajonnaksi 0,07 %, joka oli referenssin 0,14 %:a selvästi pienempi. Laitteiston voitiin siis uusilla viritysarvoilla todeta ilmaisevan vaihtelua paremmin.

Dynaamisen korrelaation tulokset vahvistivat mittausten yhdenmukaisuuden parantamista uusilla viritysarvoilla. Mittausten erotusten keskiarvo oli aikaisemmin 0,10 % ja hajonta 0,16 %, mutta kertoimen lisäämisen jälkeen ne olivat -0,02 % ja 0,23 %. Tuloksena todettiin, että uudet viritysarvot toivat mittausten odotusarvot lähemmäs toisiinsa. Silti oli huomattava, että suurentunut erotusten hajonta saattoi viitata kulmakerroimen olleen liian suuri. Silti erotusten keskiarvon perusteella online-mittaus korreloi manuaalimittausten kanssa uusilla viritysarvoilla paremmin. Lisäksi viritysarvojen vaihtamisella oli selvästi vaikutusta hartsinsäätöön. Hartsimittausten erotusten keskiarvo pienentyi $0,42 \text{ g/m}^2$:sta $-0,12 \text{ g/m}^2$:een ja hajonta muuttui $0,60 \text{ g/m}^2$:sta $0,66 \text{ g/m}^2$:iin. Se, että kalibrointia varten otetut näytteet otettiin tuotantoajosta ja vaihtelu oli kaikissa näyte-erissä toleranssirajojen sisäpuolella, antoi aiheen epäillä kerrointen määrittämisen vaativan vielä täsmentämistä. Varovaisesti arvioiden parempi kertoimen arvo löydetäneen ohuelle puolinopeuskalvolle väliltä 5,50 - 6,50.

Paksulle puolinopeuskalvolle lasketut korrelaatiokertoimet olivat seurantalaaajujen huonoimpia. Tulokseen saattoi vaikuttaa kalvon lähes mustan värin lisäksi näyte-erien pieni koko, ajokerrasta riippuen näyte-erien koko myös vaihteli huomattavasti. Ohuella puolinopeuskalvolla korrelaatiokertoimet olivat myös pikatahtikalvoille määritettyjä pienempiä. Koska korrelaatiokertoimet laskettiin pääasiassa ajalle ennen viritysarvojen muuttamista ja ne vaihtelivat virityksestä ja kalibroinnista riippumattomista syistä ajokertojen välillä, voitiin niiden perusteella tehtävät päätelmät jättää tämän analyysin ulkopuolelle. Silti ohuen puolinopeuskalvon korrelaatioiden havaittiin huonontuvan talvikaudella. Tästä pääteltiin, että talven myötä laskevalla ilmankosteudella tai lämpötilalla on merkitystä ainakin puolinopeuskalvojen haihtuvien online-määrittämisestä kannalta.

Paksulle puolinopeuskalvolle laskettiin kalibrointisuoran kulmakertoimia välille 3,41 - 11,24. Näiden keskiarvoksi saatiin 7,89 ja mediaaniksi 7,60. Tarkastellulta aikaväliltä nähtiin trendikuvaajassa (kaavio 17) mittauksia, joiden kalibrointisuoran kulmakerroin

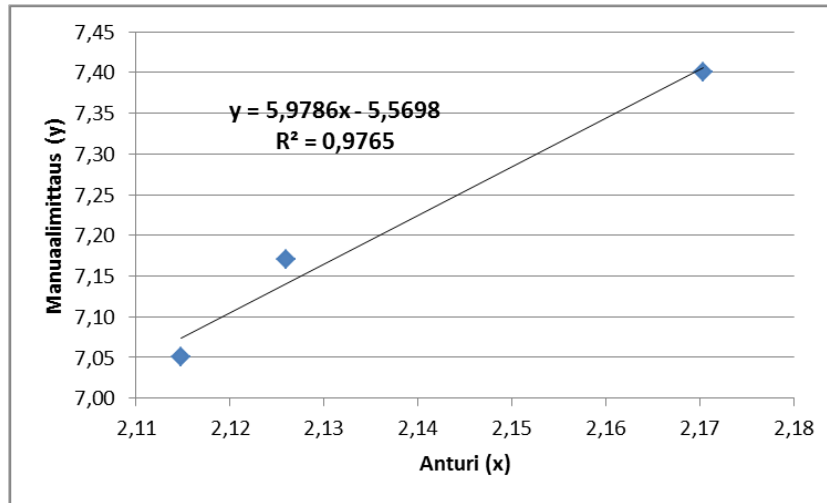
oli lähtötilanteessa 2,70 ja muutoksen jälkeen kuvan (kaavio 22) mukaisesti määritetynä 3,41. Kyseinen arvo oli tuotantoajossa käytössä 27.11.(n = 10) ja 1.12.(n = 4).



Kaavio 22. Paksun puolinopeuskalvon reseptiin päivitettiin kuvan mukaiset arvot.

Online- ja manuaalimittauksille lasketut korrelaatiokertoimet olivat kuitenkin kyseisillä ajokerroilla selvästi vertailuajokertoja paremmat, ollen 27.11. 0,64 ja 1.12. 0,66. Suuremman näyte-erän (27.11.) online- ja manuaalimittausten välisen korrelaation voitiin todeta olevan näyte-erän koon perusteella määritettyä kriittistä arvoa hieman suurempi ja siinä mielessä merkittävä.

Virityksessä pienehköllä kertoimen muutoksella ei huomattu olevan merkitystä näkyvän vaihtelun lisääjänä. Päätelmiä siitä, toiko pienehkö kertoimen kasvattaminen online-vaihtelun lähemmäs referenssin vaihtelua, ei voitu näin vähäisellä aineistolla tehdä. 12.9. asennetulla lämpötilaskaalalla tai laitetoimittajan kyseisenä päivänä tekemillä päivityksillä saattoi olla vaikutusta haihtuvien online- ja manuaalimittausten vaihtelun lähentymiseen, sillä online- ja manuaalimittausten hajonnat olivat tämän jälkeen lähempänä toisiaan. Tämän kalvolaadun kalibroinnin yhteenvetona voitiinkin todeta, että todennäköisin kulmakerroin sijainnee välillä 6,00 - 8,00. Erityisesti tämän kalvon osalta oikeiden kertoimien määrittäminen vaatii lisätutkimuksia, sillä kertoimen kasvattamisen suotuisuudesta ei saatu näyttöä.



Kaavio 23. Ohuelle pikatahtikalvolle vaihdettiin alkuperäisten viritysarvojen tilalle kuvan mukaiset arvot.

Laadulle saatiin kalibrointisuoran kulmakertoimeksi arvoja välillä 2,81 - 7,92. Näille keskiarvoksi saatiin 5,57 ja mediaaniksi 5,98. Kuvan (kaavio 23) mukaiset viritysarvot päivitettiin tehdastietojärjestelmän reseptiin 13.12.. Arvot vaiheittainen määrittäminen esitettiin kappaleen alun kalibrointiesimerkissä (taulukko 1 ja kaavio 20).

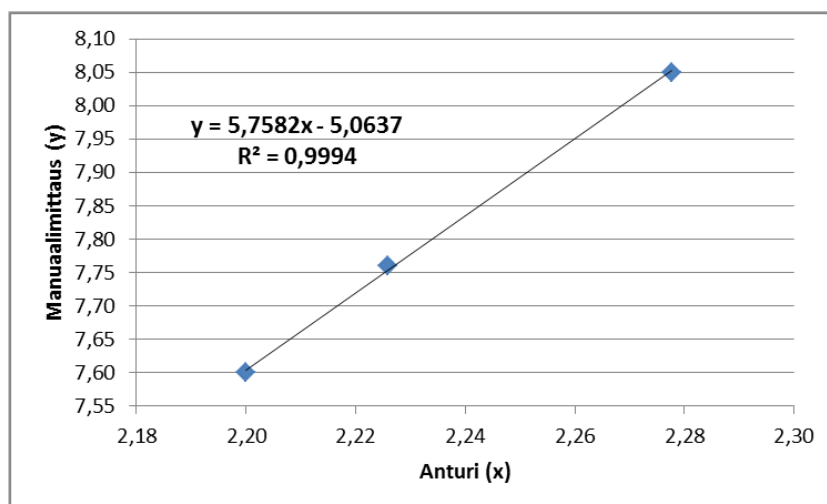
Kun tarkasteltiin trendikuvaajia viritysarvojen muuttamisen jälkeen, ei haihtuvien vaihtelussa (kaaviot 27) havaittu muutosta. Sen sijaan hartsimäärän vaihtelun (kaavio 28) havaittiin selvästi vähentyneen. Tutkimalla asiaa dynaamisen korrelaation (liite 10) avulla, huomattiin, että sekä erotusten keskiarvo että hajonta sekä haihtuvien että hartsin mittaauksissa pienenevät. Tätä voitiin varovasti arvioiden pitää hyvänä merkinä yhtäpitävyyden paranemisesta ja sitä kautta mittausten ja säätöjärjestelmän suorituskyvyn lisääntymisestä. Tulkintaa voitiin edelleen jatkaa niin, että viritysarvoja kasvattamalla saatiin vahvistus sille, että arvojen tulee olla alkuperäistä (2,70) suuremmat. Todennäköisesti tälle laadulle sopivat arvot löydetään väliltä 5,00 - 6,00.

Ohuelle pikatahtikalvolle saatiin tutkimuksen pääasiallista suorittamista varten näyteeriä vain kolmelta ajokerralta. Näistä viimeisimmässä käytettiin uudelleen määritettyjä viritysarvoja, mutta tulosten tulkintaa häiritsi mittapäiden pölyntyminen. Tälle laadulle ennen viritysarvojen muuttamista lasketut korrelaatiot (liite 8) olivat parempia kuin puolinopeuskalvoille keskimäärin. Kahdessa viimeisimmässä aineistossa, joille korrelaatiokerroin määritettiin, se oli keskimäärin 0,60. Jälkimmäinen näyte-erä oli kuitenkin niin pieni ($n = 8$), ettei sen perusteella voitu tehdä päätelmiä. Samoin mittapäiden pölyntymisestä voitiin pitää kyseisen ajokerran mittausten perusteella tehtyjä

päätelmiä häiritsevänä seikkana. Sen sijaan edeltävälle aineistolle (n = 16) määritetty korrelaatio oli näyte-erän koon perusteella määritettyä kriittistä arvoa suurempi ja sikäli merkittävä. Tulosta pidettiin viitteenä siitä, että anturi mittaisi pikatahtikalvoja puolinopeuskalvoja paremmin. Tästä taas voitiin johtaa ajatus siihen, että anturi oli kyvykkäämpi aistimaan kosteudenvaihtelua nimenomaan pikatahtikalvoista. Toisin sanoen pikatahtikalvoissa oli enemmän sitoutunutta kosteutta.

Paksun pikatahtikalvon keski- ja hajontalukujen perusteella määritettyjä luottamusvälejä (liite 7) tarkastelemalla nähtiin, että online- ja manuaalimittaukset mukailivat toisiaan suhteellisen hyvin jo ennen viritysarvojen päivittämistä. Parempi korrelaatio nähtiin myös näyte-erille lasketuista korrelaatiokertoimista (liite 8), jotka tällä kalvo-laadulla olivat seurantalaauiduista parhaat, myös näyte-erien koon perusteella määritettyjen kriittisten arvojen perusteella. Tämä vahvisti ajatusta siitä, että anturi on kyvykkäämpi aistimaan kosteudenvaihtelua nimenomaan pikatahtikalvoissa.

Laskemalla kalibrointisuoran kulmakertoimia paksulle pikatahtikalvolle saatiin arvoja väliltä 4,60 - 12,35. Laskettujen kulmakertoimien keskiarvoksi saatiin 6,99 ja mediaaniksi 5,50. Seuraavaksi eriteltyt seuraukset kulmakertoimen muutoksesta viittasivat siihen, että sopiva arvo tulee olemaan alkuperäistä suurempi. Toisaalta aineistot, joissa näyte-erään saatiin tuloksia suuremmalla vaihteluvälillä, antoivat matemaattisista syistäkin pienempiä kulmakertoimen arvoja, kun regressio niissä määritetty luvemman alueen kautta. Kaaviosta 24 nähtiin kalibrointiarvojen määrittäminen. Kuvassa määritetyt arvot ovat suuntaa-antavia, sillä vaihteluväliä ei tuotantoajossa saatu kasvatettua riittävästi.



Kaavio 24. Paksulle pikatahtikalvolle saatiin kalibroinnin kulmakertoimeksi 5,76.

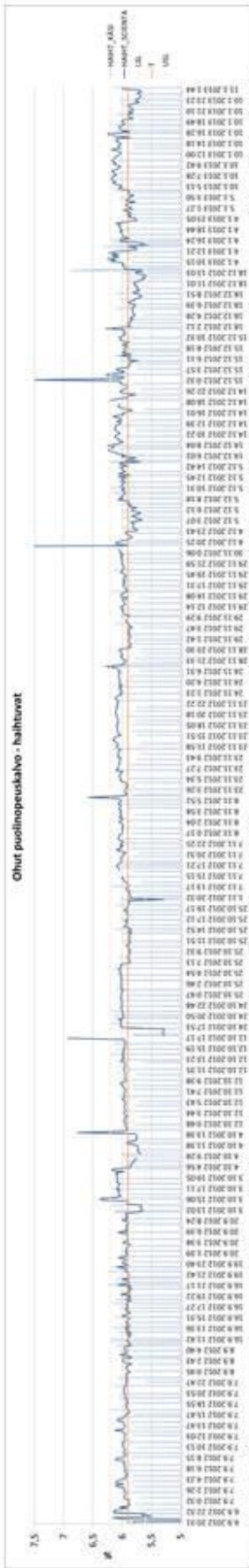
Tällä kalvolla virityksen kulmakertoimeksi järjestelmään muutettiin 10,3 entisen 2,70 sijaan. Kyseinen arvo otettiin paksulle puolinopeuskalvolle määritetyistä viritysarvoista, kun tutkimuksen varhaisemmassa vaiheessa näytti siltä, että kulmakertoimet voisivat olla hyvinkin korkeita ja pyrkimyksenä oli kaikille laaduille yhteisten arvojen määrittäminen. Trendikuvaajassa (kaavio 31) nähtiin vaihtelun erittäin selvä lisääntyminen kulmakertoimen nostamisen seurauksena. Samaan aikaan hartsimäärän online-vaihtelu selvästi pieneni online-määrittämisessä käytetystä laskentatavasta johtuen.

Dynaamisen korrelaation aineistoksi valittiin mittauksia ajalta ennen mittapäiden pölyntymistä (30.9. - 10.10.2012) ja ajalta pölyntymisongelman korjaustoimenpiteiden jälkeen (3.1. - 16.1.2013). Kun määritettiin dynaaminen korrelaatio (liitteet 9 ja 10) kulmakertoimen muutoksen jälkeiselle ajalle (3.1. - 16.1.2013) huomattiin, että haihtuvien manuaali- ja online-mittausten erotusten keskiarvo (0,05 %) hieman kasvoi aiempien ajokertojen manuaali- ja online-mittausten välisten erotusten keskiarvosta (-0,03 %). Samoista haihtuva-aineistoista määritetyillä erotusten hajonnoille suuntaus tulkittiin samankaltaiseksi, vaikka online- ja manuaalimittausten vaihtelut suuruusluokaltaan vastaavatkin paremmin toisiaan. Mittausten vaihtelun ei todettu siis kalibroinnin ja sen perusteella tehdyn virityksen vuoksi radikaalisti lähentyneen toisiaan. Seuraukset hartsin säätöön olivat näkyvämmät, sillä hartsimäärän vaihtelu sekä online- että manuaalimittauksissa selvästi väheni mikroaaltoanturin viritysarvojen muuttamisen jälkeen. Tulos vahvasti epäilystä siitä, että haihtuvien kalibrointisuoran kulmakertoimen tulisi olla alkuperäistä suurempi mutta kokeiltua pienempi. Tulosten perusteella arvioiden parempi arvo löydetään väliltä 6,50 - 7,50.

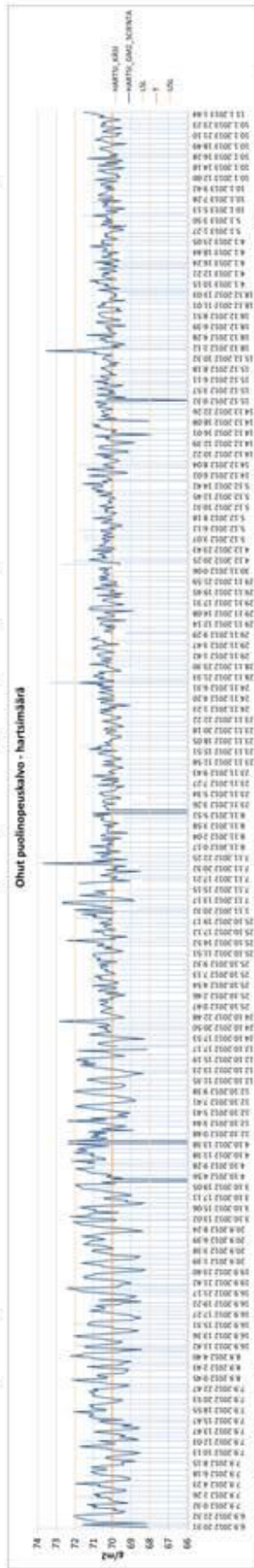
Huomionarvoinen seikka pikatahtikalvoilla oli se, että niille saatiin korkeampia korrelaatiokertoimia kuin puolinopeuskalvoille. Paksulla pikatahtikalvolla korrelaatiokertoimet manuaali- ja online-mittausten välillä olivat seurantalaaaduista parhaimpia: kahdella ajokerralla keskimäärin 0,70. Havainto oli samansuuntainen kuin ohuella pikatahtikalvolla. Tutkittaessa pikatahtihartsin reseptejä, huomattiin, että hartsipanokseen lisätään valmistusvaiheessa vettä. Lisätyllä vedellä saattoi olla yhteys parempaan korrelaatioon, mutta asian tarkempi tutkiminen siirrettiin tulevaisuuteen. Mikäli lisätty vesi tai jokin muu hartsin ominaisuus selittää paremman korrelaation, voitaneen pikatahtikalvoilla käyttää puolinopeuskalvoja pienempiä kulmakertoimia.

Huomionarvoista kalibrointi-arvojen määrittämisessä oli se, että paksummille kalvolaaduille saatiin ohuita suurempia kulmakertoimia. Paksuun kalvoon oletettavasti sisältyy vettä ohuita enemmän suhteessa suuremman hartsi- ja paperimäärän vuoksi. Saadut arvot viittasivat siihen, että paksut kalvot sisältäisivät vettä ohuita enemmän. Ilmiötä voitaneen selittää sillä, että paksun tuotteen läpi kulkiessaan mittaustaajuus vaimenee enemmän. Osaltaan ilmiötä selitti tehty havainto siitä, että paksujen kalvojen matalammat ajonopeudet saavat aikaan sen, että kalvoista mitatut haihtuvat pyrkivät olemaan tavoitearvoa alhaisemmat siinä missä ohuilla kalvoilla korkeammista ajonopeuksista johtuen tavoitearvoa korkeammat, mikä voidaan helposti todeta luottamusvälikuvaajista (liitteet 1 - 4). Ohuiden kalvojen korkeista ajonopeuksista johtuen kalibrointiin tuotantoajosta saadut haihtuva-arvot vaihtelivatkin luonnollisesti tästä syystä paksuja enemmän. Tälläkin voitiin perustella sitä, että haihtuvien viritysarvojen määrittämisessä olisi saatava arvoja mahdollisimman laajalti eri ajonopeuksilta. Hyvin onnistuneen kalibroinnin ja virityksen seurauksena uuden laadunhallintajärjestelmän kapasiteetti saataneen paremmin käyttöön ja ennen pitkää hyödynnettäväksi saadaan myös haihtuvien automaattisäätö.

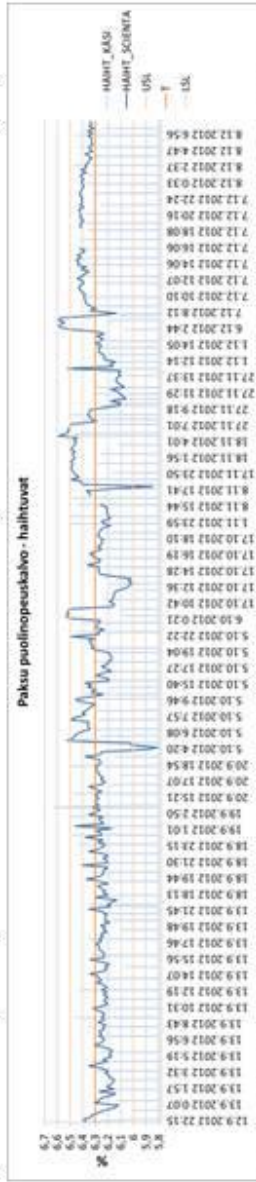
Aiemmassa esitettyjen esimerkkien mukaisesti määritetyistä kalibrointi-arvoista huomattiin, että ne seurantaan valituille kalvolaaduille laskettuna ne poikkeavat huomattavasti lähtötilanteen viritysarvoista. Muistakin seurantaan valittujen kalvolaatujen kalibrointi-arvoista tehdään samansuuntainen havainto. Lähtötilanteessa kalibrointisuoran kulmakerroin oli 2,70, mutta tulokset seurantajaksolla antoivat ymmärtää parempien arvojen olevan tätä suurempia. Osittain ilmiötä perusteltiin määrittämisessä käytettyjen aineistojen heikohkolla edustavuudella, kun tuotantoajosta ei saatu tuloksia kovinkaan suurella vaihteluvälillä. Merkittävin haihtuvien kalibrointiin ja viritykseen liittyvä havainto oli kuitenkin se, että kasvattamalla kalibrointisuoran kulmakerrointa saatiin online- ja manuaalimittausten hajonnat lähelle toisiaan. Mikroaltoaanturin virityksen avulla saatiin kiistatonta näyttöä siitä, että virityksellä oli vaikutusta hartsin automaattisäätöön, jonka suorituskyky parani, kun laadusta saatiin stabiilimpaa säädön ansios- ta.



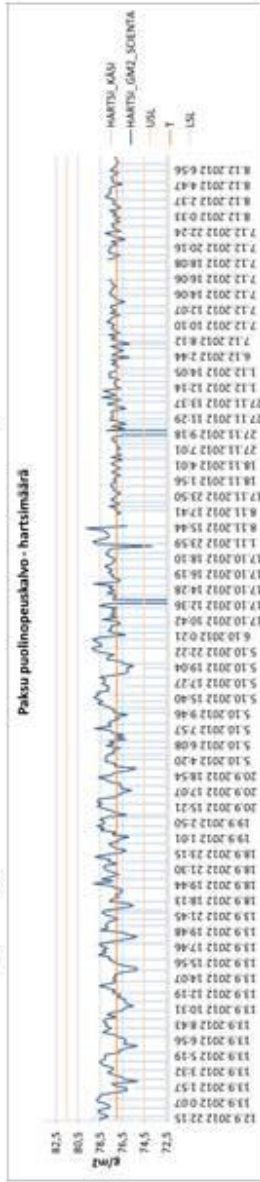
Kaavio 25. Ohuen puolinopeuskalvon haittuvien mittauksista nähdään, että jaksen lopussa (4.12.) tehty kalibrointi lisäsi online-mittausten näkyvää vaihtelua.



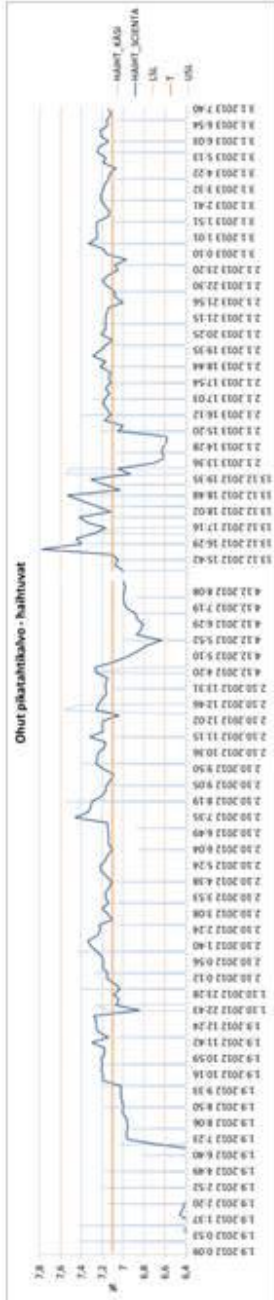
Kaavio 26. Koko tarkastelejaksen ohuen puolinopeuskalvon hartsimittauksista nähdään, että vaihtelu on saatu vähenemään ja sijoittumaan lähemmäs tavoitearvoa.



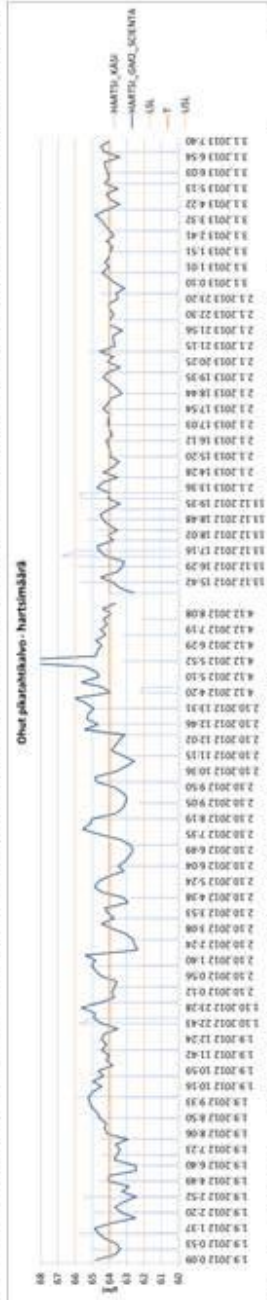
Kaavio 27. Paksun puolinopeuskalvon haittuvamittauksista nähdään, että talvikausi vaikutti mittauksiin.



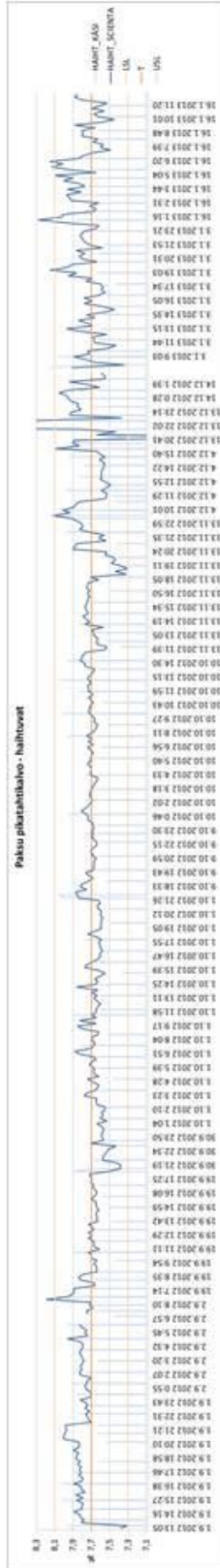
Kaavio 28. Hartsimittauksista huomataan, että tarkastelejaksen virityksillä on saatu aikaan vaihtelun pienenemistä.



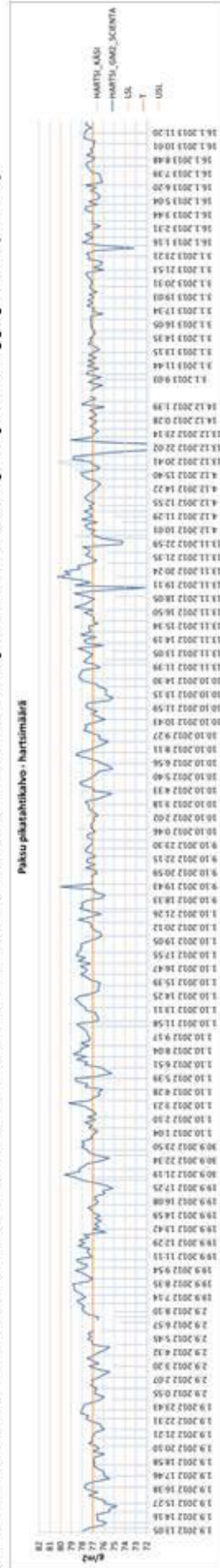
Kaavio 29. Trendistä nähdään pölynyynninongelman vaikutuksia (13.12.) ja lisäksi parantunut korrelaatio jaksos loppupäässä (2.1.).



Kaavio 30. Hartsimitauksista nähdään jaksos loppupuolella (2.1.) mikroaaltoaurin kalibroinnin myötä vähentynyt hartsiprofiilin vaihtelu.



Kaavio 31. Haittuvien trendistä nähdään kalibroinnin kulmakertoimen kasvattamisen vaikutus näkyvän vaihtelun lisääjänä jaksos loppupäässä (13.12.).



Kaavio 32. Hartsimitauksista nähdään, että jaksos lopussa (13.12.) tehdyllä mikroaaltoaurin kalibroinnilla oli vaikutusta hartsiprofiiliin.

5.3.3 Säätojärjestelmän vaikutus laadun stabiilisuuteen

Automaattisäädön kannalta merkittävimpänä muutoksena havaittiin se, että hartsinsäätö saatiin hallintaan lokakuussa tehdyn logiikkapäivityksen ja hartsinsäädön vahvistuksen kasvattamisen jälkeen. Logiikkapäivityksen yhteydessä ohjausperiaatetta muutettiin paremmin muutoksiin reagoivaksi. Hartsinsäädön vahvistusta kasvatettiin lokaan puolivälissä 0,5:sta 1,0:aan. Tällä menetelmällä ohjausvaikutus käytännössä muutettiin vastaamaan mitattua vaihtelua. Kumpi toimenpide vaikutti enemmän, ohjausperiaatteen vai säädön viritys, jäänee tulkinnanvaraiseksi. Seurantalaaduista ei ole aineistoa muutosten väliseltä ajalta. Seurauksena todettiin erityisesti puolinopeuskalvoilla selvästi pienentynyt hartsin hajonta ja vähentynyt säädön huojunta. Jo tarkastelujakson puolivälissä piirrettyjä trendejä (kaaviot 1 - 4) tutkimalla huomattiin, että vaihtelu oli tarkastelujakson alussa suurempaa ja väheni jakson loppua (vuoden loppua) kohti mentäessä. Tuotetusta laadusta saatiin vanhaan laitteistoon verrattuna stabiilimpaa jo näillä keinoin. Keskiarvoista ja hajonnoista lasketut luottamusvälit vahvistivat tätä tulkintaa. Pikatahtikalvoilla kyseiset toimet eivät aikaansaaneet yhtä näkyvää muutosta, vaikka hajonta näilläkin pieneni. Sen sijaan mikroaltoaanturilla mitattujen haihtuvien parempien korrelaatioiden voitiin pikatahtikalvoilla tulkita olleen säätojärjestelmän kannalta suotuisampia jo varhaisemmassa viritysvaiheessa. Pikatahtikalvoilla suorituskykyisemmän haihtuvien mittaamisen voitiin näin ollen todeta vaikuttaneen myös näiden laatuja hartsinsäätöön suotuisasti.

Kun tammikuussa otettiin järjestelmästä uudet mittausraportit trendikuvaajien (kaaviot 25 - 32) piirtämiseksi, havaittiin, että mikroaltoaanturin kalibrointi oli ohuella puolinopeus- ja molemmilla pikatahtikalvoilla vähentänyt online-mitatun hartsimäärän vaihtelua. Arvion kanssa oltiin aluksi varovaisia, sillä kuvaajissa näkyvä muutos saattoi selittyä sillä, että haihtuvien kulmakertoimen kasvattaminen lavensi haihtuvien näkyvää vaihtelualuetta, joka näkyi haihtuvien trendikuvaajissa selvästi. Haihtuvien online-mittauksia käytetään osana hartsimäärän laskentaa, joten nähty, lisääntynyt haihtuvien vaihtelu luonnollisesti pienensi nähtävää hartsin vaihtelua. Asian varmentamiseksi mittausvaihtelu tilastoitiin. Laskelmista saatiin ilmiön suotuisuutta vahvistamaan mikroaltoaanturin virityksen seurauksena pienentynyt hartsimäärän manuaalimittausten hajonta. Kyseistä tulkintaa voitiin selittää sillä, että säätojärjestelmän saama tieto oli todenmukaisuudellaan edesauttanut hartsinsäätöä. Oikeastaan tulos kieli siis im-

pregnaatin neliömassan vaihtelun pienenemisestä. Toisin sanoen mikroaaltoanturin virityksellä voitiin todeta olleen suotuisa vaikutus laadun stabiilisuuteen.

Hartsikorrelaatioissa oli pikatahtikalvoilla vähemmän vaihtelua ja parempi keskimääräinen korrelaatio. Sama ilmiö myös haihtuvien korrelaatioissa saattoi viitata siihen, että mikroaaltoanturin kyky mitata tarkemmin pikatahtikalvoja sai aikaan jo alkuvaiheessa myös sen, että nippiraon säätämiseksi saatiin parempaa informaatiota pikatahtikalvoilla. Kun tiedettiin, että pikatahtikalvoille lasketut korrelaatiot myös haihtuvien osalta olivat parempia, voitiin päätellä, että parempaan hartsimittausten korrelaatioon saattoi vaikuttaa mikroaaltoanturin parempi pikatahtikalvojen mittaavuus. Havaintoa tuki myös se, että aluksi selittämättömältä vaikuttavasta syystä hartsimittausten korrelaation nähtiin heikkenevän ohuen puolinopeuskalvon mittauksissa lokakuun lopussa. Samaan aikaan haihtuvien mittausten huomattiin vaikeutuvan. Hartsin mittauksiin siis saattoi välillisesti vaikuttaa talvikauden alkamisen myötä hankaloituva haihtuvien mittaustaus.

Ennen mikroaaltoanturin kalibrointia ja viritystä haihtuvien online-vaihtelu nähtiin lähes olemattomana. Laskennallisessa laatusuureen määrittämisessä vähäinen vaihtelu tarkoittaa likimain samaa kuin arvon pysyminen vakiona. Täten ohjausjärjestelmälle saatu tieto laadunvaihtelusta perustui käytännössä pelkästään tuotteen neliömassan vaihteluun. Siksi kohdassa 5.3.1 tarkasteltu beetasäteilijän suorituskyky olikin laitteiston viritysvaiheen suorituskykyisyyttä kuvaava osio.

Mikroaaltoanturin kalibroinnin ja virityksen vaikutusta hartsinsäätöön tarkasteltaessa laskennassa hyödynnettiin SPC-teoriasta tuttuja suorituskykylukuja, joiden avulla saatiin indeksimuotoinen arvio tulosten sijoittumisesta toleranssialueeseen nähden. Mikroaaltoanturin kalibroinnilla pyrittiin varmentamaan anturin kyky haihtuvien todennukaisen vaihtelun mittaamiseen, minkä vuoksi suorituskykylukujen ”huonoutta” ei tule säikähtää. Tärkeämpää tässä vaiheessa nimittäin oli korrelaation löytyminen manuaali- ja online-mittausten välille. Hartsimittauksille laskettujen suorituskykylukujen perusteella sen sijaan voitiin arvioida mittausten yhdenpitävyyden ohella säätöjärjestelmän laaduntuottokykyä, sillä online-mittaukset oli jo aiemmassa vaiheessa saatu lähelle manuaalimittausten vaihtelua.

Ohuen puolinopeuskalvon hartsimittausten hajontalukuja tarkastelemalla huomattiin, että tällä laadulla vaihtelu hieman kasvoi haihtuvien kulmakertoimen muuttamisen

seurauksena. Samalla manuaali- ja online-mittausten keskiarvot kuitenkin siirtyivät lähemmäs toisiaan. Laskemalla hartsimäärän online- ja manuaalimittauksille suorituskykyluvut huomattiin, että manuaalimittausten sijainti toleranssialueeseen nähden parani (taulukko 2), kun verrattiin vanhemmasta aineistosta vastaavalla tavalla lasketuihin lukuihin. Sama ilmiö nähtiin myös hartsimäärän online- ja manuaali-mittausten keskiarvojen siirtymisenä lähemmäs toisiaan (liite 9). Tästä johdettiin ajatus, että mikroaltoaanturin lajikohtaisella virityksellä oli ollut suotuisa vaikutus hartsin automatisaatioon, vaikka hartsimittausten vaihtelu ei tämän seurauksena merkittävästi pienentynytkään.

Taulukko 2. Hartsimittausten perusteella lasketut suorituskykyluvut ohuella puolinopeuskalvolla ennen ja jälkeen mikroaltoaanturin kalibroinnin ja virityksen.

HARTSI SUORITUSKYKYLUVUT - OHUT PUOLINOPEUSKALVO					
7.11. - 4.12.			4.12.-10.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	1,07	1,32	Cp	0,98	1,43
k	0,12	-0,09	k	-0,17	-0,11
Cpk	0,94	1,44	Cpk	1,15	1,59

Ohuen pikatahtikalvon hartsimittauksiin mikroaltoaanturin uusilla viritysarvoilla näytti olleen huomattavampi vaikutus. Online- ja manuaalimittausten keskiarvot siirtyivät hartsimäärällä hieman lähemmäs toisiaan (liite 10) ja mitatun hartsimäärän vaihtelu pieneni huomattavasti. Haihtuvista mitattu online- ja manuaalimittausten vaihtelu pieneni myös ja mittausten keskiarvot siirtyivät lähemmäs toisiaan. Kalibroinnin ja virityksen ansiosta voitiin näin ollen todeta laadun muuttuneen stabiilimmaksi. Päätelmät saivat vahvistusta myös näyte-erien manuaalimittauksille määritystyistä suorituskykyluvuista (taulukko 3), joiden perusteella prosessi siirtyi suorituskykyiselle tasolle (1,30). Silti se, että online-mittausten vaihtelu ($0,31 \text{ g/m}^2$) oli huomattavasti manuaalimittausten hajontaa ($0,63 \text{ g/m}^2$) vähäisempää, antoi online-mittauksien prosessista turhan optimistisen kuvan.

Taulukko 3. Mikroaltoaanturin kalibroinnin ja virityksen seuraukset hartsinsäätöön ohuella pikatahtikalvolla.

HARTSI SUORITUSKYKYLUVUT - OHUT PIKATAHTIKALVO					
31.8. - 2.10.			13.12. - 3.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,68	0,71	Cp	1,06	2,16
k	-0,28	-0,02	k	-0,22	-0,02
Cpk	0,87	0,72	Cpk	1,30	2,21

Paksun pikatahtikalvon hartsimittauksiin ja automaattisäätöön haihtuvien kalibroinnilla ja virityksellä näytti olleen sellainen vaikutus, että ero manuaali- ja online-mittausten keskiarvojen välillä hieman suureni (liite 10). Dynaamisen korrelaation perusteella muutoksen jälkeen mittaukset erosivat toisistaan keskimäärin $-0,41 \text{ g/m}^2$, kun vastaava tulos ennen muutosta oli $-0,27 \text{ g/m}^2$. Tämä tulkittiin viitanneen siihen, että mittausten välinen tasoero keskimäärin kasvoi. Toisaalta säädön kannalta haihtuvien kalibroinnin myötä suurempana ilmaistu vaihtelu näytti mahdollisesti tarkentaneen nippiraon säätöä, ja säätöjärjestelmälle saatiinkin näin ollen todenmukaisempaa tietoa laatusuureiden ”todellisesta” vaihtelusta. Kalibroinnin kulmakertoimen suurentaminen oli siinä mielessä ollut oikeasuuntaista, sillä sekä hartsin manuaali- että online-mittausten vaihtelu nimittäin väheni selvästi. Suorituskykylukuja (taulukko 4) tarkastelemalla ei kehitystä nähty yhtä suotuisana, ja erityisesti online-mittausten sijainnin toleranssialueeseen nähden havaittiin huonontuneen. Tämä saattoi johtua liian suuresta kalibroinnin kulmakertoimesta.

Taulukko 4. Mikroaltoaanturin virityksen seurauksia paksulla pikatahtikalvolla.

HARTSI SUORITUSKYKYLUVUT - PAKSU PIKATAHTIKALVO					
30.9.-10.10.			3.1.-16.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,74	0,85	Cp	0,58	0,42
k	-0,13	-0,04	k	-0,14	0,00
Cpk	0,83	0,88	Cpk	0,66	0,42

Toisaalta hartsin trendikuvaajia (kaavio 32) tutkimalla nähtiin selvästi pienenevä online-mittausten hajonta, ja laskemalla saadut hajonnan arvot vahvistivat vaihtelujen tulleen lähemmäksi toisiaan. Tuotteen hartsimäärän vaihtelu oli haihtuvien kulmakerto-

men kasvattamisen myötä siis vähentynyt. Tuloksen vahvasti manuaalimittausten pienentynyt hajonta.

Prosessin laaduntuottokyvyn huomattiin myöhemmän vaiheen tutkimuksissa kohentuneen mikroaaltoanturin kalibroinnin seurauksena. Saatiin toisin sanoen viitteitä siitä, että paremmin haihtuvien manuaalimittausten vaihtelua mukaileva online-mittaus vähentää epäsuorasta online-määrittystavasta johtuen vaihtelua hartsiprofiilissa. Kaikkein näkyvin tämä muutos on ollut paksulla pikatahtikalvolla, jolla kalibroitisuoran kulmakertoimen muutos on myös ollut radikaalein. Suurentunut haihtuvien vaihtelu ei kuitenkaan tällä laadulla lisännyt hartsin vaihtelua, vaan päinvastoin pienensi sitä. Asiaa tutkittiin tilastoimalla manuaalimittauksia ja havaittiin, että ilmiö on samansuuntainen myös ohuemmalla pikatahtikalvolla. Tulosten voidaan katsoa viittaavaan siihen, että mikroaaltoanturin virityksellä ja kalibroinnilla on parannettu myös säätöjärjestelmän suorituskykyä.

Laitteistojen eri-ikäisten osien yhteensovittaminen aiheuttaa sen, että eri koneiden toimintakapasiteetit eivät virittämälläkään välttämättä täysin vastaa toisiaan. Lopulta siis mittaus- ja säätöjärjestelmääkään ei voida syyttää, mikäli prosessin toimilaitteet eivät vastaa tarkkuudeltaan säätöjärjestelmän herkkyyttä tai tuotanto-olosuhteet eivät pysy vakioina. Tällöin säätöjärjestelmän herkkyyttä saatetaan keinotekoisesti joutua vähentämään, jotta vanhat toimilaitteet eivät vaarantaisi prosessin stabiilisuutta. Laitteistojen yhteensovittamisessa saatetaankin joutua turvautumaan kompromisseihin ja ylevät tavoitteet hautautuvat talousrajoitteiseen realismiin. Tämä saattaa johtaa uudenlaisten ongelmien havaitsemiseen ja aiheuttaa uudistuspaineita koko prosessiin.

5.4 Tilastollisen päättelyn sisältämät virheet

Tunnuslukuja laskettiin sekä mikroaaltoanturin kalibroinnin yhteydessä että suorituskykyä varmennettaessa. Manuaali- ja online-mittausten vertailtavuuteen vaikuttaa kuitenkin se, että ne määritetään toisistaan poikkeavalla tavalla. Referenssimittausten vertailtavuutta varjosti määrittelyyn valitun näytteen edustavuus, kun pienen näytepalan ajateltiin edustavan useampaa tuotaneliötä. Manuaalinäytteisiin sisältyy nykyisellään suuri luottamus, kun niitä pidetään vertailukelpoisina online-mittauksen kanssa. Tutkimusta tehtäessä ei ollut varmuutta käsimittausten suorituskyvystä, joten sen vaikutusta mittausten vaihteluun ei voitu huomioida. Tuotantohenkilökunnan ansioiksi voitiin lukea se, että manuaalimittausten vaihtelu väheni samassa suhteessa online-

vaihtelun kanssa. Havainto kielinee operaattoreiden suorituskyvyn lisäksi valvomolaboratorion ja näytteenoton hyvästä stabiilisuudesta.

Online-mittausten käsittelyllä voidaan vaikuttaa saatujen mittaustulosten jakauman normaalisuuteen. Keskiarvoistamisella on tunnetusti hajontaa pienentävä vaikutus ja samalla näytejoukosta selvästi poikkeavilla arvoilla keskiarvoa poikkeuttava vaikutus. Tilastollista päätöstentekoa saattoi häiritä se, että säätöjärjestelmästä peräisin olevat mittaustulokset eivät aina ole normaalisia. Tilastoteorioiden mukaiset normaalijakauman todennäköisyyksiin pohjautuvat suorituskykyluvut ovat siis likimain normaalisti jakautuneista aineistoista tehtynä korkeintaan suuntaa antavia.

Koska lineaarisella regressiolla suhteutettiin online-mittausten vaihtelua referenssinä toimineisiin manuaalimittauksiin, vaikutti molempien mittausrvirhe virityksessä käytetyn kulmakertoimen määrittämisessä. Sen, mitä virityksellä tavoitellaan, tulee olla selvillä ennen toimenpiteisiin ryhtymistä. Nykyinen kalibrointi toteutettiin suhteuttamalla keskiarvoistettuja online-mittauksia yksittäisiin manuaalimittauksiin. Kun tiedettiin, että keskiarvoistamisella on näyte-erän hajontaa pienentävä vaikutus, saatettiin vertailua tehtäessä ajautua harhaan. Pyrittäessä tuottamaan hajonnaltaan manuaalimittausten vaihtelua mukailevaa online-dataa saatettiin siis vahvistaa keskiarvoistuksen myötä hälvenevää vaihtelua liikaa.

5.5 Laadunhallinnalliset jatkotoimet

Impregnointitehtaalla kannattaa tämän tutkimuksen jälkeen jatkaa laadun stabiilisuuden tutkimista. Tutkimusten erääksi aiheeksi voisi nostaa laatuspesifikaatioiden uudelleen määrittämisen. Vähentynyt vaihtelu antaa paremmin tavoitealueen keskelle sijoituneen keskiarvon ohella aiheen olettaa, että spesifikaatorajoja voitaisiin tarkistaa ainakin osalla tutkituista laaduista. Tämän selvittämiseksi uudet toleranssirajat voitaisiin määrittää esimerkiksi SPC-kirjallisuuden ohjeiden mukaan.

Laaduntarkkailuun ja -mittaamiseen täytyy edelleen suhtautua kriittisesti ja jatkaa näiden seuranta. Lisäksi tehdasjärjestelmään tallentuvan mittaustulosten hyödyntämismahdollisuuksia kannattaa tutkia ja selvittää niiden hyödynnettävyyttä tilastollisen laadunhallinnan ja asiakaslaadun todentamisen näkökulmista. Erityisen merkityksellisenä voidaan pitää myös kalibrointi- ja muutostilanteiden dokumentointijärjestelmän kehittämistä muutosten jäljitettävyyden varmistamiseksi.

Uuden laitteiston käyttöönoton yhteydessä kävi ilmi, ettei impregnointitehtaalla ole määritetty mittausepävarmuuksia manuaalimittauksille. Näiden määrittäminen olisi kuitenkin tärkeää, kun prosessin mittaamalla havaittu vaihtelu pitää sisällään mittausprosessin vaihtelua. Saatua manuaalimittauksia käsitellään muun muassa kalibrointien yhteydessä niin, kuin ne olisivat ehdottomia totuuksia. Mittausepävarmuuksien määrittämisellä voitaisiin saada selville ne rajat, joiden sisällä todellinen tulos olisi esimerkiksi 95 %:n tai 98 %:n varmuudella. Online- ja manuaalimittausmenetelmien vaihtelu voitaisiin toistettavuus- ja uusittavuuskokeilla sulkea arvioimisen ulkopuolelle ja verrata laadun vaihtelua ilman mittaustavasta johtuvaa vaihtelua. Samalla myös online- ja manuaalimittausten vertailulle saataisiin varmistettua tilastollinen luotettavuus.

Kun jatkossa määritetään kalibrointiarvoja, tulisi näytteenotossa pyrkiä suunnitelmallisuuteen ja yhdenmukaisempaan määrittystapaan. Jokainen kalibrointiarvojen määrittäminen suositellaan järjestettäväksi erityistilanteena. Jos mittapään annetaan kalibrointiarvoja määrittäessä traversoida vapaasti, tulisi manuaalinäytteitä ottaa useita radan poikkisuunnassa. Tällä keinolla saataisiin pistemäisiä näytteitä pistemäisistä online-mittauksista muodostuneen tuloksen kanssa verrattavaksi. Toteutuksen kannalta helpompi määrittäminen olisi se, että mittapää asetetaan kiinteään pisteeseen ja pyritään ottamaan manuaalinäytteet samasta kohtaa paperirataa. Kalibroinnin kulmakerroin on säätimen ja näkyvän online-mittauksen kannalta se arvo, jolla anturimittaus järjestelmällisesti kerrotaan. Liian pieni kerroin ei anna säätimelle oikeaa mittaustietoa prosessin vaihtelusta ja säädin luulee, ettei vaihtelua ole. Samalla siis kalibroinnin kulmakerrointa kasvattamalla otetaan riski siitä, että prosessissa odottamattomasti muuttuvat seikat vaikuttavat mittauksiin moninkertaisina ja saattavat välillisesti saada säätimen huojuttamaan laatua.

Mikroaaltoanturin suorituskyvyn seuranta tulisi jatkaa erityisesti puolinopeuskalvoilla. Mikroaaltoanturimittausten tilastoinnin perusteella haasteellisimpana mitattavana voidaan pitää ohutta puolinopeuskalvoa sen alhaisen kosteuspitoisuuden vuoksi. Ohutta puolinopeuskalvoa ajetaan seuratuista laaduista eniten ja mikroaaltoanturin soveltuvuus sen mittaamiseen on seuratuista laaduista kyseenalaisin. Selityksinä vaikeaan mitattavuuteen voidaan pitää paitsi suurimpia ajomääriä (hajontaa kasvattava vaikutus) myös kuviopainatusta ja hartsin vähäistä vesimäärää. Kun kalvo on ohut, voidaan sii-

hen ajatella sitoutuvan vähiten vettä, jolloin anturin mittauskyky joutuu koetukselle vertailulaatuja enemmän. Myös paksulla puolinopeuskalvolla anturi saattaa olla koetuksella pikatahtikalvoja enemmän. Aineistoille lasketuista korrelaatioista nähdään, että vuodenaikojen myötä vaihteleva ilmankosteus saattaa pudottaa puolinopeuskalvojen kosteuden anturin herkkyysalueen ulkopuolelle. Yhtenä kehitysehdotuksena voisi olla pidempi imeyttäminen ennen leijukuivainta esimerkiksi erilaisen pujotustavan avulla. Tällä tavoin hartsin voidaan ajatella imeytyvän syvemmälle paperiin ennen kuivausta ja mahdollisesti vapautuvan kuivauksen aikana hitaammin.

Mikroaaltoanturin käyttöönotossa päästiin työn varsinaisen toteutusvaiheen jälkeen eteenpäin. Kalibroinnista saadut viritysarvot määritettiin laaduttain yhdessä laitetoimittajan kanssa 14.2.2013 ja syötettiin tehdasjärjestelmään. Aika näyttää, kuinka hyvin uudet arvot toimivat käytännössä.

6 YHTEENVETO

Teknisesti haastava, monialaista osaamista yhdistelevä impregnointiprosessi asettaa henkilöstön ammattitaidolle korkeita vaatimuksia. Lisäksi prosessin erikoislaatuisuus ja standardoimattomuus asettavat omat vaatimuksensa strategiselle päätöksenteolle ja tuotannon laatukriteerien määrittämiselle. Tuotetulta laadulta odotetaan stabiilisuutta, jota voidaan kuvata sillä, että mittauksen keskiarvo pysyy muuttumattomana ja vaihtelu mahdollisimman vähäisenä. Mittapalkkimittauksen suorituskyvyn ilmaisukeinoina voidaan pitää keskiarvoa ja -hajontaa. Absoluuttisina pidettyihin mittauksiin voidaan kuitenkin kehittyneen tekniikan ansiosta vaikuttaa muun muassa kalibroinnilla. Samalla mittausjärjestelmän tulisi antaa mahdollisimman edustavaa ja todenmukaista tietoa laatusuureen vaihtelusta operaattoria ja säätöjärjestelmää varten. Johtuen epäsuorista mittausmenetelmistä ei uusilla beeta- ja mikroaltoaantureilla tehtyjä mittauksia voitu tarkastella täysin toisistaan erillisinä toimintoina.

Beetasäteilymittauksen suorituskyky todettiin hyväksi jo käyttöönoton alussa, mutta viritystoimilla säätöjärjestelmä saatiin tuottamaan merkittävästi aiempaa stabiilimpaa laatua. Mittauksen suorituskyky todettiin tutkimalla manuaalimittauksia, jotka poikkeuksetta korreloivat online-mittauksen kanssa vanhan laitteiston vastaavia paremmin. Lokakuun jälkeisiä hartsimittauksia tutkimalla havaittiin, että uuden laitteiston asennuksen ja virityksen jälkeen hartsimäärän vaihtelu pieneni merkittävästi sallittuun vaihtelualueeseen nähden. Vaihtelu väheni erityisen näkyvästi puolinopeuskalvoilla. Pikatahtikalvoilla kehityksen havaittiin olevan vähäisempää mutta samansuuntaista. Kehitys todettiin suotuisaksi sekä vanhaan laitteistoon että käyttöönoton alkuvaiheen mittauksiin verrattuna.

Mikroaltoaanturin ensimmäisen vaiheen tutkimusten perusteella pääteltiin, että alkuperäinen kalibroinnin kulmakerroin oli liian pieni. Siksi online-mittauksilla ei alussa saatu todenmukaista kuvaa haihtuvien vaihtelusta. Vaikka edustavan kalibroiainehankkiminen oli haastavaa, saatiin anturille määritettyjä uusia viritysarvoja, jotka olivat poikkeuksetta alkuperäisiä suurempia. Edustavimmat viritysarvot päivitettiin tehdastietojärjestelmän kautta seurantalatuojen laatukorteille. Kalibroinnin ansiosta haihtuvien vaihtelusta saadaan nyt parempaa seurantatietoa.

Tilastoimalla tammikuun alun mittauksia huomattiin, että virittämällä mikroaltoaanturia päästiin lähemmäs hyvää online- ja manuaalimittauksen välistä korrelaatiota. Antu-

ri saatiin viritettyä lähemmäs hyvää suorituskykyä ja haihtuvien vaihtelu lähelle säätöjärjestelmän kannalta oikeaa tasoa. Tällä saatiin näyttöä siitä, että alkuperäisiä viritysarvoja muuttamalla saavutettiin parempi suorituskyky. Mikroaaltoanturin virityksellä todettiin olevan suotuisa vaikutus myös hartsin automaattisäätöön, sillä hartsiprofiili saatiin stabiilimmaksi paremman kalibroinnin ansiosta.

Mittauksia tutkimalla saatiin numeerista näyttöä valvomolaboratorion suorituskyvystä. Kaikki online-mittauksissa havaitut muutokset on todennettu manuaalimittauksin ja laaduntuottokykyä mittaavien lukujen määrittämisessä havaittu kehitysten suotuisuus myös operaattoreiden tekemien mittausten kautta. Toistettavuuskokeilla saataisiin vahvistus oletukselle, jossa määrittävistä johtuva vaihtelu selittää suuren osan eroista online- ja manuaalimittausten välillä.

Prosessia ja mittalaitteistoa tutkimalla ei havaittu syitä, jotka kyseenalaistaisivat hankinnan kannattavuutta. Työn aikana fenoli-impregnaattien online-mittaus saatiin viritettyä lähemmäs hyvää suorituskykyä. Vaikka laitteistojen käyttöönottoprosessi on henkilökunnan ja prosessin kannalta haastava poikkeustilanne ja kyseenalaistaa helposti koko prosessin toimivuuden, saatiin käyttöönottoon osallistumalla näyttöä siitä, että hyviin tuloksiin voidaan ponnistelemalla päästä lyhyessäkin ajassa. Osa tässä työssä todetuista tuloksista selittyy virityksellä ja kalibroinnilla, mutta muutkin tuotannonkehitystoimet, henkilöstön ponnistelu ja IK4:n modernisointi ovat varmasti vaikuttaneet niihin myönteisesti.

Työelämän kasvavien vaatimusten vuoksi valmistuvien insinöörien monipuolisuus nousee entistä tärkeämpään asemaan. Nykyinsinöörin tulee kyetä mukautumaan muuttuviin tilanteisiin ja työympäristöihin. Insinöörinä pyrin vastaamaan työelämän haasteisiin ja uskon vahvuuksieni kehittyneen oikeaan suuntaan tämän opinnäytetyön ansiosta. Huomaan ammatillisen tietoisuuden ja näkökulmien laajentamisen selvästi kehittyneen tulevia työnantajia hyödyttävällä tavalla. Prosessituotantoon, kehittyneeseen mittaustekniikkaan ja erityisen korkean työmoraalin ammattilaisjoukkoon tutustuminen on avannut eteeni uuden maailman ja tuonut tärkeää näkökulmaa teolliseen laadunhallintaan. Uskon entisestään laajentuneen tietotaitoni ansiosta jo uunituoreena insinöörinä olevani vastakohta kapean segmentin osaajalle.

LÄHTEET

Antila, Anna-Maija, Karppinen, Maarit, Leskelä, Markku, Mölsä, Heini, Pohjakallio, Maija. 2003. Tekniikan kemia. 7. tarkistettu painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Aumala, Olli. 2000. Teollisuusprosessien mittaukset. 4. uudistettu painos. Tampere: Pressus Oy.

Figiel, Kerry, Gill, John, MacHattie, Ross, Nuyan, Seyhan, Sturm, Steve & Tippett, Jack. 2010. Paper Machine Quality Control Systems (QCS): Volume 1, Measurement Systems and Product Variability. Norcross U.S.A: Tappi Press.

Haverila, Matti, Uusi-Rauva, Erkki, Kouri, Ilkka & Miettinen Asko. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy. Infacs Oy.

Holopainen, Martti & Pulkkinen, Pekka. 2008. Tilastolliset menetelmät 5., uudistettu painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Hägglom-Ahnger, Ulla & Komulainen, Pekka. 2000. Kemiallinen metsäteollisuus II: Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki: Opetushallitus.

Ihalainen, Seppo. 1993. Automaattisen imprex-testerin käyttöönotto ja soveltuvuus tuotantoon. Teknikkotyö: Imatran teknillinen oppilaitos.

Jyrälä, Tauno. Operaattorin haastattelu ja havainnointi. 1.10.2012. Materiaali tekijän hallussa.

Karhuketo, Hannu, Seppälä, Markku J., Törn, Tage & Viluksela, Pentti. 2004. Kemiallinen metsäteollisuus III: Paperin ja kartongin jalostus. 2. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Kaulio, Vesa. 2011. Imprex-valmistus. Prosessikuvaus. Kotka: Kotkamills Oy.

Kaulio, Vesa. Asiakaspalvelupäällikön haastattelu. 23.10.2012. Materiaali tekijän hallussa.

Kettunen, Saira. Hankintapäällikön haastattelu. 8.1.2013. Materiaali tekijän hallussa.

Knaapi, Veli-Matti. 2011. Tuotenäytteiden otto ja laadun varmistaminen. Työohje. Kotka: Kotkamills Oy.

Knaapi, Veli-Matti. Käyttöinsinöörin haastattelu. 4.10.2012. Materiaali tekijän hallussa.

Koponen, Hannu. 2002. Puututoteollisuus 4: Puulevytuotanto 3. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy. Opetushallitus.

Kotka, Kari. Operaattorin haastattelu ja havainnointi. 1.10. - 20.11.2012. Materiaali tekijän hallussa.

Kotkamills Oy. 2009. Imprex®Esitys. Kotka: Kotkamills Oy

Kotkamills Oy. 2011. Imprex®Kalvot. Sisäinen koulutus. Kotka: Kotkamills Oy.

Kotkamills Oy. 2012. Kotkamills-esittely. Kotka: Kotkamills Oy.

Kotkamills Oy:n laatukortit. 2013.

Lehtonen, Paula, Lehtonen, Pekka. Teknisten alojen kemia. 2008. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy. WSOY Oppimateriaalit Oy.

Metsäteollisuuden Työnantajaliitto. 1981. Puusta paperiin M-103: Laadunvalvonta. Lappeenranta: Etelä-Saimaan Kustannus Oy.

Metsäteollisuus ry, Scahuman Wood Oy, Finnforest Oy, Koskisen Oy, Visuvesi Oy. 2005. Vanerikäsikirja. Helsinki: Metsäteollisuus ry.

Mäkelä, Merja. 2003. Paperin laatusuureiden mittaaminen ja säätö. 1. painos. Helsinki: Copyset Oy. Suomen automaatioseura ry.

Pellinen, Jukka. 2003. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Jyväskylä: Talentum Media Oy.

Salomäki, Rauno. 1999. Suorituskykyiset prosessit – Hyödynnä SPC. Jyväskylä: Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Savolainen, Jari & Vaittinen, Reijo. 2003. Sääntötekniikan perusteita. 5. tarkistettu painos. Saarijärvi: Opetushallitus.

Scienta Oy:n www-sivut. 4.1.2013. QCS for Impregnated paper. Saatavissa: <http://www.scienta.fi/qcsImp.html> [Viitattu 22.12.2012 ja 3.1.2013 ja 1.2.2013]

Scienta Oy. Scienta System 9. 2012a. Käyttöohjeet Kotkamills IK4 ONLINEMITTAUS v1.1. Käyttöohje: Scienta Oy.

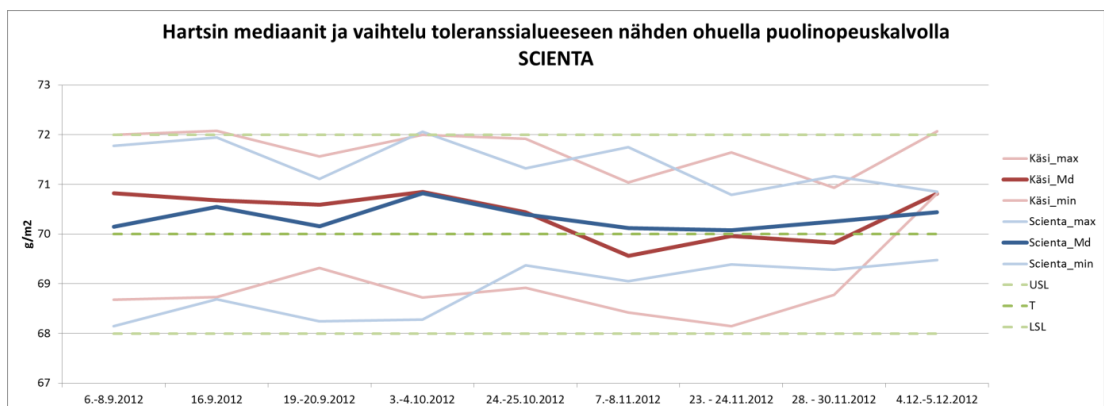
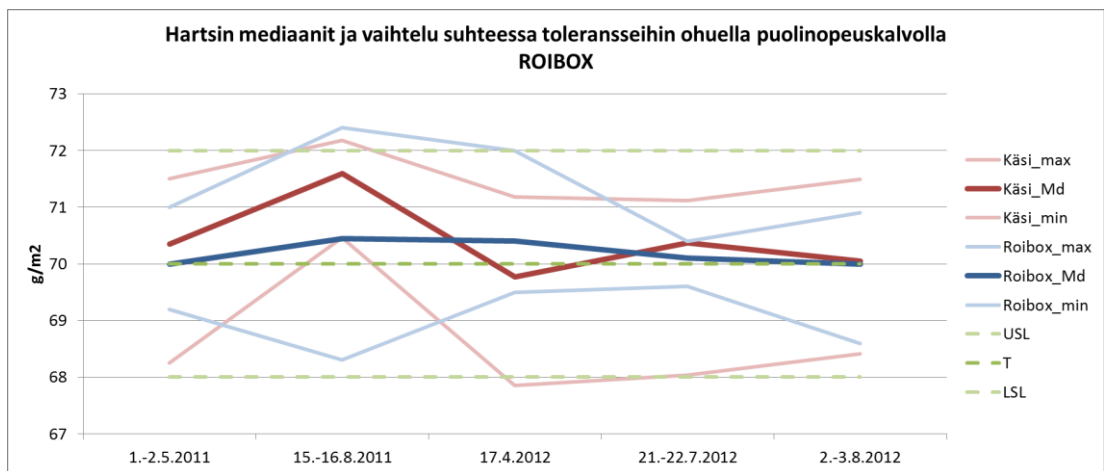
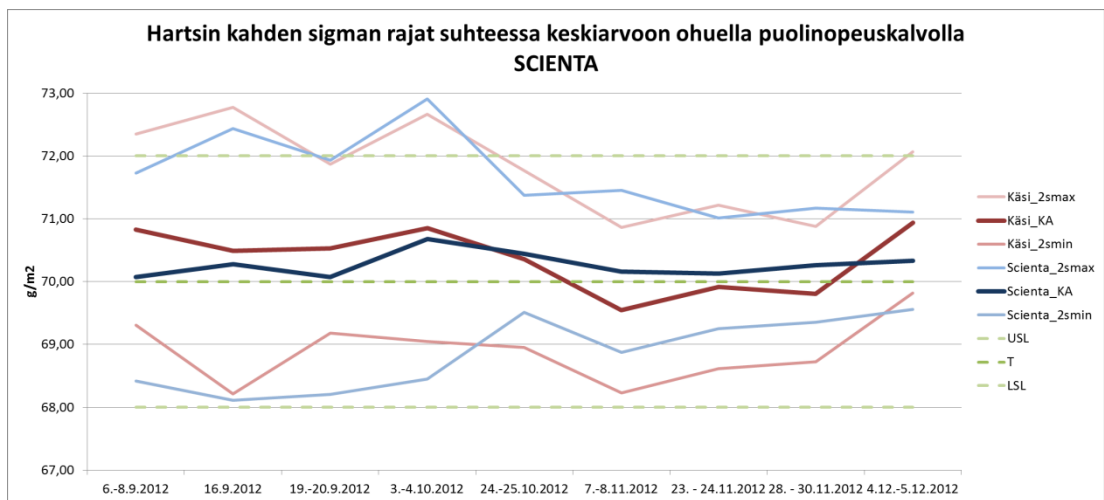
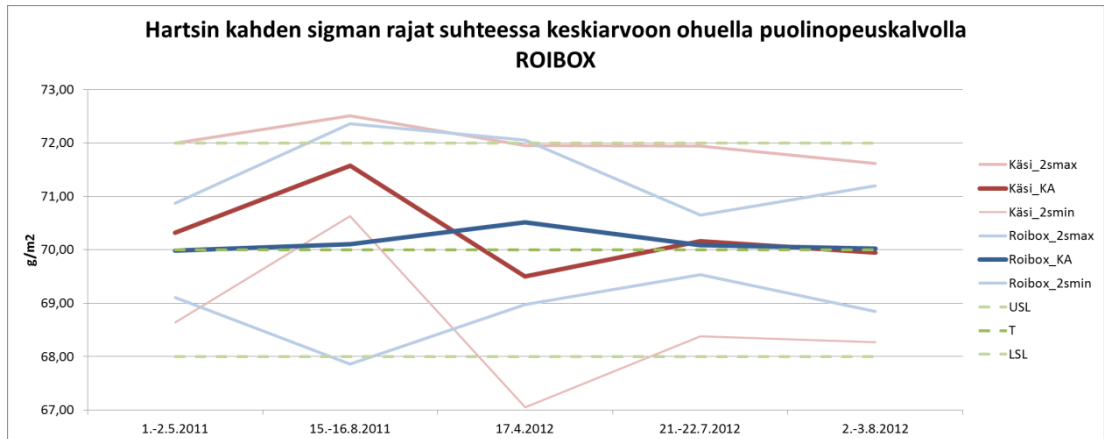
Scienta Oy. Scienta System 9. 2012b. Technical description of scanning system: Scienta Oy.

Scienta Oy. Scienta System 9. 2012c. Microwave moisture meter 7250S: Scienta Oy.

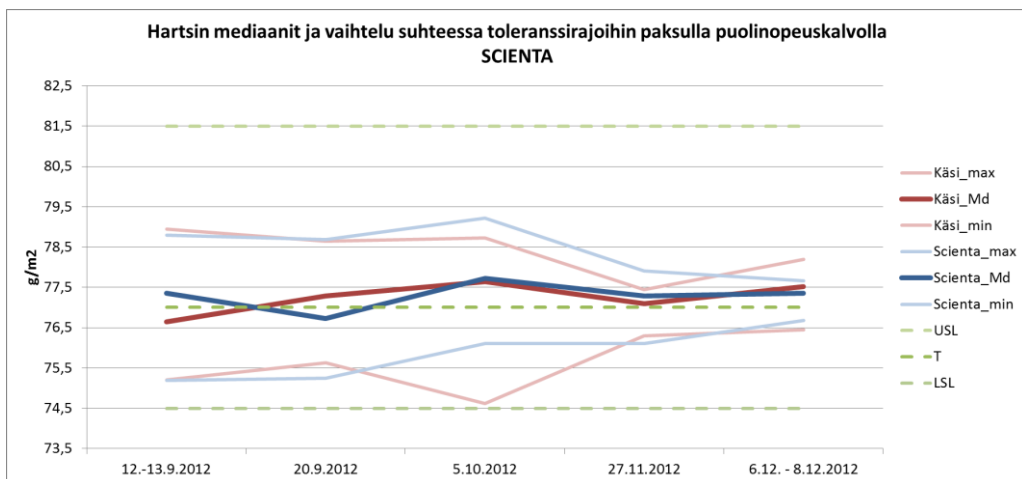
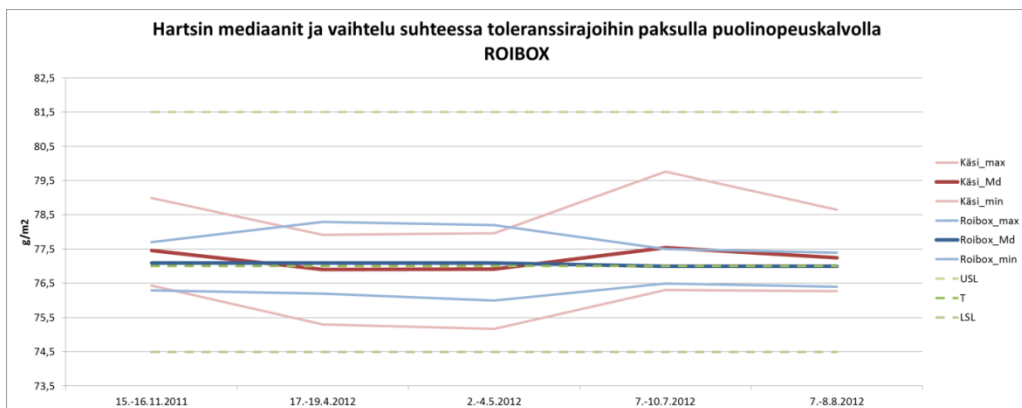
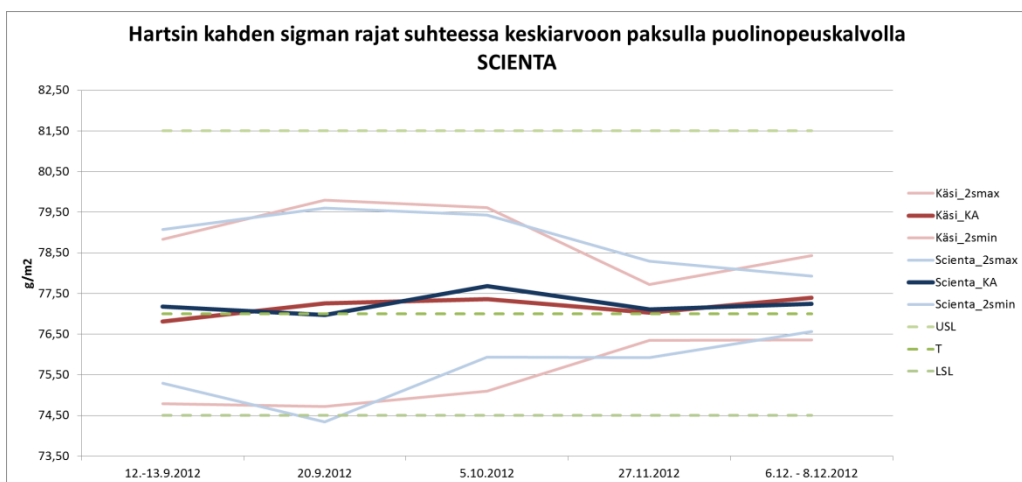
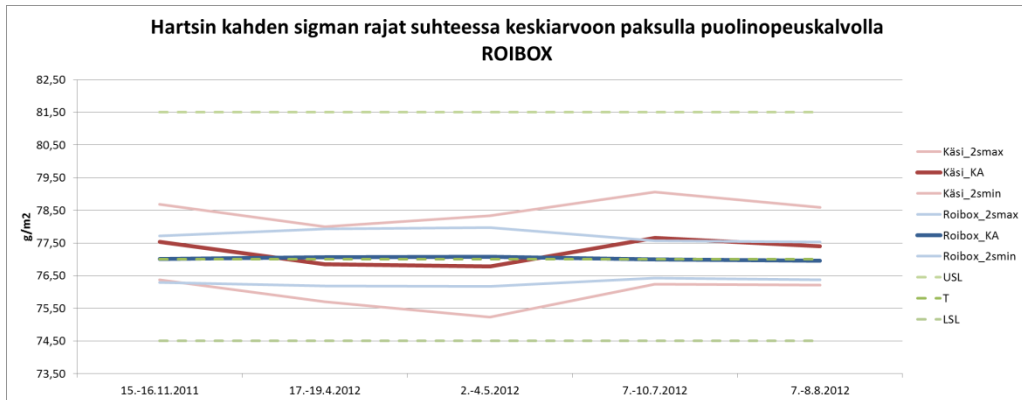
Stenius, Joakim. 2011. Calibration of Scienta Online Meters v1.2. Kalibrointiohje: Scienta Oy.

Vakkari, Ilkka. Käyttötekniikon haastattelut 14.9.2012 - 1.2.2013. Materiaali tekijän hallussa.

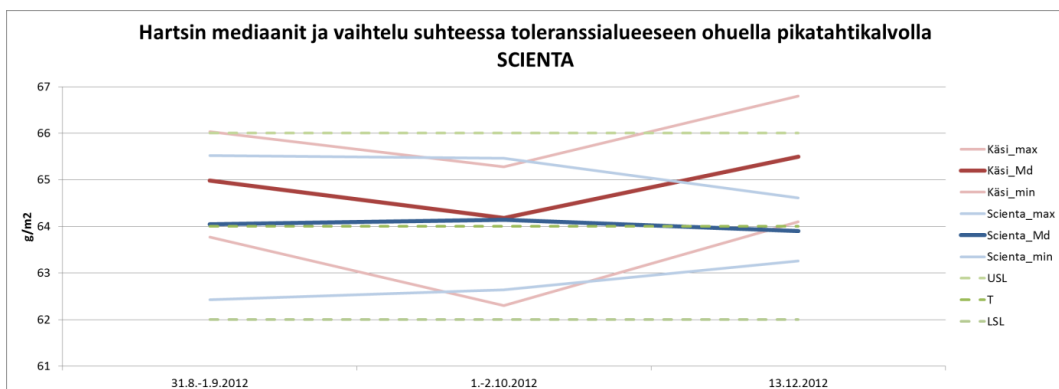
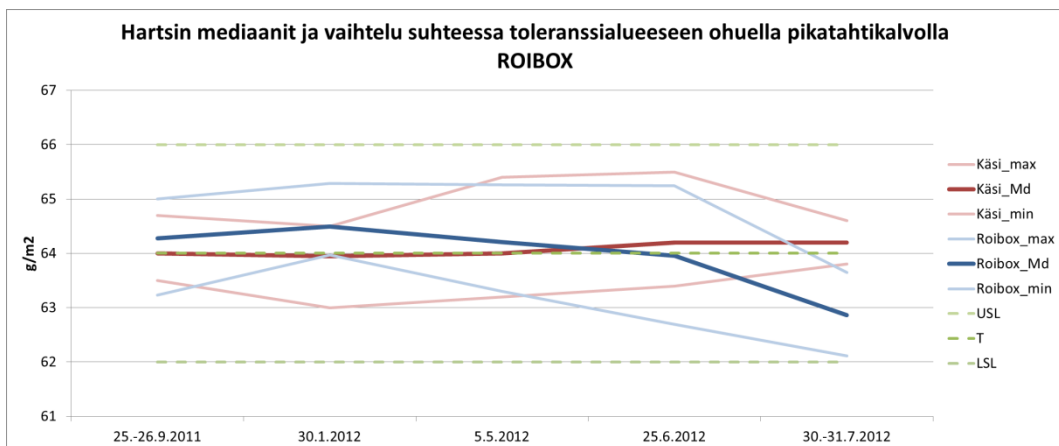
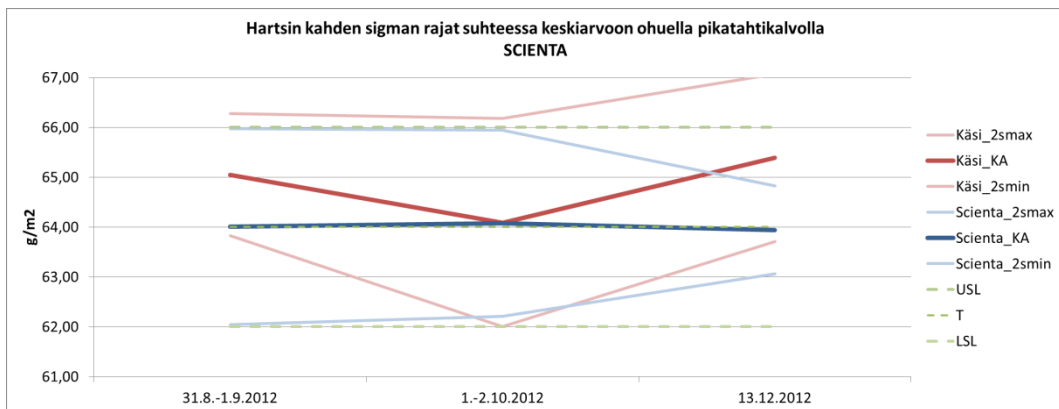
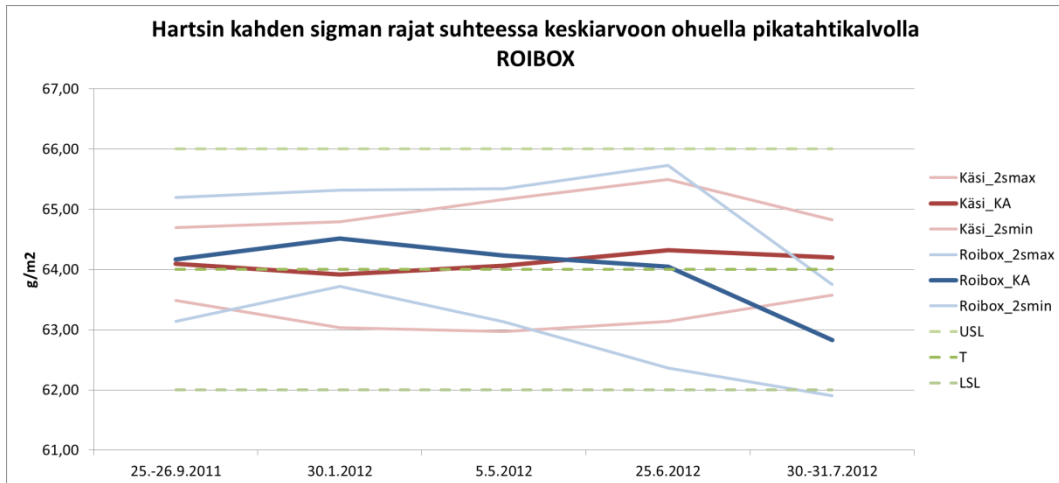
Liite 1. Ohuen puolinopeuskalvon hartsimittausten luottamusvälit



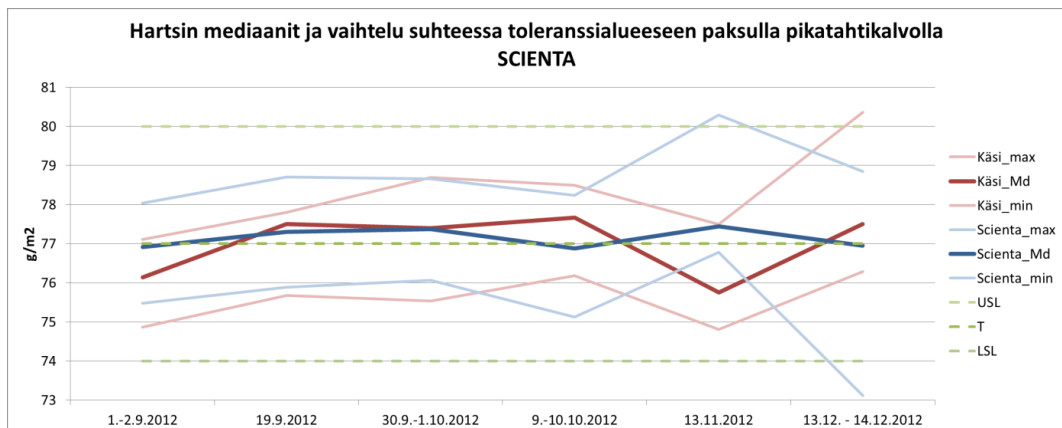
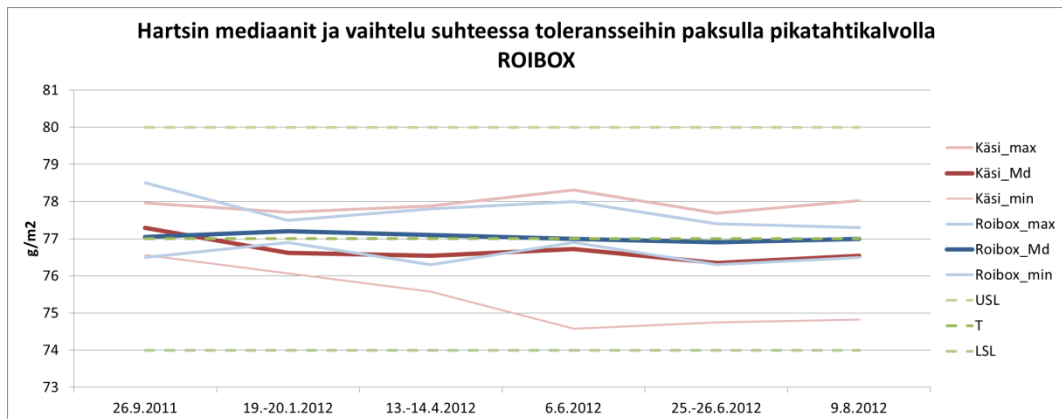
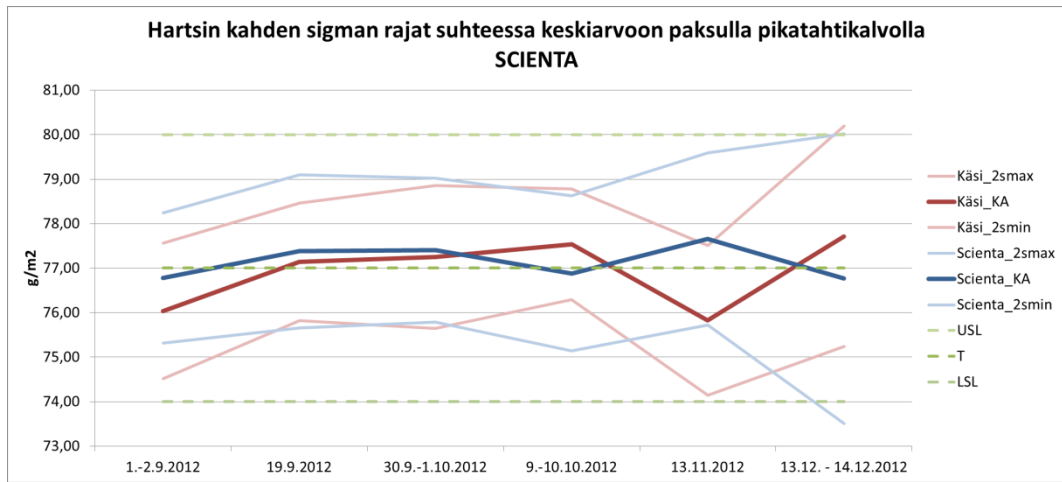
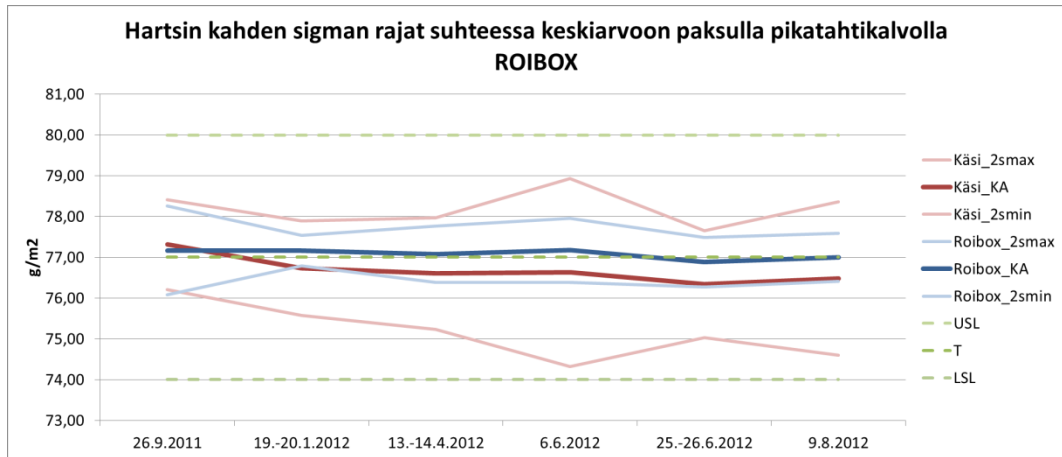
Liite 2. Paksun puolinopeuskalvon hartsimittausten luottamusvälit



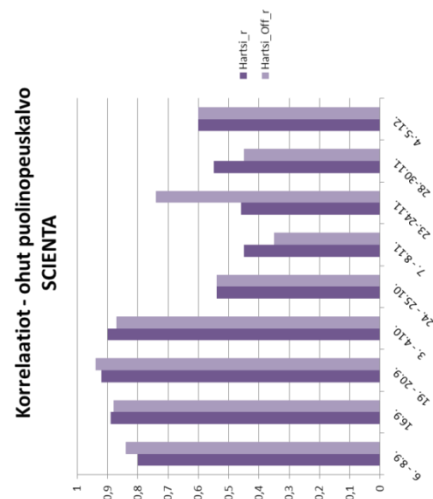
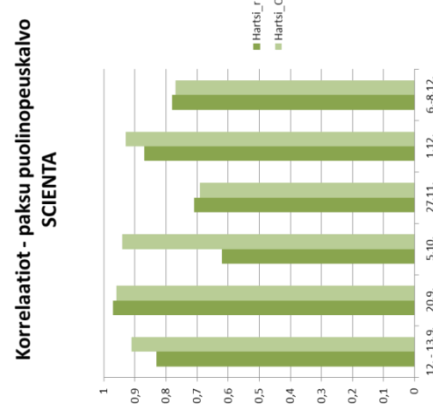
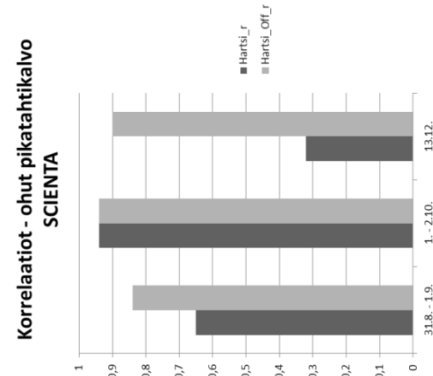
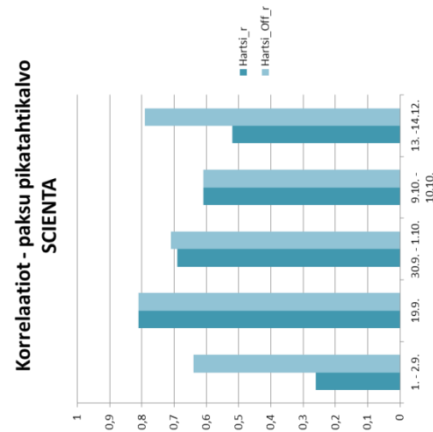
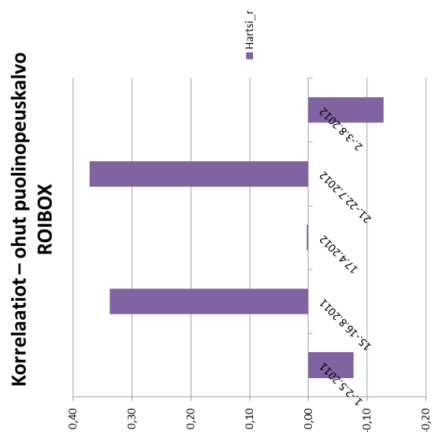
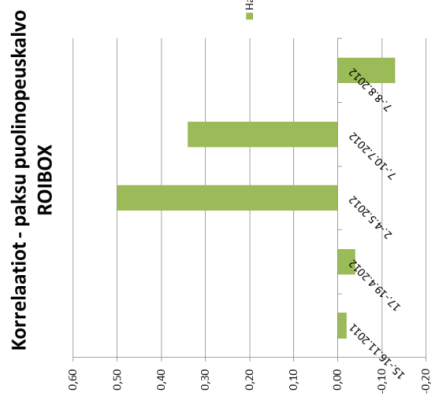
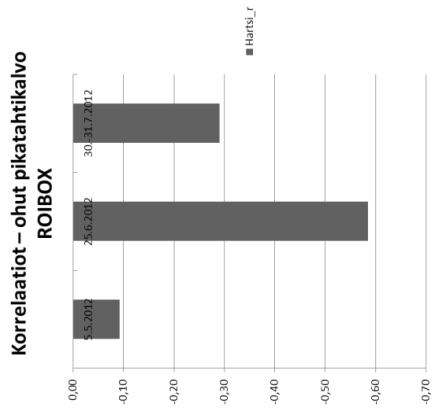
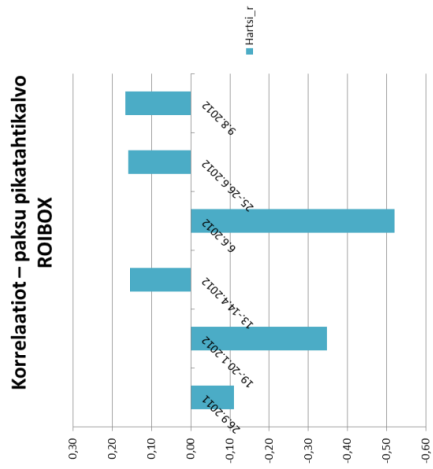
Liite 3. Ohuen pikatahtikalvon hartsimittausten luottamusvälit



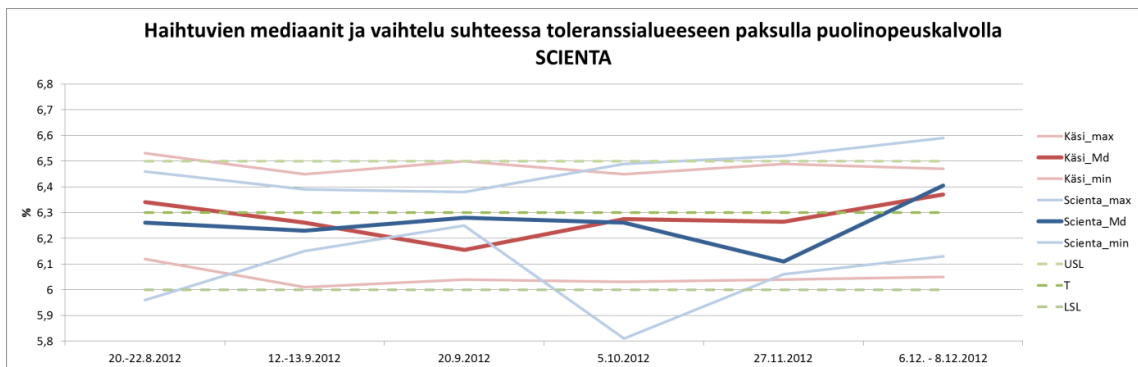
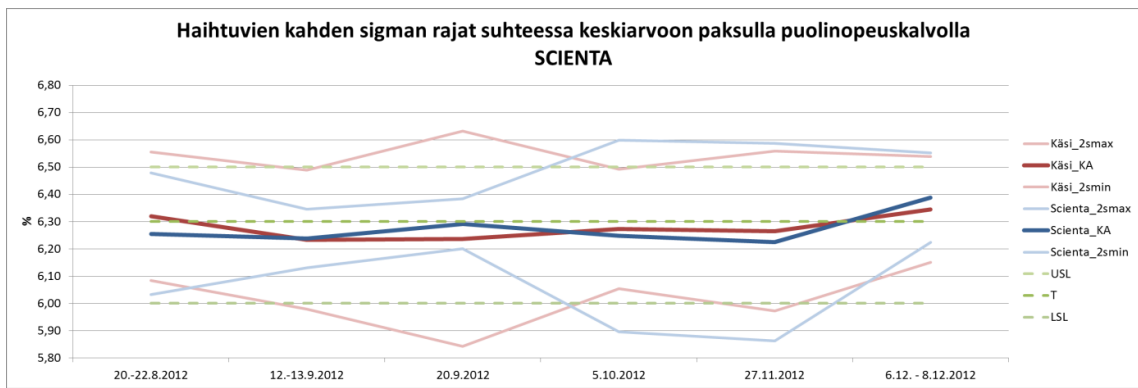
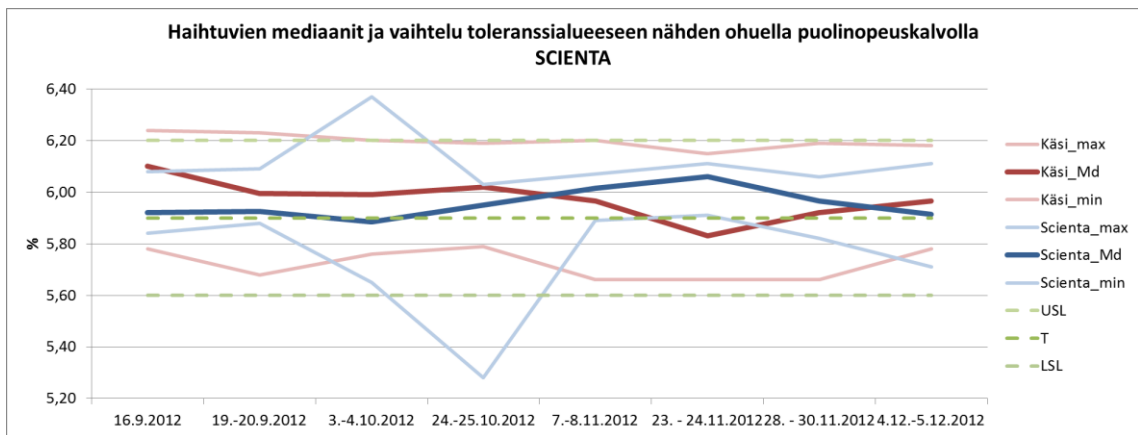
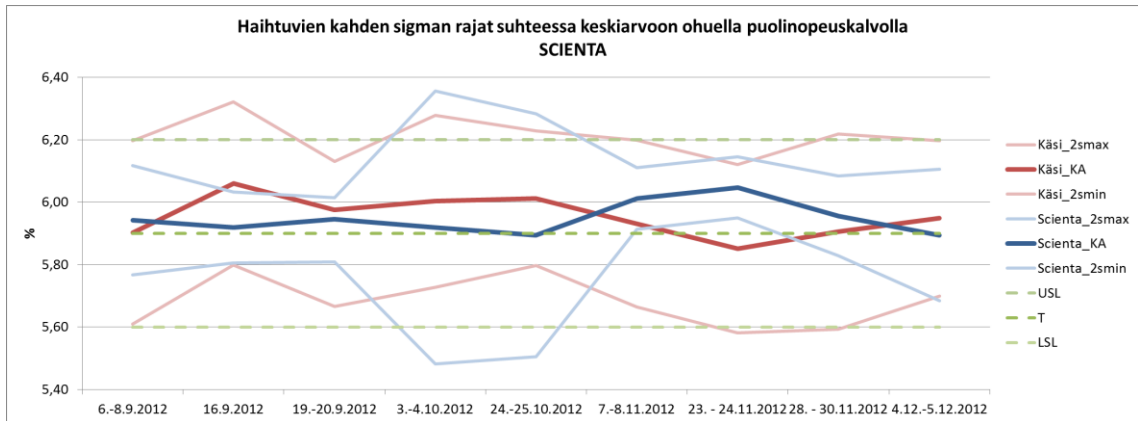
Liite 4. Paksun pikatahtikalvon hartsimittausten luottamusvälit



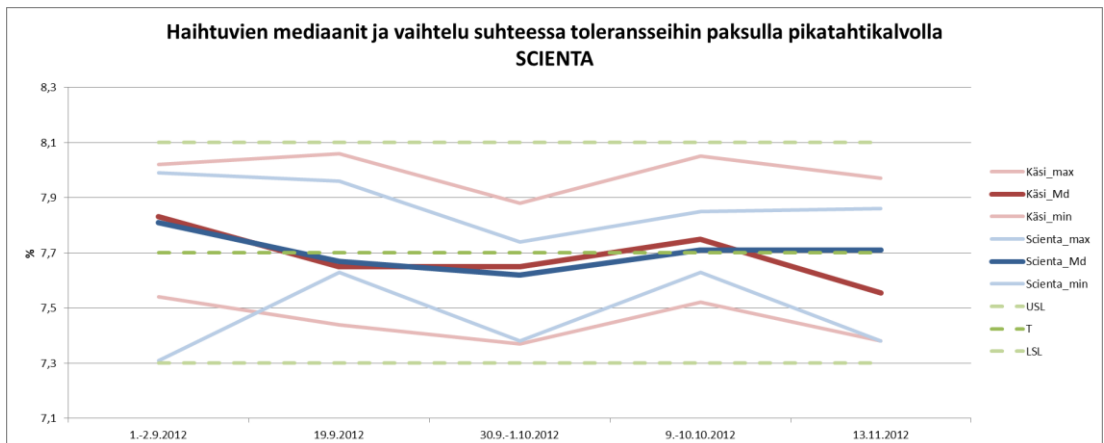
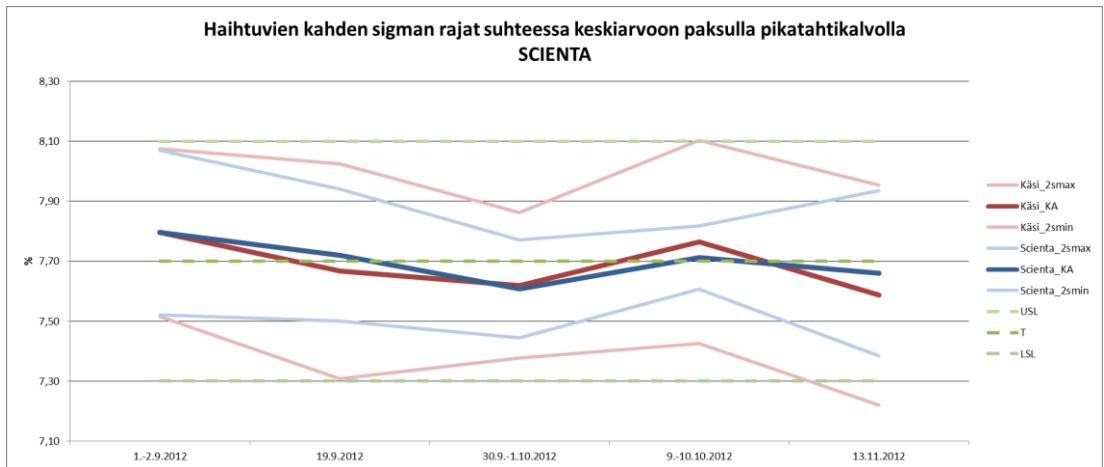
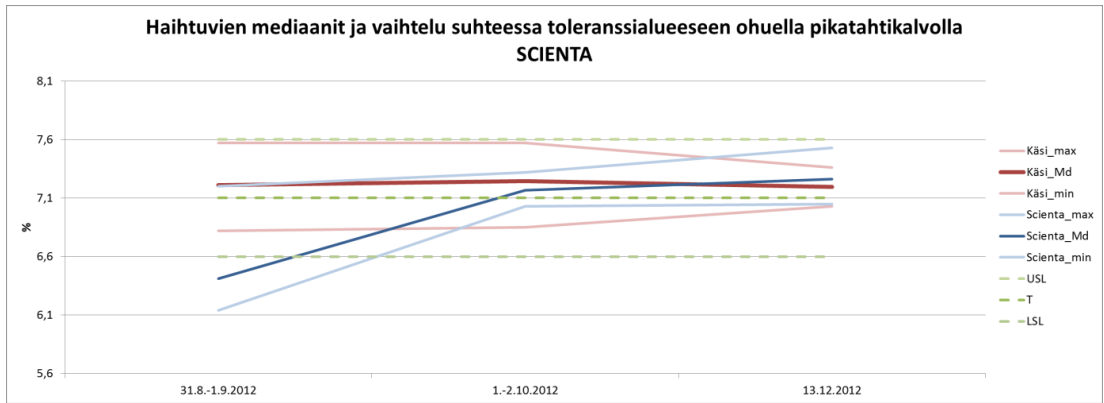
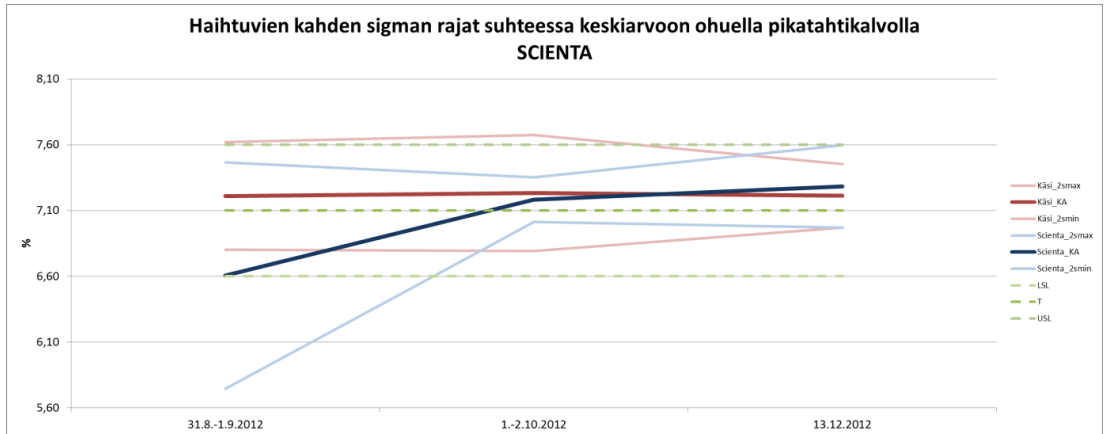
Liite 5. Hartsimäärän online- ja manuaalimittausten korrelaatiot



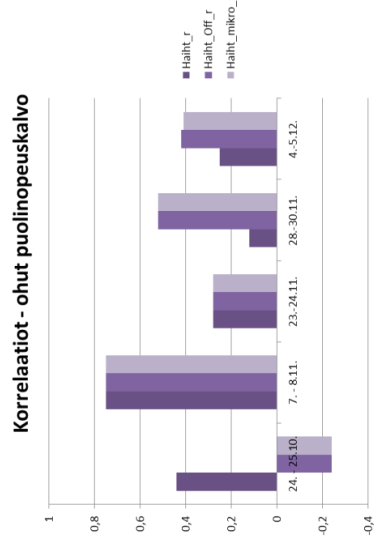
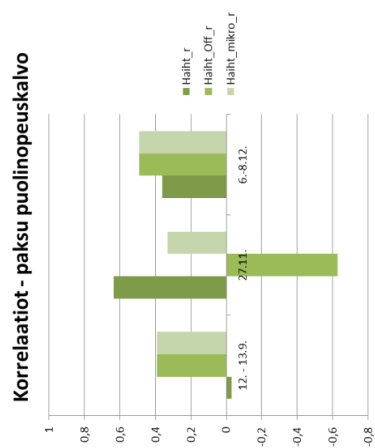
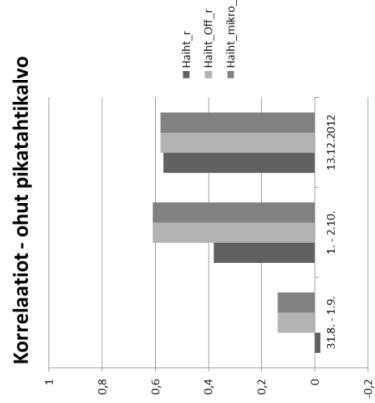
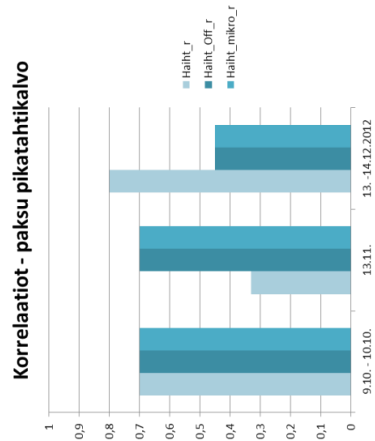
Liite 6. Puolinopeuskalvojen haihtuvamittausten luottamusvälit



Liite 7. Pikatahtikalvojen haihtuvamittausten luottamusvälit



Liite 8. Haihtuvien online- ja manuaalimittausten korrelaatiot



Liite 9. Ohuen puolinopeuskalvon kalibroinnin vertailu

HAIHTUVIEN DYNAAMINEN KORRELAATIO - OHUT PUOLINOPEUSKALVO						
7.11 - 4.12.			4.12.-10.1.			
Käsi	Scienta	ERO	Käsi	Scienta	ERO	
6,02	5,91	-0,11	5,79	5,89	0,1	
5,97	5,92	-0,05	5,95	6,11	0,16	
5,94	5,97	0,03	5,78	5,91	0,13	
6,1	5,9	-0,2	5,82	5,95	0,13	
6,2	5,89	-0,31	5,99	5,82	-0,17	
5,66	5,95	0,29	5,88	5,71	-0,17	
5,95	5,99	0,04	5,98	5,76	-0,22	
6,04	6,07	0,03	6,01	5,8	-0,21	
6,03	6,07	0,04	5,87	5,75	-0,12	
5,98	6,01	0,03	6,01	5,92	-0,09	
5,81	6	0,19	6,02	5,99	-0,03	
5,7	5,93	0,23	6,16	5,96	-0,2	
5,87	6,02	0,15	6,18	5,99	-0,19	
6,02	6,01	-0,01	6,05	5,95	-0,1	
5,99	6,07	0,08	5,88	5,86	-0,02	
5,84	6	0,16	5,8	5,94	0,14	
5,99	6,01	0,02	6,22	5,69	-0,53	
5,92	6,02	0,1	5,79	5,94	0,15	
5,79	6,03	0,24	5,96	5,95	-0,01	
5,92	6,04	0,12	6,05	6,18	0,13	
6	6,07	0,07	6,13	6,25	0,12	
6,05	6,03	-0,02	5,77	5,98	0,21	
5,66	5,91	0,25	5,95	6,13	0,18	
5,87	5,95	0,08	5,77	6,09	0,32	
5,77	5,95	0,18	5,99	6,12	0,13	
5,87	6,04	0,17	5,86	6,01	0,15	
5,99	6,11	0,12	5,85	5,99	0,14	
5,89	6,06	0,17	5,62	5,85	0,23	
5,74	6,04	0,3	6	6,14	0,14	
5,68	6,06	0,38	5,83	5,76	-0,07	
6,15	6,07	-0,08	5,68	5,95	0,27	
5,7	6,08	0,38	5,79	6,04	0,25	
5,74	6,02	0,28	6,14	6,26	0,12	
5,83	6,08	0,25	5,75	6,1	0,35	
5,8	6,07	0,27	5,75	5,88	0,13	
5,77	6,07	0,3	6,05	5,73	-0,32	
5,91	6,1	0,19	6,14	6,03	-0,11	
5,78	6,1	0,32	5,87	5,94	0,07	
5,75	6,07	0,32	5,94	5,97	0,03	
6,04	6,06	0,02	5,95	5,91	-0,04	
6,06	6,04	-0,02	5,93	6,05	0,12	
6,03	6,05	0,02	5,88	6,28	0,4	
5,95	6,05	0,1	5,89	5,95	0,06	
5,88	6,07	0,19	5,95	5,88	-0,07	
5,71	6,04	0,33	5,9	5,81	-0,09	
6	6,06	0,06	5,65	5,77	0,12	
5,82	5,97	0,15	6,11	5,84	-0,27	
5,77	6,01	0,24	5,83	5,78	-0,05	
5,66	6,01	0,35	6,04	5,78	-0,26	
5,68	6,04	0,36	6,11	5,79	-0,32	
5,87	5,86	-0,01	5,94	5,73	-0,21	
5,8	5,9	0,1	5,91	5,74	-0,17	
5,81	5,89	0,08	5,89	5,65	-0,24	
5,67	5,82	0,15	6	5,77	-0,23	
6,12	5,9	-0,22	6,88	5,65	-1,23	
6,02	5,88	-0,14	6,21	5,96	-0,25	
6,04	5,99	-0,05	5,98	5,96	-0,02	
5,81	5,96	0,15	5,82	6,01	0,19	
5,72	5,9	0,18	5,86	6,05	0,19	
6,19	5,93	-0,26	5,95	6,15	0,2	
5,93	5,97	0,04	6,32	5,9	-0,42	
5,97	5,95	-0,02	5,68	5,56	-0,12	
5,96	5,95	-0,01	6,16	5,73	-0,43	
6,14	5,99	-0,15	6,2	6,04	-0,16	
5,91	6,01	0,1	5,92	6	0,08	
5,99	6,01	0,02	5,95	6,04	0,09	
6,04	6,03	-0,01	5,72	5,98	0,26	
KA	5,90	6,00	0,10	5,84	5,78	-0,06
s	0,14	0,07	0,16	5,94	5,92	-0,02
				5,98	5,97	-0,01
				5,88	5,92	0,04
				6,04	5,87	-0,17
				5,85	5,89	0,04
				6,14	5,93	-0,21
				5,8	6,1	0,3
				6,11	6,19	0,08
				6,1	6,14	0,04
				5,94	6,03	0,09
				6,08	6,17	0,09
				5,92	6,03	0,11
				5,82	6,03	0,21
				5,83	6,02	0,19
				6,12	6,1	-0,02
				6,09	6,24	0,15
				5,98	5,99	0,01
				6,16	5,99	-0,17
				5,72	5,97	0,25
				6,09	5,91	-0,18
				5,87	5,81	-0,06
				6	5,88	-0,12
				6,04	5,77	-0,27
				5,8	5,7	-0,1
				6,14	5,98	-0,16
				5,96	5,94	-0,02
				0,17	0,15	0,23
KA						
s						

HARTSIMÄÄRÄ DYNAAMINEN KORRELAATIO - OHUT PUOLINOPEUSKALVO							
7.11-4.12.			4.12.-10.1.				
Käsi	Scienta	ERO	Käsi	Scienta	ERO		
68,64	69,13	0,49	70,69	69,6	-1,09		
69,24	71,75	2,51	72,07	70,85	-1,22		
69,6	69,87	0,27	70,81	70,26	-0,55		
68,42	69,05	0,63	70,59	70,01	-0,58		
69,6	69,86	0,26	71,21	70,74	-0,47		
69,55	70,65	1,1	71,55	70,52	-1,03		
69,11	70,37	1,26	71,58	70,5	-1,08		
68,57	69,24	0,67	71,74	70,61	-1,13		
70,26	70,03	-0,23	70,13	69,48	-0,65		
69,36	70,63	1,27	70,66	70,59	-0,07		
71,04	70,91	-0,13	70,61	70,21	-0,4		
70,42	70,13	-0,29	71,13	70,41	-0,72		
69,58	70,08	0,5	70,24	70,7	0,46		
69,3	70,38	1,08	70,32	70,21	-0,11		
69,67	70,2	0,53	70,82	70,12	-0,7		
70,1	70,04	-0,06	70,89	70,47	-0,42		
69,44	70,46	1,02	70,25	70,52	0,27		
69,86	70,12	0,26	69,83	69,99	0,16		
70,23	70,18	-0,05	68,87	70,32	1,45		
68,86	69,83	0,97	70,38	69,85	-0,53		
68,15	69,69	1,54	71,82	70,5	-1,32		
70,24	70,69	0,45	69,77	69,64	-0,13		
69,93	70,75	0,82	70,66	69,93	-0,73		
70,06	70,61	0,55	70,76	69,42	-1,34		
69,64	70,08	0,44	70,73	70,08	-0,65		
69,29	69,85	0,56	70,14	70,14	0		
69,58	69,85	0,27	70,2	69,85	-0,35		
70,22	69,51	-0,71	70,2	70,35	0,15		
70,53	69,75	-0,78	70,15	70,77	0,62		
71,64	70,79	-0,85	69,17	70,14	0,97		
69,96	70,12	0,16	69,96	69,95	-0,01		
69,53	69,51	-0,02	69,8	70,28	0,48		
70,31	70,26	-0,05	71,11	70,82	-0,29		
69,55	69,39	-0,16	70,99	70,42	-0,57		
70,34	70,03	-0,31	70,92	70,47	-0,45		
69,75	69,95	0,2	70,61	70,97	0,36		
69,97	70,65	0,68	71,23	70,64	-0,59		
69,86	70,63	0,77	69,68	70,04	0,36		
70,21	70,2	-0,01	70,35	70,35	0		
69,94	70,74	0,8	69,63	70,19	0,56		
70,27	69,95	-0,32	70,38	70,51	0,13		
70,93	69,97	-0,96	70,61	71,32	0,71		
69,67	70,74	1,07	70,11	70,75	0,64		
70,27	70,83	0,56	70,58	69,32	-1,26		
68,78	69,75	0,97	71,28	70,33	-0,95		
69,83	70,21	0,38	69,97	69,91	-0,06		
69,99	70,63	0,64	70,29	70,1	-0,19		
70,7	70,66	-0,04	69,13	69,26	0,13		
69,59	70,27	0,68	69,41	69,55	0,14		
69,32	69,63	0,31	69,94	70,67	0,73		
69,88	70,59	0,71	69,5	69,8	0,3		
69,14	70	0,86	69,51	70,58	1,07		
70,05	70,39	0,34	69,49	70,14	0,65		
69,2	69,28	0,08	69,15	69,9	0,75		
69,15	69,87	0,72	68,8	70,07	1,27		
70,17	71,16	0,99	70,61	70,09	-0,52		
69,9	69,83	-0,07	70,69	69,61	-1,08		
69,72	69,95	0,23	70,4	70,17	-0,23		
70	70,12	0,12	69,79	69,78	-0,01		
69,81	70,56	0,75	69,85	70,14	0,29		
69,17	70,23	1,06	69,63	70,73	1,1		
70,55	70,7	0,15	70,14	69,97	-0,17		
69,83	70,4	0,57	70,35	70,49	0,14		
KA	69,77	70,19	0,42	71,05	70,93	-0,12	
s	0,63	0,51	0,60	69,43	70,58	1,15	
				70,83	70,54	-0,29	
				70,3	69,96	-0,34	
				69,68	70,59	0,91	
				70,46	70,39	-0,07	
				70,4	70,19	-0,21	
				71,23	69,25	-1,98	
				70,24	70,47	0,23	
				71,61	71,04	-0,57	
				70,31	70,01	-0,3	
				70,42	69,82	-0,6	
				71,13	70,57	-0,56	
				70,86	70,74	-0,12	
				70,11	70,25	0,14	
				71,05	70,57	-0,48	
				69,41	69,55	0,14	
				70	70,43	0,43	
				69,84	69,35	-0,49	
				70,03	70,38	0,35	
				70,5	69,74	-0,76	
				69,81	69,67	-0,14	
				70,19	70,66	0,47	
				70,07	69,25	-0,82	
				70,17	70,61	0,44	
				69,02	69,49	0,47	
				70,72	69,86	-0,86	
				70,55	70,36	-0,19	
				69,69	69,96	0,27	
				70,92	71,51	0,59	
				KA	70,34	70,22	-0,12
				s	0,68	0,47	0,66

Liite 10. Pikatahtikalvojen kalibrointivertailu

HAIHTUVIEN DYNAAMINEN KORRELAATIO - OHUT PIKATAHTIKALVO									
	31.8. - 2.10.				13.12. - 3.1.				
	Käsi	Scienta	ERO		Käsi	Scienta	ERO		
	7,26	6,14	-1,12		7,17	7,18	0,01		
	7,57	7,2	-0,37		7,55	6,93	-0,62		
	7,49	6,17	-1,32		7,52	7,05	-0,47		
	7,42	6,24	-1,18		7,07	6,63	-0,44		
	7,43	6,39	-1,04		7,22	7,05	-0,17		
	7,14	6,41	-0,73		7,39	7,12	-0,27		
	7,21	6,27	-0,94		7,3	7,18	-0,12		
	7,17	6,16	-1,01		7,16	7,12	-0,04		
	6,82	6,15	-0,67		7,16	7,22	0,06		
	7,03	6,66	-0,37		7,15	7,17	0,02		
	6,95	6,96	0,01		7,19	7,17	-0,02		
	7,18	7	-0,18		7,16	7,08	-0,08		
	7,21	7,02	-0,19		7,11	7,08	-0,03		
	7,22	7,2	-0,02		7,36	7,33	-0,03		
	7,07	7,14	0,07		7,09	7,25	0,16		
	7,26	7,07	-0,19		7,22	7,21	-0,01		
	7,4	7,03	-0,37		7,07	7,14	0,07		
	7,28	7,15	-0,13		7,18	7,25	0,07		
	7,44	7,25	-0,19		7,1	7,14	0,04		
	7,06	7,23	0,17		7,06	7,16	0,1		
	7,17	7,14	-0,03	KA	7,21	7,12	-0,09		
	7,05	7,11	0,06	s	0,14	0,15	0,21		
	6,85	7,1	0,25						
	6,87	7,15	0,28						
	7,55	7,3	-0,25						
	7,23	7,16	-0,07						
	7,4	7,26	-0,14						
	7,1	7,32	0,22						
	7,57	7,26	-0,31						
	7,41	7,24	-0,17						
	7,09	7,17	0,08						
KA	7,22	6,90	-0,32						
s	0,21	0,42	0,46						

HARTSIN DYNAAMINEN KORRELAATIO - OHUT PIKATAHTIKALVO									
	31.8. - 2.10.				13.12. - 3.1.				
	Käsi	Scienta	ERO		Käsi	Scienta	ERO		
	65,14	63,88	-1,26		65,57	64,09	-1,48		
	66,03	65,52	-0,51		65,7	63,95	-1,75		
	65,54	65,31	-0,23		63,65	63,53	-0,12		
	65,02	63,39	-1,63		64,2	63,96	-0,24		
	65,77	64,63	-1,14		64,35	64,17	-0,18		
	64,9	63,29	-1,61		64,39	64,07	-0,32		
	65,51	62,43	-3,08		64,1	64,36	0,26		
	64,6	64,05	-0,55		63,25	63,3	0,05		
	63,77	62,49	-1,28		64,54	64,09	-0,45		
	64,47	63,56	-0,91		65,19	64,57	-0,62		
	64,53	62,94	-1,59		63,98	64	0,02		
	64,98	64,58	-0,4		64,48	63,62	-0,86		
	65,89	65,22	-0,67		65,07	64,43	-0,64		
	64,78	64,34	-0,44		64,03	63,96	-0,07		
	64,82	64,47	-0,35		64,55	63,97	-0,58		
	65,05	64,92	-0,13		64,82	64,12	-0,7		
	65,08	64,55	-0,53		63,91	64,28	0,37		
	63,87	63,71	-0,16		64,01	64,13	0,12		
	65,28	65,04	-0,24		64,63	64,31	-0,32		
	62,67	62,64	-0,03	KA	64,44	64,05	-0,40		
	63,96	63,74	-0,22	s	0,63	0,31	0,55		
	62,75	63,18	0,43						
	63,98	63,48	-0,5						
	63,13	62,77	-0,36						
	65,06	65	-0,06						
	62,3	63,08	0,78						
	64,63	64,77	0,14						
	62,93	63,24	0,31						
	65,11	65,46	0,35						
	64,38	64,67	0,29						
	65,22	64,92	-0,3						
KA	64,55	64,04	-0,51						
s	0,98	0,94	0,78						

HAIHTUVIEN DYNAAMINEN KORRELAATIO - PAKSU PIKATAHTIKALVO									
	30.9.-10.10.				3.1.-16.1.				
	Käsi	Scienta	ERO		Käsi	Scienta	ERO		
	7,65	7,38	-0,27		8,15	7,91	-0,24		
	7,67	7,58	-0,09		7,78	7,34	-0,44		
	7,52	7,43	-0,09		8,05	7,89	-0,16		
	7,59	7,57	-0,02		7,74	7,74	0		
	7,53	7,56	0,03		7,64	7,67	0,03		
	7,51	7,6	0,09		7,59	7,97	0,38		
	7,7	7,55	-0,15		7,58	7,75	0,17		
	7,67	7,66	-0,01		7,53	7,59	0,06		
	7,46	7,74	0,28		7,54	7,62	0,08		
	7,67	7,67	0,00		7,43	7,6	0,17		
	7,72	7,67	-0,05		7,64	7,86	0,22		
	7,81	7,67	-0,14		7,63	7,64	0,01		
	7,52	7,63	0,11		7,62	7,77	0,15		
	7,88	7,69	-0,19		7,55	7,72	0,17		
	7,61	7,65	0,04		7,81	7,77	-0,04		
	7,7	7,64	-0,06		7,85	8,28	0,43		
	7,65	7,66	0,01		7,77	7,67	-0,1		
	7,37	7,55	0,18		7,67	7,62	-0,05		
	7,69	7,69	0,00		7,94	7,97	0,03		
	7,58	7,58	0,00		7,72	7,77	0,05		
	7,76	7,59	-0,17		7,84	7,9	0,06		
	7,48	7,59	0,11		7,7	7,95	0,25		
	7,51	7,62	0,11		7,9	7,84	-0,06		
	8,05	7,85	-0,20		7,65	7,63	-0,02		
	7,54	7,73	0,19		7,62	7,8	0,18		
	7,75	7,68	-0,07		7,59	7,63	0,04		
	7,71	7,68	-0,03		7,65	7,6	-0,05		
	7,6	7,64	0,04	KA	7,71	7,76	0,05		
	7,78	7,68	-0,10	s	0,16	0,18	0,18		
	7,65	7,68	0,03						
	7,94	7,75	-0,19						
	7,75	7,69	-0,06						
	7,73	7,7	-0,03						
	7,76	7,71	-0,05						
	7,7	7,71	0,01						
	7,59	7,74	0,15						
	7,96	7,75	-0,21						
	7,52	7,63	0,11						
	8,02	7,72	-0,30						
	7,58	7,68	0,10						
	7,83	7,73	-0,10						
	8,03	7,73	-0,30						
	7,62	7,66	0,04						
	7,96	7,82	-0,14						
KA	7,69	7,66	-0,03						
s	0,16	0,09	0,13						

HARTSI DYNAAMINEN KORRELAATIO - PAKSU PIKATAHTIKALVO									
	30.9.-10.10.				3.1.-16.1.				
	Käsi	Scienta	ERO		Käsi	Scienta	ERO		
	77,39	78,32	0,93		77,44	77,14	-0,3		
	75,93	76,62	0,69		77,19	76,8	-0,39		
	77,51	77,47	-0,04		77,09	76,99	-0,1		
	77,53	77,12	-0,41		78,19	77,6	-0,59		
	76,99	77,37	0,38		78,33	76,84	-1,49		
	77,19	77,47	0,28		78,04	76,94	-1,1		
	76,59	77,32	0,73		77,36	77,3	-0,06		
	76,06	76,08	0,02		77,27	76,9	-0,37		
	78,69	78,66	-0,03		77,94	77,17	-0,77		
	75,53	76,06	0,53		76,97	76,84	-0,13		
	77,58	77,62	0,04		76,41	76,88	0,47		
	78,22	77,33	-0,89		76,84	77,29	0,45		
	77,88	78,19	0,31		77,08	77,27	0,19		
	76,38	76,5	0,12		76,78	76,7	-0,08		
	77,68	77,73	0,05		76,63	77,26	0,63		
	78,2	78,27	0,07		76,63	76,18	-0,45		
	77,02	76,39	-0,63		77,52	76,9	-0,62		
	78,19	78,13	-0,06		77,08	76,98	-0,1		
	76,8	77,2	0,4		77,55	77,01	-0,54		
	77,8	78,35	0,55		78	77,05	-0,95		
	77,83	76,23	-1,6		77,18	76,55	-0,63		
	76,8	77,29	0,49		76,73	76,33	-0,4		
	77,87	78,18	0,31		78,21	77,67	-0,54		
	76,18	75,88	-0,3		78,25	77,57	-0,68		
	77,08	77,11	0,03		77,81	76,8	-1,01		
	78,05	76,81	-1,24		77,23	76,96	-0,27		
	77,7	76,75	-0,95		78,29	77,71	-0,58		
	77,99	77,6	-0,39	KA	77,41	77,00	-0,41		
	77,03	76,95	-0,08	s	0,58	0,42	0,49		
	78,41	77,03	-1,38						
	77,67	76,54	-1,13						
	76,96	77,41	0,45						
	78,07	76,88	-1,19						
	77,25	76,69	-0,56						
	77,36	76,16	-1,2						
	78,49	78,18	-0,31						
	77,09	75,55	-1,54						
	77,83	77,82	-0,01						
	76,44	75,84	-0,6						
	77,99	77,4	-0,59						
	77,49	75,12	-2,37						
	77,06	76,4	-0,66						
	78,27	78,24	-0,03						
KA	77,40	77,12	-0,27						
s	0,74	0,85	0,73						

Liite 11. Suorituskykyluvut

HAIHTUVAT SUORITUSKYKYLUVUT - OHUT PUOLINOPEUSKALVO					
7.11. - 4.12.			4.12.-10.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,70	1,48	Cp	0,57	0,66
k	0,00	-0,33	k	-0,19	-0,13
Cpk	0,70	1,97	Cpk	0,68	0,75

HARTSI SUORITUSKYKYLUVUT - OHUT PUOLINOPEUSKALVO					
7.11. - 4.12.			4.12.-10.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	1,07	1,32	Cp	0,98	1,43
k	0,12	-0,09	k	-0,17	-0,11
Cpk	0,94	1,44	Cpk	1,15	1,59

HAIHTUVAT SUORITUSKYKYLUVUT - OHUT PIKATAHTIKALVO					
31.8. - 2.10.			13.12. - 3.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,80	0,40	Cp	1,17	1,15
k	-0,25	0,39	k	-0,22	-0,05
Cpk	0,99	0,24	Cpk	1,43	1,20

HARTSI SUORITUSKYKYLUVUT - OHUT PIKATAHTIKALVO					
31.8. - 2.10.			13.12. - 3.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,68	0,71	Cp	1,06	2,16
k	-0,28	-0,02	k	-0,22	-0,02
Cpk	0,87	0,72	Cpk	1,30	2,21

HAIHTUVAT SUORITUSKYKYLUVUT - PAKSU PIKATAHTIKALVO					
30.9.-10.10.			3.1.-16.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,82	1,54	Cp	0,81	0,74
k	0,03	0,11	k	-0,03	-0,15
Cpk	0,80	1,37	Cpk	0,83	0,85

HARTSI SUORITUSKYKYLUVUT - PAKSU PIKATAHTIKALVO					
30.9.-10.10.			3.1.-16.1.		
	Käsi	Scienta		Käsi	Scienta
Cp	0,74	0,85	Cp	0,58	0,42
k	-0,13	-0,04	k	-0,14	0,00
Cpk	0,83	0,88	Cpk	0,66	0,42

Mittapalkin koeajoraportti

1. Tavoitteet

a) Mikroaaltomittarin viritys: Mittapalkin mikroaaltomittaukseen perustuva neliömassa näkyy järjestelmässä väärin. Laitetoimittajaa pyydetään korjaamaan mikroaaltomittarin skaalaus, jotta päästään vertaamaan mikroaalto- ja beetasäteilijän neliömassamittauksia ja täten arvioimaan mikroaaltoihin perustuvan neliömassamittauksen luotettavuutta.

b) Haihtuvien säätäminen nopeutta muuttamalla: Mittapalkin ominaisuuksien hyödyntämiseksi on tavoitteena siirtyminen haihtuvien perusteella tapahtuvaan ratanopeuden säätöön. Onnistuessaan takaisinkytkentä mahdollistaa automaattisesti haihtuvien perusteella korjautuvan ajonopeuden. Säädön ohjelmoimiseksi tarvitaan tietoa laatukohtaisista kalibrointiarvoista.

c) Hartsin annostelu raakapaperin kosteuden perusteella: Paneudutaan raakapaperin kosteuden perusteella tapahtuvaan nippiraon säätöön. Ohjelmoidaan säätöpiiri valmiiksi, jos mahdollista. Selvitetään lisäksi, voidaanko kyseinen tapahtuma varustaa on/off –kytkimellä.

2. Toteutus

a) Mikroaaltomittareiden viritys: Neliömassan skaalaus tarkistettiin laitetoimittajan toimesta.

b) Haihtuvien säätäminen nopeutta muuttamalla: Tutkittiin, yhteyttä nopeuden ja haihtuvien välillä laaduilla 42/117 FA2X CHB ja 60/145 FKK BLB. Tavallisen linja-ajon lopuksi tehtiin kokeilu, jossa ajonopeutta kasvatettiin portaittain. Laadulla 42/117 FA2X CHB nopeutta kasvatettiin asetusarvosta 93 m/min nopeuteen 98,9 m/min. Seurattiin laadun stabiilisuutta, erityisesti haihtuvien muuttumista. Seuraavana päivänä koeajo uusittiin paksummalla paperilaadulla ja eri hartsilla, laatu 60/145 FKK BLB. Tavoiteltiin radikaalimpaa haihtuvien nousua nopeutta kasvattamalla. Koeajon aikana seurattiin haihtuva- ja nopeusarvoja.

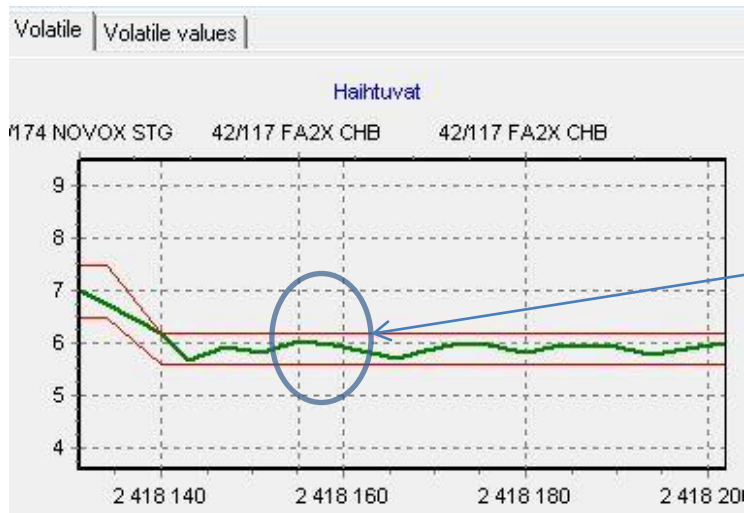
c) Hartsin annostelu raakapaperin kosteuden perusteella: Raakapaperin mikroaaltomittausten oikeellisuus varmistettiin ottamalla raakapaperista käsinäytteitä. Näytteet otettiin kolmesta raakapaperilaadusta. Kokeiltiin parantaa SELMA:sta nippiraon hienosäätöä muuttamalla säätöpulssia ensin 0,7 sekunnista 5 sekuntiin ja uudelleen 3 sekuntiin. Tällä tavoiteltiin tulosten siirtymistä lähemmäs tavoitearvoa, vaikka hajontaa tulisikin enemmän.

3. Tulokset

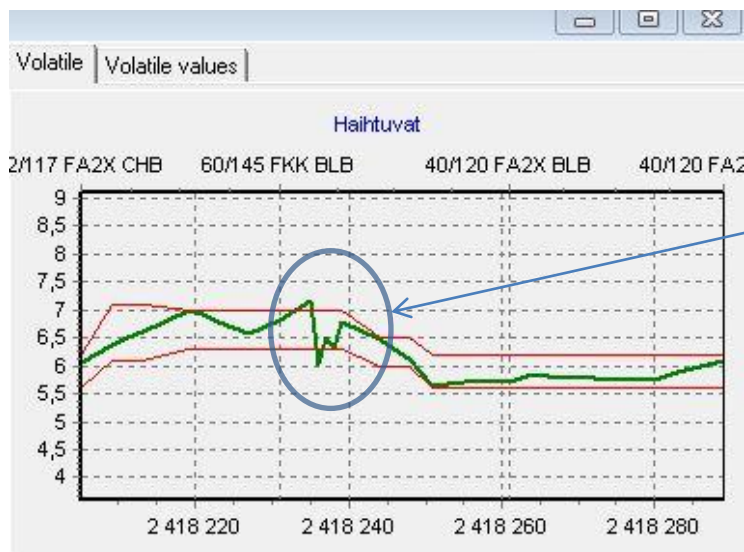
a) Mikroaaltomittareiden viritys: Ohjelmoinnista vastaava laitetoimittaja havaitsi virheen mikroaaltomittarin neliömassanäyttämässä. Skaalaus korjattiin.

b) Haihtuvien säätäminen nopeutta muuttamalla: Ensimmäisessä koeajossa (FA2X-laatu) ei huomattu radikaalia nousua haihtuvissa, vaikka nopeus oli lopussa 98,9 m/min. Kyseistä laatua ei voitu ajaa nopeammin, sillä ratakatkon vaara olisi kasvanut paperin ohuuden vuoksi. FKK-laadulla saatiin haihtuvat

nousemaan nopeuden kasvun mukana edellistä paremmin, minkä ansiosta saatiin laadulle uudet kalibrointi-arvot. Samanlainen määrittäminen tehdään seuraavaksi muillekin laaduille. Tulevaisuudessa koneen nopeuksia voidaan mahdollisesti kasvattaa tuotteen laadun häiriintymättä.



Kuva 1. Nopeuden vaikutus haihtuviin laadulla 42/117 FA2X CHB



Kuva 2. Nopeuden vaikutus haihtuviin laadulla 60/145 FKK BLB

c) Hartsin annostelu raakapaperin kosteuden perusteella: Käsini otetuista paperinäytteistä laitevalmistaja määrittä kalibroinnin raakapaperille ja lisäsi mittaustulosten suodatusta. Lisäksi muutettiin nippiraon säätöalgoritmia yksinkertaisemmaksi ja sopivammaksi kosteuden perusteella tapahtuvaan säätöön. SELMA:an tehtiin muutoksia nippirikosäädön hystereesin pienentämiseksi ja pulssinsäätöperiaatteesta luovuttiin. Jatkossa seurataan muutosten vaikutusta käytännössä. Laadulla 42/117 FA2X CHB voitiin konetta ajaa niin, että hartsinsäätö perustui raakapaperin kosteuteen.