

Kai Lehtinen

## SUIHKUJAUHATUKSEN OPTIMOINTI

Kemiantekniikan koulutusohjelma

2016

## SUIHKUJAUHATUKSEN OPTIMOINTI

Lehtinen, Kai

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Tammikuu 2016

Ohjaaja: Hannelius, Timo; lehtori, SAMK

Valvoja: Laitinen, Jyrki; kehitysinsinööri, Huntsman Pigments

Sivumäärä: 25

Liitteitä: 26

Asiasanat: suihkujauhatus, titaanidioksidi, kiilto, GLOSScalc

---

### TIIVISTELMÄ

Huntsman Pigments Pori tuottaa titaanidioksidia eri teollisuuskohteille käytettäväksi. Tehdas valmistaa titaanidioksidia käyttämällä sulfaattiprosessia. Tehtaan kapasiteetti on 130 000 tonnia titaanidioksidia vuodessa. Tehtaalla on noin 500 työntekijää.

Tuotettua titaanidioksidia jauhetaan loppuvaiheessa suihkumyllyillä, joihin Huntsman on kehittänyt jauhatuskammion paineensäätöön menetelmän, jolla agglomeraatit saadaan entistä tehokkaammin ja tasaisemmin erotettua toisistaan. Tällä ohjaustavalla saadaan myös merkittäviä höyrynkäyttöön liittyviä säästöjä.

Ohjaustapamuutoksessa siirrytään seuraamaan jauhatuskammion sisäistä painetta ja pitämällä se vakiona säätämällä jauhatushöyryn määrää automaattiventtiilillä, kun ennen säädettiin syöttö- ja jauhatushöyryä päähöyryventtiilillä, joka pyrki pitämään höyrymäärän oikeana asetetun höyry-pigmentti-suhteen avulla.

Tässä työssä testattiin ohjausmuutoksen toimivuutta.

Suihkujauhatuksesta otetaan näytteitä vähintään kolmesti päivässä ja niistä analysoidaan mm. kiilto, dispergoituvuus ja peittokyky. Tässä työssä tärkein määriteltävä analyysisuure oli kiilto, jonka mittaamisessa laboratorio käyttää SFM-menetelmällä saatavaa laskennallista kiiltoa, eli ns. GLOSScalcia.

Koeajoja suoritettiin kahdella eri tuotteella. Koeajot aloitettiin molemmille tuotteille ensin suorittamalla esikoeajo, jossa selvitettiin sopiva höyry-pigmentti-suhde, millä lähdettiin suorittamaan pidemmän ajan koeajoja. Koeajojen tuloksia seurattiin vertaamalla koesuihkumyllyn ja vertailu suihkumyllyn GLOSScalc:ien välistä eroa.

Saaduista tuloksista huomattiin, että ohjaustapamuutoksella voidaan laskea höyry-pigmentti-suhdetta jopa 0,5 arvoa alaspäin ja täten säästää höyryä noin 390 kg/h, eli rahallisesti yli miljoona euroa vuodessa.

Kuitenkin suihkujauhatuslinjojen erojen ja eri tuotteiden vuoksi tulos ei ole lopullinen ja koeajoja tulee jatkaa jokaisella linjalla ja tuotteella, jotta todelliset hyödyt voidaan laskea.

## JET MILLING OPTIMIZATION

Lehtinen, Kai

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Chemical Engineering

January 2016

Supervisor 1: Hannelius, Timo; Senior Lecturer, SAMK

Supervisor 2: Laitinen, Jyrki; Development Engineer, Huntsman Pigments

Number of pages: 25

Appendices: 26

Keywords: jet milling, titanium dioxide, gloss, GLOSScalc

---

### ABSTRACT

Huntsman Pigments Pori produces titaniumdioxide for different industrial uses. Titanium dioxide pigment is produced by using sulphate process. Capacity of the factory is 130 000 tons TiO<sub>2</sub>-pigment per year. Factory has 500 employees.

Produced titaniumdioxide is milled at the end of the process by using jet mills, where Huntsman has developed milling chamber pressure control, which allows more efficient and more even crushing for agglomerats. This pressure control also saves significantly steam that is used in jet mills.

In this control type it is moved to follow grinding chamber pressure and to keep it in constant state by controlling grinding steam amount with automatic valve instead of controlling feed and grinding steam with main steam valve to keep steam flow right by adjusting steam-pigment-ratio.

This thesis work was focusing on testing the reliability of control change works.

Atleast three samples from jet mills were taken every day. Gloss, dispergation and covering ability were analyzed from these samples. In this work the most important analysis was gloss in which analyzing laboratory used GLOSScalc, which is calculated from SFM-application.

Trial runs were done for two different products. Trial runs started for each product first by making pre test drives from where it was tried to find out, which was good steam-pigment-relation to start longer test drives. Results of the test drives was followed by measuring GLOSScalc difference between test jet mill and regular jet mill.

From the results it was calculated that the control change allowed us to lower steam-pigment-ratio by 0,5 scales downward and to save steam 390 kg/h which is over million euros per year.

However, there are different kinds of jet milling lines in the factory and different products, so the results are not final and the test drives must be done for every line and product so the real results can be calculated.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	HUNTSMAN CORPORATION.....	7
2.1	Huntsman Pigments Porin tehdas .....	7
3	TITANIDIOKSIDI.....	9
3.1	Titaanidioksidin valmistus sulfaattiprosessilla .....	10
4	SUIHKUJAUHATUS .....	13
4.1	Suihkumyllyn mittaukset ja ohjaustapa .....	14
5	SUIHKUJAUETUN TUOTTEEN ANALYYSIT .....	16
5.1	Kiilto .....	16
6	KOEAJOT .....	17
6.1	Koeajot tuotteelle 1 .....	17
6.1.1	Esikoeajo 1.....	17
6.1.2	Esikoeajo 2.....	18
6.1.3	Koeajo 1.....	19
6.1.4	Koeajo 2.....	19
6.1.5	Koeajo 3.....	20
6.2	Koeajot tuotteelle 2 .....	21
6.2.1	Esikoeajo 3.....	21
6.2.2	Koeajo 4.....	22
6.2.3	Koeajo 5.....	23
7	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	23
8	JATKOTOIMENPITEET .....	24
	LÄHTEET.....	25
	LIITTEET	

LIITE 1. LAATUVAATIMUKSET TUOTTEELLE 1

LIITE 2. KOEAJOSUUNNITELMA ESIKOEAJOT 1 JA 2

LIITE 3. MITTAUSPÖYTÄKIRJA ESIKOEAJO 1

LIITE 4. KUVAAJA ESIKOEAJO 1

LIITE 5. MITTAUSPÖYTÄKIRJA ESIKOEAJO 2

LIITE 6. KUVAAJA ESIKOEAJO 2

LIITE 7. KOEAJOSUUNNITELMA KOEAJO 1

LIITE 8. SM 45 AJOTAPAOHJE.

LIITE 9. MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 1

LIITE 10. KUVAAJAT KOEAJO 1

LIITE 11. KOEAJOSUUNNITELMA KOEAJO 2  
LIITE 12. MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 2  
LIITE 13. KUVAAJA KOEAJO 2  
LIITE 14. UUSI AJOTAPAOHJE  
LIITE 15 MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 3  
LIITE 16 KUVAAJA KOEAJO 3  
LIITE 18 LAATUVAATIMUKSET TUOTTEELLE 2  
LIITE 19 KOEAJOSUUNNITELMA ESIKOEAJO 3  
LIITE 20 MITTAUSPÖYTÄKIRJA ESIKOEAJO 3  
LIITE 21 KUVAAJA ESIKOEAJO 3  
LIITE 22 KOEAJOSUUNNITELMA KOEAJO 4  
LIITE 23 MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 4  
LIITE 24 KUVAAJA KOEAJO 4  
LIITE 25 MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 5  
LIITE 26 KUVAAJA KOEAJO 5

## 1 JOHDANTO

Huntsman Corporationin ostettua Sachtleben Pigments Oy Porin pigmenttitehtaan yrityksen tarkoituksena oli muuttaa tehtaalla käytettyjen suihkumyllyjen ohjaustapaa niin, että jauhatuksella saataisiin tasaisempaa tuotteenlaatua ja ennen kaikkea merkittäviä säästöjä höyrynmäärässä.

Aikaisemmin oli höyrymäärää säädetty kokonaishöyryventtiilillä ainoastaan höyrypigmentti-suhteen avulla. Nyt oli tarkoitus säätää erillistä jauhatushöyryventtiiliä pitämällä jauhatuskammionpaine vakiona, jolloin jauhatuskammion olosuhteet olisivat parhaat mahdolliset jauhatukselle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli testata käytännössä kyseisen ohjausmuutoksen toimintaa Porin tehtaalla ja samalla laskea saadut höyrynmäärän säästöt ja laadun tasaisuus.

Työ suoritettiin 42-jauhatuslinjassa ja koeajoja suoritettiin kahdella eri painoväriin käytetyllä tuotteella.

## 2 HUNTSMAN CORPORATION

Huntsman on maailman laajuinen erilaisten kemikaalien tuottaja ja myyjä. Huntsmanin yritykset tuottavat lukuisille muille maailmanlaajuisille aloille tuotteita, kuten kemikaaleja, muoveja, tekstiilejä, kenkiä, maaleja ja pinnoitteita. /1/

Huntsmanilla on noin 16 000 työntekijää eri tehtailla maailmanlaajuisesti. Yhtiön liikevaihto vuonna 2014 oli yli 13 miljardia yhdysvaltain dollaria. /1/

### 2.1 Huntsman Pigments Porin tehdas



Kuva 1. Huntsman Pigments Pori ilmakuva /2/

Porin Pigmenttitehtaan perusti Vuorikemia Oy vuonna 1957, jonka jälkeen yhtiö on vaihtunut omistajalta toiselle. /8/

Huntsman Pigments osti Porin tehtaan Sachtleben Pigmentsiltä vuoden 2014 loppupuolella. Se valmistaa titaanidioksidia, jota käytetään mm. kosmetiikassa, maaleissa, lakoissa sekä pakkauspainoväreissä. /2/

Porin tehtaan tuotantokapasiteetti on 130 000 tonnia vuodessa ja on täten yksi suurimmista sulfaattiprosessia käyttävistä tuotantolaitoksista. Tuotetusta titaanidioksidista lähes 95% menee vientiin ympäri maailmaa. /2/

Tehdas sijaitsee Pohjois-Porissa, josta sillä on hyvät yhteydet Porin satamaan. Huntsman Pigments Porin tehdas työllistää nykyisin noin 500 henkilöä. /2/

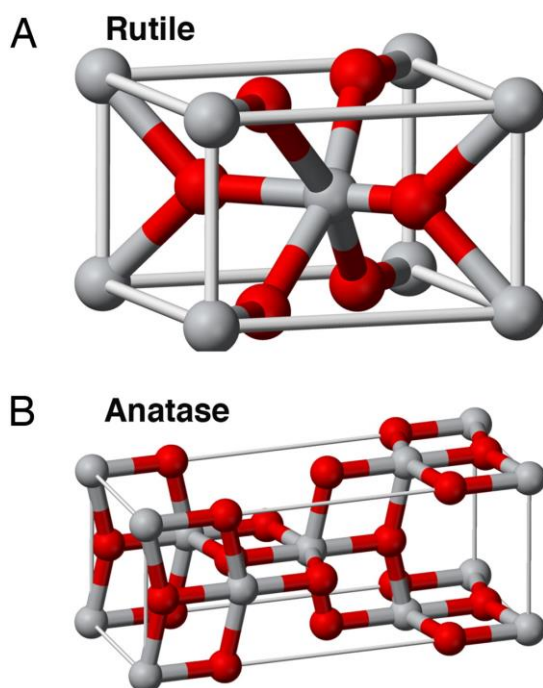


### 3 TITANIDIOKSIDI

Titaanidioksidi, kemialliselta kaavaltaan  $\text{TiO}_2$ , eli titaanivalkea, on puhtaanvalkoinen titaaniin ja hapen kemiallinen yhdiste. Se kuuluu epäorgaanisiin läpinäkymättömiin pigmentteihin eli pigmenttimineraaleihin ja sitä käytetään mm. papereissa, kartongeissa, muoveissa ja maaleissa, sekä elintarvikkeissa, väripigmenttinä, lääkkeissä ja UV-suojana aurinkovoiteissa. /3/

Titaanidioksidi on veteen, happoon ja emäksiin liukenematon aine ja sen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat dispergoituvuus, kiiltävyys, peittokyky, säänkesto ja valkoisuus. /3/

Titaanidioksidilla on yleensä toinen kahdesta tärkeimmästä kidemuodosta, anataasi (kuva 2B) tai rutiili (kuva 2A). Niiden optisia, kemiallisia ja sähköisiä ominaisuuksia määrittelee atomien järjestys. /3/

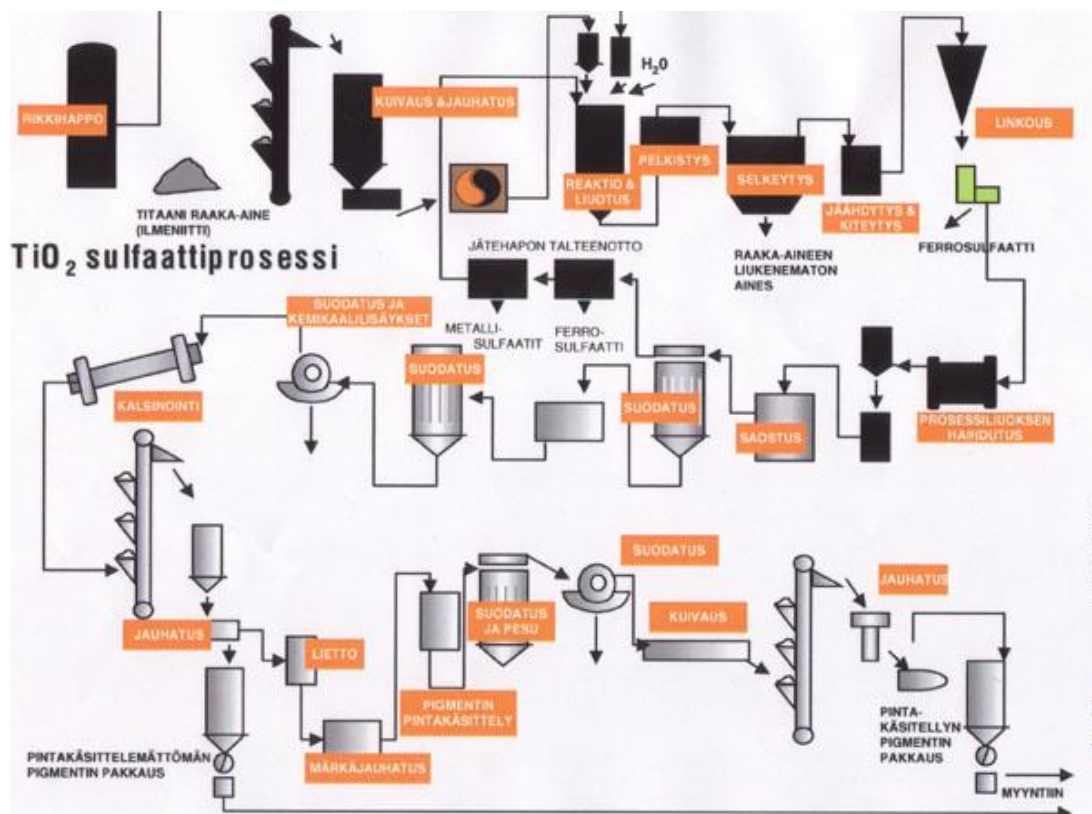


Kuva 2. Rutiilin ja anataasin kiderakenne. /5/

Titaanidioksidia on mahdollista valmistaa kahdella eri menetelmällä: sulfaatti- tai kloridiprosessilla. Huntsman Pigments Porin tehdas käyttää sulfaattiprosessia titaanioksidin valmistuksessa. /5/

### 3.1 Titaanidioksidin valmistus sulfaattiprosessilla

Sulfaattiprosessissa, ks. kuva 3, titaania sisältävä raaka-aine liuotetaan rikkihappoon ja syntyvästä liuoksesta titaani erotetaan saostamalla titaanihydraattina. Titaanihydraatti pestään, kalsinoidaan ja pintakäsitellään. /5/



Kuva 3. TiO<sub>2</sub>Sulfaattiprosessi. /5/

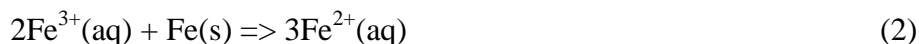
Sulfaattiprosessinraaka-aineena käytetään ilmeniittiä (FeTiO<sub>3</sub>) ja rikkihappoa (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) reaktioyhtälön (1) mukaisesti. Ilmeniitti kuivataan ja jauhetaan prosessissa käytettävän hiukkaskoon vaatimaksi ja sekoitetaan väkevään rikkihappoon. /5,6/



Seosta kuumennetaan, kunnes eksoterminen reaktio ilmeniitin ja rikkihapon välillä lähtee käyntiin. Reaktiossa syntyy titaanista ja rautasulfaateista koostuvaa kiinteää ainetta. Kiinteä aine, joka on enimmäkseen titanyylisulfaattia (TiOSO<sub>4</sub>), liuotetaan

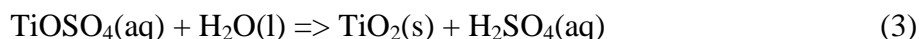
rikkihappoliuokseen, jolloin syntyy liuosta, joka sisältää kolmenarvoista rautaa ( $\text{Fe}^{3+}$ ) eli ferri-ioneja. /5/

Tämä rauta pelkistetään kahdenarvoiseksi ( $\text{Fe}^{2+}$ ) rautaromun avulla alla olevan yhtälön mukaan ja suodatetaan liukenemattomien epäpuhtauksien poistamiseksi, ks. reaktioyhtälö (2). /5,6/



Seuraavaksi liuos jäädytetään, jolloin suurin osa rautasulfaattista kiteytyy turkoosina kidevedellisenä rautasulfaattina, joka voidaan erottaa liuksesta. Liuos sisältää enää suurimmaksi osaksi pelkkää titanyylisulfaattia. /5,6/

Jäljelle jäänyt liuos väkevöidään haihuttamalla, jotta seuraava vaihe eli saostus onnistuisi. Saostuksessa tummasta liuksesta muodostuu valkeaa titaanihydraattia. Syntynyt saostuma eristetään suodattamalla, jolloin liukseen jää liuenneita sulfaatteja ja rikkihappoa. Tämä liuos puhdistetaan ja väkevöidään reaktioyhtälön (3) mukaisesti, jolloin rikkihapon voi käyttää uudelleen liuottamaan ilmeniittä. /5,6/



Sitten titaanihydraatti pestään moneen kertaan, jolloin värivirheitä aiheuttavat epäpuhtaudet saadaan poistettua ja tuotteesta tulee puhtaanvalkeaa. Sen ominaisuudet ovat kuitenkin vielä huonot: tuote on liian hienojakoista ja lähestulkoon amorfista, jonka rakenneyksiköillä ei ole säännöllistä järjestystä. /5,7/

Kiteiden muodostaminen suoritetaan kalsinoinnissa, jossa tuote ajetaan lähes 1000 celsius-asteiseen uuniin. Kuumennus poistaa titaanidioksidissa olevan kideveden lähes kokonaan pois reaktioyhtälön (4) mukaisesti. Tässä vaiheessa määräytyy myös se, onko tuote kiderakenteeltaan anatasia vai rutiilia. /5,6,8/



Kalsinoinnin jälkeen tuote jäädytetään uuninjälkeisessä jäädyttimessä ja ajetaan siiloihin, josta se jauhetaan joko vasara- tai rengasmyllyillä haluttuun partikkelikokoon (noin 20-40 $\mu$ m). Anataasi jauhetaan rengasmyllyillä ja pakataan suoraan, kun taas rutiilituotteet jauhetaan vasaramyllyillä ja dispergoidaan veteen. Käytettävät apuaineet alentavat liuoksen viskositeettia. /8,9/

Lietteenä oleva pigmentti hienonnetaan märkäjauhamalla tuotetta niin, että päästään lähes yksittäisten TiO<sub>2</sub>-kiteiden tasolle partikkelikokoon ollessa noin 0,02 $\mu$ m. Jauhatussessa jauhinkappaleina käytetään Zr-kuulia. /8,9/

Jauhettu liete siirretään seuraavaksi käsittelysäiliöihin, joissa kiteet pinnoitetaan haluttujen kemikaalien avulla esimerkiksi alumiini-, pii-, sekä muilla yhdisteillä. Tässä vaiheessa myös tuotteen pH säädetään halutuksi. /8,9/

Käsittelyn jälkeen liete suodatetaan ja siitä pestään liukoiset suolat pois. Suolojen poisto on tärkeää, sillä niillä on haittaavia vaikutuksia tuotteen kiiltoon ja säänkestoon. /8,9/

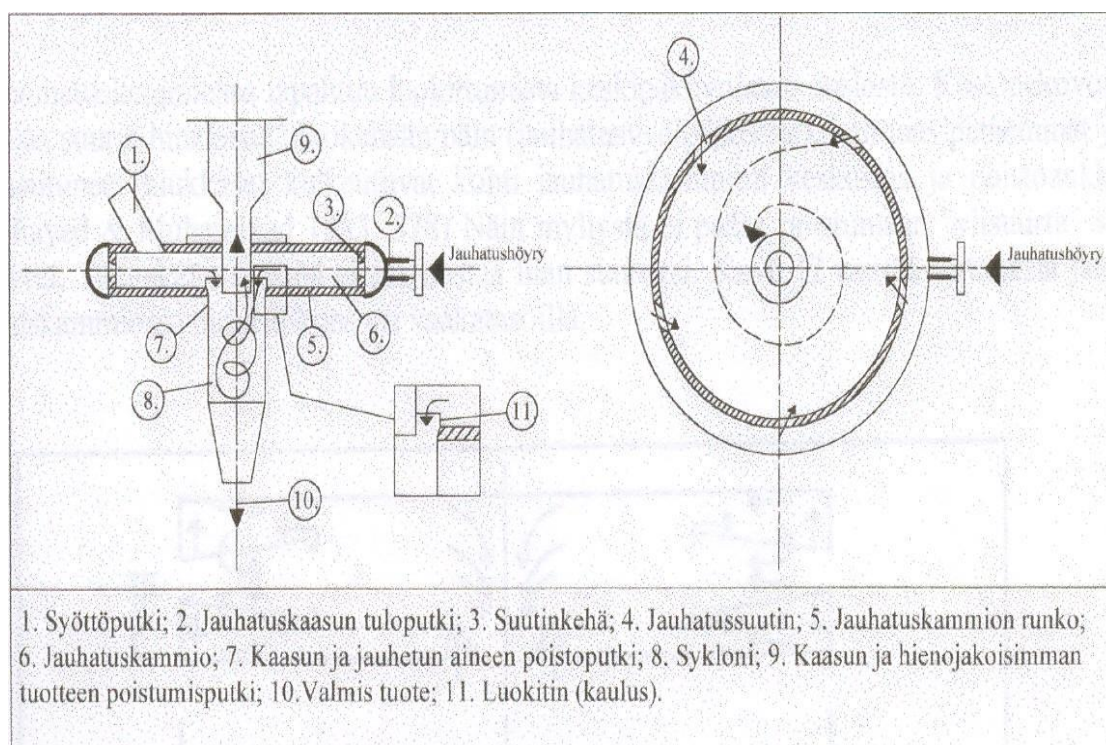
Suodatuksesta liete pumpataan kuivaamojen syöttösäiliöihin, joista se voidaan Porissa kuivata kolmella eri kuivaustyypillä; arinakuivaamolla, suihkukuivaamolla tai spin-flash-kuivaamolla. Näistä arina- ja spin-flash-kuivaamo vaativat esikuivaamisen joko rumpu- tai painesuotimen avulla. Kuivattavaan lietteeseen lisätään myös tuotteelle sopiva orgaaninen apuaine. /9,10/

Kuivauksen tarkoituksena poistaa lopputuotteesta ja pinnoitteesta vapaa vesi pois, jolloin käsittelyssä lisätty pinnoite tiivistyy ja tarttuu tiukasti kiteisiin kiinni. /10/

Kuivausvaiheessa pigmenttikiteet muodostavat agglomeraatteja, jotka erotetaan toisistaan suihkujauhatuksen avulla. Jauhettu tuote ajetaan pelletoinnin kautta pakkaus-siiloihin, joista tuote pakataan asiakkaan haluamaan pakkauskokoon. /8/

## 4 SUIHKUJAUHATUS

Suihkujauhatuksen tarkoitus on erottaa pigmenttikiteet toisistaan. Tämä toteutetaan syöttämällä pigmentti suihkumyllyyn (kuva 4.) käyttämällä tulistettua vesihöyryä ( $P = 14 \text{ bar}$ ,  $t = 275^\circ\text{C}$ ). Tulistetun höyryn käytöstä johtuen höyry ei tiivisty myllyssä vedeksi, eli jauhattava pigmentti pysyy kuivana./11/



Kuva 4. Suihkumyllyn rakenne. /10/

Tuote syötetään suihkumyllyyn putkea pitkin (kuva 4. kohta 1. ), jonka syöttöpäässä on höyrystin. Syöttösuuttimesta tulevan höyryn avulla pigmentti ammutaan lähes äänen nopeudella suihkumyllyn sisään. Suihkumyllyn sisällä on mallista riippuen vielä 8-16 jauhatussuutinta, jotka nekin puhaltavat höyryä, jolloin pigmentti saadaan suihkumyllyn sisässä pyörimisliikkeeseen. Jauhatussuuttimien kulman on todettu olevan jauhatukselle tehokkain kulman ollessa  $52^\circ$ . Kuitenkin Huntsmanin Porin tehtaassa myllyissä jauhatussuuttimien kulma on  $64^\circ$ ./10,11/

Myllyn sisäisen nopeuden avulla pigmenttihiukkaset törmäilevät myllyn sisässä toisiinsa ja törmäyksien voimasta pigmenttihiukkaset murskaantuvat pienemmiksi. Keskipakovoiman vuoksi suuremmat pigmenttihiukkaset jäävät myllyn reunoille pyörimään ja jauhautumaan toisiinsa, kun taas pienemmät hiukkaset liikkuvat höyryn mukana keskemälle jauhatuskehää ja lopulta höyryvirran ja myllyn alipaineen mukana luokittimen (kuva 4. kohta 11) yli pois jauhatuskammioista. /11/

Luokittimen yli päässeet pigmenttihiukkaset ja höyry tuleva erotussykloniin (kuva 4. kohta 8), jossa ympyräliikkeessä olevat pigmenttihiukkaset ajautuvat kartion reunalle ja sitä myöden syklonissa alaspäin lokerosyöttimeen ja siitä pelletointiin ja pakkaukseen. Höyry taas poistuu myllyn yläpuolella olevasta putkesta pölykaappiin, jossa höyryn mukaan joutuneet pigmenttihiukkaset erotetaan höyrystä ja kierrätetään takaisin suihkujauhatuskeeseen tai suoraan pakkaukseen. Pölykaapista höyry kulkeutuu lauhduttimeen, jossa se jäähdytetään vedeksi. /11/

Suihkumylly on autogeeninen laite, eli siinä ei ole liikkuvia osia, vaan jauhinkappaleina toimivat pigmenttikiteet. Tämä estää jauhinkappaleista kuluvan epäpuhtauden joutumisen tuotteeseen. Jauhatuskehällä höyryn nopeus on suuruusluokkaa 200-250 m/s. Suurin osa hiukkasten jauhautumisesta tapahtuu jauhatuskehän ulkoreunalla, jossa suurimmat pigmenttihiukkaset törmäilevät höyryn kiihdyttäminä toisiinsa. Jauhatuskammion sisäkehällä ei tapahdu muuta kuin luokitusta. Suihkumyllystä poistuva tuote on tavallisesti suuruusluokaltaan 20 µm tai sitä pienempää. /11/

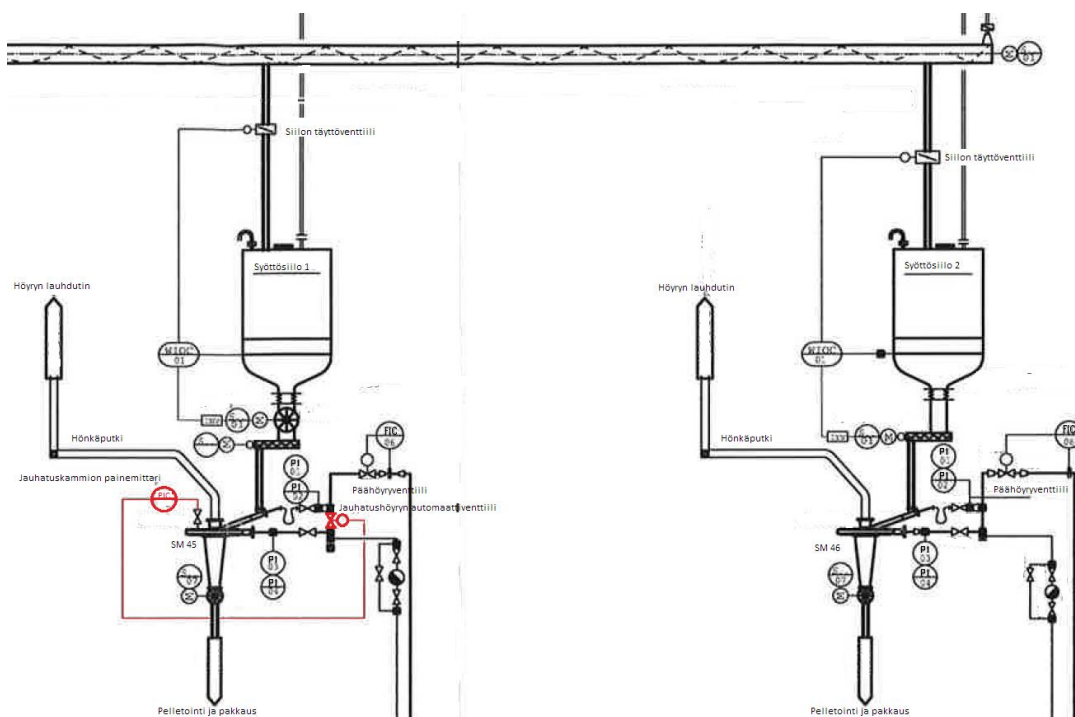
#### 4.1 Suihkumyllyn mittaukset ja ohjaustapa

Nykyisellään suihkumyllyjä ohjataan höyry-pigmentti-suhteen avulla eli asetettu höyry-pigmentti-suhde määrää myllyyn syötettävän höyryn määrän, joka on laskettu asetetusta syötteen määrästä. Esimerkiksi, jos asetettu syötön määrä on 1000 kg/h ja höyry-pigmentti-suhde on 2,0 kuluu höyryä 2 t/h, eli 2 tonnia syötettyä pigmentti-tonnia kohden. Koska höyryn määrä ohjautuu asetetun syötön määrästä ja pysyy vakiona, eikä siitä mitä todellinen syötön määrä on, niin todellinen höyry-pigmentti-suhdekin vaihtelee riippuen syötön määrästä. Syötön määrä lasketaan syöttösiilosta poistuvan painon avulla ja sitä hallitaan säätämällä siilon pohjassa olevan syöttöruu-

vin kierroksia muuttamalla. Tästä syystä syötön todellista määrää ei pystytä laske-  
maan silloin, kun silloa täytetään.

Huntsmanin tarkoituksena on muuttaa ohjaustapaa niin, että myllyyn saadaan ihan-  
teelliset olot pigmentti agglomeraattien jauhamiselle. Tämä toteutetaan asentamalla  
paineen mittaus jauhatuskammioon ja pitämällä jauhatuskammion paine vakiona sää-  
tämällä jauhatushöyryventtiiliä. Tällöin pystytään säätämään höyryn määrä oikeaksi  
jauhatuskammiossa olevan pigmentin mukaan.

Jauhatuskammion painemittari mittaa dynaamista painetta, eli höyrynpaineen kasva-  
essa myös jauhatuskammiossa olevan höyryn pyörimisnopeus kasvaa ja täten nostaa  
jauhatuskammion painetta. Tämä höyryn virtausnopeus pienenee, kun jauhatuskam-  
mioon lisätään pigmenttiä, jolloin myllyyn asennettu automatiikka (kuva 5) avaa jau-  
hatushöyryventtiiliä, jotta vaadittava jauhatuskammionpaine pysyisi asetusarvossaan.  
Kuvassa 5 näkyy suihkumyllyyn tehdyt instrumentaaliset muutokset verrattuna nor-  
maaliin suihkumyllyyn, eli uusi jauhatuskammion painemittari ja jauhatushöyryn au-  
tomaattiventtiili, jotka näkyvät kuvassa punaisella.



Kuva 5. Suihkumyllyt. /13/

## 5 SUIHKUJAUETUN TUOTTEEN ANALYYSIT

Suihkujauhetusta pigmentistä otetaan normaalisti kolme kertaa päivässä näytteitä, joista tutkitaan onko pigmentin ominaisuudet halutut. Jokaisella tuotteella on omat laatuvaatimuksensa. Suihkujauhatuksen näytteistä tutkitaan mm. kiilto, peittokyky ja dispergoituvuus.

Tässä työssä tärkein seurattava analyysi oli kiilto.

### 5.1 Kiilto

Kiilto on arvostettu ominaisuus maaleissa ja eri pinnoilla. Maalin sisältämällä kiinteillä aineilla, kuten titaanipigmentillä on kiiltoon ratkaiseva osuus. Kohteisiin, joissa halutaan erittäin hyvää kiiltoa, Huntsman Pigments tuottaa hienojakoisia, hyvin dispergoituvia ja stabiileja pigmenttituotteita. Näiden avulla saadaan erittäin tasaisia maalikalvoja ohuinakin maalikerroksina. /8/

Pigmentin kiilto analysoidaan valmistamalla maaliseoksia tietyllä reseptillä ja näistä vedetään kalvot tasaisille pelti- tai lasilevyille ja kuivataan ne. Tämän jälkeen mitataan kiillot kiiltomittarin avulla useista levyn kohdista ja lasketaan niistä keskiarvot. Valon tulokulmina käytetään 20 ja 60 astetta. Pienemmällä kulmalla huomataan vähäisetkin pigmenttien väliset erot. /8/

Huntsman käyttää Porissa laskennallista kiiltoa,  $GLOSS_{calc}$ :ia, joka lasketaan TSM-tuloksista toteutetulla lineaarisella regressiolla siten, että selitettävänä muuttujina ovat olleet pakatusta pigmentistä Sovelluslaboratoriossa tietyllä määrittämenetelmällä määritetyt painovärikiiltoarvot. Koska TSM-menetelmä itsessään ei huomioi tuote-kohtaisia pinnoite-eroja ja niistä johtuvia vaikutuksia kiiltoon, on ne laskennassa huomioitu tuote- ja linjakohtaisina tasoeroina (tasokorjauksina). /12/



## 6 KOEAJOT

Ensin tehtiin alustava koeajo, jossa selvitettiin, kuinka alas höyry-pigmentti-suhdetta voidaan laskea laadun pysyessä vielä riittävän hyvänä. Tämän jälkeen suoritettiin pidemmän ajan koeajoja valitulla höyry-pigmentti-suhteella ja otettiin näytteitä sekä koeajomyllystä (SM 45) että rinnakkaismyllystä (SM 44 tai 46) ja vertailtiin tuloksia.

Kaikissa koeajoissa pyrittiin pitämään suihkumyllyjen syötöt vakiona syöttömäärän ollessa välillä 1100-1250 kg/h.

### 6.1 Koeajot tuotteelle 1

Tuotteen 1 laatuvaatimukset löytyvät liitteestä 1, josta nähdään vaaditut kiilto- ja muut laatuarvot.

#### 6.1.1 Esikoeajo 1

Koeajosuunnitelma liitteessä 2, ensimmäinen päivä.

Ensimmäisessä koeajossa säädettiin jauhatushöyryn painetta, kunnes jauhatushöyryn paine saavutti alle 5 barin paineen. Jauhatuskehän painetta lähdettiin laskemaan 0,03 bar:inaskelin alun lähtöarvosta 0,36 bar ja sitä tiputettiin aina tasolle 0,11 bar asti.

Jokaisen asetusarvomutoksen jälkeen odotettiin noin 20 min, jotta jauhatuskammion olosuhteet vakiintuisivat, jonka jälkeen otettiin näyte. Liitteessä 3 on koeajon mittauspöytäkirja, josta näkyy jokaisen muutoksen jälkeinen kiilto, toteutunut höyry-pigmentti-suhde ja sen hetkinen jauhatushöyryn paine.

Liitteessä 4 olevaan kuvaajaan on piirretty saadut jauhatuskehän paineen säädön aiheuttamat kiillon muutokset. Kuten kuvaajasta voidaan huomata, kiillossa tapahtuu selvä muutos oltaessa höyry-pigmentti-suhteessa 1,86-1,69 ja 1,66-1,57 jauhatuskehän paineen ollessa tällöin 0,27-0,24 bar ja 0,18-0,15 bar.

Saaduista tuloksista voidaan huomata, että höyry-pigmentti-suhteella 1,86 saadaan lähes yhtä hyvää tuotetta, kuin vertailumyllyllä, jossa höyry-pigmentti-suhde on 2,4. Vielä höyry-pigmentti-suhteen ollessa 1,66 pysytään kiillossa hyvällä tasolla kiillon eron ollessa vertailumyllyyn hieman yli 1%-yksikköä.

### 6.1.2 Esikoeajo 2

Koeajosuunnitelma nähdään liitteessä 2, toinen päivä.

Tässä koeajossa säädettiin ainoastaan höyry-pigmentti-suhdetta ja tutkittiin, kuinka alas sitä voidaan säätää, ennen kuin kiillossa tapahtuu merkittävä romahdus. Koeajossa ei myöskään ollut jauhatuskammion paineensäätöä käytössä, vaan säädöt toteutettiin vanhan ajotavan mukaisesti, ks. luku 4.1.

Lähtöarvona käytettiin alkutilanteessa olevaa todellista höyry-pigmentti-suhdetta (2,22) ja tätä muutettiin askelmaisoin 0,2 yksikön muutoksin alaspäin, kunnes höyry-pigmentti-suhde 1,3 saavutettiin. Toisena ehtona oli, ettei syöttö- tai jauhatushöyryn paine laske alle 5 bar:in.

Näytteitä otettiin, kuten edellisessäkin koeajossa, noin 20 minuutin jälkeen jokaisesta askelmuutoksesta ja tämän jälkeen tehtiin uusi muutos höyry-pigmentti-suhteeseen.

Saadut tulokset on esitetty liitteessä 5 olevassa mittauspöytäkirjassa, joista piirretty kuvaaja liitteessä 6. Tuloksista voidaan huomata, että höyry-pigmentti-suhteella 1,9 ollaan täysin samassa kiillossa, kuin vertailumyllyllä ja vielä 1,7 suhteellakin ero on mitättömän pieni. Kuitenkin höyry-pigmentti-suhteella 1,5 ja sitä alhaisemmalla 1,3:lla kiillossa tapahtuu merkittävä heikentyminen vertailumyllyn kiiltoon verrattuna. Tämä on selvästi huomattavissa liitteen 6 kuvaajasta.

### 6.1.3 Koeajo 1

Koeajosuunnitelma nähdään liitteessä 7.

Ensimmäisessä pidemmän ajan koeajossa päädyttiin lähtemään kahden ensimmäisen koeajon perusteella saadulla höyry-pigmentti-suhteella 1,7. Koska koeajossa tarvittiin tuotannon apua näytteiden hakemisessa vuoron alussa, laadittiin myös SM 45:een ajotapaohje, joka on liitteessä 8, jotta kyseisen suihkumyllyn kammionpaineensäätö pysyisi oikeissa asetusarvoissaan. Vertailumyllyjä ajettiin normaaliohjeen mukaisesti höyry-pigmentti-suhteella 2,4.

Vaikka aiemmissa koeajoissa saatiin hyviä tuloksia höyry-pigmentti-suhteella 1,7, jouduttiin tätä kuitenkin muuttamaan jo parin päivän ajon jälkeen, koska SM 45:n kiillot olivat vertailumyllyjä merkittävästi huonompia. Suhdetta muutettiin ensin 1,8:aan ja tästä vielä 1,9:ään, jolloin kiillot alkoivat olemaan samaa luokkaa vertailumyllyn kanssa, kuten liitteen 10 kuvaajista voidaan nähdä. Kuvaajassa 10.1 näkyy SM 45:n ja vertailumyllyjen kiillot ja SM 45:n höyry-pigmentti-suhteen asetusarvo ja kuvaajassa 10.2 näkyy kiillot, sekä jokaisen suihkumyllyn toteutuneet höyry-pigmentti-suhteet. Toteutuneen höyry-pigmentti-suhteen ollessa 0 kyseinen suihkumylly on ollut pois ajosta.

Koeajoa ei kuitenkaan pystytty jatkamaan pidemmälle, sillä tuote 1 vaihtui tuotteeksi 2.

Saadut tulokset ovat myös liitteessä 9 olevassa mittauspöytäkirjassa.

### 6.1.4 Koeajo 2

Koeajosuunnitelma nähdään liitteessä 11.

Tämä koeajo on käytännössä kolmiosainen, kuten liitteen 12 mittauspöytäkirjasta voidaan huomata. Koeajo siis sisälsi kaksi ajokatkoa kesken mittauksen, joten ensimmäinen (22.10.-24.10.) ja viimeinen (7.11.-11.11.) osio ovat turhan lyhyitä ajo-

pätkiä, jotta niistä voisi tehdä sen suurempia analyysejä ja tämän vuoksi jätetty pois. Kuitenkin 28.10.-5.11. oli jo hieman pidempi ajo, joten siitä saatiin riittävästi luotettavaa dataa kiiltojen ja höyry-pigmentti-suhteen osalta.

Koeajossa aloitettiin edellisessä tuotteen 1 koeajossa (22.9.2015) hyviin tuloksiin päästystä höyry-pigmentti-suhteesta 1,9. Tämä osoittautui myös sopivaksi koko koeajon ajaksi, kuten liitteen 13 kuvaajasta voidaan huomata. Kiilloissa ei ollut SM 45:n ja vertailumyllyjen välillä käytännössä mitään eroa.

### 6.1.5 Koeajo 3

Uusi ajotapaohje on esitetty liitteessä 14.

Tässä koeajossa suihkumyllyn kammionpaineen ohjausta muutettiin niin, että uusi jauhatushöyryä säätelevä venttiili otettiin täysin auki ja kammionpainetta alettiin ohjaamaan suihkumyllyn päähöyryventtiilin avulla. Tällä testattiin, olisiko ollut mahdollista saada säästöjä sillä, ettei uusia automaattiventtiileitä olisi tarvinnut ostaa ja asentaa jokaiseen uudistettavaan suihkumyllyyn. Kuitenkin kuten liitteen 16 kuvaajasta ja liitteen 15 mittauspöytäkirjan arvoista huomataan kiillossa jälleen suuria poikkeamia, jopa yli 5 %-yksikköä. Tämä siis todistaa, että kammionpaineen säätö pelkällä jauhatushöyryn säädöllä toimii paremmin, kuin ilman säätöä tai säätämällä päähöyryventtiiliä.

Koeajon alussa SM 45:stä ja SM 46:sta otettiin myös cowles-näytteet, jotka ovat alla olevassa taulukossa (1). Niissä ei ollut merkittävää eroa, eikä tuotetta pilaavia arvoja.

Taulukko 1 Mylly Cowles 12.11.

Mylly Cowles 12.11.				
	Klo	Cowles 1	Cowles 2	Cowles 3
SM 45	9:15	10	18	4
SM 46	9:15	10	20	4
SM 45	9:45	10	25	3
SM 46	9:45	10	22	4

## 6.2 Koeajot tuotteelle 2

Tuotteen 2 laatuvaatimukset ovat liitteessä 17, josta nähdään tuotteen vaatimat kiilto- ja muut laatuarvot.

### 6.2.1 Esikoeajo 3

Koeajosuunnitelma on esitetty liitteessä 19.

Kuten tuotteelle 1, myös tuotteelle 2 tehtiin esikoeajo, jossa selvitettiin sopiva lähtöarvo höyry-pigmentti-suhteelle. Toisin kuin tuotteella 1, tuotteella 2 tehtiin ainoastaan yksi esikoeajo. Tämä siitä syystä, että molemmilla höyry-pigmentti-suhteen haku esikoeajoilla 1 ja 2 saatiin lähes samat tulokset, joten oli turhaa tehdä molempia, kun yksikin riittää.

Koeajossa siis selvitettiin lähtöarvo höyry-pigmentti-suhteelle pidempää koeajoa varten. Tämä toteutettiin tekemällä höyry-pigmentti-suhteeseen askelmuutoksia 0,2 yksikön välein ja jokaisen muutoksen jälkeen otettiin näyte. Reunaehtona oli, ettei syöttö- eikä jauhatushöyrynpaine saa laskea alle 5 barin, eikä höyry-pigmentti-suhdesaa olla alle 1,6.

Kuten liitteen 20 mittauspöytäkirjasta ja liitteen 21 kuvaajasta nähdään, höyry-pigmentti-suhteen ollessa alle 2,0 ilmaantuu kiiltoon huomattava ero vertailumyllyjen kanssa, joten sopiva lähtöasetusarvo olisi 2,0 tai 1,9.

## 6.2.2 Koeajo 4

Koeajosuunnitelma on esitetty liitteessä 22.

Heti esikoeajon jälkeen päästiin suorittamaan pidemmän ajanjakson koeajoa. Vaikka esikoeajon 3 perusteella höyry-pigmentti-suhteen tulisi olla noin 2,0 päätettiin ajaa koeajoa suhteella 1,8. Kuten edellisissäkin pitkissä koeajoissa, myös tässä tuotannon henkilöille annettiin SM 45:een ajo-ohje, joka löytyy liitteestä 8 ja ohjeistus näytteen viemisestä jokaisen vuoron alussa.

Tämän koeajon puolella välissä tuote muuttui hieman, sillä tuote 2 vaihtui tuotteen 2 johdannaiseksi. Tämä ei tosin vaikuttanut tuotteisiin muilta osin, muuten kuin tuotteen 2 johdannaisessa on enemmän piitä, kuin alkuperäisessä tuotteessa 2.

Koeajon tulokset liitteen 23 mittauspöytäkirjassa ja liitteen 24 kuvaajassa. Kuvaajasta voidaan huomata, että tuotteen yleinen laatu huononee merkittävästi 16.10. ja suurta kiiltoheittelyä välittömästi, kun tuotetta muutetaan. Kuitenkin koemylyn ja vertailumyllyjen kiiltojen erot pysyvät samassa 0-2 %-yksikön välillä, joten 1,8 höyry-pigmentti-suhde olisi sopiva tälle tuotteelle.

Liitteen 24 kuvaajaan on merkattu punaisella poikkiviivalla tuotteen vaihdos alkuperäisestä sen johdannaiseksi. Kuvaajaan on myös merkattu toteutuneet höyry-pigmentti-suhteet jokaiselle suihkumyllylle. Kuvaajassa ja mittauspöytäkirjassa höyry-pigmentti-suhde 0 tarkoittaa, ettei kyseinen suihkumylly ole ollut ajossa kyseisenä ajankohtana.

### 6.2.3 Koeajo 5

Koeajossa jatkettiin edellisen koeajon 4:n ohjeen mukaisesti. Poikkeuksena kuitenkin oli, että höyry-pigmentti-suhde asetettiin arvoon 1,9, kun se edellisessä koeajossa oli 1,8. Tällä muutoksella saatiin kiiltojen ero mahdollisimman pieneksi. Kuten liitteen 25 mittauspöytäkirjasta ja liitteen 26 kuvaajasta huomataan, on SM 45:n ja vertailumyllyjen ero kiillossa hyvin pieni, jopa alle 1 %-yksikön verran.

Koska koeajot olivat kaiken kaikkiaan onnistuneita, päätettiin jatkaa koemyllyn ajoa höyry-pigmentti-suhteella 1,9, mutta näytteiden ottamista jatkettiin normaaliin tapaan, eli ainoastaan yhdestä myllystä vuoron alussa.

## 7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Koeajojen perusteella voidaan todeta, että työssä saavutettiin luotettavia tuloksia. Suihkumyllyyn lisätyn jauhatuskammion paineenmittauksen avulla höyry-pigmentti-suhdetta onnistuttiin molemmilla tuotteilla laskemaan nykyisestä 2,4 ohjearvosta aina 1,9:ään asti niin, ettei kiillossa havaittu merkittävää eroa. Tämä tarkoittaa käytetyssä höyryn määrässä 500 kg:n säästöä tuotettua pigmenttitonnia kohden. Todellisuudessa kuitenkin toteutuneet höyry-pigmentti-suhteet eivät aina saavuta asetusrvoa, joten säästö on todellisuudessa hieman pienempi.

Todellisten höyry-pigmentti-suhteiden keskiarvot ovat SM 44: 2,38, SM 45: 1,86 ja SM 46: 2,12. Jolloin keskimääräinen höyryn säästö on 390 kg/tuotettu pigmenttitonni.

Jos Huntsman Pigmentsin jokaiseen 20:een suihkumyllyyn asennetaan kammionpaineen mittaus ja ohjaus myllyihin sen kautta, säästettäisiin höyryä vuodessa arviolta 68 300 t. Rahassa tämä merkitsee yli miljoona euroa.

Edellä mainittu säästö on näillä kahdella tuotteella saavutettu säästö olettamalla, että suihkujauhatukseen ei tule minkäänlaisia katkoja, eikä tuotteen vaihtoja. Myös oletuksena on, että kaikki tuotettu pigmentti on jauhettu suihkumyllyllä, vaikka todellisuudessa näin ei ole.

Ohjausmuutoksessa on myös huonoja puolia. Ensimmäisenä tulee nykyistä ohjaustapaa hieman hitaampi ja vaikeampi ohjausmuutosten teko. Toisena ongelmana on tuotantohenkilökunnan muutoshalukkuus käyttää uutta ohjaustapaa, mutta tämä saattaa muuttua, kun jokaiseen suihkumyllyyn on asennettu uudet instrumentit ja prosessihenkilöt saavat kunnollisen koulutuksen käyttää uutta ohjausta.

## 8 JATKOTOIMENPITEET

Tässä työssä tehdyt koeajot on tehty ainoastaan yhdellä suihkujauhatuslinjalla ja kahdella eri tuotteella. Tästä syystä koeajoja on suoritettava jokaiselle eri tuotteelle ja suihkujauhatuslinjalle, sillä linjoissa on merkittäviä eroja, esimerkiksi jauhatuskehän koko vaihtelee ja osassa linjoista on kaksivaiheinen suihkujauhatus.

Huomioitavaa on myös , että lukuisilla tuotteilla on huomattavasti pienempi höyrypigmentti-suhteen asetusarvo, josta ei välttämättä voi alentaa höyryn määrää juuri lainkaan.

Myös suihkujauhettavien anataasipohjaisten tuotteiden käyttäytyminen jauhatuskammion paineensäädön ollessa käytössä on tärkeää testata.



## LÄHTEET

1. <http://www.huntsman.com/corporate/a/About%20us>. Viitattu 9.11.2015
2. <http://www.sachtleben.de/index.php?id=850>. Viitattu 9.11.2015
3. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/metallit/titaanidioksidi.htm>. Viitattu 9.11.2015
4. <http://www.pnas.org/content/105/45/17217/F2.large.jpg>. Viitattu 9.11.2015
5. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/metallit/valmistus.htm>. Viitattu 9.11.2015
6. <http://www.essentialchemicalindustry.org/chemicals/titanium-dioxide.html>. Viitattu 9.11.2015
7. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/metallit/metallisanasto.htm>. Viitattu 9.11.2015
8. Evilampi, T. ; Finntitan pigmentit ja niiden valmistus Porissa, 1990
9. TiO<sub>2</sub> production.ppt.Huntsman Pigments Intranet - sisäinen tiedonanto. Viitattu 19.11.2015
10. TiO<sub>2</sub> valmistusprosessi – loppupää\_2.ppt. Huntsman Pigments Intranet - sisäinen tiedonanto. Viitattu 19.11.2015
11. Laitinen, J.; Tutkimuksia TiO<sub>2</sub> jauhatuksessa micronizer-tyyppisellä suihkumyllyllä. Tutkielma. Jyväskylän yliopisto, 1994.
12. Minna Lindholmin lähettämä sähköposti. Huntsman Pigments Intranet - sisäinen tiedonanto. Viitattu 9.1.2016
13. Jyrki Laitisen lähettämä sähköposti. Huntsman Pigments Intranet - sisäinen tiedonanto. Viitattu 9.1.2016

LAATUVAATIMUKSET TUOTTEELLE 1

Poistettu

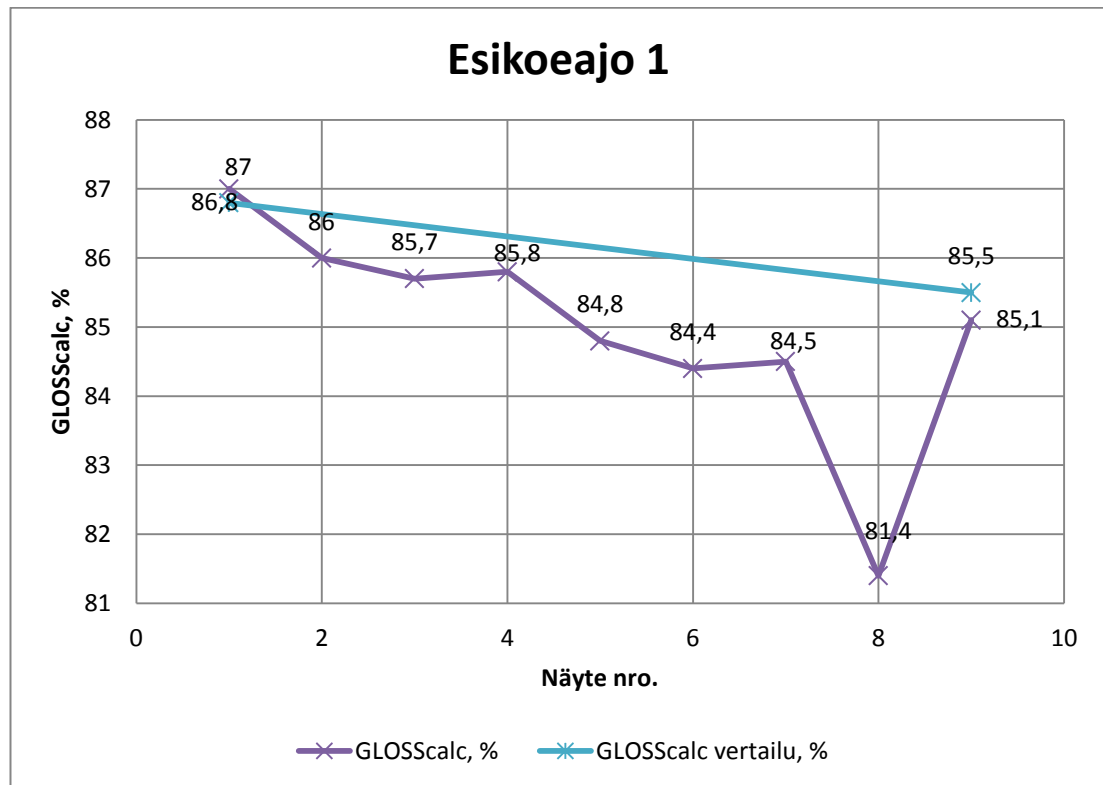
KOEAJOSUUNNITELMA ESIKOEAJOT 1 JA 2

Poistettu

## MITTAUSPÖYTÄKIRJA ESIKOEAJO 1

Näyte	Jauhatuskehänpaine, bar	Jauhatushöyrynpaine, bar	H/P-suhde	GLOSScalc, %	GLOSScalc vertailu, %
1	Poistettu			87	86,8
2				86	
3				85,7	
4				85,8	
5				84,8	
6				84,4	
7				84,5	
8				81,4	
9				85,1	85,5
Mittaukset tehty 21.9.2015					

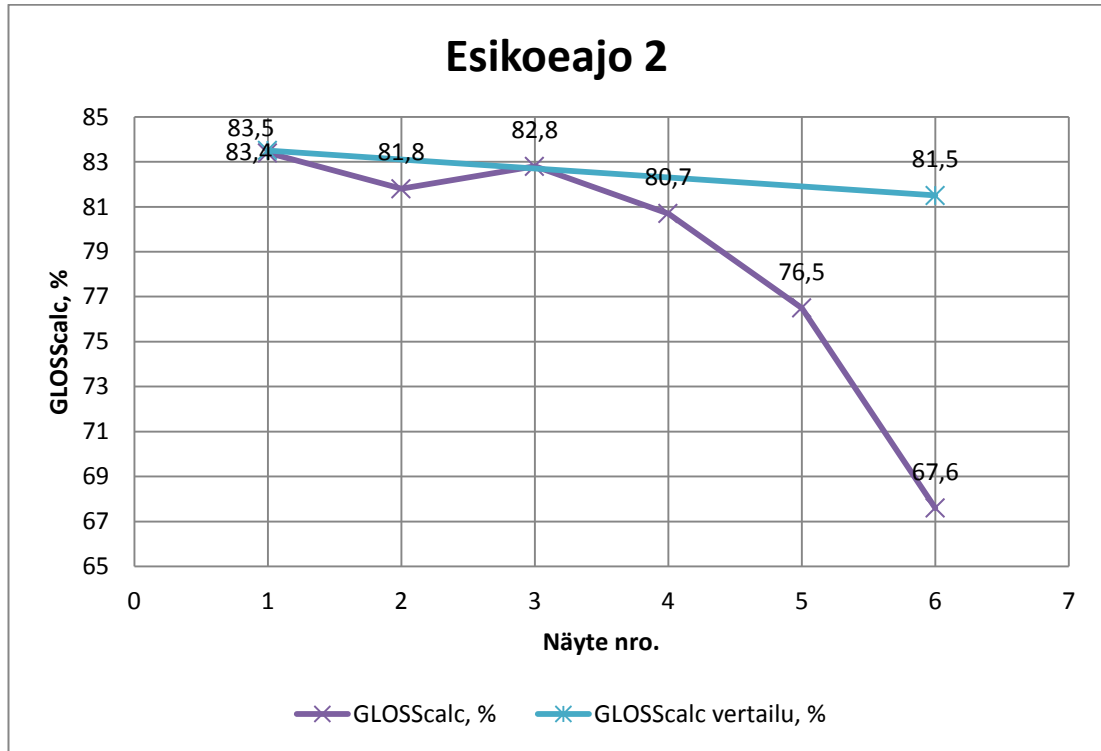
## KUVAAJA ESIKOEAJO 1



## MITTAUSPÖYTÄKIRJA ESIKOEAJO 2

Näyte	H/P-suhde	Syöttöhöyrnpaine, bar	Jauhatushöyrnpaine, bar	GLOSScalc, %	GLOSScalc vertailu, %
1				83,4	83,5
2				81,8	
3				82,8	
4				80,7	
5				76,5	
6				67,6	81,5
Mittaukset tehty 22.9.2015					

## KUVAAJA ESIKOEAJO 2



KOEAJOSUUNNITELMA KOEAJO 1

Poistettu



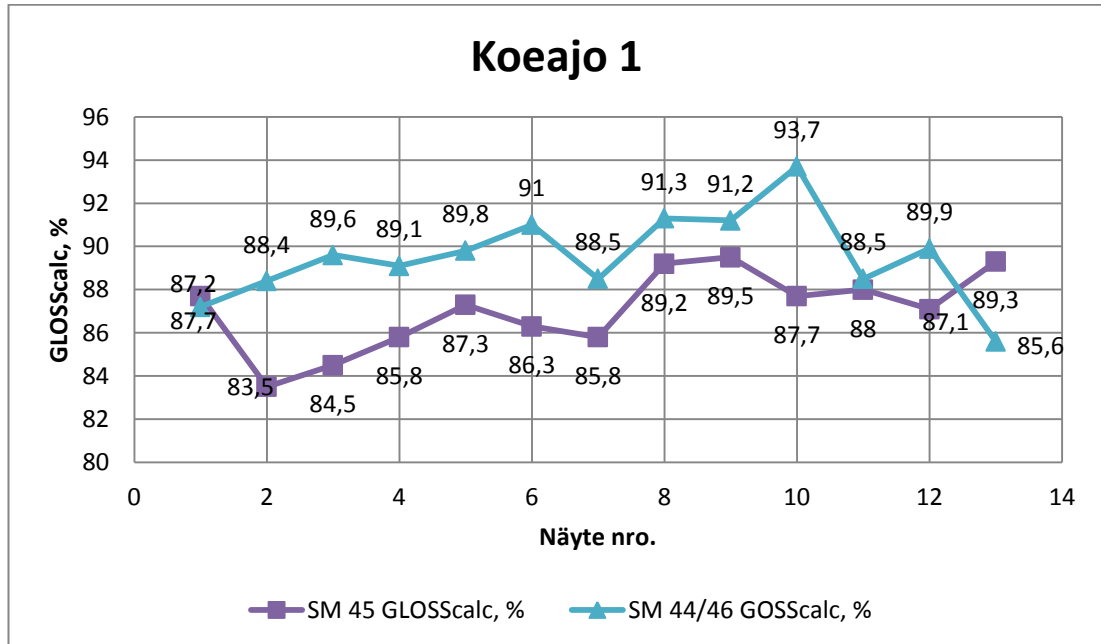
SM 45 AJOTAPAHOHJE

Poistettu

## MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 1

Näyte	SM 45 H/P-suhde	SM 45 GLOSS-calc, %	SM 44/46 GOSS-calc, %	SM 44 H/P	SM 45 H/P	SM 46 H/P
1	Poistettu	87,7	87,2	Poistettu	Poistettu	Poistettu
2		83,5	88,4			
3		84,5	89,6			
4		85,8	89,1			
5		87,3	89,8			
6		86,3	91			
7		85,8	88,5			
8		89,2	91,3			
9		89,5	91,2			
10		87,7	93,7			
11		88	88,5			
12		87,1	89,9			
13		89,3	85,6			
Mittaukset tehty 30.9.-4.10.2015						

## KUVAAJAT KOEAJO 1



Kuvaaja 10.1 GLOSScalc

Poistettu

Kuvaaja 10.2 GLOSScalc

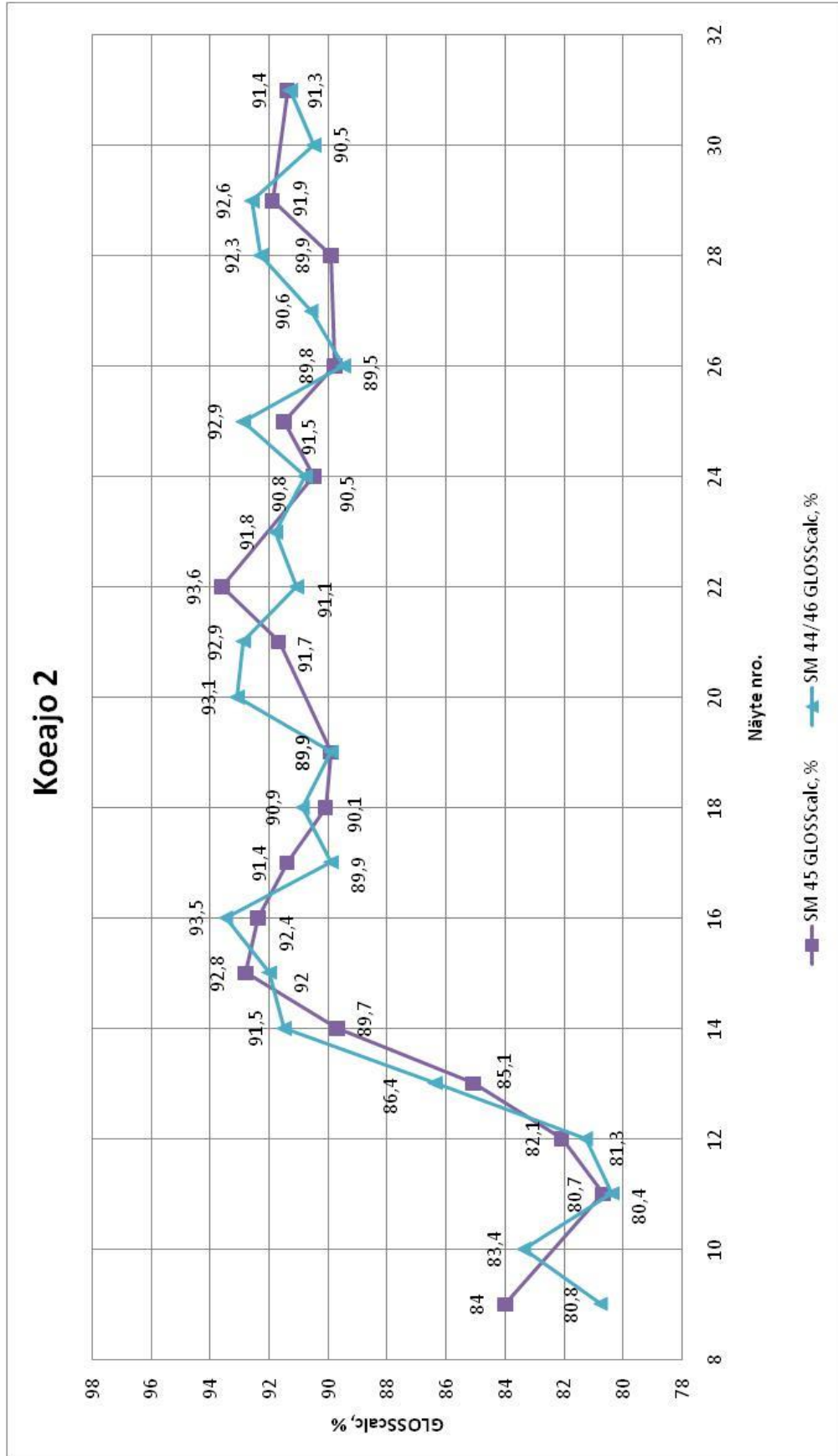
KOEAJOSUUNNITELMA KOEAJO 2

Poistettu

## MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 2

Näyte	H/P-suhte	SM 45 GLOSScalc, %	SM 44/46 GLOSScalc, %	Pvm.	Aika	SM 44 H/P	SM 45 H/P	SM 46 H/P
1	Poistettu	86,5	89	22.10.				
2		87,4	86,5	22.10.				
3		85,4	85,9	23.10.				
4		91,1	89,4	23.10.				
5		87,7	88,3	23.10.				
6		88,5	87,7	24.10.				
7		84,3	87,2	24.10.				
AJOKATKO								
9	Poistettu	84	80,8	28.10.				
10			83,4	29.10.				
11		80,7	80,4	29.10.				
12		82,1	81,3	29.10.				
13		85,1	86,4	30.10.				
14		89,7	91,5	30.10.				
15		92,8	92	31.10.				
16		92,4	93,5	31.10.				
17		91,4	89,9	31.10.				
18		90,1	90,9	1.11.				
19		89,9	89,9	1.11.				
20			93,1	1.11.				
21		91,7	92,9	1.11.				
22		93,6	91,1	2.11.				
23			91,8	2.11.				
24		90,5	90,8	2.11.				
25		91,5	92,9	3.11.				
26		89,8	89,5	3.11.				
27			90,6	4.11.				
28		89,9	92,3	4.11.				
29		91,9	92,6	4.11.				
30		90,5	5.11.					
31	91,4	91,3	5.11.					
AJOKATKO								
33	Poistettu	88,8	88,6	7.11.				
34		89,9	91,5	7.11.				
35		84,9	85,9	8.11.				
36		79,5	83,6	8.11.				
37		77,8	80,2	8.11.				
38			81,7	9.11.				
39		81	81,8	9.11.				
40		82,8	82,7	10.11.				
41		83,3	86,2	10.11.				
42		87	84,4	10.11.				
43		85,2	88	11.11.				
44		83,9	85	11.11.				
AJOTAPAMUUTOS								

KUVAAJA KOEAJO 2



UUSI AJOTAPAHOHJE

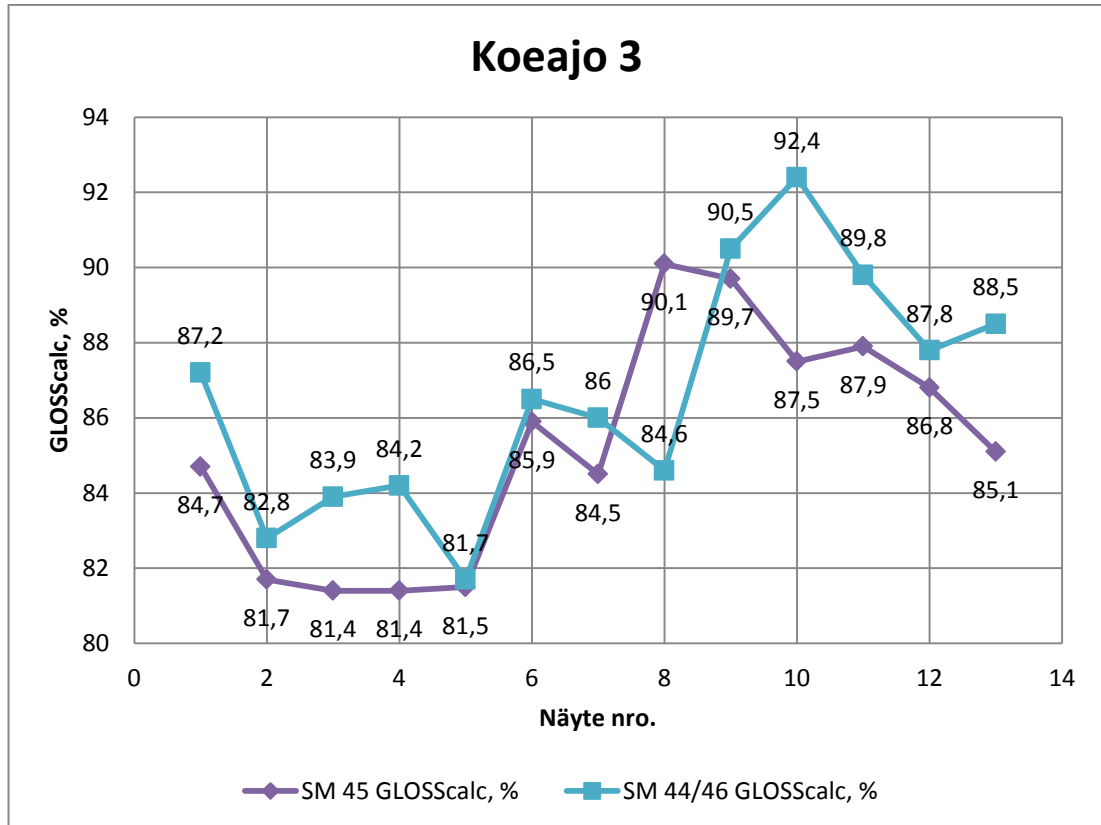
Poistettu

## MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 3

Näyte	H/P-suhte	SM 45 GLOSScalc, %	SM 44/46 GLOSScalc, %	Pvm.	Aika	SM 44 H/P	SM 45 H/P	SM 46 H/P
1	Poistettu	84,7	87,2	11.11.	Poistettu			
2		81,7	82,8	12.11.				
3		81,4	83,9	13.11.				
4		81,4	84,2	13.11.				
5		81,5	81,7	13.11.				
6		85,9	86,5	14.11.				
7		84,5	86	14.11.				
8		90,1	84,6	14.11.				
9		89,7	90,5	15.11.				
10		87,5	92,4	15.11.				
11		87,9	89,8	15.11.				
12		86,8	87,8	16.11.				
13		85,1	88,5	16.11.				



## KUVAAJA KOEAJO 3



LAATUVAATIMUKSET TUOTTEELLE 2

Poistettu

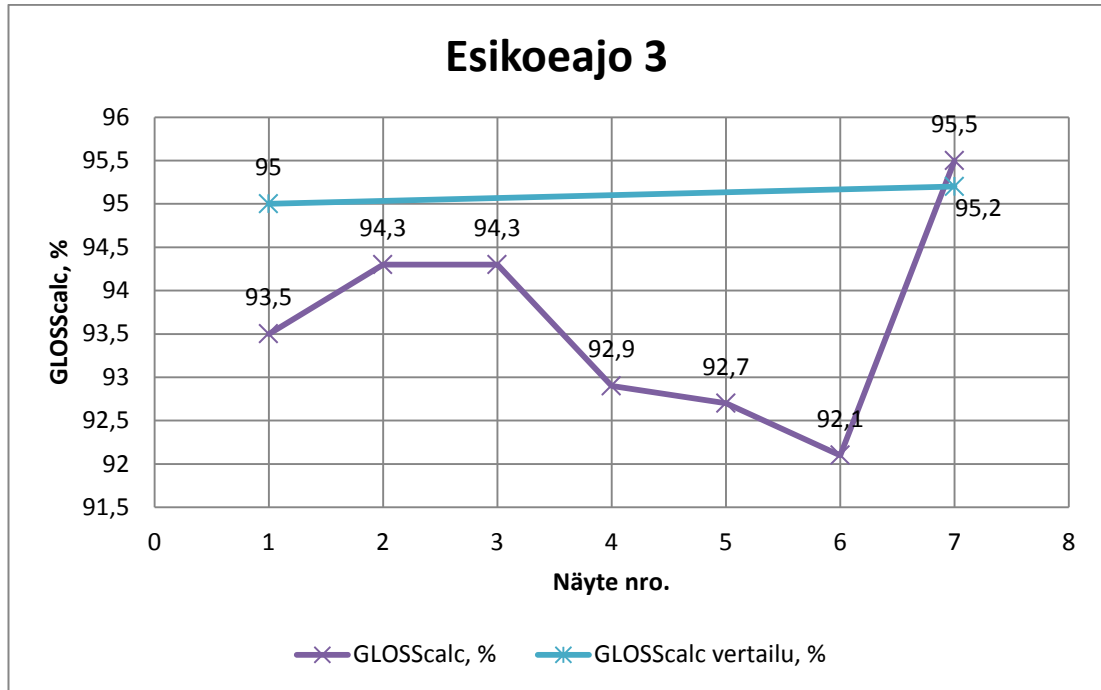
KOEAJOSUUNNITELMA ESIKOEAJO 3

Poistettu

## MITTAUSPÖYTÄKIRJA ESIKOEAJO 3

Näyte	H/P-suhde	Syöttöhöyrynpaine, bar	Jauhatushöyrynpaine, bar	GLOSScalc, %	GLOSScalc vertailu, %
1		Poistettu		93,5	95
2				94,3	
3				94,3	
4				92,9	
5				92,7	
6				92,1	
7				95,5	95,2
Mittaukset tehty 12.10.2015					

## KUVAAJA ESIKOEAJO 3



LIITE 22

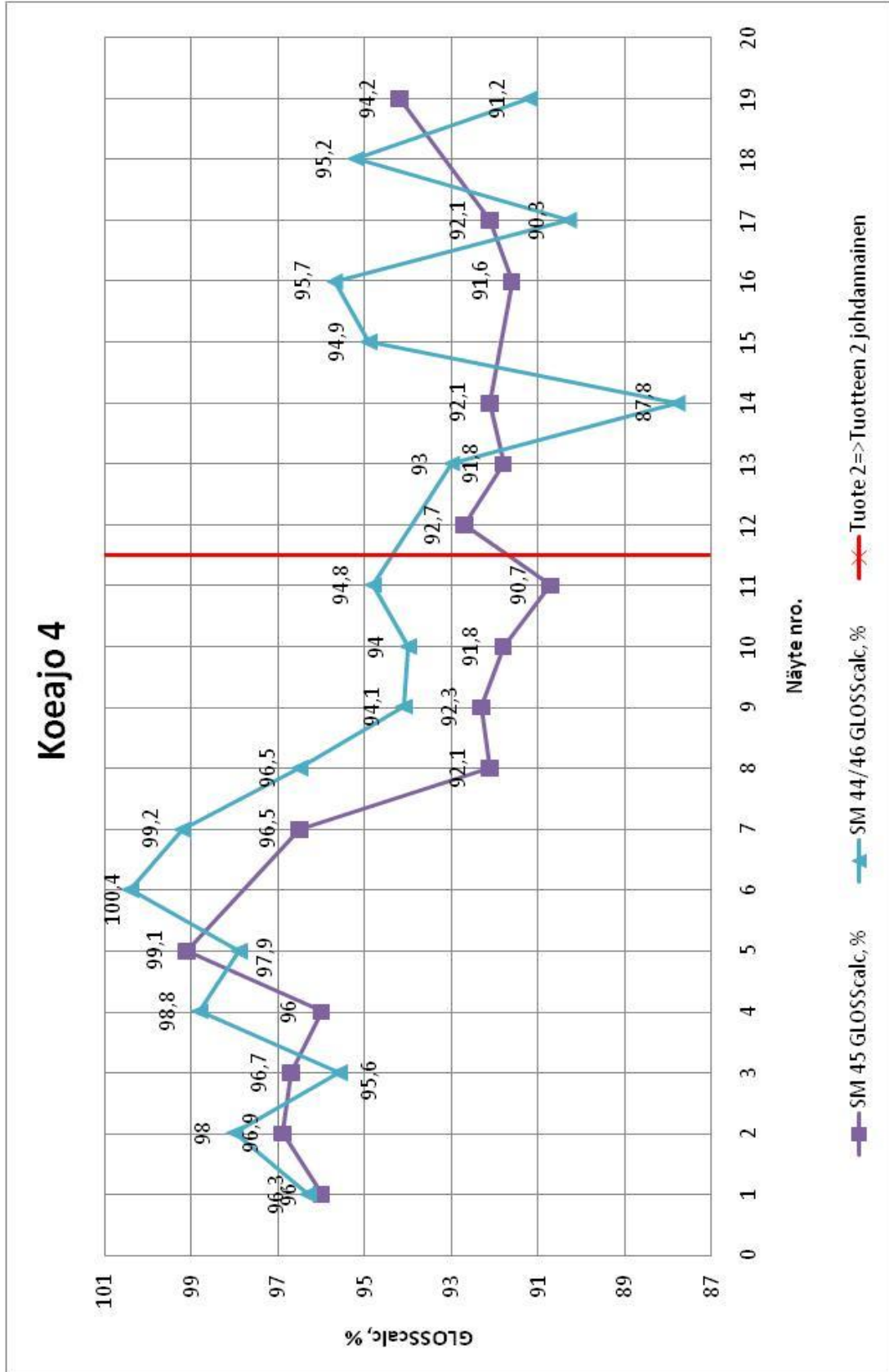
KOEAJOSUUNNITELMA KOEAJO 4

Poistettu

## MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 4

Näyte	H/P-suhde	SM 45 GLOSScalc, %	SM 44/46 GLOSScalc, %	Pvm.	Aika		SM 44 H/P	SM 45 H/P	SM 46 H/P
1	Poistettu	96	96,3	14.10.	Poistettu				
2		96,9	98	15.10.					
3		96,7	95,6	15.10.					
4		96	98,8	15.10.					
5		99,1	97,9	16.10.					
6			100,4	16.10.					
7		96,5	99,2	16.10.					
8		92,1	96,5	16.10.					
9		92,3	94,1	17.10.					
10		91,8	94	17.10.					
11		90,7	94,8	17.10.					
12		92,7		18.10.					
13		91,8	93	18.10.					
14		92,1	87,8	18.10.					
15			94,9	19.10.					
16		91,6	95,7	19.10.					
17		92,1	90,3	20.10.					
18			95,2	20.10.					
19		94,2	91,2	21.10.					

KUVAAJA KOEAJO 4





## MITTAUSPÖYTÄKIRJA KOEAJO 5

Näyte	H/P-suhde	SM 45 GLOSScalc, %	SM 44/46 GLOSScalc, %	Pvm.	Aika	SM 44 H/P	SM 45 H/P	SM 46 H/P
1	Poistettu	86,5	86,9	16.11.				
2		87,9	88,4	17.11.				
3		87,2	88,9	17.11.				
4		86,2	87,6	17.11.				
5		84,1	86,9	17.11.				
6		80,9	83,4	18.11.				
7								
8		93,2	96,4	24.11.				
9		96,4	97	24.11.				
10		94,4	95	25.11.				
11		96,8	94,5	25.11.				
12		99,1	99,9	25.11.				
13		97,6	100,8	25.11.				
14		99,6	98,5	26.11.				

## KUVAAJA KOEAJO 5

