

Karoliina Skarp

# Prosessin kehittäminen vakuumijauhatuksen avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

10.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Karoliina Skarp Prosessin kehittäminen vakuumijauhatuksen avulla
Sivumäärä Aika	41 sivua + liite 10.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja -käyttö
Ohjaaja(t)	Laadunvalvontapäällikkö Maria Silander, Chromaflo Technologies Oy Lehtori Timo Seuranen, Metropolia AMK
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Chromaflo Technologies Oy:lle ja se käsittelee sävytyspастоjen vakuumijauhatusta. Tarkoituksena oli tutkia vakuumijauhatuksen vaikutuksia erilaisiin sävytyspастoihin ja vertailla vakuumissa jauhettuja eriä aikaisempiin ei-vakuumi jauhettuihin eriin. Sävytyspастоjen nimet, eränumerot sekä asiakkaiden tiedot on poistettu tai nimetty uudelleen salassapitovelvollisuuden vuoksi. Tämä ei kuitenkaan hankaloita johtopäätöksien tekemistä.</p> <p>Tutkimus suoritettiin käyttämällä koko tutkimuksen ajan samaa helmimyllyä sekä Elmo Rietschlen vakuumpumppua. Parin kuukauden ajalta saatiin noin 20 eri sävytyspastaerää ja joistakin volyymituotteista saatiin ajetuksi useampi kuin yksi erä. Pääolettamuksina oli nostaa tuotteiden värivoimaa, nopeuttaa erien läpimenoaikaa lisäajojen ja ilmauskertojen vähenemisellä sekä pigmenttien jauhautuvuuden ja saannon paraneminen vakuumijauhatuksen avulla.</p> <p>Tehtyjen tutkimuksien perusteella voidaan todeta olettamuksien osuneen oikeaan joidenkin tuotteiden kohdalla. Ongelmia ilmeni niiden tuotteiden kohdalla, joiden kanssa oli ollut jo aikaisemmin vaikeuksia jauhautuvuuden suhteen. Näiden tuotteiden kanssa vakuumijauhatuksessa oli jopa enemmän ongelmia kuin tavallisessa jauhatuksessa. Kuitenkin pääpiirteittäin lopputulokseksi saatiin hyviä tuloksia ja tämän tutkimuksen perusteella vakuumista näyttäisi olevan hyötyä sävytyspастоjen jauhamisessa.</p>	
Avainsanat	vakuumijauhatus, sävytyspasta, helmimylly, vakuumpumppu

Author(s) Title	Karoliina Skarp Developing the process with vacuum grinding
Number of Pages Date	41 pages + appendice 10 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process operation and design
Instructor(s)	Maria Silander, QC Manager, Chromaflo Technologies Oy Timo Seuranen, Senior Lecturer
<p>This engineering project was made for Chromaflo Technologies Oy, and it concerns tinting pastes in vacuum grinding. The main purpose on this project was to research the effects of vacuum grinding on different tinting pastes and compare the differences between vacuum ground pastes and normally ground pastes. Batch numbers, names of tinting pastes and customers are changed or removed because of confidentiality.</p> <p>The same pearl mill and Elmo Rietschles vacuum pump were used throughout the whole experiment. About 20 different tinting batches were received for grinding, and for some volume products, more than one batch was ground. The main presumptions were to raise color strength, to accelerate the delivery cycle if the number of extra runs and air removals decrease and to improve beating degrees and yields.</p> <p>On the basis the results of the experiment, it can be said that these assumptions were right in some cases. However there were problems with some tinting pastes that had been very problematic earlier. Vacuum grinding caused more difficulties with these pastes. However, the results were principally positive. It can be said that there are benefits in using vacuum grinding with some tinting products.</p>	
Keywords	vacuum grinding, tinting paste, pearl mill, vacuum pump

## Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Chromaflo Technologies Oy	2
2.1	Laadunvalvonta	2
3	Sävytyspasta	2
4	Sävytyspaston valmistuksen tärkeimmät komponentit	3
4.1	Pigmentit	3
4.1.1	Väripigmentit	3
4.1.2	Täyteaineet eli apupigmentit	4
4.2	Ohenteet, liuottimet ja sideaineet	4
5	Dispergointi	5
5.1	Kuiva- ja märkäjauhatus	7
5.2	Lämmön kehitys jauhatuksen aikana	7
6	Dissolveri	8
7	Helmimylly	9
7.1	Rakenne	9
7.2	Toimintaperiaate	9
7.3	Helmien valinta	10
7.4	Täyttöaste ja energia	10
8	Vakuumpumppu	11
8.1	Yleinen toimintaperiaate	11
8.2	Rakenne	12
9	Vakuumijauhatus ja sen hyödyt teoreettisesti	15
9.1	Ilmaus	15
9.2	Sävy ja värivoima	15
9.3	Prosessin nopeutuminen	16
10	Tutkimusmenetelmät	17
10.1	Työn suoritus ja koesuunnittelu	17

11	Tutkimustulokset	18
11.1	AV	19
11.1.1	AV 1 oranssi	19
11.1.2	AV 2 keltainen	20
11.2	MUC	22
11.2.1	MUC 1 musta	22
11.2.2	MUC 2 punainen	23
11.3	TC W	25
11.3.1	TC W 1 violetti	25
11.3.2	TC W 2 punainen	26
11.3.3	TC W 3 vihreä	27
11.3.4	TC W 4 oranssi	28
11.3.5	TC W 5 sininen	29
11.4	MC	30
11.4.1	MC 1 punainen	30
11.4.2	MC 2 musta	31
11.4.3	MC 3 violetti	32
11.4.4	MC 4 musta2	33
11.4.5	MC 5 purppura	34
11.4.6	MC 6 keltainen	35
11.5	CR	36
11.5.1	CR 1 sininen	36
11.5.2	CR 2 punainen	36
12	Yhteenveto	38
13	Johtopäätökset	39
14	Lähteet	41
15	Liitteet	

Liite 1. Sävytyspастоjen pigmenttipitoisuudet

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia sävytyspастоjen vakuumijauhatuksen hyötyjä ja verrata vakuuissa jauhettuja eriä aikaisempiin ilman vakuuissa jauhettuihin eriin. Työ tehtiin johtavalle sävytyspastayritykselle Chromaflo Technologies Oy:lle ja työtä varten hankittiin erillinen Elmo Rietschle C-VLR 60 vakuumpumppu.

Päätavoitteena tässä työssä oli vakuumijauhatuksen avulla nopeuttaa sävytyspastaerien läpimenoaikaa ja sitä kautta koko prosessia. Teoreettisesti ajateltuna prosessin ajateltiin nopeutuvan, sillä joidenkin pastojen kohdalla ongelmiksi olivat muodostuneet useat lisääjot sekä ilmakuplien syntyminen jauhatuksen aikana, mikä johti pahimmassa tapauksessa useisiin erillisiin ilmauskertoihin. Lisäksi joidenkin sävytyspастоjen kohdalla jauhatuksen aikana muodostuneet ilmakuplat aiheuttivat ongelmia sävyn ja värivoiman suhteen, sillä ilmakuplat vaikuttavat suoraan pastan ominaispainoon.

Nämä edellä esitetyt ongelmat pyrittiin ratkaisemaan vakuumijauhatuksen avulla ja olettamuksina oli ilman vähentyminen, ominaispainon nousu ja sen johdosta sävyn ja värivoiman paraneminen. Lisäksi teoreettisena olettamuksena oli saada aikaisempaa parempi saanto, jos sävytyspастоjen värivoima kasvaisi vakuumijauhatuksen avulla.

## 2 Chromaflo Technologies Oy

Vuonna 2012 perustettu Chromaflo Technologies Oy on johtava maailmanlaajuinen sävytyspastayritys, joka toimii kuudella eri mantereella valmistuen erilaisia sävytysratkaisuja. Tehtaita Chromafloilla on Suomessa, Hollannissa, USA:ssa, Kanadassa sekä Australiassa. Tällä hetkellä yritys valmistaa yli 200 erilaista tuotelajia ja yli 7 000 erilaista sävytystuotetta. Chromaflon tuotteet koostuvat tunnetuista merkeistä, kuten Temacolor, Monicolor, Innovatint, Chroma-Che, Plasticolors ja Colortrend. Vaikka yritys aloitti pääasiallisen toimintansa vuonna 2012, aloitti se sävytysratkaisujen kehittämisen jo vuonna 1929. [1]

### 2.1 Laadunvalvonta

Laadunvalvonnalla pyritään varmistamaan tuotteiden tasainen ja asiakkaita tyydyttävä laatu. Chromafloilla laadunvalvonta on erityisen tärkeää, jotta pystytään varmistamaan jokaisen erän laadukas lopputulos. Jokainen pastaerä kulkee laadunvalvonnan kautta, jossa erä säädetään annettujen toleranssien mukaan. Poiketen tavallisesta laadunvalvonnasta, Chromafloilla laadunvalvonnan tarkoituksena ei ainoastaan ole tarkastella lopputuotteen laatua, vaan se on osa koko prosessia ja sen yhtenä tarkoituksena on saattaa tuote lopputulokseen. Hyväksyminen tapahtuu noudattaen tarkoin annettuja rajoja ja asetettuja vaatimuksia. Yleensä jokainen laboratorioon tuleva erä on erilainen ja muista poikkeava muihin eriin verrattuna ja ne säädetään rajoihin aina yksilöllisesti.

## 3 Sävytyspasta

Sävytyspasta on pigmenteistä, täyteaineista, liuottimista sekä kostuttimista valmistettava dispersio. Dispersiolla tarkoitetaan seosta, jossa kaksi tai useampi aine on sekoittunut tasaisesti toisiinsa. Sävytyspastan avulla perusmaali voidaan sävyttää lähes minkä väriseksi tahansa ja erilaisia tuotteita on lukuisia. Maalin sävytykseen tarvitaan yleensä neljää eri komponenttia, joita ovat sävytyspasta, perusmaali, sävytyskaava sekä sävytyskone. Sävytyspastojen valmistaminen etukäteen on täysin

tehdaskohtainen, sillä osa tehtaista valmistaa sävytyspastoja ainoastaan tulleiden tilauksien mukaan ja jotkut tehtaot valmistavat tuotetta lisää heti sen loputtua varastosta. Sävytyspastan valmistuksessa pastan sävyä valvotaan tarkasti ja jokaiselle pastalle on määritetty tietyt toleranssit, jotka niiden pitää täyttää. Eri sävytyspasta sarjoja on useita ja tässä työssä tarkasteltavia sarjoja ovat Temacolor, Monicolor sekä muut asiakaskohtaiset tuotesarjat.

## **4 Sävytyspastan valmistuksen tärkeimmät komponentit**

### **4.1 Pigmentit**

Lyhyesti määriteltynä pigmentit ovat kiinteitä, hienojakoisia sekä sideaineeseen liukenemattomia jauheita, jotka maalinvalmistuksessa dispergoidaan eli jauhetaan sideaineeseen. Kyseiset pigmentit voidaan jakaa väripigmentteihin, korroosionestopigmentteihin sekä apupigmentteihin eli täyteaineisiin. [2 s. 10]

#### **4.1.1 Väripigmentit**

Väripigmenteillä maalikalvo saa värinsä sekä peittokykynsä. Väripigmentit jaetaan epäorgaanisiin ja orgaanisiin pigmentteihin. Valkoinen titaanioksidi eli rutiili, keltainen, punainen ja musta rautaoksidi sekä vihreä kromioksidi ovat tällä hetkellä maailman tärkeimmät epäorgaaniset väripigmentit. Edellä mainitut pigmentit ovat työ- ja ympäristönsuojelun kannalta vaarattomia sekä sään- ja valonkestäviä. Kuitenkin huonona puolena on, ettei epäorgaanisilla pigmenteillä saada aikaan kirkkaita värejä. [2 s. 10,3,4]

Orgaanisia pigmenttejä taas on lukuisia ja huomattavasti enemmän kuin epäorgaanisia pigmenttejä. Vihreät, siniset sekä kirkkaan keltaiset ja punaiset pigmentit luetaan tärkeimpiin orgaanisiin pigmentteihin, mutta niiden huonoina puolina ovat kallis hinta, huono valonkestävyys sekä peittävyys. [2 s. 10,4,5]



#### 4.1.2 Täyteaineet eli apupigmentit

Täyteaineiksi eli apupigmenteiksi luetaan yleensä mineraalit kalsiitti, baryytti, talkki sekä kaoliini. Niiden avulla maalikalvo saa tiiviin ja lujan rakenteen sekä alentavat lopputuotteen hintaa. Sävytyspastoissa täyteaineita käytetään varastointi kestävyuden parantamiseksi sekä reologian hallitsemiseksi. Peittokykyyn ja värisävyyn täyteaineilla ei ole lainkaan vaikutusta. [2 s. 11–12]

#### 4.2 Ohenteet, liuottimet ja sideaineet

Ohenteiden ja liuottimien tarkoituksena on antaa sävytyspastalle oikeanlainen viskositeetti eli maalinotkeus, jolloin sen annostelu helpottuu eikä sillä ole vaikutusta itse perusmaalin viskositeettiin. Aineen viskositeetti on sen sisäinen kitka, joka vastustaa nesteen liikkumista. Mitä suurempi viskositeetti, sitä suurempi nesteen sisäinen kitka ja sitä vähemmän neste tuntuu juoksevammalta. [2 s. 10–12]

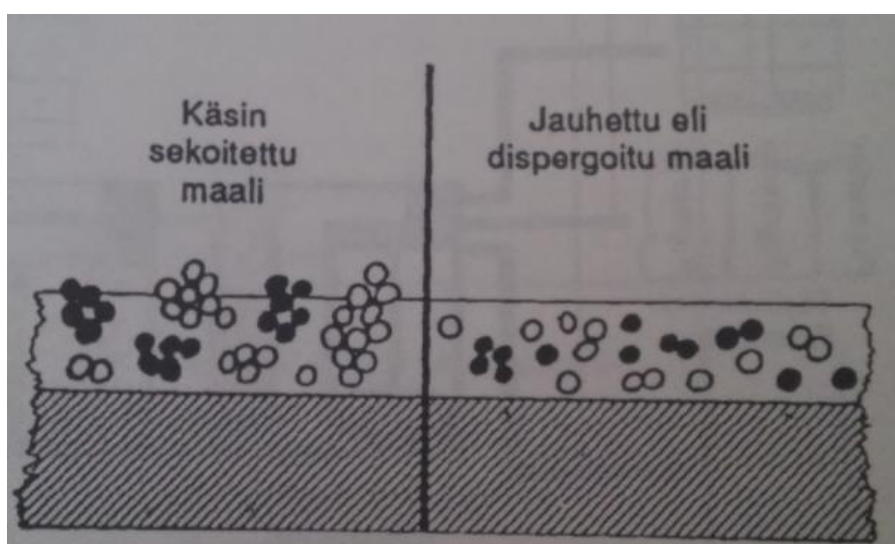
Ohenteet ja liuottimet ovat yleensä nesteitä, jotka haihtuvat maalin levityksen ja kuivumisen yhteydessä. Hyvin usein liuottimena käytetään nestettä tai nesteseosta, johon sideaine liukenee. Nykyään vettä pyritään käyttämään haihtuvana liuottimena, sillä se ei esimerkiksi aiheuta orgaanisten liuottimien tapaan terveydelle ja ympäristölle haitallisia höyryjä ja se on lisäksi kustannuksiltaan edullinen valinta. [2 s.10–12]

Sideaineita käytetään vain harvoissa sävytyspastoissa, sillä se rajoittaa niiden käyttökohteita. Sideaineina käytetään tavallisesti orgaanisia, suurimolekyylisiä polymeerejä tai reaktiokykyisiä lakkahartseja, jotka kuivuessaan muodostavat polymeerejä. Lisäksi sideaineet ovat yleensä kiinteitä aineita tai jäykkiä nesteitä huoneenlämpötilassa, jonka vuoksi joitakin sideaineita ei voida käyttää yksinään vaan niihin täytyy lisätä pehmittimiksi kutsuttuja aineita. Oikealla sideaineen valinnalla voidaan vaikuttaa maalikalvon kovuuteen, joustavuuteen, kulutuksenkestävyyteen, kalvonmuodostukseen sekä kiiltoon. Lisäksi sideaine vaikuttaa siihen, miten maalikalvo kestää erilaisia ympäristöolosuhteita sekä kykyyn tarttua alustalle. [2 s.10–12]

## 5 Dispergointi

Dispergointi eli jauhatus on yksi tärkeimmistä vaiheista puhuttaessa maalin valmistuksesta ja se voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: kostutukseen, erotukseen ja stabilointiin. Pää tarkoituksena on saada erotettua jauhemaisten aineiden partikkelit toisistaan. Ensimmäisessä vaiheessa eli kostutuksessa pigmentin pinnalla oleva ilma syrjäytetään nestemäisen väliaineen avulla. Myllyn nopeus, täyttöaste, jauhettavan aineen ominaispaino, jauhinkappaleet sekä myllyn rakenne ovat tärkeimmät myllyn toimintaan ja kapasiteettiin sekä hyvään jauhatustulokseen vaikuttavia seikkoja. [2 s. 13–14,6 s. 12–15,7,8 s. 175–178]

Jauhatuksessa pigmentit sekä täyteaineet dispergoidaan eli jauhetaan nesteiden joukkoon. Agglomeraateiksi kutsuttuja partikkeleita syntyy pigmentinvalmistuksen jälkeen, kun pieninä hiukkasina olevat täyteaineet ja pigmentit tarttuvat toisiinsa muodostaen suurempia partikkeleita. Nämä kyseiset agglomeraatit tulee hajottaa ja niiden hajottamiseksi tarvitaan joko hiertäviä tai iskusta saatavaa voimaa. Jos agglomeraatteja ei rikota, lopputuloksena saadaan sävyltään normaalista poikkeava hiekkapaperin kaltainen maalikalvo, joka on lisäksi hienousasteeltaan väärä. Kuvassa 1 on kuvattuna ero jauhetun ja käsin sekoitetun maalin välillä. [2 s.13–14]



Kuva 1. Dispergoinnin vaikutus maalikalvon väriin ja kiiltoon [2]

Dispergoinnissa niin sanotut hiertovoimat rikkovat agglomeraatteja pienemmiksi, mutta voimat kohdistuvat ainoastaan suurempiin partikkeleihin eikä yksittäisiin hiukkasiin. Agglomeraattien hajotessa joukkoon lisätään nesteitä kostuttimiksi, jotka estävät pigmenttien tarttumisen uudelleen toisiinsa eli flokkuloitumasta. Tiivistäen edellisen, jauhatuksen tarkoituksena on poistaa ilma pigmenteistä, kostuttaa pigmentit mahdollisella sideaineella sekä hajottaa muodostuneet agglomeraatit. [2 s. 13–14]

Jokaiselle sävytyspastalle on määritetty sille sopiva hienous eli jauhatusaste, joka sen täytyy saavuttaa. Näihin oikeisiin jauhatusasteisiin päästään säätämällä jauhatuksen tehoa ja dispergointia jatketaan kunnes oikea jauhatusaste on saavutettu. Oikean jauhatusasteen saavuttaminen on tärkeää myös maalin peittävyden kannalta, sillä maali peittää sitä paremmin, mitä hienojakoisempaa pigmentti on. On kuitenkin olemassa pigmenttejä joiden kohdalla hienojakoisemmaksi jauhaminen voi heikentää peittävyttä sekä sen muita ominaisuuksia. [2 s.13–14,6]

Jauhaminen toteutetaan yleensä jauhinkappaleiden avulla rumpumaisessa myllyssä, jolloin jauhatus perustuu iskuihin, puristukseen sekä hiertoon. Yleisenä tavoitteena on kasvattaa partikkelien heijastuspinta-alaa jauhamalla isompia tai epäsäännöllisiä partikkeleita pienemmiksi [3]. Taulukossa 1 on lueteltuna laitteiden tavallisimmat hienonnustasot, partikkelikoot sekä niiden ominaisenergiat.

Taulukko 1. Partikkelin koon mukaan menevä jaottelu eri hienonnustasoihin [5]

Hienonnustaso	Tyypillinen laite	Partikkelikoko (µm)	Ominaisenergia (kWh/t)
Murskaus	Erilaiset murskaimet	$10^6$ - $10^4$	0,1-2
Karkeajauhatus	Tankomylly	$10^4$ - $10^3$	2-4
Hienojauhatus	Esim. kuulamyly	$10^3$ - $10^2$	5-20
Hyvin hieno jauhatus	Putkimylly	$10^2$ -10	20–100
Super-hieno jauhatus	Helmimylly/suihkumylly	10-1	100–1000

## 5.1 Kuiva- ja märkäjauhatus

Jauhatusprosessit voidaan jakaa kuiva- ja märkäjauhatukseen, joista viimeiseksi mainittu on yleisin. Märkäjauhatuksen yleisyys johtuu sen alhaisemmasta energiankulutuksesta, sillä kulutus voi olla jopa 20 – 30 % alhaisempi kuin kuivajauhatuksessa olosuhteiden ollessa kuitenkin samat. Märkäjauhatuksen pienemmän energiankulutuksen voidaan selittää johtuvan joko vedestä tai jauhatuksen aikana siihen liuenneista elektrolyyteistä. Lisäksi märkäjauhatuksessa ei ole kuivajauhatuksessa ilmenevää pölyongelmaa ja lämpötilan säätö tapahtuu vaivattomammin. Myös jauhatuksen kapasiteetti kasvaa ja tuotteen käsittely sekä siirtäminen helpottuvat märkäjauhatuksen avulla. Verratessa jauhinkappaleiden kulumista kuiva- ja märkäjauhatuksessa, kuivajauhatuksessa jauhinkappaleiden kuluminen johtuu mekaanisen kulumisen johdosta, kun taas märkäjauhatuksessa kuluminen johtuu sekä mekaanisen kulumisen että korroosion yhteisvaikutuksesta. [3,7,9 s. 286–291]

Märkäjauhatusta suositaan yleensä, jos syöte on jo valmiiksi tai lopputuotteen halutaan olevan suspensiona. Lisäksi jos syöte on myrkyllistä/räjähävää tai halutaan erittäin hieno jauhatustulos, käytetään märkäjauhatusta kuivajauhatuksen sijaan. Ainoina haittapuolina voidaan mainita jauhinkappaleiden suurempi kuluminen ja tarpeen mukaan jauhetun lietteen erillinen kuivaaminen lopputuotteen saavuttamiseksi. [7]

## 5.2 Lämmön kehitys jauhatuksen aikana

Kokeellisesti on osoitettu, että myllyyn syötetyn materiaalin keskimääräinen lämpötila on aina alhaisempi kuin myllystä saatavan tuotteen lämpötila. Lisäksi jauhatuksen aikana syntyvästä lämmöstä huomattava osa syntyy, kun myllyn pyörittämiseksi tarkoitettu energiasta 85 % muuttuukin lämmöksi ja vain pieni osa energiasta menee itse jauhatukseen. Mitä enemmän jauhatusta vaatii energiaa, sitä suurempi lämmöksi muuttuva energiamäärä on jauhettua kiintoaineen painoyksikköä kohden. Verratessa lämpötilojen nousuja kuiva- ja märkäjauhatuksessa, on kuivajauhatuksessa lämpötilan nousu huomattavasti suurempi ja tästä johtuen erillinen jäähditys voi olla tarpeen. [8 s. 192, 9 s. 207–209]

## 6 Dissolveri

Maalinvalmistuksessa käytettäväksi dissolveriksi kutsutaan säiliötä, jossa pystysuoraan akseliin on kiinnitetty terä. Terän pyöriessä säiliössä olevaan pastaan syntyy radiaalinen virtaus muodostaen vortex-ilmion. Vortex-ilmiossa terän ylä- ja alapuolelle muodostuu tietynmuotoinen, symmetrinen virtaus kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. Dissolverin terän muodostama vortex-ilmio [4]

Dissolverin päätarkoituksena on sekoittaa kuivat aineet nesteeseen sekä kostuttaa pigmentit. Jotta kaikki partikkelit olisivat kosketuksissa terän kanssa useita kertoja dispergoinnin aikana, tulisi terän yhdistää pigmentit nestemäiseltä alueelta tuotteeseen ja kierrättää seosta nopeasti takaisin terälle mahdollisimman tehokkaasti. Juuri terän alapuolella on alue, jossa partikkeleista muodostuneet agglomeraatit hajoavat tehokkaimmin. [4]

Säiliön pohjan pyöristetyille kulmillekin on tietty tarkoitus. Sekoitussäiliö suunnitellaan yleensä siten, ettei säiliöön jää niin sanottuja pimeitä kohtia. Tällöin mahdollistetaan partikkeleiden pääsy kosketuksiin terän kanssa useita kertoja ja sitä kautta mahdollisimman tasainen ja hyvä laatu. [4]

## 7 Helmimylly

Taulukon 1 mukaisesti helmimyllyä käytetään, jos halutaan saada aikaan super-hieno jauhatustulos, erityisen pieni partikkelikoko tai entistä parempi värivoima. Lisäksi on olemassa monia värillisiä pigmenttejä, jotka pystytään jauhamaan ainoastaan helmimyllyssä niiden ongelmallisten jauhatusominaisuuksien vuoksi. [4]

### 7.1 Rakenne

Helmimylly koostuu sylinterinmuotoisesta kammioista, siihen kiinnitetystä sekoitinelmestä sekä nimestä helposti päätellen helmistä eli jauhinkappaleista, jotka voivat olla esimerkiksi lasia, alumiinioksidia, terästä tai zirkoniumia. Rakenteellisesti helmimyllyt jaetaan kahteen eri tyyppiin sylinterin asennon mukaan, joko vaakatasossa tai pystyssä olevaan myllyyn. Lisäksi helmimylly voi olla joko aukinainen tai suljettu malli. [4,10,11]

Helmimyllyjä voidaan käyttää sekä panostoimisena että jatkuvatoimisina. Jotta myllyä voitaisiin käyttää jatkuvatoimisena, tulisi syöte ohjata kammion pohjalle ja valmis tuote kammion yläpuolelta pois. Tämä edellä esitetty väite on vain tietynlaisille pystymyllyille eikä se päde kaikkiin helmimylly malleihin. [11]

### 7.2 Toimintaperiaate

Helmimyllyn jauhatus perustuu märkäjauhatukseen, jossa hiukkasten hienontaminen tapahtuu leikkausvoimien sekä helmien törmäysten ja hiertymien vaikutuksesta. Kammiossa olevan sekoitinelimen pyörimisnopeus voi parhaimmillaan olla 2000 rpm. Helmien jauhatukseen tarvitsema energia syntyy pyörivän jauhatusakselilla olevien reiällisten kiekkojen ansiosta. Hyötyinä verrattuna kuulamyllyyn, helmimylly voi olla parhaimmillaan yli 50 % energiatehokkaampi kuin rumpumainen kuulamylly. [4,10,11]

### 7.3 Helmien valinta

Helmimyllyissä käytettävät helmet ovat usein joko alumiinioksidia, zirkoniumia tai lasihelmiä. Niiden avulla on mahdollisuus päästä alle  $0,5 \mu\text{m}$  hiukkasiin eli todella hienoon jauhatustulokseen. Pääasiassa helmien valintaan vaikuttavat jauhattavan materiaalin ominaisuudet. Kuitenkin päätettäessä helmien lukumäärää, päätavoitteena on saada mahtumaan mahdollisimman paljon helmiä, jolloin törmäyksiä helmien ja jauhattavan materiaalin välillä tapahtuu enemmän, jauhatusta tehostuu sekä jauhatusaika lyhenee. [4,11]

Esimerkiksi matala viskooseilla materiaaleilla ei ole kannattavaa käyttää suuria tai raskaita helmiä helmien nopean kulumisen sekä sulloutumisen vuoksi. Taas pienten ja kevyiden helmien käyttäminen korkea viskooseilla aineilla ei ole suositeltavaa. Tällöin helmet liikkuisivat massan mukana eikä kaivattuja törmäyksiä ja hiertymiä syntyisi materiaalin ja helmien välillä. Lisäksi helmien ollessa pieniä, niitä saadaan mahtumaan suurempi määrä ja tällöin helmien ja maalin kosketuksessa on suurempi työpinta-ala. Kuitenkin helmikoon pienentyessä liikaa, ei liike-energia riitä helmien liikuttamiseen. [4,11]

### 7.4 Täyttöaste ja energia

Täyttöasteella on suuri merkitys mahdollisimman hyvän jauhatustuloksen varmistamiseksi. Täyttöasteen ollessa liian suuri, helmien liikkuminen myllyssä vaikeutuu, jolloin aiheutuu tarpeetonta myllyn ja helmien kulumista. Tämä tietysti aiheuttaa lisäkustannuksia helmien uusimisen ja myllyn huoltamisen tiimoilta. Tavallisesti täyttöasteena helmimyllyissä käytetään 70 – 90 %:a. Oikealla täyttöasteella pystytään varmistamaan helmien ja partikkeleiden kohtaaminen, tehon siirtyminen helmipanokseen sekä panoksen haluttu liikkuvuus myllyssä. Myllyä hankittaessa tulee toimittajalta varmistaa tälle ominainen täyttöaste. [4]

On kokeellisesti todistettu, että yhtä suurella spesifisellä energiamäärällä ja samaa helmeä käyttäen saavutetaan sama laatutaso huolimatta siitä, millaista myllytyyppiä tai

ajotapaa käytetään. Helmien kokoa ja materiaalia muutettaessa tarvittava energia muuttuu. Helmet siirtävät energiaa työksi, jolloin partikkeleiden sidokset murtuvat. Lisäksi laatua pystytään kehittämään tiettyyn rajaan asti, mutta tietyn pisteen saavutettuaan laadun kehitys hidastuu ja lopulta pysähtyy. [4]

## 8 Vakuumpumppu

Tässä työssä vakuumpumppuna käytettiin erikseen hankittua Elmo Rietschle C-VLR 60 vakuumpumppua. Vakuumpumppuja on hyvin erilaisia ja hyvinkin laaja kirjo. Vakuumpumppua valittaessa, tulee ottaa huomioon prosessissa käytettävä paine. Kuvassa 3 on vakuumin luokittelu paineen mukaan. Tässä työssä käytetyn pumppumallin kohdalla alipaine tuli olla 1 - 100 mbar välillä, jolloin se kuvan 5 perusteella kuuluisi ylimpään luokkaan. Lisäksi pumpun kapasiteetiksi rajattomalla imulla oli ilmoitettu 50 m<sup>3</sup>/h 50 Hz:ssä. [12 s. 14–15,13]

Rough vacuum (RV)	1000 – 1	mbar
Medium vacuum (MV)	1 – 10 <sup>-3</sup>	mbar
High vacuum (HV)	10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-7</sup>	mbar
Ultrahigh vacuum (UHV)	10 <sup>-7</sup> – (10 <sup>-14</sup> )	mbar

Kuva 3. Vakuumin voimakkuus paineen mukaan [12 s.14]

### 8.1 Yleinen toimintaperiaate

Vakuumpumppujen päätarkoituksena on aikaansaada alipaine. Toiminta perustuu kaasun paineen alenemiseen ja kaasuhiukkasten siirtämiseen paikasta A paikkaan B. Vakuumpumput jaotellaan kahteen eri ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat pumput, jotka yhden tai useamman kompressorin kautta siirtävät kaasuhiukkasia ilmakehään syrjäytyksen tai pulssittaisen kuljetuksen avulla. Toisessa tapauksessa kaasuhiukkasten siirto tapahtuu tiivistämällä tai sitomalla niitä kiinteälle pinnalle.

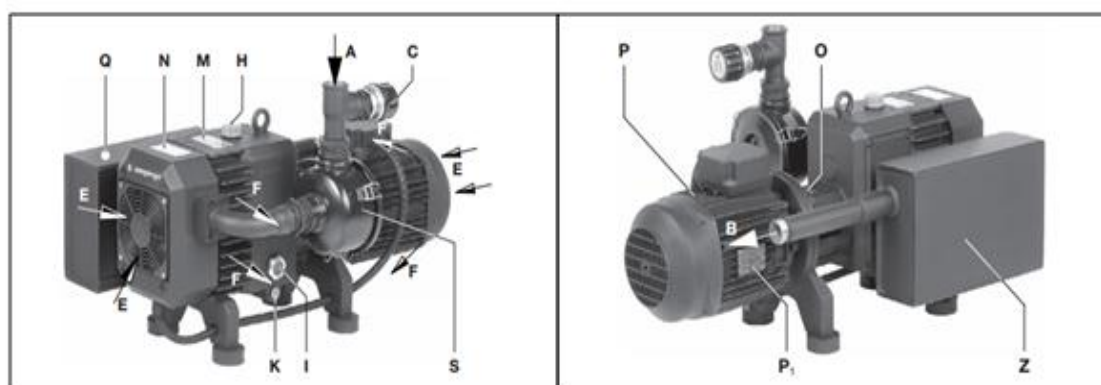


Edellä mainitun jaottelun lisäksi, vakuumpumput voidaan jakaa vielä viiteen eri tyyppiin, joista kohdat 1 - 3 kuuluvat ryhmään yksi eli kompressoripumppuihin ja kohdat 4 - 5 kuuluvat kokoonpuristuspumppuihin. [12 s. 19–25]

1. Pumput, jotka toimivat jaksoittain kasvattaen ja pienentäen pumpun kammion tilavuutta.
2. Pumput, jotka siirtävät halutun määrän kaasua alipaine puolelta ylipaine puolelle muuttamatta pumpun säiliön tilavuutta.
3. Pumput, joissa pumppaus perustuu pääasiassa kaasujen diffuusioon.
4. Pumput, jotka pumppaavat kaasuja kondensoitumisen avulla ja pumput, jotka pumppaavat ns. pysyviä kaasuja kondensoitumisen avulla erittäin alhaisissa lämpötiloissa.
5. Pumput, jotka sitovat kaasuja adsorption tai absorption avulla kaasuihin soveltuville pinnoille. [12 s. 19–25]

## 8.2 Rakenne

Kuvassa 4 on kuvattu työssä käytetyn vakuumpumpun rakennekuvat selityksineen. Tässä mallissa liitántä tapahtuu imupuolelta ja pakokaasun äänenvaimennin sijaitsee painepuolella. Verrattuna muihin C-VLR malleihin tässä mallissa tuloilma puhdistetaan käyttämällä erillisiä suodattimia. Elmo Rietschle C-VLR sarjan pumput ovat kiertomäntä vakuumpumppuja, jossa osaset pääsevät pyörimään vapaasti toisiaan vastaan. [13]

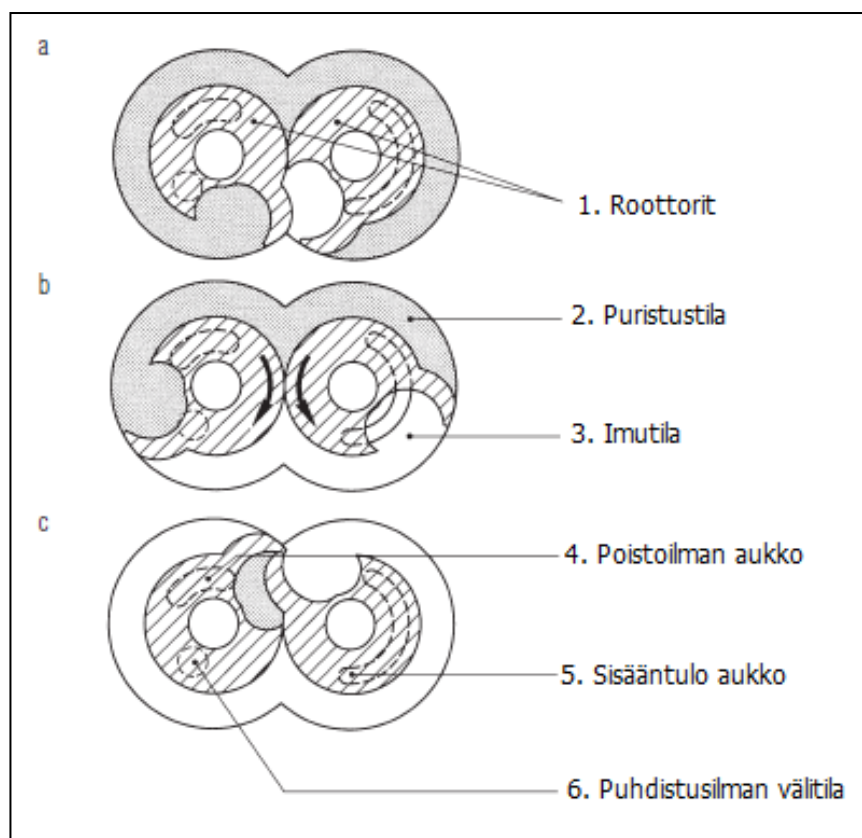


A	Vakuumiliitäntä	M	Öljytason mitta-asteikko
B	Poistoilman ulostulo	N	Data näyttö
C	Vakuumin käyttöventtiili	O	Pyörimissuunnan ohjaus
E	Jäähdytysilman sisääntulo	P	Moottori
F	Jäähdytysilman ulostulo	P <sub>1</sub>	Moottorin levyke
H	Öljyn täyttö	Q	Kuumat pinnat >70 °C
I	Tarkastuslasi öljylle	S	Imusuodatin
K	Öljyn poistoaukko	Z	Äänenvaimennin

Kuva 4. Elmo Rietschle C-VLR 60 vakuumpumpun rakennekuvat [13]

Kiertomäntäpumput kestävät suuria paine-eroja ja niitä käytetään suurten tilavuuksien pumppaamiseen. Kuvassa 5 on esitetty halkileikkaus kiertomäntäpumpusta. Poikkileikkauskuvasta nähdään pumpun koostuvan kahdesta limittäin liikkuvasta sylinteristä, joissa kummassakin on kaksi vapaasti pyörivää roottoria jokaisessa tasossa. [12 s. 31]

Kuten kuvasta 5 nähdään roottoreissa olevan yhtenevät kolot vastakkaisilla puolilla. Kiertömäntäpumpun toiminta perustuu roottoreiden liikkumiseen siten, että roottorit avaavat ja sulkevat jaksoittain sisäänotto- ja poistoaukot (5) ja (4). Alussa oikeanpuoleinen roottori avaa sisäänottotilan (5), jolloin kaasu pääsee virtaamaan imutilaan (3, kohta b) kunnes oikeanpuoleinen roottori tiivistää sisäänottotilan, kuten kohdassa c. Kun molemmat osaset ovat pyörineet täyden ympyrän, sisäänpäässyt kaasu on kokoonpuristuneena puristustilassa (2) kohdassa a, kunnes vasemmanpuoleinen roottori vapauttaa kaasun poistotilan (4) kautta (kohta b). [12 s. 31 – 35]



Kuva 5. Kiertömäntäpumpun toimintaperiaate [12 s. 31]

## 9 Vakuumijauhatus ja sen hyödyt teoreettisesti

Seuraavaksi esitellyt asiat ovat ominaisuuksia, joihin on teoreettisesti ajateltu tulevan jonkin asteisia muutoksia käyttämällä vakuumia jauhatuksessa. Ilmaus, muutos värivoimassa sekä prosessin nopeutuminen ovat kaikki asioita, jotka ovat osittain toisiinsa sidoksissa.

### 9.1 Ilmaus

Kuten on jo aikaisemmin mainittu, ilmauskertojen määrä vaikuttaa huomattavasti tuotteen läpimenoaikaan sekä tuotteen käsittelyaikaan. Joidenkin sävytyspastojen kohdalla ilman muodostuminen jauhatuksen aikana on herkempää ja tällöin ilmauskertojakin voi siitä johtuen olla useampia. Ilmaukset vaikuttavat suoraan tuotteen käsittelyaikaan sekä sitä kautta kustannuksiin myöhästymisten ja muiden, asioiden kautta. Lisäksi jokaiselle sävytyspastalle on määritetty sille ominaiset rajat, jotka sen tulee täyttää ja tämä koskee myös ominaispainoa. Jos tuotteen ominaispaino ei vastaa sille asetettuja ehtoja, tulee tuotetta käsitellä rajoihin pääsemiseksi. Käsittelyllä tässä kohtaa yleensä tarkoitetaan juuri ilmausta.

Edellä mainittujen asioiden perusteella ilmalla on hyvinkin suuri vaikutus tuotteeseen ja vakuumilla pyritään vähentämään ilman sekoittumista pakista pastan joukkoon jauhatuksen aikana. Koska tässä työssä jauhatus tapahtuu vakuumissa, voitaisiin teoreettisesti ajatella ilman osuuden olevan erittäin alhainen jauhatuksen loputtua, sitä kautta ominaispainon nousevan ja ilmauskertojen vähentyvän. Kuitenkin jokainen tuote on erilainen ja lisäksi tulee huomioida vakuumin pitävyys ja mahdolliset niin sanotut vuodot.

### 9.2 Sävy ja värivoima

Sävytyspasta voi olla värivoimaltaan joko tilavuuden mukaan säädetty eli volymetrinen tai painon mukaan säädetty eli gravimetrinen. Yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta Chromaflo Vantaan tehtaalla valmistetut pastat säädetään tilavuuden mukaan vastaamaan standardia. Sääto tehdään kuitenkin punnitsemalla ml-määrät grammoina,

eli sävytyspastaa lisätään maaliin aina tuotteen ominaispaino kerrottuna tarvittavalla ml-määrällä. Pastassa oleva ilma aiheuttaa usein tuotteen ominaispainon pienenemisen ja tällöin se vaikuttaa tuotteen värivoimaan. Esimerkiksi, jos pastan ominaispaino on ilmasta johtuen poikkeuksellisesti 1,19 ja maalin sävytysohjeessa pyydetään lisäämään sävytettä viisi kertaa ominaispainon verran, tulee sävytetystä maalista värivoimaltaan huomattavasti heikompi, jos ominaispaino normaalisti olisikin 1,23.

Vaikka jokainen pastaerä on erilainen, ominaispainon muutos erien kesken on yleensä 0,00 - 0,02 luokkaa. Tästä johtuen pastassa oleva ilma on yleensä helposti havaittavissa, jos ominaispaino eroaa selvästi aikaisemmista eristä. Kuitenkin tämä on yleensä myös silminnähtävissä.

Vakuumijauhatuksella uskotaan olevan vaikutusta myös tuotteen sävyn ja värivoiman suhteen. Uskomukset perustuvat tuotteen parempaan jauhautuvuuteen myllyllä käytettäessä vakuumia ja pigmenttien jauhoutuessa tehokkaammin. Lisäksi joidenkin pastojen kohdalla ongelmana ovat olleet useat lisäajot oikean hienousasteen saavuttamiseksi. Näiden lisäajojen oletetaan vähentyvän vakuumijauhatuksella vedoten mahdolliseen parempaan jauhautuvuuteen vakuumissa.

Lisäksi vakuumijauhatuksen avulla mahdollisesti saatava suurempi värivoima johtaisi jatkoaineiden suurempaan kulutukseen, suurempaan saantoon ja sitä kautta alhaisempaan pigmenttipitoisuuteen. Tämä olisi kustannuksia ajatellen erittäin suuri hyöty.

### 9.3 Prosessin nopeutuminen

Prosessin nopeutuminen perustuu ilmauskertojen vähenemiseen sekä mahdollisten lisäajojen poistumiseen. Prosessin uskotaan nopeutuvan, sillä ilmakuplia uskotaan muodostuvan vähemmän, ilmauskertojen laskevan sekä mahdollisten lisäajojen poistuminen kokonaan jauhautuvuuden paranemisen johdosta. Näiden edellä mainittujen parannusten mahdollinen toteutuminen vaikuttaisi myös kustannuksiin, sillä ilmauskerrat hidastavat tuotteen käsittelyä ja voivat sitä kautta aiheuttaa toimitusten myöhästymisiä. Erien lisääminen taas suurentaa huomattavasti tuotteen

läpimenoaikaa sekä hidastaa käsittelyä ja sen ohella muiden tuotteiden myllylle pääsyä ja käsittelyaika.

## 10 Tutkimusmenetelmät

Työn varsinaiset tutkimusosuudet suoritettiin laboratorio-olosuhteissa ja erien käsittely suoritettiin samalla tekniikalla kuin tavallisten ei-vakuumijauhettujen erien kohdalla. Tässä työssä vakuumissa ajettavat erät päätettiin saapuneiden tilauksien mukaan ja vakuumieriä saatiin kahden kuukauden ajalta noin 20 kappaletta monesta eri tuoteryhmästä. Tarkoituksena oli verrata kyseisiä vakuumissa ajettuja eriä ei-vakuumi ajettuihin eriin jauhatuksesta lopulliseen hyväksymiseen asti. Vaikka hyödyllistä olisi ollut tarkastella vakuumissa ja ei-vakuumissa jauhettuja eriä keskenään heti alusta alkaen ja rinnakkain, rajallisten resurssien vuoksi vertailu piti tehdä jo aikaisemmin hyväksytyjen erien kanssa.

### 10.1 Työn suoritus ja koesuunnittelu

Työn suorittamiseksi käytettiin koko tutkimuksen ajan samaa helmimyllyä välttämällä tällä tavoin kalustosta aiheutuvaa mahdollista virhettä. Lisäksi työssä oli käytössä erikseen hankittu vakuumpumppu, Elmo Rietschle C-VLR 60, jota käytettiin koko työn ajan. Työ aloitettiin koeajamalla vakuumpumppu ja testaamalla vakuumin pitävyys ajon aikana. Sävytyspastaerien käsittely tapahtui aina saman kaavan mukaisesti. Erät ajettiin myllyllä tietyllä kaavassa annetulla spesifisellä energiamäärällä (kWh/kg), jonka jälkeen tarkistettiin hienousaste. Hienousasteen mukaan erä meni joko lisääjään tai suoraan käsiteltäväksi. Käsittely aloitettiin selvittämällä aloitusarvot muun muassa viskositeetille, ominaispainolle sekä pH-arvolle. Näiden edellä mainittujen arvojen tuli asettua tuotteelle asetettujen toleranssien sisälle. Kun erä oli viskositeetiltaan ja muiden tärkeiden arvojen suhteen rajoissa, tarkistettiin erän sävy ja värivoima, johon pystyttiin vaikuttamaan veden, sävytteiden ja jatkoaineiden avulla. Sävyä ja värivoimaa pystyttiin arvioimaan vertaamalla erää standardiin, joka tapahtui spektrofotometrin eli sävymittarin avulla.

Jokaista vakuumijauhettua erää vertailtiin aikaisempiin ilman vakuumia jauhettuihin eriin. Vertailussa otettiin huomioon tuotteen viskositeetti, ominaispaino, hienonnusaste, värivoima, sävy, pH sekä saanto. Jokaisesta erästä tehtiin aina 2 - 4 vedosta tuotesarjasta riippuen eri maaleihin sävyn ja värivoiman selvittämiseksi. Nämä vedokset tehtiin punnitsemalla tietty määrä tutkittavaa erää ja sitä vastaavaa standardia pieniin purkkeihin, lisäämällä purkkeihin perusmaalia, sekoittamalla purkit hyvin ja vetämällä vedokset vedospapereille. Tehdyt vedokset kuivattiin uunissa ja kuivettuaan ne mitattiin spektrofotometrillä eli sävymittarilla. Näiden vedosten perusteella tehtiin tuotteiden säädöt sekä lopullinen hyväksyminen. Vedoksissa vertailukohteena oli aina saman tuotteen standardi.

## 11 Tutkimustulokset

Tässä kappaleessa on esitelty työssä saadut tutkimustulokset. Rajallisen ajan vuoksi vakuumiajoja saatiin tehdyksi noin 20 kappaletta, mutta näidenkin avulla saatiin tarpeeksi laaja skaala päätelmien tekemiseksi. Vakuumiajoja tehtiin monelle eri sävytyspasta sarjalle, kuten Temacolor, Monicolor sekä muille asiakaskohtaisille tuotesarjoille. Lisäksi liitteessä 1 on määritelty jokaisen sävytyspaston pigmenttipitoisuudet alkuperäisessä ja lopullisessa tuotteessa.

Alla on esitelty tuotekohtaisesti ja tuotesarjakohtaisesti vakuumin vaikutukset käsittelyihin eriin. Jokaisesta erästä tehtiin noin 2 - 4 vetoa käyttäen apuna jokaiselle tuotteelle ominaista standardia. Vedokset mitattiin sävymittarilla ja päättelyt tehtiin alla olevan taulukon 2 avulla.

Taulukko 2. Sävymittaritaulukko

Maali		+	-
	DL	tumma	vaalea
	Da	pun	vihr
	Db	kelt	sin
sävy	dE		
	värivoima		

Arvo dE eli kokonaissävypoikkeama muodostuu erillisen kaavan mukaisesti, jossa käytetään arvoja DL, Da ja Db. dE arvo kertoo, kuinka lähellä tutkitun erän sävy on sitä vastaavan standardin sävyä. Joten mitä lähemmäksi dE arvo saadaan arvoa 0, sitä parhaiten tuote vastaa sävyltään standardia. Värivoiman ollessa 100 % se vastaa standardin värivoimaa. Kuitenkin jos tuotteen värivoima on esimerkiksi 98 %, se kertoo tuotteen olevan värivoimaltaan standardia heikompaa. Taas arvo 103 kertoo tuotteen olevan värivoimaltaan standardia vahvempaa. Näiden arvojen avulla pystytään tekemään tarvittavat päätelmät tarvittavien säätöjen kannalta ja näin mahdollistaan hyvä lopputulos tuotteelle.

## 11.1 AV

AV tuotesarjasta saatiin ajetuksi kaikkiaan kolme erää ja niistä saadut tulokset vaihtelivat huomattavasti. Alla on kerrottu saaduista tuloksista ja niistä tehdyistä päätöksistä tarkemmin.

### 11.1.1 AV 1 oranssi

Tästä tuotteesta ajettiin vain yksi erä. Vertailua aikaisempiin eriin hankaloitti, ettei OM ECO sarjasta oltu valmistettu kuin yksi aikaisempi erä. Näiden kahden kyseisen erän kesken ei ollut kaavamutoksia ja ne ajettiin samalla energiamäärällä. Käytetyissä pigmenteissäkään ei ollut havaittavissa suurta eroa, ainoastaan käytetyt pigmenttierät olivat eri.

Vertailtaessa näitä eriä keskenään, oli vakuumissa ajettu erä viskositeetiltaan suurempi, sillä ero toiseen erään oli noin 15 pykälää ja ilmaa oli tavallista vähemmän. Kuitenkin tämä saattoi johtua normaalia pidemmästä seisomisajasta, sillä ajo tapahtui jo joulukuun puolivälissä, jolloin se oli ehtinyt seistä lähes kuukauden ennen sen käsittelyn alkamista.



Taulukossa 3 on taulukoituina arvot, jotka saatiin mittaamalla eri maaleihin tehdyt vedokset erillisellä sävymittarilla. Vertailun helpottamiseksi taulukkoon on taulukoitu myös yhden edellisen erän arvot. Sävyltään vakuumierä oli hiukan parempi, mutta huomattavasti punaisempi. Värivoimaltaan erä taas oli selkeästi parempi, noin 2,5 prosenttiyksikköä voimakkaampi, vaikkakin erään tehdyt säädöt olivat lähes identtiset vertailtavan erän kanssa. Paremman värivoiman ansiosta saanto oli hiukan edellistä erää suurempi, mutta ero ei ollut kuin noin prosentinluokkaa.

Taulukko 3. Sävymittarin antamat arvot eri vedoksissa

Hyväksymismaali	vakuumierä	vertailuerä	Maali 2	vakuumierä	vertailuerä
DL	-0,05	0,12	DL	-0,03	0,02
Da	0,16	-0,25	Da	0,07	-0,10
Db	0,16	0,04	Db	0,42	0,20
sävy	0,24	0,28	sävy	0,43	0,22
värivoima	101,43	99,00	värivoima	101,85	100,60
Maali 3	vakuumierä	vertailuerä			
DL	-0,12	-0,14			
Da	0,44	0,36			
Db	0,27	0,28			
sävy	0,53	0,48			
värivoima	102,57	102,78			

Tiivistettynä tämän erän kohdalla vakuumiajo oli onnistunut ja parannusta aikaisempaan oli havaittavissa. Arveluttavaksi kysymykseksi jäi, johtuiko parannus vakuumista vai normaalia pidemmästä seisomisajasta. Tämä jäi arvelujen varaan, sillä tästä tuotteesta ei saatu ajettua toista erää vakuumissa.

#### 11.1.2 AV 2 keltainen

Tästä tuotteesta saatiin jauhettua kaksi eri vakuumierää. Vakuumista johtuen myllyajoissa oli huomattavia vaikeuksia, jotka johtuivat keltaisesta pigmentistä. Seuraamuksena oli molempien erien lisääminen, joka tämän tuotteen kohdalla on

ollut harvinaista. Positiivisena puolena oli lähes olematon määrä ilmaa molemmissa erissä ja toisessa erässä ominaispaine oli normaalia suurempi.

Molemmissa erissä käytetyt pigmentit olivat samoja kuin aikaisemmissakin ja määrät vastasivat suurelta osin toisiaan. Vakuumierien kohdalla muutosta tapahtui sävyn kohdalla. Muutokset sävyissä eivät kuitenkaan menneet parempaan suuntaan tai pysyivät lähes samankaltaisina kuin edellisissä erissä. Toiseen erään jouduttiin lisäämään viidesosa enemmän sävytteitä kuin normaalisti, joka lisää tietysti eräkohtaisia kustannuksia. Lisäksi vertailua hankaloitti toisen erän kohdalla normaalista poikkeava käsittely erään raaka-aineen saatavuuden takia. Taulukossa 4 on esiteltyinä sävymittarilta saadut arvot.

Taulukko 4. Sävymittarin antamat arvot

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuumierä1</b>	<b>vakuumierä2</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	0,05	0,05	-0,02
<b>Da</b>	-0,02	-0,28	-0,02
<b>Db</b>	0,13	-0,06	0,02
<b>sävy</b>	0,15	0,30	0,03
<b>värivoima</b>	100,20	99,29	100,25
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä1</b>	<b>vakuumierä2</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	0,00	0,04	-0,03
<b>Da</b>	0,11	-0,70	0,10
<b>Db</b>	-0,14	-0,28	-0,02
<b>sävy</b>	0,18	0,75	0,11
<b>värivoima</b>	99,33	98,51	100,13
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä1</b>	<b>vakuumierä2</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	0,02	0,06	0,00
<b>Da</b>	-0,05	-0,09	0,05
<b>Db</b>	0,02	-0,41	-0,22
<b>sävy</b>	0,06	0,42	0,22
<b>värivoima</b>	99,93	97,43	98,93

Erässä 1, jossa käytettiin samoja sävytteitä kuin aikaisemminkin, sävy pysyi lähes muuttumattomana vaikka punaisuus ja keltaisuus hieman kasvoivat. Selvä parannus tapahtui kuitenkin värivoiman suhteen, sillä jatkoaineita kului enemmän mikä taas johti suurempaan saantoon.

Erän 2 kanssa vertailu hieman hankaloitui, sillä säädön kohdalla jouduttiin poikkeamaan tavallisesta käytännöstä. Poikkeavuuden vuoksi vaikutus näkyi vahvasti tuotteen sävyssä, joten ei ole varmuutta siitä, minkälaista erästä olisi tullut normaalisti käytetyn raaka-aineen kanssa ja olisiko parannusta tapahtunut. Kuten edellisinkin vakuumierän kohdalla, tässä kohtaa saanto myös kasvoi jatkoaineiden suuremman kulutuksen vuoksi.

Näiden kahden erän perusteella voidaan olla lähes varmoja vakuumiajon sopimattomuudelle tämän tuotteen kohdalla. Vaikka tuote pysyi lähes samankaltaisena ja saannossa tapahtui positiivinen muutos, jauhatuksessa ilmenneet ongelmat ja lisääjien lisääntyminen hidastaisivat erien käsittelyä ja aiheuttaisi sitä kautta lisäkustannuksia.

## 11.2 MUC

Kuten AV sarjan kohdalla, MUC sarjastakin saatiin ajetuksi 3 eri vakuumierää. Tässäkin tapauksessa saadut tulokset olivat hyvinkin vaihtelevia, joista on tarkempi selvitys edempänä.

### 11.2.1 MUC 1 musta

MC mustan kohdalla vaikeuksia ilmeni myllyajossa, sillä pastan kiertäminen myllyllä hidastui ja lisäksi pysähtyi useaan otteeseen ylipaineeseen. Tämä saattoi johtua tuotteen paksuuntumisesta vakuumiajossa, sillä käsittelyvaiheessa pasta oli paksumpaa kuin aikaisemmin.

Taulukossa 5 on esiteltyinä saatuja sävyarvoja. Taulukosta nähdään kyseisen erän olevan sävyltään hieman normaalia parempi, mutta värivoiman ja saannon suhteen ei tapahtunut muutosta.

Taulukko 5. Eri maaleihin tehtyjen vedosten sävymittarilta saadut arvot

Hyväksymismaali	vakuumierä	vertailuerä
<b>DL</b>	0,07	-0,09
<b>Da</b>	-0,01	-0,01
<b>Db</b>	0,03	0,10
<b>sävy</b>	0,08	0,14
<b>värivoima</b>	99,50	100,60
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	0,11	0,15
<b>Da</b>	0,01	0,02
<b>Db</b>	0,04	0,09
<b>sävy</b>	0,12	0,17
<b>värivoima</b>	99,30	99,02
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	0,22	0,35
<b>Da</b>	0,00	0,02
<b>Db</b>	0,02	0,09
<b>sävy</b>	0,22	0,17
<b>värivoima</b>	98,47	99,02

Vaikka sävyssä tapahtui muutoksia parempaan suuntaan, myllyajossa ilmenneet vaikeudet hidastavat tuotteen käsittelyä ja kasvattavat läpimenoaikaa, joten vakuumiajon voidaan katsoa olevan sopimaton tämän tuotteen kohdalla.

### 11.2.2 MUC 2 punainen

Poikkeuksellisesti tästä tuotteesta saatiin ajettua kaksi vakuumierää. Tämän tuotteen kohdalla ongelmana ovat olleet hankaluudet värivoiman kanssa, johon ajateltiin saatavan apua vakuumiajon avulla. Kuitenkin nämä kaksi vakuumissa ajettua erää erosivatkin huomattavasti toisistaan. Suurin ero näiden kahden erän kesken oli toisen erän joutuminen pigmenttien lisäykseen ja toisen erän pääseminen suoraan käsittelyyn myllyajon loputtua. Selitys eroavaisuuteen oli luultavasti hieman suurempi pigmenttimäärä tai vakuumista johtuva parempi jauhautuvuus.

Huolimatta vakuumin käytöstä, erään nro 1 jouduttiin lisäämään hieman enemmän pigmenttejä. Lisäksi erä oli sävyltään selvästi huonompi kuin aikaisemmat erät ja erosi

niistä selvästi hyväksymismaalin kohdalla, vaikkakin kaava ja erään tehdyt säädöt olivat samankaltaiset. Lisäksi erä oli edellisiä erää heikompa, joten saannon kohdalla muutosta ei tapahtunut parempaan.

Edellisistä eristä poiketen pigmentinlisäykseen ei kuitenkaan joutunut toinen vakuumiajettu erä nro 2, mutta tämä erä sisälsi hieman enemmän pigmenttejä toiseen vakuumierään verrattuna. Ei ole kuitenkaan varmuutta, vaikuttiko hieman suurempi pigmenttimäärä siihen, ettei erä joutunut erilliseen pigmentinlisäykseen vai olisiko vakuumista ollut tässä kohtaa hyötyä. Tämä kyseinen erä kuitenkin poikkesi sävyllisesti aikaisemmista eristä, sillä sen punaisuus oli kasvanut huomattavasti. Taulukossa 6 on esiteltyä molempien vakuumierän ja tavallisen erän sävymittauksista saatuja arvoja.

Taulukko 6. Sävymittauksien tulokset

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuumierä1</b>	<b>vakuumierä2</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	0,06	-0,11	-0,05
<b>Da</b>	-0,40	0,38	-0,20
<b>Db</b>	-0,23	0,10	-0,10
<b>sävy</b>	0,47	0,41	0,23
<b>värivoima</b>	99,41	101,06	100,49
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä1</b>	<b>vakuumierä2</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	-0,15	-0,10	-0,15
<b>Da</b>	-0,56	-0,28	-0,51
<b>Db</b>	-0,36	0,08	-0,41
<b>sävy</b>	0,68	0,31	0,67
<b>värivoima</b>	101,57	101,00	101,55
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä1</b>	<b>vakuumierä2</b>	<b>vertailuerä</b>
<b>DL</b>	-0,17	-0,42	-0,22
<b>Da</b>	0,36	1,15	0,58
<b>Db</b>	0,07	0,28	0,10
<b>sävy</b>	0,41	1,20	0,63
<b>värivoima</b>	101,57	103,97	102,04

Näistä kahdesta erästä saatavien tuloksien perusteella, vakuumiajolla saattaisi olla positiivisia vaikutuksia ja näin ollen vakuumiajoa kannattaisi kokeilla jatkossakin.

### 11.3 TC W

TC pastasarja on Chromaflon Vantaan tehtaan tuotesarjoista se ongelmallisin, sillä niiden kohdalla ilman muodostuminen jauhatuksen aikana on herkempää ja niitä joudutaankin hyvin usein lisääjamaan. Näitä pastoja saatiin ajettua yhteensä viisi kappaletta ja alla on esiteltyinä sävytyspastakohtaisesti vakuumin tuomia vaikutuksia näihin eriin.

#### 11.3.1 TC W 1 violetti

Vaikka tästä tuotteesta onnistuttiin ajamaan vain yksi vakuumierä, muutoksen huomasi heti alussa. Poiketen edellisistä eristä, tämä erä ei joutunut lisääjään, joten voidaan siis katsoa vakuumista olevan hyötyä tässä kohtaa.

Taulukossa 7 on esiteltyinä kahteen eri maaliin tehtyjen vedosten sävytulokset. Tarkasteltaessa arvoja taulukosta, huomataan sävyn olevan hyväksymismaalissa hieman normaalia parempi verratessa vakuumierää edellisiin eriin. Lisäksi vakuumierä oli hieman edellisiä eriä paksumpaa, mikä johti veden hieman suurempaan kulutukseen. Suuremman vedenkulutuksen ansiosta saannossa näkyi pieni parannus, mutta pigmenttipitoisuus oli taas hieman suurempi. Myös ominaispainoissa oli eroja, sillä kyseinen erä oli ominaispainoltaan pykälän suurempi.

Taulukko 7. Sävymittarilta saadut tulokset eri vedoksista

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,16	-0,15	-0,05
<b>Da</b>	0,29	0,33	0,33
<b>Db</b>	-0,19	-0,34	-0,15
<b>sävy</b>	0,38	0,50	0,36
<b>värivoima</b>	101,48	101,37	100,44
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,09	-0,13	0,01
<b>Da</b>	0,38	0,31	0,33
<b>Db</b>	0,07	-0,03	0,20
<b>sävy</b>	0,39	0,34	0,38
<b>värivoima</b>	100,72	101,02	99,90

Edellä esiteltyjen asioiden perusteella voidaan katsoa vakuumijauhatuksella olevan hyötyä tämän tuotteen kohdalla, sillä tuotteen läpimenoaika lyhenee kun tuotetta ei tarvitse lisääjää eikä ilmata erikseen useaan otteeseen. Lisäksi pienikin parannus saannossa on aina edullinen asia, vaikka pigmenttipitoisuus (liite 1) olikin hiukan korkeampi.

### 11.3.2 TC W 2 punainen

Tämän tuotteen kohdalla näkyi selvä muutos vakuumissa ja ei-vakuumissa ajettujen erien välillä. Yleensä lisääjään mennyt pasta ei vakuumin ansiosta mennyt lisääjään eikä sitä tarvinnut lainkaan säätää edellisten erien tapaan. Tämä tietysti lyhentää huomattavasti tuotteen läpimenoaikaa ja helpottaa käsittelyä.

Taulukossa 8 on taulukoituina sävyarvoja kolmelle eri erälle: vakuumierälle ja kahdelle muulle erälle. Sävyltään ja värivoimaltaan kyseinen tuote on todella lähellä standardia ja haluttuja arvoja. Suurena etuna on, ettei myöskään sävytteitä jouduttu käyttämään, kuten vertailuerässä nro 1. Tietysti käyttämällä jatkoaineita, lopullista tuotetta saataisiin enemmän ja tällöin saantokin olisi parempi.

Taulukko 8. Sävymittarilta saadut tulokset

Hyväksymismaali	vakuumierä	vertailuerä1	vertailuerä2
DL	-0,04	-0,03	-0,05
Da	-0,04	0,36	0,15
Db	0,03	0,00	0,07
sävy	0,07	0,36	0,17
värivoima	100,42	100,24	100,44
Maali 2	vakuumierä	vertailuerä1	vertailuerä2
DL	-0,02	-0,02	0,05
Da	-0,09	-0,63	-0,12
Db	-0,07	-0,14	0,02
sävy	0,12	0,64	0,13
värivoima	100,19	100,22	99,49

Rajallisten resurssien vuoksi ja tilausten puuttumisen vuoksi tästä tuotteesta ei pystytty ajamaan toista erää saatujen tulosten varmistamiseksi. Toisin sanoen ei pystytty varmistamaan, johtuiko näin suuri parannus vakuumista vai oliko tämä sattumaa.

### 11.3.3 TC W 3 vihreä

Poiketen muista vakuumissa ajetuista TC pastoista, tämä tuote jouduttiinkin lisääjamaan. Tämän tuotteen kohdalla lisääjot ovat olleet yleisiä, mutta tämän erän perusteella vakuumista ei ole tässä kohtaa hyötyä jauhautuvuuden suhteen. Erona muihin eriin kyseinen erä oli huomattavasti paksumpaa kuin aikaisemmin ja eroa oli jopa 20 pykälää.

Huolimatta lisääjään joutumisesta, vedenkulutus oli moninkertaisesti suurempi johtuen normaalia korkeammasta viskositeetista. Paremman värivoiman ansiosta, saantokin kasvoi noin 9 %:lla, joka on tietysti tässä kohtaa erittäin myönteinen asia. Sävyltään vakuumissa ajettu erä ei yltänyt yhtä hyviin lukemiin aikaisempien erien kanssa, kuten taulukosta 9 nähdään. Osaltaan tähän vaikutti tavallisesti käytetyn raaka-aineen huono saatavuus.

Taulukko 9. Sävymittarin tulokset kolmelle erälle

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,06	0,04	0,02
<b>Da</b>	-0,20	-0,08	-0,22
<b>Db</b>	-0,38	-0,36	-0,25
<b>sävy</b>	0,43	0,37	0,34
<b>värivoima</b>	100,54	99,63	99,77
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,01	0,05	-0,01
<b>Da</b>	0,40	0,09	0,27
<b>Db</b>	-0,24	-0,18	-0,21
<b>sävy</b>	0,47	0,21	0,34
<b>värivoima</b>	100,04	99,60	100,04



Loppujen lopuksi saannon paraneminen 9 %:lla antaa syyn vakuumin käyttämiselle jatkossa vaikka mahdollisuus lisääjään joutumiselle toki on.

#### 11.3.4 TC W 4 oranssi

Kuten aikaisemmillä TC pastoilla, tämänkin erän kohdalla voidaan olettaa vakuumilla olevan vaikutusta. Tässäkin tapauksessa hyvin usein lisääjään joutuva pasta ei tällä kertaa mennyt lisääjään. Kaavamuutoksia tai suurempia pigmenttimääriä ei tämän erän kohdalla käytetty, joten ne eivät selitä parempaa jauhautuvuutta. Tässä kohden voidaan olettaa vakuumilla olevan vaikutusta pigmenttien parempaan jauhautumiseen.

Parannusta sävyssä oli huomattavissa hyväksymismaalin kohdalla verraten aikaisempiin eriin, vaikka eriin tehdyt säädöt vastasivatkin toisiaan. Tämä voidaan myös päätellä taulukossa 10 esitetyillä arvoilla. Ainoana huonona puolena oli maaliin 2 tehdyn vedoksen punaisuuden lisääntyminen. Vertailua kuitenkin hankaloittivat suuret erot ei-vakuumijauhettujen erien kesken, sillä mitään tarkkaa suuntaa aikaisempien erien kesken ei ollut. Paremman sävyn lisäksi vakuumierä oli tavallista paksumpaa ja veden kulutus tässä kohtaa oli siksi hieman suurempi.

Taulukko 10. Sävytulokset taulukoituina

Hyväksymismaali	vakuumierä	vertailuerä1	vertailuerä2
DL	-0,04	0,11	0,20
Da	0,27	-0,10	-0,06
Db	0,16	0,42	0,39
sävy	0,32	0,44	0,44
värivoima	100,96	100,98	100,19
Maali 2	vakuumierä	vertailuerä1	vertailuerä2
DL	-0,01	0,24	0,21
Da	0,94	0,72	0,57
Db	-0,24	0,18	0,09
sävy	0,98	0,78	0,62
värivoima	99,13	99,03	98,92

Saantoon vakuumin vaikutukset eivät täysin ylittäneet, sillä saannossa tapahtui vain pieni parannus. Erien ollessa hyvinkin erilaisia, saanto riippui paljolti siitä mihin erään

verrattiin. Joissakin saanto pysyi samana ja joissain se kasvoi hiukan, mutta voidaan yleisesti katsoa, ettei vakuuissa jauhettu erä ollut saannoltaan muista eroava.

### 11.3.5 TC W 5 sininen

Aikaisemmin esitellyn samaan tuotesarjaan kuuluvan TC W 3 vihreän tapaan, tämän tuotteen kohdalla vakuuista ei ollut hyötyä paremman jauhautumisen suhteen. Tämä ei toisaalta tullut yllätyksenä, sillä lähes jokainen aikaisempi erä oli jouduttu lisääjamaan erikseen. Huolimatta lisääjään joutumisesta, vakuuierässä oli huomattavissa muita parannuksia. Saman verran pigmenttejä sisältävät vertailuerät olivat selvästi värivoimaltaan heikompia kuin tämä vakuuierä, joka johti suurempaan jatkoaineiden kulutukseen vakuuierässä. Näiden jatkoaineiden kulutuksen kasvaminen johtikin noin 4 % saannon kasvuun.

Kuten alla olevasta taulukosta 11 nähdään, kahden vertailuerän välillä on selvää eroa ja tämä tietysti hankaloittaa päättelyä vakuuierän suhteen. Kuitenkin vakuuierä oli näiden kahden vertailuerän väliltä ja saannossa tapahtunut muutos ovat hyviä perusteluita vakuumin käytön jatkamiselle tämänkin tuotteen kohdalla.

Taulukko 11. Sävytulokset taulukoituina

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuuierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,11	-0,10	0,13
<b>Da</b>	-0,20	-0,14	0,27
<b>Db</b>	0,07	-0,08	-0,16
<b>sävy</b>	0,24	0,19	0,34
<b>värivoima</b>	100,95	100,81	98,86
<b>Maali 2</b>	<b>vakuuierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	0,09	-0,05	-0,01
<b>Da</b>	-0,31	-0,10	0,55
<b>Db</b>	0,66	0,23	-0,81
<b>sävy</b>	0,74	0,26	0,97
<b>värivoima</b>	99,35	100,37	100,11

## 11.4 MC

### 11.4.1 MC 1 punainen

Poikkeuksellisesti vakuuissa ajettu MC punainen jouduttiin lisääjamaan vaikka kyseinen tuote on hyvin harvoin joutunut lisääjään. Taulukosta 12 voidaan nähdä vakuuierän olevan tavallista punaisempi, mikä johti erilaisten raaka-aineiden käyttämiseen. Tämä tietysti lisää eräkohtaisia kustannuksia.

Verratessa vakuuierää ja vertailuerää nro 1 toisiinsa, vakuuierä oli huomattavasti voimakkaampaa ja jatkoaineiden kulutus lähes kolminkertaistui. Saantoon tämä vaikutti 6 % saannon paranemisella. Myös vertailuerä nro 1 oli lisääjettu, kaavaltaan samanlainen sekä pigmenttimäärät olivat samat, joka tietysti helpotti vertailua näiden kahden erän välillä. Vakuuierän vertaaminen toiseen tavalliseen erään oli hieman haasteellista, sillä näiden välillä oli käytetty eri pigmenttejä.

Taulukko 12. Kolmen erän sävytulokset

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuuierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	0,12	-0,15	-0,11
<b>Da</b>	0,43	0,30	-0,06
<b>Db</b>	0,15	0,14	0,02
<b>sävy</b>	0,47	0,36	0,13
<b>värivoima</b>	101,17	101,45	101,02
<b>Maali 2</b>	<b>vakuuierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	0,04	-0,04	-0,16
<b>Da</b>	-0,11	0,14	-0,37
<b>Db</b>	0,16	0,20	-0,03
<b>sävy</b>	0,20	0,25	0,41
<b>värivoima</b>	99,55	100,43	101,62
<b>Maali 3</b>	<b>vakuuierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,10	-0,21	-0,07
<b>Da</b>	0,57	0,44	-0,06
<b>Db</b>	-0,05	0,10	-0,04
<b>sävy</b>	0,58	0,50	0,10
<b>värivoima</b>	100,89	101,92	100,63

## 11.4.2 MC 2 musta

Tästä tuotteesta saatiin ajettua yksi erä, mutta ongelmilta ei tämän erän kanssa vältytty. Kyseisiä ongelmia ilmeni heti alussa, sillä pastan kiertämisessä myllyllä oli suuria vaikeuksia. Lisäksi lämpötilan nousu myllyllä aiheutti tehojen laskemisen. Huonompi jauhautuvuus näkyikin erän värivoimassa, sillä se oli tavallista heikompaa pigmenttimäärien pysyessä kuitenkin samana. Lisäksi vakuumerä oli normaalia karkeampaa vaikka erä ajettiin samalla energiamäärällä kuin aikaisemminkin.

Sävyltään vakuumerä oli täysin samanlaista kuin aikaisemminkin, joka voidaan nähdä katsomalla taulukon 13 arvoja. Tutkittu erä oli ominaispainoltaan suurempi, vaikka ominaispainoa yleensä nostavia jatkoaineita meni tavallista vähemmän. Tämä tarkoittaa erässä olevan tavallista vähemmän ilmaa. Jatkoaineiden pienempi kulutus vaikutti myös laskevaan saantoon, joka ei ymmärrettävästi ollut toivottu asia.

Taulukko 13. Pastan sävyarvot ja värivoima

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuumerä</b>	<b>vertailuerä1</b>
<b>DL</b>	0,04	-0,12
<b>Da</b>	-0,02	0,00
<b>Db</b>	-0,04	-0,03
<b>sävy</b>	0,06	0,12
<b>värivoima</b>	99,72	100,80
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumerä</b>	<b>vertailuerä1</b>
<b>DL</b>	-0,02	-0,10
<b>Da</b>	-0,03	-0,03
<b>Db</b>	-0,03	-0,02
<b>sävy</b>	0,05	0,10
<b>värivoima</b>	100,14	100,63
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumerä</b>	<b>vertailuerä1</b>
<b>DL</b>	0,29	0,06
<b>Da</b>	-0,04	-0,01
<b>Db</b>	0,01	0,00
<b>sävy</b>	0,29	0,06
<b>värivoima</b>	97,97	99,59

Edellä mainituista seikoista voidaan päätellä vakuumin olevan epäsopeva tämän

tuotteen kohdalla, sillä vaikeudet ajon aikana hidastavat tuotteen jauhautumista sekä käsittelyä ja sitä kautta koko prosessia. Joten ajatellen parasta mahdollista laatua, tulisi tässä tapauksessa pysyä ennen käytetyssä jauhatustekniikassa.

#### 11.4.3 MC 3 violetti

Kuten edellisen MC mustan kohdalla, tämänkin tuotteen kohdalla ilmeni ongelmia heti alussa. Vakuumierä kiersi 2 - 3 tuntia myllyllä, jonka jälkeen se pysähtyi ja ainoana keinona oli vakuumin pysäyttäminen ja myllyn käynnistäminen uudestaan. Nämä edellä mainitut vaikeudet tietysti hidastivat erän jauhautumista ja käsittelyn alkamista.

Myllyllä havaittujen ongelmien lisäksi, vakuumierä oli edellisiä eriä heikompaa ja näin ollen saannossa ei tapahtunut muutosta kasvusuuntaan. Lisäksi kaavamuutoksia tai suurta eroa käytetyissä pigmenteissä ei ollut näiden erien välillä, jotka olisivat voineet selittää heikompaa jauhautuvuutta tai värivoimaa. Tarkasti ajatellen vakuumierän pigmenttipitoisuus oli jopa hieman edellisiä eriä suurempi. Taulukossa 14 on vielä esiteltyä kolmen eri erän sävyarvoja.

Taulukko 14. Sävyarvot taulukoituina

Hyväksymismaali	vakuumierä	vertailuerä1	vertailuerä2
<b>DL</b>	-0,06	-0,07	0,02
<b>Da</b>	-0,02	-0,19	-0,10
<b>Db</b>	-0,26	-0,45	-0,33
<b>sävy</b>	0,27	0,49	0,35
<b>värivoima</b>	100,61	100,73	99,77
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	0,03	0,09	0,15
<b>Da</b>	0,12	0,021	0,14
<b>Db</b>	-0,47	-0,83	-0,77
<b>sävy</b>	0,49	0,86	0,77
<b>värivoima</b>	99,74	99,26	98,80
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	0,11	0,10	0,09
<b>Da</b>	0,04	-0,08	-0,11
<b>Db</b>	-0,05	-0,06	-0,09
<b>sävy</b>	0,13	0,14	0,17
<b>värivoima</b>	98,78	98,93	99,00

#### 11.4.4 MC 4 musta2

Samaa linjaa muiden MC pastojen kanssa jatkaa tämä kyseinen musta sävytyspasta. Eriä tästä tuotteesta saatiin ajettua poikkeuksellisesti kaksi. Yhteisenä tekijänä näiden kahden vakuumierän välillä oli myllyajossa ilmenneet vaikeudet pastan kiertämisen suhteen. Molemmissa erissä käytettiin saman verran pigmenttejä kuten aikaisemminkin eikä erillisiä kaavamuutoksia ollut.

Ongelmat jauhatuksessa selittävät osaltaan toisen erän joutumisen lisääjoon, vaikkakin tätä tuotetta harvoin näkee lisääjossa. Lisäksi tuote oli värivoimaltaan ja sävyltään yhtenäistä aikaisemmin tehtyjen erien kanssa. Erä oli kaikin puolin samanlainen ei-vakuumijauhettujen erien kanssa lukuun ottamatta lisääjoo. Myöskään saannossa ei ollut tapahtunut muutoksia kumpaankaan suuntaan, vaikka vertailuissa joihinkin eriin, vakuumierän saannossa oli havaittavissa jopa pientä laskua.

Erona toiseen vakuumierään, toista vakuumissa ajettua erää ei onneksi tarvinnut lisääjaa. Ominaispainoltaan tämä kyseinen erä oli hieman suurempi, joten ilmaa oli tiettävästi vähemmän. Lisäksi vertaillessa tätä erää joihinkin aikaisempiin eriin oli huomattavissa pientä värivoiman paranemista. Kuitenkin erissä oli keskenään todella paljon eroja, joka tiettävästi hankaloitti vertailua vakuumi- ja ei-vakuumierien kesken. Taulukossa 15 on yhteenvetona molempien erien ja kahden tavallisen erän sävytuloksia.

Taulukko 15. MC 4 pastan sävyarvot taulukoituina

Hyväksymismaali	vakuumierä1	vakuumierä2	vertailuerä1	vertailuerä2
<b>DL</b>	-0,16	-0,11	-0,14	-0,16
<b>Da</b>	0,07	0,06	0,04	0,03
<b>Db</b>	0,10	-0,06	0,10	-0,07
<b>sävy</b>	0,20	0,14	0,18	0,18
<b>värivoima</b>	101,45	101,06	101,34	101,49
Maali 2	vakuumierä1	vakuumierä2	vertailuerä1	vertailuerä2
<b>DL</b>	-0,12	-0,10	-0,04	-0,11
<b>Da</b>	0,07	0,05	0,05	0,03
<b>Db</b>	0,13	-0,05	0,09	-0,11
<b>sävy</b>	0,19	0,12	0,11	0,16
<b>värivoima</b>	100,95	100,78	100,32	100,89
Maali 3	vakuumierä1	vakuumierä2	vertailuerä1	vertailuerä2
<b>DL</b>	-0,15	-0,09	-0,23	-0,12
<b>Da</b>	0,08	0,04	0,04	0,02
<b>Db</b>	0,12	0,03	0,10	-0,04
<b>sävy</b>	0,21	0,11	0,25	0,12
<b>värivoima</b>	101,63	101,02	102,50	101,28

Näiden kahden vakuumissa ajetun erän perusteella olisi kannattavampaa pitäytyä jauhatuksessa ilman vakuumia, sillä muutosta parempaan suuntaan ei kuitenkaan tapahtunut.

#### 11.4.5 MC 5 purppura

Viimeisenä MC tuotesarjasta on hieman väriltään marjapuuroa muistuttava pasta. Erien välillä ei tehty kaavamuutoksia ja pigmenttimäärätkin olivat pysyneet samoina, mikä toki helpottaa erien keskinäistä vertailua. Vakuumissa ajettu erä oli ominaispainoltaan selvästi suurempi, joten ilmaa oli tavallista vähemmän. Poiketen muista aikaisemmista eristä oli vakuumierä tavallista ohuempaa, mutta joihinkin eriin nähden värivoimaltaan voimakkaampaa. Kuten aikaisemmissakin tuotteissa, myös tässä tapauksessa erien keskinäiset erot vaikeuttivat vakuumi- ja ei-vakuumierien välistä vertailua.

Sävyltään vakuumierä oli hiukan parempaa, joka voi selittyä paremmalla jauhautuvuudella. Muutoksia värivoiman suhteen oli hankala arvioida, sillä aikaisemmat

erät olivat keskenään hyvinkin erilaisia. Joihinkin eriin verrattuna värivoima ja saanto kasvoivat ja joissakin tapauksissa muutosta ei tapahtunut. Taulukossa 16 on esitetty vakuumi- ja ei-vakuumierien sävytuloksia kolmessa eri maalissa.

Taulukko 16. MC 5 saadut sävvarvot

Hyväksymismaali	vakuumierä	vertailuerä1	vertailuerä2
<b>DL</b>	-0,02	0,03	-0,03
<b>Da</b>	0,36	0,28	0,35
<b>Db</b>	-0,18	-0,20	-0,39
<b>sävy</b>	0,40	0,34	0,52
<b>värivoima</b>	100,21	99,70	100,26
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,27	-0,08	-0,21
<b>Da</b>	-0,08	0,35	0,20
<b>Db</b>	-0,04	-0,08	-0,39
<b>sävy</b>	0,29	0,37	0,49
<b>värivoima</b>	102,15	100,60	101,63
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,02	0,23	0,09
<b>Da</b>	0,15	-0,26	0,04
<b>Db</b>	-0,01	0,10	-0,14
<b>sävy</b>	0,16	0,37	0,17
<b>värivoima</b>	100,20	97,81	99,15

#### 11.4.6 MC 6 keltainen

Tämä tuote osoittautui ongelmalliseksi jo heti alussa. Johtuen keltaisesta pigmentistä, tätä tuotetta ei onnistuttu ajamaan vakuumissa. Syynä oli tuotteen liiallinen paksuuntuminen myllyssä vakuumin ollessa päällä, jolloin pastan pyöriminen myllyssä estyi kokonaan.



## 11.5 CR

CR sävytyspastoista onnistuttiin ajamaan vain kaksi erää, joissa molemmissa oli suuria ongelmia pastan pyörimisen suhteen. Edempänä on kerrottuna näistä tarkemmin lisää.

### 11.5.1 CR 1 sininen

Tässä sävytyspastassa oli suuria ongelmia vakuumiajossa, minkä johdosta ajo täytyi keskeyttää. Syynä ajossa ilmenneisiin ongelmiin oli pastan paksuuntuminen vakuumin ollessa päällä, jolloin pastan kiertäminen pakissa estyi lähestulkoon täysin.

### 11.5.2 CR 2 punainen

Kuten edellä mainittiin, CR tuotteiden kanssa ilmeni jo jauhatusvaiheessa suuria ongelmia. Yleensä lisääjon välttänyt tuote jouduttiinkin tällä kertaa lisääjamaan, sillä se ei vastannut sille asetettua jauhatusastetta. Lisäksi jauhatuksen aikana oli muitakin ongelmia muun muassa pastan pyörimisessä. Punaisten sävytyspastojen liika ajamisessa on aina riskinsä, sillä niiden punaisuus kasvaa liialti eli niitä tulee niin sanotusti liian puhtaita, jolloin niihin joudutaan lisäämään erilaisia raaka-aineita punaisuuden vähentämiseksi.

Huolimatta ongelmista ajossa, taulukossa 17 esitetyistä arvoista voidaan nähdä vakuumierän sävyn olevan huomattavasti lähempänä haluttua, verrattuna tavallisiin eriin. Suurin muutos näkyy maaliin 2 tehdyn vedoksen sävyssä. Parempi sävy voi selittyä loppujen lopuksi paremmalla jauhautuvuudella, mutta vakuumierää jouduttiinkin jauhamaan määrällisesti paljon kauemmin. Tämä ei tietenkään ole jatkoa ajatellen edullista ja se on lisäksi aikaa vievää.

Taulukko 17. CR 2 sävyarvot

<b>Hyväksymismaali</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,08	-0,11	0,12
<b>Da</b>	0,20	-0,21	-0,36
<b>Db</b>	0,05	0,24	-0,11
<b>sävy</b>	0,22	0,33	0,40
<b>värivoima</b>	100,74	101,05	98,95
<b>Maali 2</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,05	-0,32	-0,33
<b>Da</b>	-0,15	-0,79	-1,58
<b>Db</b>	-0,32	-0,95	-1,13
<b>sävy</b>	0,35	1,27	1,97
<b>värivoima</b>	100,50	103,29	103,14
<b>Maali 3</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,28	-0,06	-0,06
<b>Da</b>	0,36	-0,38	-0,26
<b>Db</b>	0,15	0,37	-0,09
<b>sävy</b>	0,48	0,54	0,28
<b>värivoima</b>	102,44	100,56	100,50
<b>Maali 4</b>	<b>vakuumierä</b>	<b>vertailuerä1</b>	<b>vertailuerä2</b>
<b>DL</b>	-0,12	0,08	0,49
<b>Da</b>	0,44	-0,33	-1,16
<b>Db</b>	-0,14	-0,01	0,14
<b>sävy</b>	0,47	0,34	1,27
<b>värivoima</b>	101,05	99,29	95,72

Paremmen sävyn lisäksi vakuumierä oli selvästi paksumpaa ja vedenkulutus olikin tässä tapauksessa lähes kolminkertainen edellisiin eriin nähden. Näiden tutkimuksista saatujen tulosten perusteella voisi olettaa vakuumin käytön olevan hyödytöntä tämän CR tuotteen tapauksessa.

## 12 Yhteenveto

Alla olevassa taulukossa 18 on yhteenveto kaikista vakuumijauetuista eristä sekä vakuumin tuomista mahdollisista hyödyistä ja parannuksista. Parannukset on merkitty (+) merkillä ja lisääjään joutuminen (x) merkillä. Lisäksi taulukkoon on merkitty, soveltuuko vakuumijauhatusta kyseiseen tuotteeseen vai ei. Vakuumin soveltavuudessa on otettu kaikki asiat huomioon, ei ainoastaan taulukossa esitettyjä parannuksia. Vaikka parannusta olisikin tapahtunut monella osa-alueella ja taulukon mukaan vakuumi ei kuitenkaan soveltuisi kyseiseen tuotteeseen, tällöin lopputulokseen ovat vaikuttaneet muut huomioon otettavat asiat, kuten vaikeudet ajettavuudessa.

Taulukko 18. Yhteenveto tutkimuksessa esiintyvistä pastaeristä

### YHTEENVETO VAKUUMIERISTÄ

#### Parannukset ei-vakuumi eriin verrattuna

Pasta	Eränumero	Värivoima	Sävy	Ominaispainon kasvu	Paksumpaa	Lisäajo	Saanto	Suosittelavaa käyttää vakuumia
AV 1 oranssi		+	+		+		+	kyllä
AV 2 keltainen 1		+		+		x	+	ei
AV 2 keltainen 2		+			+	x	+	ei
MUC 1 musta			+		+			ei
MUC 2 punainen 1						x		ei
MUC 2 punainen 2				+	+			kyllä ja ei
TC W 1 violetti		+	+	+	+		+	kyllä
TC W 2 punainen		+	+					kyllä
TC W 3 vihreä		+			+	x	+	kyllä
TC W 4 oranssi			+	+	+		(+)	kyllä
TC W 5 sininen		+		+		x	+	kyllä
MC 6 keltainen		-	-	-	-	-	-	-
MC 1 punainen		+				x	+	kyllä ja ei
MC 2 musta				+				ei
MC 3 violetti								ei
MC 4 musta2 1						x		ei
MC 4 musta2 2		(+)		+			(+)	ei
MC 5 purppura		(+)	(+)	+			(+)	kyllä ja ei
CR 2 punainen			+		+	x		ei
CR 1 sininen		-	-	-	-	-	-	-

(+) = Tuloksista ei olla varmoja, johtuen ei-vakuumierien keskinäisistä eroavaisuuksista

Vertailua vakuumi ja ei-vakuumi erien välillä hankaloittivat erilaiset vaihtuvat olosuhteet sekä sellaisten parametrien muutokset, joihin ei pysty aina vaikuttamaan, esimerkiksi normaalia pidemmät seisomisajat. Täysin realistisia tuloksia ei saada, jos seisomisaika on tavallista pidempi. Tämä selittyy pastoissa käytetyillä kostuttimilla, jotka pidemmän seisomisajan vuoksi vaikuttavat pastassa oleviin pigmentteihin ja muihin aineisiin tällöin pidempään.

### **13 Johtopäätökset**

Tutkimuksista saatujen tulosten perusteella voidaan todeta vakuumijauhatuksesta saatavien hyötyjen riippuvan täysin jauhattavasta sävytyspastasta. Joidenkin pastojen kohdalla vakuumin käyttö aiheutti ongelmia heti jauhatusvaiheessa ja näin ollen joitakin eriä ei saatu lainkaan dispergoituiksi. Kuitenkin osassa näkyi selvää muutosta parempaan, jonka pystyi havaitsemaan muun muassa saannon ja värivoiman paranemisessa. Kuitenkin yhteisenä tekijänä näiden tutkimuserien kesken voidaan sanoa ilman määrän vähentyneen vakuumin ansiosta.

Vakuumieriä ajettiin monesta eri sävytyspastasarjasta ja vakuumin vaikutus näkyi selvimmin TC W tuotesarjan kohdalla. TC W sarjan suurimpina ongelmina ovat olleet lisäajojen yleistyminen sekä ilmakuplien muodostuminen jauhatuksen aikana. Näihin seikkoihin saatiin kuin saatiinkin muutosta ja se näkyi lisäajojen selvällä vähenemisellä.

Vakuumin hyödyt eivät kuitenkaan yltäneet keltaisia ja mustia pigmenttejä sisältäviin sävytyspastoihin, joiden kanssa oli jo myllyajoissa suuria hankaluuksia. Toisin sanoen vakuumijauhatuksen voidaan katsoa olevan näiden perusteella soveltumaton keltaisten ja mustien pigmenttien käytön yhteydessä.

Yleisesti voidaan sanoa, että niissä sävytyspастоissa, joissa on jo aiemmin ollut vaikeuksia jauhatuksen kanssa, alipaineessa niissä on vieläkin enemmän hankaluuksia ja eivätkä ne tällöin sovellu vakuumijauhatukseen. Kaikkien esitettyjen tulosten perusteella olisi hyödyllistä jatkaa niiden pastojen tutkimuksia, joiden kanssa ei saatu täysin varmoja tuloksia näiden testien perusteella. Kuitenkin TC W sarja näyttäisi olevan näistä tuotesarjoista se, jossa vakuumijauhatusta kannattaisi ainakin hyödyntää.

## 14 Lähteet

1. Chromaflo Technologies Oy, kotisivut, <http://www.chromaflo.com>, Luettu 8.1.2015
2. Holger Alen ja Opetushallitus, 1999, Maalit ja niiden käyttö, Helsinki, s. 10-14; 24
3. Viuhkola Ville, 2011, Pigmenttien hienojauhatusta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
4. Saarinen Anna, 2010, Dispergointimenetelmien vertaaminen maalin valmistuksessa, Metropolia AMK
5. Konttinen H., 2007, Kalsiumsulfaattipigmenttien helmijauhatusta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
6. Pihkala Juhani ja Opetushallitus, 2007, Prosessitekniikan yksikköprosessit, Helsinki, s.8-15
7. Tikka Teemu, 2003, Uuden laboratoriomenetelmän kehittäminen ja soveltaminen titaanioksidipigmentin märkäjauhatukseen, Satakunnan AMK
8. Lukkarinen Toimi, 1985, Mineraalitekniikka osa 1; Mineraalien hienonnuksessa, Insinööritieto Oy
9. Hukki R.T., 1964, Mineraalien hienonnuksessa ja rikastuksessa, Keuruu, s. 169–204, 207–209
10. Puusaari Anni, 2013, Märkäjauhatuskokeet titaanioksidille, Satakunnan AMK
11. Melanen Tuomas, 2013, Helmimyllyn toimintaparametrien vaikutus jauhautuvuuteen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
12. Umrath Walter, 2007, Fundamentals of Vacuum Technology, Cologne, s. 20-35
13. Elmo Rietschle, C-VLR 60 Original Operating Instructions, [http://www.gd-elmorietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content\\_C/VLR/BA880-EN.pdf](http://www.gd-elmorietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content_C/VLR/BA880-EN.pdf), Luettu 1.3.2015

## 15 Liitteet

### Liite 1. Sävytyspастоjen pigmenttipitoisuudet

#### PIGMENTTIPITOISUUDET

PASTA	ERÄ	ALKUPERÄISESSÄ		LOPULLISESSA TUOTTEESSA (KORJAUKSIEN KANSSA)	
		VAKUUMIERÄ (%)	VERTAILUERÄ 1 (%)	VAKUUMIERÄ (%)	VERTAILUERÄ 1 (%)
AV 1		7,67	7,49	6,59	6,48
AV 2 1		17,35	17,30	13,42	13,94
AV 2 2		17,57	17,30	13,56	13,94
MUC 1		28,09	30,61	25,75	27,98
MUC 2 1		39,24	38,87	37,07	36,67
MUC 2 2		40,87	43,21	37,11	36,09
TC W 1		29,07	25,60	25,21	22,80
TC W 2		37,50	38,16	37,50	35,35
TC W 3		44,63	43,93	37,60	39,62
TC W 4		42,65	42,00	33,15	33,71
TC W 5		46,30	46,15	36,99	39,58
MC 1		43,03	43,03	38,48	40,77
MC 2		40,78	39,48	38,08	36,08
MC 3		42,89	40,91	38,07	34,58
MC 4 1		6,37	6,40	5,65	5,78
MC 4 2		6,38	6,48	5,74	5,94
MC 5		23,33	23,48	20,40	20,95
CR 2		39,64	39,43	36,65	37,39