

Mikael Nurminen

# Helmimyllyjen läpimenoaikojen lyhentäminen maalin valmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

11.2.2015

Tekijä(t) Otsikko	Mikael Nurminen Helmimylyjen läpimenoaikojen lyhentäminen
Sivumäärä Aika	39 sivua + 4 liitettä 11.2.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaaja(t)	Tehdaspäällikkö Kristina Månsson Lehtori Juhatuomas Vuorisalo
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Teknos Oy:lle, joka on Euroopan johtavia teollisuusmaalien valmistajia ja omaa vahvan aseman kauppa- ja rakennusmaaleissa. Työn tarkoituksena oli löytää nopeampi jauhatustapa maalin helmimylyjauhatukseen. Työn tavoitteena oli lyhentää maalin helmimylyjauhatuksen läpimenoaika.</p> <p>Kirjallisuusosassa on keskitytty maalinvalmistus prosessiin ja maalien ominaisuuksiin. Työssä on tarkemmin kerrottu jauhatuksen teoriasta ja jauhatuksessa käytettävistä laitteista.</p> <p>Työhön valittiin kolme erilaista vaikeasti jauhaantuvaa maalia A, B ja C. Maaleja tutkittiin kolmella eri jauhatustavalla a, b ja c. Maaleilla A, B ja C suoritettiin kaikilla kolmella jauhatustavalla a, b ja c kolmen toistokokeen sarja, missä määritettiin kunkin jauhatustavan läpimenoaika. Kokeet tehtiin kolmessa lohossa, mitkä oli täysin satunnaistettu, jotta saadut tulokset olisivat tilastollisesti riippumattomia. Saadut tulokset analysoitiin yksisuuntaisella (ANOVA) varianssianalyysillä. Laitteiden nimet ja maalien nimet oli muutettu, koska ne ovat merkityksellisiä asioita insinöörityön kannalta.</p> <p>Tutkimustulokset osoittivat, että jauhatustapojen a, b ja c välillä on tilastollisesti merkitsevää eroa. Tulosten perusteella helmimylyjauhatuksen läpimenoaikoja voidaan lyhentää jauhatustapaa vaihtamalla.</p> <p>Työn tavoite saavutettiin löytämällä jauhatustapa millä saadaan helmimylyjauhatuksen läpimenoaikoja lyhyemmäksi. Lisäksi saatiin hyödyllistä tietoa jatkokehityksen kannalta.</p>	
Avainsanat	Maalin valmistus, jauhatus, läpimenoaika

Author(s) Title	Mikael Nurminen How to cut down bead mills lead time
Number of Pages Date	39 pages + 4 appendices 11.2.2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Design and Operation
Instructor(s)	Kristina Månsson, Plant Manager Juhatuomas Vuorisalo, Lecturer
<p>This thesis was made for Teknos Oy, which is one of the Europe's leading suppliers of industrial coatings and has a strong position in retail and architectural coating. The purpose of this thesis was to find a quicker grinding method for bead mill grinding of paint. The objective of this thesis was to cut down the lead time of bead mill grinding.</p> <p>The literature review focuses on the process of making paint and the consistency of the paint. The theory of grinding and the grinding equipment are presented in more detail.</p> <p>Three different paints A, B, and C, were chosen for testing. The paints were studied with respect to three different methods a, b, and c, and paints A, B, C were tested with all the methods all tests were and then repeated three times. Test were made in three sections which were randomized so that the results would be statistically independent. Results were analyzed by a single factor ANOVA. The names of the paint and grinding equipment have been changed because names are not meaningful in this thesis.</p> <p>Results of the testing series proves that there are differences between methods a, b, c. On the basis of the results there is a way to cut down the lead time of bead mill grinding.</p> <p>The objective was obtained. There is a method which cuts down bead mill grinding lead time. Also, the tests gave good information for further developments.</p>	
Keywords	Paint-making, grinding, lead time

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teknos Oy	2
2.1	Teknos Oy	2
2.2	Arvot	3
2.3	Laatu ja ympäristö	3
2.4	Tuotteet	4
3	Maalien koostumus	5
3.1	Sideaineet	5
3.2	Pigmentit ja täyteaineet	5
3.3	Apuaineet	5
3.4	Liuotteet ja ohenteet	5
4	Maalin valmistus	6
4.1	Raaka-aineidenkäsittely	7
4.2	Esisekoitus	7
4.3	Jauhatus	7
4.4	Jälkisekoitus	7
4.5	Sävytys	8
4.6	Tarkastus	8
4.7	Seulonta	8
4.8	Purkitus ja valmiin tuotteen käsittely	8
5	Jauhatus	9
5.1	Energiankulutus jauhatuksessa	10
5.2	Karkea- ja hienojauhatus	12
5.3	Laitteen valinta	12
5.4	Dissolveri	14
5.5	Helmimylly	15
5.5.1	Helmimyllyn toimintaperiaate	16
5.5.2	Helmien valinta ja laatu	18
6	Kokeellinen osuus	20

6.1	Jauhatustavat	20
6.2	Maalit	22
6.3	Kokeiden suoritus	23
6.4	Maalien laboratorioskokeet	26
7	Tulosten tarkastelu ja analysointi	28
7.1	Maali A helmimyllyjauhukset	28
7.2	Maali B helmimyllyjauhukset	31
7.3	Maali C helmimyllyjauhukset	33
7.4	Virhearviointi	35
8	Yhteenveto ja johtopäätökset	36
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1. Datamatriisi	
	Liite 2. Jauhatustapojen värivoimat, maali A	
	Liite 3. Jauhatustapojen värivoimat, maali B	
	Liite 4. Jauhatustapojen värivoimat, maali C	

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee helmimyllyjen läpimenoaikojen tehostamista ja se on tehty yhteistyössä Teknos Oy:n kanssa. Teknos Oy on Euroopan johtavia teollisuusmaalien valmistajia. Teknoksella on myös vahva asema kauppa- ja rakennusmaalien valmistuksessa. Teknoksesta lisää luvussa 2.

Työn tavoitteena on helmimyllyjauhatusprosessin läpimenoaikojen lyhentäminen. Aihe on keskeinen Teknosin maalinvalmistusprosessissa, koska helmimyllyjauhatus on yksi aikaavievimmistä osista koko maalinvalmistusprosessissa. Projektissa tutkitaan helmimyllyjauhatusaika eli läpimenoaika kolmella eri jauhatustavalla ja paneudutaan siihen, eroavatko eri jauhatustapojen läpimenoajat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Jauhatus tavoista lisää luvussa 6. Ongelman ratkaisu tehostaa koko maalinvalmistusprosessia, jolloin kannattavuus kasvaa.

Tutkimus tehtiin koesuunnitelman mukaisesti. Kokeet suoritettiin kolmessa lohossa, joiden sisällä koejärjestys oli satunnaistettu, jotta saadut tulokset ovat tilastollisesti riippumattomia. Lisää koesuunnitelmasta luvussa 6.

Tavoitteena oli parantaa maalinvalmistusprosessin tehokkuutta, löytämällä parhaan ja nopeimman jauhatustavan helmimyllyjauhatuskseen. Toissijaisena tavoitteena on tarkastella koko maalinvalmistusprosessia ja etsiä sieltä parannuskeinoja läpimenoajan lyhentämiseksi.

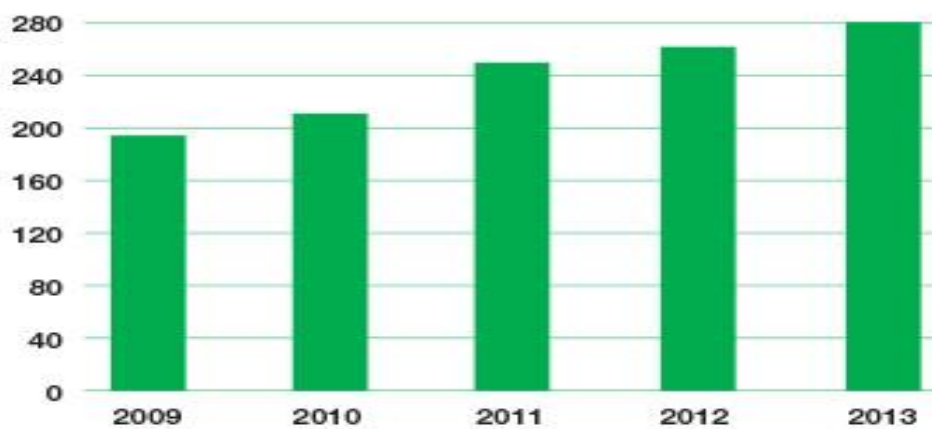
## 2 Teknos Oy

### 2.1 Teknos Oy

Teknos Oy on Suomen suurimpia perheyriyksiä ja se on perustettu vuonna 1948 Teknos-tehtaat Oy nimisenä. Teknos on Euroopan johtavia teollisuusmaalien valmistajia ja sillä on vahva asema kauppa- ja rakennusmaaleissa. Teknoksella on monia yhtiöitä maailmanlaajuisesti. Myyntiyhtiöitä teknoksella on 15 maassa ja tuotantoa seitsemässä maassa: Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Saksassa, Puolassa, Venäjällä ja Kiinassa. Suomen tuotantolaitokset sijaitsevat Helsingin Pitäjänmäellä ja Rajamäellä. Helsingin Pitäjänmäessä sijaitsee Teknoksen pääkonttori. [1]

Työntekijöitä teknoksella on noin 1 100 henkilöä, joista yli 150 toimii tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa. Konsernin liikevaihto on noin 280 miljoonaa euroa. Katso kuvasta 1 Teknoksen liikevaihdon kehitys. [1]

### Net Sales, EUR million



Kuva 1. Teknos Group Oy:n liikevaihto [1]

Teknoksen vahvuuksia ovat tekninen osaaminen tutkimus- ja tuotekehitystyössä. Teknos sai vuoden 2012 perheyrityspalkinnon, mikä on tunnustus jatkuvasta tuotekehityksestä. [1]

## 2.2 Arvot

Teknoksen arvot vaikuttavat kaikkeen tekemiseen, liiketoiminnan käytäntöihin, sisäiseen viestintään ja ulkoiseen viestintään. Teknoksen arvoja ovat luovus, sisukkuus ja oikeudenmukaisuus. [1]

### Luovuus

Luova ajattelu on perusta menestyvällä organisaatiolla. Tutkimus- ja Tuotekehitystyössä luovuus on erityisen tärkeää. Teknoksella luovuus konkretisoituu tuotteiden ja asiakaspalvelun jatkuvaan parantamiseen. [1]

### Sisukkuus

Teknos sitoutuu kehittämään jatkuvasti omaa osaamista ja suorituskykyä pitkäkestoisia kehityshankkeita varten. [1]

### Oikeudenmukaisuus

Samanarvoinen kohtelu kaikkia asiakkaita, työntekijöitä ja kumppaneita kohtaan, kunnioittaen jokaisen maan omaa lainsäädäntöä. [1]

## 2.3 Laatu ja ympäristö

Teknos on vahvasti sitoutunut laatu- ja ympäristöasioihin toimintapolitiikallaan.

Toimintapolitiikka takaa:

- korkeamman asiakastyytyväisyysasteen
- ympäristölle ja ihmiselle turvalliset tuotantoprosessit
- pienenevän ympäristön kuormittavuuden
- keskimääräistä paremman kannattavuuden.

Teknoksella yksi kulmakivistä on ympäristöasioiden kokonaisvaltainen huomioiminen. Tuotteille etsitään jatkuvasti kehityskeinoja, jotta niistä tulisi ympäristöystävällisempiä. Teknos parantaa prosesseja, jotta niiden ympäristövaikutukset pienentyisivät, ja jotta ne



vastaisivat voimassaolevia lakeja ja säädöksiä. Teknoksen tuotteet ovat kehitetty erittäin tarkasti ympäristösuojelunäkökohdat huomioon ottaen. Teknoksen tuotantolaitokset toimivat ISO-standardin mukaisesti laatu- ja ympäristöjärjestelmien ISO 9001 ja ISO 14001 edellyttämällä tavalla. [1]

## 2.4 Tuotteet

Teknos pyrkii löytämään jokaiselle asiakkaalle juuri heille tarpeenmukaisen ratkaisun ja tuotteen. Teknos tarjoaa laajan tuotevalikoiman maaleja sekä pinnoiteratkaisuja teollisuuden, ammattimaalareiden ja kuluttajien tarpeisiin.

Luettelo Teknoksen valmistamista tuotteista:

Metalliteollisuuden ja mineraalipintojen maalit

- Märkämaalit
- Jauhemaalit
- Erikoispinnoitteet

Puuteollisuusmaali

- Ulkopuolisten kohteiden pinnoitteet
- Sisäpuolisten kohteiden pinnoitteet
- Erikoispinnoitteet

Kauppa- ja rakennusmaalit

- Ammattilaisille
- Kuluttajille.

[1]

### 3 Maalien koostumus

Maalit koostuvat sideaineesta, pigmenteistä ja täyteaineista. Pigmentit ja täyteaineet ovat dispergoituneet sideaineeseen syrjäyttämällä niistä kosteuden ja ilman. Lisäksi liuotinohenteisissa maaleissa liuotteena käytetään orgaanista liuotetta ja vesiohenteisissa maaleissa liuotteena on vesi. [2;3.]

#### 3.1 Sideaineet

Sideaine sitoo maalikalvon yhtenäiseksi kalvoksi, joka on kosketuksissa alustan ja ympäristön kanssa. Sideaine vaikuttaa myös siihen, miten maali tarttuu maalattavaan alustaan. Riippuen siitä mitä, sideainetta käytetään, sideaine antaa maalikalvolle tietynlaisen joustavuuden, kovuuden, kulutuksenkestävyyden, kalvonmuodostuksen ja kiillon. [2]

#### 3.2 Pigmentit ja täyteaineet

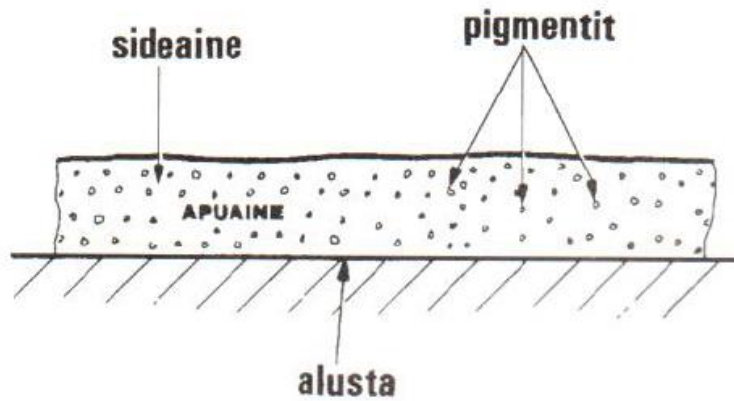
Pigmentit ovat hienojakoista jauhoa, ja ne jauhetaan sideaineeseen. Pigmenttejä ovat väri-, korroosio-, ja apupigmentit eli täyteaineet. Väripigmentit antavat maalille värin ja peittokyvyn. Korroosiopigmentit estävät maalattavan alustan korroosiota ja yleensä alustana on teräs. Apupigmentit eli täyteaineet ovat mineraaleja, jotka tekevät maalikalvon tiiviiksi ja lujaksi. [2]

#### 3.3 Apuaineet

Apuaineet antavat maalille vaadittuja ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kuivumisnopeus, valonkestävyys, kiilto, homeenkestävyys ja naarmuuntumiskestävyys. [2]

#### 3.4 Liuotteet ja ohenteet

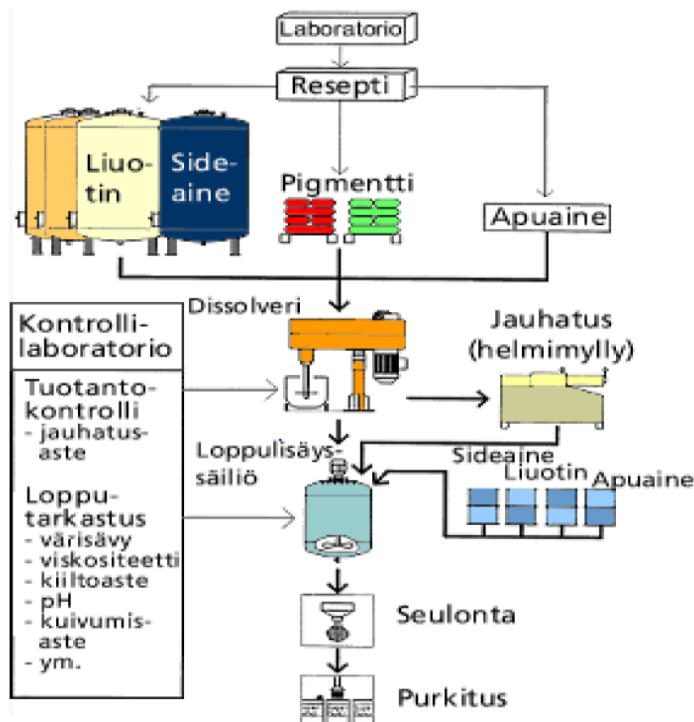
Liuotteita ja ohenteita maaleihin lisätään parantamaan maalin maalattavuutta, viskositeettiä säätämällä. Viskositeetti on aineen kykyä vastustaa siihen kohdistuvaa voimaa. Alla olevassa kuvassa on esitetty maalikalvon rakenne. (ks. Kuva 2). [2]



Kuva 2. Maalikalvon rakenne [2]

#### 4 Maalin valmistus

Maalien historia ulottuu tuhansien vuosien taakse, jolloin käytettiin erilaisia väriaineita, liuottimia ja sideaineita, jotka levitettiin seinälle. Talojen ja huoneiden maalaus yleistyi 1700-luvulla ja ensimmäinen maalitehdas aloitti toimintansa Englannissa vuonna 1790. Nykyisinkään maalin valmistus ei ole monimutkainen prosessi. (ks. Kuva 3). [17]



Kuva 3. Maalin valmistuksen prosessikaavio [16]

#### 4.1 Raaka-aineidenkäsittely

Raaka-aineidenkäsittely koostuu kolmesta vaiheesta, jotka ovat vastaanotto, varastointi ja varastosta otto. Maalin valmistuksessa raaka-aineidenkäsittelyä tapahtuu mittaamalla ja punnitsemalla. Reseptissä olevat raaka-aineet mitataan joko tilavuusmittarilla tai punnitaan vaa'alla eli raaka-aineen massan mukaan. [3]

#### 4.2 Esisekoitus

Esisekoituksessa sekoitetaan yleensä kaikki reseptissä olevat jauhot, liuotteet, osa sideaineista ja apuaineista yhdeksi homogeeniseksi seokseksi ja tätä seosta kutsutaan jauhatusosaksi tai jauhatuspanokseksi. Esisekoituksessa käytetään siihen tarkoitettua laitetta eli esisekoittajaa. Maalin valmistuksessa esisekoittajana käytetään pikasekoittajaa eli dissolveria. Hyvään dispergointi- eli jauhatustulokseen pääsy edellyttää, että viskositeetti on niin korkea kuin esisekoittaja sallii ja mitä enemmän pigmenttejä ja täyteaineita voidaan dispergoida aikayksikköä kohti. [3]

#### 4.3 Jauhatus

Maalinvalmistukseen on olemassa monta jauhatuslaitetta esimerkiksi dissolveri, kuulamyly, helmimylly, attriittori, kolmivalssimylly, yksivalssimylly, korimylly ja helmimylly. Luvussa 5 käsitellään jauhatusta, jauhatuslaitteista dissolveria ja helmimyllyä laajemmin. [3]

#### 4.4 Jälkisekoitus

Jälkisekoituksessa lisätään loput reseptissä olevat raaka-aineet ja puolivalmisteet, mitä ei jauhatuspanokseen lisätty. Jälkisekoituksessa tulee noudattaa reseptin ohjeita. Jos ohjeita ei noudateta ja esimerkiksi lisätään liian nopeasti loppulisäystuotteet panokseen, voi se johtaa siihen, että maalipanoksesta voi tulla käyttökelvoton, esimerkiksi ryynisyyden takia, jolloin maalista tulee puuromainen. [3]

#### 4.5 Sävytys

Sävytyksessä säädetään maalin sävy vastaamaan haluttua sävyä. Sävytyksessä käytetään esimerkiksi sävytyspastoja tai valmiita sävytysmaaleja. [3]

#### 4.6 Tarkastus

Maalipanoksesta otetaan näyte, joka viedään käyttölaboratorion tutkittavaksi. Käyttölaboratorio tekee vaaditut testit ja katsoo, täyttääkö maali kaikille asetetut raja-arvot. Mikäli maalipanoksella ei ole raja-arvoja täytyä, tekee käyttölaboratorio vaaditut korjaukset, jotta panos läpäisee ne. [3]

#### 4.7 Seulonta

Seulonnassa maalista poistetaan mahdolliset epäpuhtaudet ja roskat. Seulonta tapahtuu siten, että maali johdetaan läpi seulan, joka poistaa geometrisesti liian isot rakeet ja epäpuhtaudet. Seulonta tehdään siksi, että saadaan tuotteesta mahdollisimman tasalaatuista ja käyttökelpoista. [3]

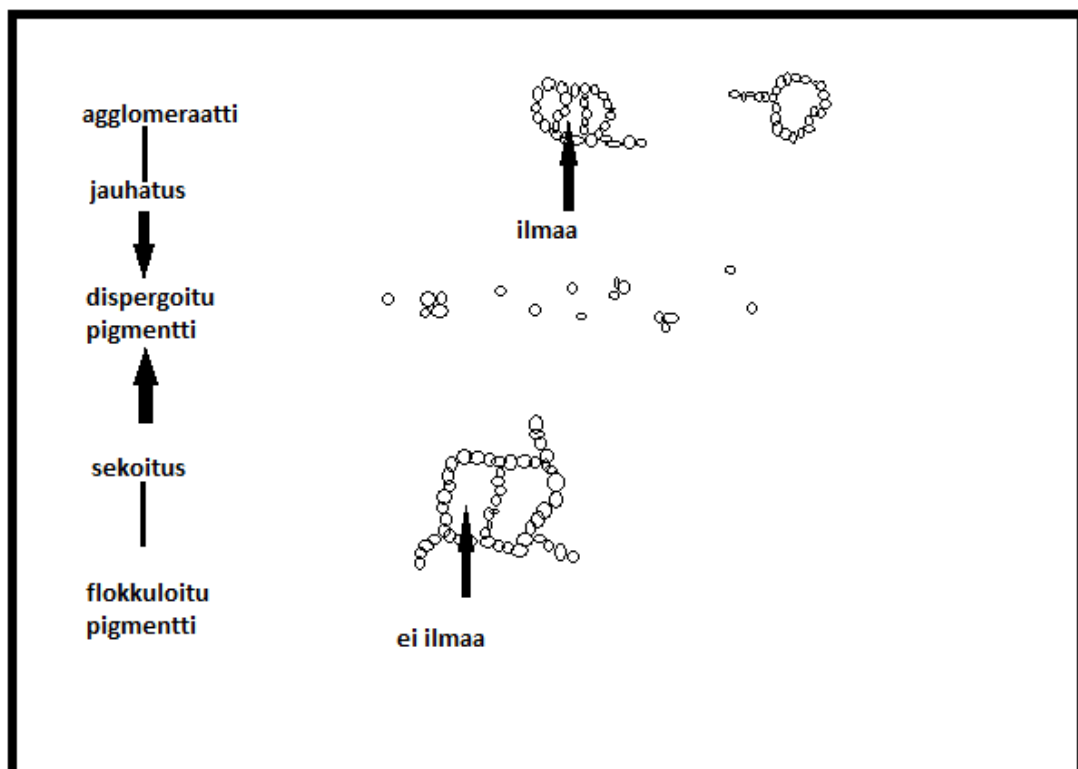
#### 4.8 Purkitus ja valmiin tuotteen käsittely

Maali pumpataan loppusäiliöstä tai "saavista" purkituslinjalle, missä maali purkitetaan vaaditun kokoon purkkeihin. Valmis tuote joko varastoidaan seuraavaa sesonkia varten tai lähetetään suoraan asiakkaalle.[3]

## 5 Jauhatus

Jauhatus eli dispergointi on maalinvalmistuksen tärkein osa ja on yksi tärkeimmistä yksikköprosesseista koko prosessiteollisuudessa. Jauhatusessa jauhettava materiaali hienonnetaan tuotteen käyttötarkoituksen mukaiseen raekokojakaumaan. Jauhatus on yksikköprosessi, missä murskattu vähän vielä karkea aine hienonnetaan jauhamalla. Jauhatus tapahtuu myllyissä jauhinkappaleiden avulla. Jauhettava materiaali jauhaantuu iskujen, puristuksien tai hierron avulla. Jauhatusia on märkä- sekä kuivajauhatus. [4;5;9]

Maalinvalmistuksessa jauhatuseränsä eli sideaine, pigmentit ja täyteaineet jauhetaan yhdeksi homogeeniseksi seokseksi. Pigmentit ja täyteaineet jauhetaan sideaineeseen jolloin maaliin ei jää enää isompia partikkeleita eli agglomeraatteja, joiden hajottamiseen tarvitaan suuria voimia. Jos agglomeraatteja jää maaliin ne voivat olla jopa suurempia kuin kuiva maalikalvo ja maalikalvosta tulee hiekkapaperin kaltainen. Agglomeraatit rikkoutuvat jauhatukseen tarkoitettujen koneiden käsittelyssä, isku- ja hiertovoimien vaikutuksesta. Tämän seurauksena pigmenteistä poistuu ilma ja kosteus minkä jälkeen pigmentit kostutetaan sideaineeseen. (ks. Kuva 4). [2;5;9]



Kuva 4. Agglomeraattien hajoaminen, modifioitu kirjasta Maalit ja niiden käyttö.

Partikkelien rikkoutuminen voidaan yksinkertaisesti selittää niihin kohdistuvan voiman mukaan. Rikottavaan partikkeliin on kohdistettava riittävän suuri voima, jotta partikkeli pienentyy. Mitä pienempi partikkeli on, sitä suurempi voima siihen tarvitaan, että partikkeli pienentyy. Mitä suurempi voima partikkeliin kohdistuu, sitä useampaan osaan partikkeli hajoaa. Vaikuttavia tekijöitä partikkeleiden hajoamiseen on käytetty tapa millä voima kohdistetaan partikkeliin. Nopeus on myös merkitsevä parametri partikkeleiden hajoamisessa. Hienomman aineksen suurempi osuus saadaan kohdistamalla partikkeliin voima suurella nopeudella, mutta energiaa käytetään tehottomammin. Mahdollisimman hyvän partikkelijakauman aikaansaamiseksi kannattaa partikkeliin kohdistaa pienempi voima, mutta pidempi aika. Myös jauhattavan materiaalin tärkeimmät ominaisuudet eli ominaispaino ja jauhattavuus tulee olla oikeat, jotta päästään hyvään jauhatustulokseen. [15;4]

### 5.1 Energiankulutus jauhatuksessa

Teollisuuden tärkeimpiin yksikköprosesseihin kuuluvan jauhatuksen alhaisen hyötysuhteen takia energiankulutus prosessissa on korkea. Energiankulutuksen minimointi on tärkeää jauhatusprosessin taloudellisuuden kannalta. [5;9]

Lämmönkehitys jauhatuksessa on myös yksi energiaa kuluttava osa-alue. Tiedetään, että syötetyn materiaalin lämpötila on alhaisempi kuin ulostulevan tuotteen lämpötila. Hukki kertoo kirjassaan *Mineraalien hienonnus ja rikastus*, 1964, Schellingerin tutkimuksista, jotka hän on suorittanut kalorimetrin periaatteelle rakennetussa kuulamylyssä ja ne ovat osoittaneet, ”että suurin osa myllyn pyörittämiseen käytettävästä energiasta muuttuu lämmöksi ja vain vähäinen osa tulee käytetyksi hyödylliseen jauhatukseen. Karkeaksi keskiarvoksi Schellingerin tuloksista voidaan sanoa, että 85 % jauhatukseen käytetystä nettoenergiasta muuttuu lämmöksi.” [5]

Samaa myllyä voidaan käyttää moneen eri sovellukseen erilaisilla jauhinkappaleilla ja nopeuksilla. Myllyn kapasiteetti riippuu jauhinkappaleiden efektiivisyydestä, ominaispainosta ja nopeudesta. Myllyn kapasiteetin kasvaessa tehonkäyttö kasvaa ja päinvastoin.

Ilman jauhattavaa ainetta tai jauhinkappaleita tietyllä nopeudella tyhjän myllyn tehonkäyttö on aina sama. Myllyn kokonaistehonkulutus saadaan karkeasti laskettua tyhjäkäyntitehon ja jauhinkuorman liikuttamiseen vaadittavan tehon summasta. [5]

$$P_T = P_i + P_t \quad (1)$$

$P_T$  = kokonaistehonkulutus

$P_i$  = myllyn tyhjäkäyntiteho

$P_t$  = jauhinkuorman liikkumiseen tarvittava teho

[9]

Gillandin yhtälöä käytetään myllyjen energia tarpeen laskemiseksi. Gillandin yhtälöä on sovellettu eri partikkelikokoluokille.

$$dE = -C \frac{dx}{x^n} \quad (2)$$

$E$  = hienontamiseen käytetty energia

$x$  = tuotteen hienoutta edustava tekijä eli keskimääräinen raekoko

$n$  = prosessin kertaluku

$C$  = eri tekijöistä riippuva vakio

Hienon raekoon vaadittavien tuotteiden energian tarpeen voi laskea Rittingerin lakia käyttämällä. Rittingerin laki vastaa Gillandin yhtälöä, missä  $n=2$ . [4;7]

$$E = C \left( \frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) = K_R F_c \left( \frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) \quad (3)$$

$E$  = hienontamiseen käytetty energia

$x_1$  = lähtötuotteen raekokoa edustava tekijä

$x_2$  = lopputuotteen raekokoa edustava tekijä

$K_R$  = Rittingerin vakio

$F_c$  = materiaalin lujuus



Energiatehokkuuden kannalta liian hienon tuotteen tekemistä tulisi välttää, sillä hukka-energian määrä on suuri. Hienontamisen energian tarve kasvaa voimakkaasti hienousasteen kasvaessa. [5]

## 5.2 Karkea- ja hienojauhatus

Niin kuin aikaisemmin on todettu, jauhatusta perustuu iskuihin, puristuksiin ja hiertoon. Karkeajauhatus perustuu näistä kolmesta iskuihin putoavien jauhinkappaleiden vaikutuksesta, ja karkeajauhatus tuotteen partikkelikoko on 40-300 µm. Jauhinkappaleen putoamisnopeus jauhettavaa materiaalia kohden tulee olla suuri, silloin jauhettava materiaali on suurien iskuvoimien vaikutuksessa. Putoamisnopeus on kahden eri voiman resultantti, myllyn pyörimisliikkeestä aiheutuvasta kappaleen liikkeestä ja maanvetovoi-  
masta. Karkeassa jauhatuksessa raskaiden kappaleiden putoaminen, läpimitan ja nopeuden ollessa suuri, aikaansaa jauhatuksessa välttämättömän liikemäärän. [5]

Hienojauhatus perustuu puristuksiin ja hiertoon. Partikkelikoko hienojauhatus-  
sessa on 14–40 µm. Hienojauhatussessa jauhinkuorma liikkuu myllyn vuorausta vasten aiheuttaen hiertoa. Jauhinkuorma ja jauhinkappaleet liikkuvat samansuuntaisesti, mutta vuorauksen nopeus on paljon suurempi kuin sitä vasten nojaavan uloimman jauhinkuormakerroksen nopeus. Jauhinkuorma joutuu hierto- ja puristusvoimien vaikutukseen, kun jauhinkappalekuormaa ikään kuin vedetään vuorausta nähden. Kun jauhinkuorma joutuu jauhinkappaleiden vaikutukseen, niin jauhinkuorman ja vuorauksen väliin syntyy niin sanottu hierrevyöhyke. Hierrevyöhykkeen nopeusero vaikuttaa jauhatuskapasiteettiin. Alikriittisellä myllynnopeudella nopeusero on pienempi kuin ylikriittisellä myllynnopeudella. [5]

## 5.3 Laitteen valinta

Haluttuun hiukkaskokoon ei päästä yhdellä hienontamisella tai samalla laitteella esimerkiksi maalin valmistuksessa, jossa sideaineet ja pigmentit jauhetaan ensin dissolverilla ja sen jälkeen maali viimeistellään vielä helmimyllyllä. Yhtenä valintakriteerinä voidaan pitää myös hiukkasten muotoa, jos jauhettujen hiukkasten muoto on olennainen osa tuotteen ominaisuuksia. Hiukkasten muotoon vaikuttaa miten se jauhetaan, eli perustuuko jauhaminen iskuihin, puristukseen vai hiertoon.

Mylly pitää valita aina tapauskohtaisesti siihen prosessiin, missä myllyä käytetään. Pitää pyrkiä valitsemaan käyttökelpoisin mylly prosessi huomioiden. [6]

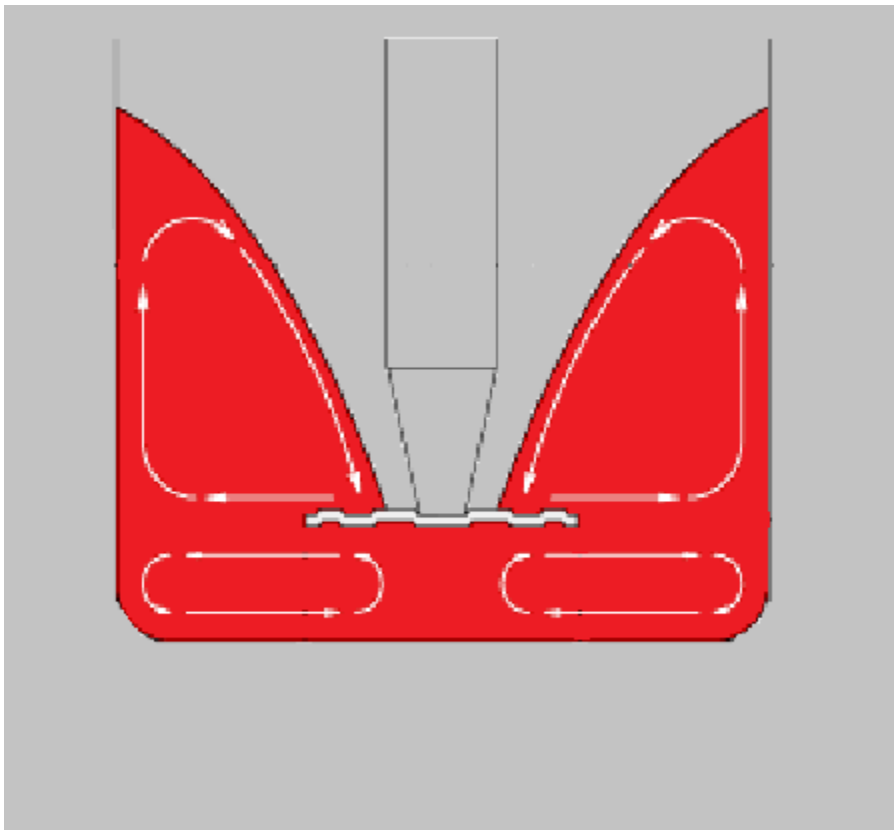
Laitteen valinnassa kannattaa ottaa huomioon seuraavia seikkoja:

1. hienonnettavan aineen ominaisuudet ja lopputuotteelle asetetut vaatimukset
  - hiukkaskoko, hiukkasjakauma ja hiukkasten muoto
  - materiaalin kosteus
  - aineen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet
2. käytetyn laitteen kapasiteetti ja prosessin nopeudelle asetetut vaatimukset
3. laitteen toiminnan monipuolisuus
  - laitteensäätöjen helppous
  - käytön turvallisuus
  - prosessin yhdistämisen helppous
4. pölysuojaus
  - terveyshaitat
  - jauhamistilan ja muiden lähitilojen kontaminoituminen
  - kalliiden raaka-aineiden hävikki
5. laitteen puhdistus
  - pesemisen helppous
6. apulaitteet
  - koneellinen jauhatusaineensyötöt, pöly- ja hajusuodattimet ja jäähdytysmahdollisuus
7. panos- vai jatkuva käyttö
8. taloudelliset tekijät
  - laitteen kulut, energia kulutus, henkilökulut ja tilavaatimukset
9. jäähdytysvaipan tarve
  - materiaali herkkä lämmölle

[6]

#### 5.4 Dissolveri

Dissolveri on nopea sekoittaja, jossa sekoituselimenä toimii sekoitinlevy. Sekoitinlevy on pystysuorassa akselissa kiinni. Terän pyöriessä se muodostaa niin sanotun vortex- ilmiön. Vortex-ilmiö muodostaa terän molemmille puolille pyörteen sekä ylä- että alapuolelle terää. Vortex ilmiö on syvyydeltään sama levyn halkaisijan kanssa. Syvyys riippuu levyn geometreistä ja kehännopeudesta. (ks. Kuva 5). [3;11]



Kuva 5. Dissolverin muodostama vortex ilmiö [13]

Levyjä on nykyään jo monenlaisia, yleisimmin käytetty on levy, jonka ulkokehässä on ylös- ja alaspäin taitettuja siipiä. Sekoitinlevyn kehännopeuden tulisi olla noin 20–25 m/s, mikä vastaa 72–90 km/h nopeutta. Levyn saavuttaessa tämän nopeuden leikkausvoima on niin suuri, että helposti jauhaantuvat pigmentit jauhaantuvat nopeasti. Leikkausvoima

ei kuitenkaan kasva niin suureksi, että vaikeasti jauhaantuvat pigmentit jauhaantuisivat. [3;11]

Jotta jauhatusta olisi paras mahdollinen tulisi jauhatussäiliössä tai saavissa olla pyöristetyt kulmat ja kupupohja. Sen läpimitan tulisi olla 2–3 kertaa levyn läpimitta. Jauhatuspanoksen nesteen pinta-ala tulisi olla yhtä suuri tai enintään kaksi kertaa suurempi kuin levyn halkaisija. Levyn ja säiliön etäisyys taas pitäisi olla noin 0,6 kertaa levyn halkaisija. [3;11]

Jauhettavan materiaalin viskositeetillä on myös olennainen osa dissolver-jauhatuksessa. Mitä korkeamman viskositeetin jauhatuspanos omaa sitä voimakkaampi dissolveri tarvitaan. Tiedetään myös, että mitä suurempi on levyn halkaisija sitä enemmän tarvitaan voimaa. Eli suurennettaessa levyn halkaisija kymmenkertaiseksi, tarvitaan satakertainen teho. Esimerkiksi, jos 7 cm levy, joka tarvitsee 0,74 kilowatin tehon, suurennetaan kymmenkertaiseksi, saadaan 70 cm levy, joka tarvitsee 515 kilowatin tehon. [3;11]

Dissolverissa olevasta ampeerimittarista voidaan lukea dissolverin virrankulutusta, sekä voidaan tarkastella moottorin ylikuormitusta, jota tulee välttää. Ylikuormitus lyhentää dissolver koneen käyttöikä. [3;11]

## 5.5 Helmimylly

Helmimyllyjä käytetään, kun jauhettava materiaali tarvitsee hienon jauhatusasteen. Maalin valmistus on yksi monista sovelluksista missä helmimyllyä käytetään. Maalin valmistuksessa vaikeasti jauhaantuvat maalit jauhetaan helmimyllyllä, jotta päästään vaadittuun jauhatusasteeseen. Muita sovelluksia missä helmimyllyä käytetään on muun muassa tulostuksen musteissa, kosmetiikkatuotteissa, suklaan valmistuksessa, vitamiinien ja lääkkeiden valmistuksessa, paperiteollisuudessa sekä maatalouskemikaalien valmistuksessa. Jauhettava materiaali hienontuu leikkausvoimien, helmien törmäysten sekä hiertymien vaikutuksesta. [5;12]

Helmimyllyn jauhatustulos paranee läpimenokapasiteetin pienentyessä, eli mitä kauemmin jauhettava materiaali viipyy jauhatussäiliössä sitä hienompi partikkelikoko tuotteella on. Parhaaseen jauhatukseen päästään mahdollisimman pienillä, painavimmilla ja siileimmillä helmillä, mutta helmet eivät kuitenkaan saa olla liian pienet, koska liian pienillä helmillä ei ole energiaa jauhaa partikkeleita ja ne myös tukkivat helmimyllyn sihdin.

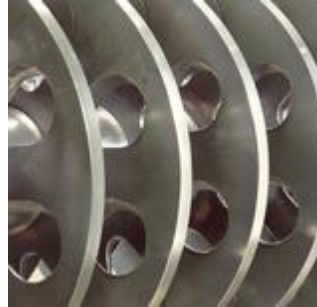
Helmimyllyn optimaalinen kierrosnopeus on noin 10 m/s. Jos kierrosnopeus kasvaa paljon optimaalista kierrosnopeutta korkeammaksi, aiheuttaa se turhaa kulumaa sekoitineliimissä, jauhatussäiliössä ja jauhinkappaleissa eli helmissä. [11;12]

Etuna helmimyllyssä on kapasiteetti jauhaa ultrahienoa tuotetta pienemmällä spesifisellä energialla kuin esimerkiksi tärymylly tai kuulamylly. [8]

### 5.5.1 Helmimyllyn toimintaperiaate

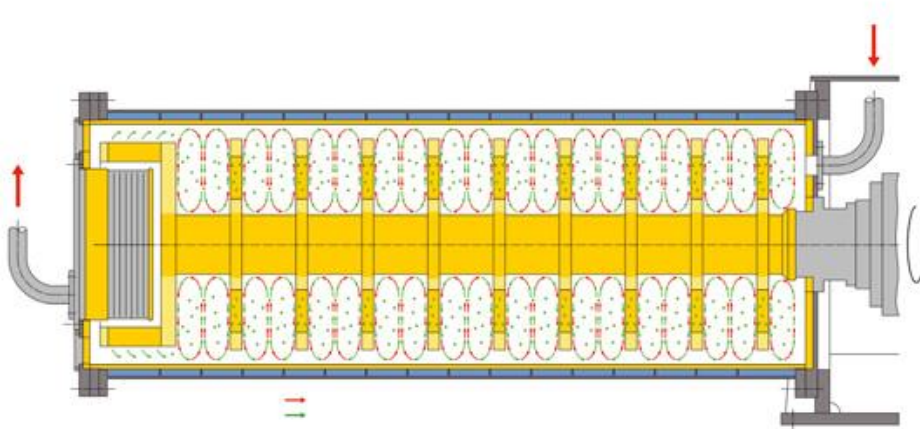
Helmimyllyjä on moneen eri sovellukseen, pienistä laboratoriomalleista suuriin teollisuuden tuotantolaitteisiin. Yleisimmät helmimyllyt ovat joko makaavia vaakamyllyjä tai seisovia pystymyllyjä. [3]

Makaavissa vaakamyllyissä roottori pyörittää vaaka-akselia, jossa sekoitin elimet ovat kiinni ja antavat helmille tarvittavan energian hienonnuksen. Sekoitinelimenä toimivat sekoitinkiekot, mitkä on asetettu tietylle etäisyydelle toisistaan myllyn merkistä ja mallista riippuen. Sekoitinkiekot on reiällisiä kiekon muotoisia kappaleita. (ks. Kuva 6). [11;12]



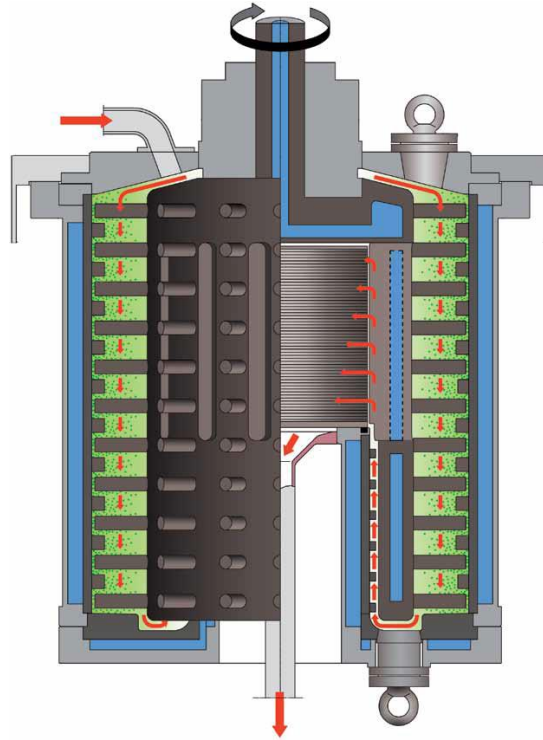
Kuva 6. Kuva sekoitinkiekoista. [12]

Myllyn täyttöaste on 70–90 % kammion tilavuudesta. Vaakamyllyn asennon takia sekoitin elimet pystyvät aktivoimaan jauhinkappaleet tasaisesti koko kammion pituudelta. Lämmönkehityksen takia myllyissä on jäähdytyslaitteisto, mikä estää kammion lämpenemisen liian korkeaksi. (ks. Kuva 7) [11;12]



Kuva 7. Vaakamyllyn toimintaperiaate [12]

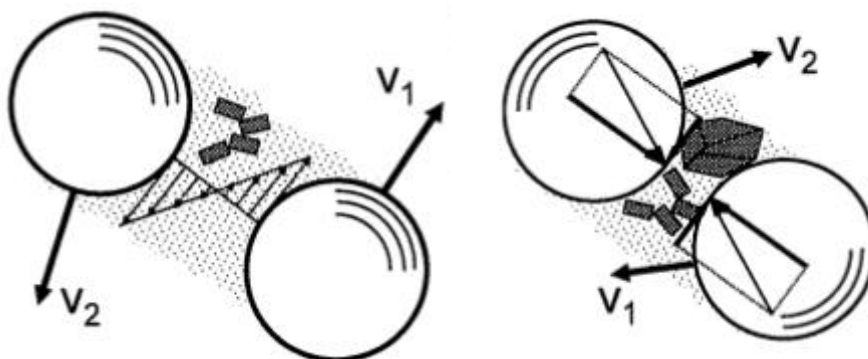
Seisovien pystymyllyjen yleinen toimintaperiaate on, että jauhattava materiaali pumpataan myllyn jauhatussäiliöön, jossa roottori pyörii ja antaa sekoitinelimille ja helmille tarvittavan energian jauhattavan materiaalin hienontamiseen. Seisovissa pystymyllyissä sekoitinelimenä toimivat pienet tapit, jotka ovat kiinni roottorin rungossa ja jauhatussäiliön sisäpinnalla. Tapit ovat tiheästi koko roottorin rungon ja jauhatussäiliön sisäpinnan alueella. Roottorin pyörimisen, sekoitinelimien ja helmien yhteisvaikutuksena tapahtuu materiaalin hienonnus. Myllyssä on jäähdytyslaite, mikä jäähdyttää tuotteen lisäksi myös roottoria ja staattoria. Jauhattava materiaali siirtyy sekoitinelimien vaikutuksesta liikkeessä olevan helmimassan läpi ja tulee lopulta ylhäällä olevan seulan läpi ulos. Alla oleva kuva havainnollistaa pystymallisen helmimyllyn kammion toimintaperiaatetta. (ks. Kuva 8). [11;12]



Kuva 8. Pystymallisen myllyn toimintaperiaate [12]

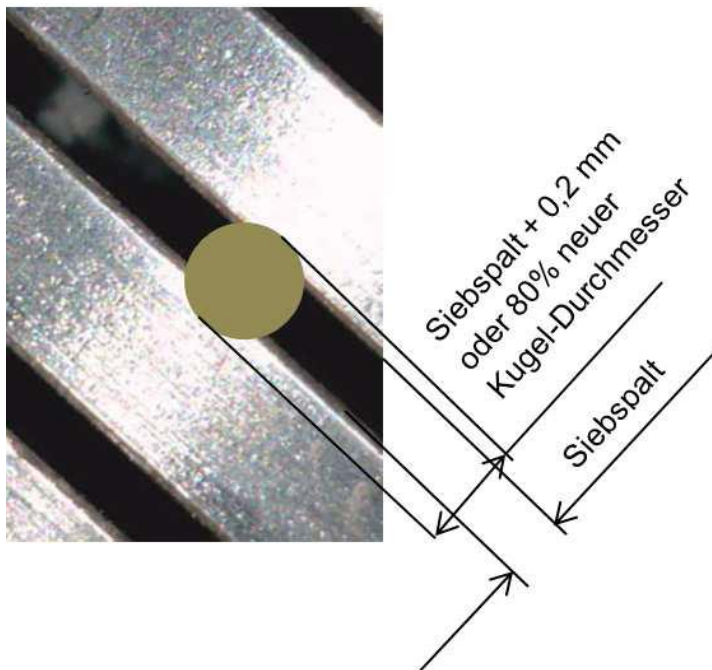
### 5.5.2 Helmien valinta ja laatu

Helmimyllyn helmillä on olennainen osa tuotannon tuottavuudessa sekä tuotteen laadussa. Helmet jauhavat tuotteen leikkaus-, isku- ja hiertovoimien yhteisvaikutuksesta. (ks. Kuva 9). [5]



Kuva 9. Helmien liike myllyssä [12]

Tiedetään, että painavimmilla helmillä on eri vaikutus jauhatuspanoksessa kuin kevyemmillä. Helmiä valittaessa on tärkeää ottaa huomioon tehtävä, eli mihin helmiä tullaan käyttämään, sekä mitä helmillä tullaan jauhamaan eli jauhettava tuote. Jauhettavan tuotteen viskositeetti sekä tiheys ovat tärkeimpiä asioita, mitä pitää tutkia ennen kun voidaan valita oikeat helmet. Tuotteen mukaan valitaan helmien koko sekä helmien tiheys. Esimerkiksi maalia jauhettaessa tulee ottaa huomioon maalin viskositeetti ja maalin tiheys sen mukaan, mitä kyseisellä myllyllä jauhetaan. Helmet eivät saa olla liian kevyitä, jolloin ne jäisivät niin sanotusti kellumaan maaliin ja lähtisivät maalivirran mukaan. Lisäksi helmien suuruus tulee valita niin, että helmet ovat vähintään 0,20 mm suurempia kuin seulan halkaisija tai siten, että seulan halkaisija tulee olla 80 % helmien suuruudesta. (ks. Kuva 10). [11;14;12]



Kuva 10. Helmien mitoitus seulan suhteen. [12]

Materiaaliltaan helmiä on monenlaisia, esimerkiksi kromiteräshelmet kokoluokaltaan 1–10 mm, zirkoniumoksidihelmet 0,3–2,5 mm, zirkoniumsilikaattihelmet 0,3–2,5 mm, alumiinioksidihelmet 0,75–2,5 mm ja lasihelmet 0,3–3,2 mm. [14]

Hyvien helmien ominaisuuksia ovat luja ja kestävä muoto, vähäinen kuluneisuus sekä värin pysyisyys, eli helmet eivät värjää jauhettavaa tuotetta. Päinvastaisesti huonojen



helmien tyypillisiä ominaisuuksia ovat epämuodostuneet helmet, helmien kova kuluneisuus, myllyjen nopea kuluminen ja värjäävät ominaisuudet. [12]

## 6 Kokeellinen osuus

Projektissa haluttiin parantaa läpimenoaikaa helmimyllyjauhatusessa ja siinä jauhatustapanoksen läpimenoaikaa eli jauhatusaikaa. Projektissa tutkittiin eroavatko eri jauhatustavat tilastollisesti merkittävästi. Tutkittavana oli kolme jauhatustapaa, joita testataan kolmella eri maalityypillä A,B ja C. Kokeellisen osuuden tarkoituksena oli myös saada Teknos Oy:lle käyttökelpoista tietoa helmimyllyjauhuksesta ja sen tehostamisen mitta-reista.

### 6.1 Jauhatustavat

Tutkimuksen tarkoituksena oli verrata eri jauhatustapojen vaikutusta helmimyllyjauhatusen läpimenoaikaan. Jauhatustapoja oli myös kolme a, b ja c.



## 6.2 Maalit

### 6.3 Kokeiden suoritus

Tarvittavien kokeiden määrää arvioitiin Wheelerin kaavalla. Wheelerin kaavalla pystytään laskemaan koesarjaan tarvittavat toistot, ja kokeiden lukumäärä. [10]

$$n = \left( \frac{4 \times \tau \times \delta}{\Delta} \right)^2 \quad (4)$$

$n =$  *toistojen lukumäärä*

$\tau =$  *menetelmien lukumäärä*

$\delta =$  *tieto hajonnasta*

$\Delta =$  *pienin kiinnostava ero*

Kaavalla 4 laskettaessa, missä menetelmien lukumäärä  $\tau$  on 3, kokeiden hajonnan ollessa noin 0,5 ja pienin kiinnostava eron ollessa 2 h, saadaan toistojen lukumääräksi yhdeksän. Kolmella eri jauhatustavalla tulisi suorittaa 9 koetta, eli jokainen jauhatustapa toistetaan kolme kertaa.

Tutkitaan kolmea eri jauhatustapaa helmimyllyjauhatukseen, tekemällä jokaisella jauhatustavalla kolme toistoa jokaisesta maalista A, B ja C eli tutkimuksessa tehdään kokeita yhteensä 27 kappaletta.

Kokeet suoritettiin lohkoissa, missä tutkittavat jauhatustavat oli satunnaistettu, jotta saataisiin tilastollisesti riippumattomia mittaustuloksia. Tulokset analysoitiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA). Tulosten analyysissä työkaluna käytetään Microsoft Excel ohjelmaa.

Taulukossa1 on havaittavissa satunnaistetut lohkot sekä se, että missä järjestyksessä kokeet suoritettiin.

Taulukko 1.

Maalit:	Toistojen lkm	Jauhatustavat
A	3	a
B	3	b
C	3	c

**Maalien A, B ja C kokeet kolmessa lohossa.**

*Lohko 1.*

<i>Koe 1.</i>	<b>B1a</b>	<b>B1b</b>	<b>B1c</b>
<i>Koe 2.</i>	<b>A1c</b>	<b>A1a</b>	<b>A1b</b>
<i>Koe 3.</i>	<b>C1b</b>	<b>C1c</b>	<b>C1a</b>

*Lohko 2*

<i>Koe 4.</i>	<b>A2b</b>	<b>A2c</b>	<b>A2a</b>
<i>Koe 5.</i>	<b>C2a</b>	<b>C2b</b>	<b>C2c</b>
<i>Koe 6.</i>	<b>B2c</b>	<b>B2a</b>	<b>B2b</b>

*Lohko 3*

<i>Koe 7.</i>	<b>C3c</b>	<b>C3a</b>	<b>C3b</b>
<i>Koe 8</i>	<b>B3b</b>	<b>B3c</b>	<b>B3a</b>
<i>Koe 9.</i>	<b>A3a</b>	<b>A3b</b>	<b>A3c</b>

Kokeiden suoritus kesti yhdeksän viikkoa. Tavoitteena oli tehdä kahden maalin kokeet viikossa, mutta yhden maalin kokeet kestivät oletettua kauemmin ja kokeita pystyttiin suorittamaan vain yhden testattavan maalin viikkovauhdilla. Jokaisesta kokeesta tehtiin tarkat muistiinpanot ja selostukset.

Kokeissa varsinainen suunnittelumuuttuja oli jauhatustapa ja vastemuuttujana helmimyllyjauhatuksen läpimenoaika. Kokeessa mitataan aikaa, kuinka kauan helmimylly jauhaa jauhatuspanosta kullakin jauhatustavalla. Ajan laskeminen aloitettiin, kun jauhatuspanos oli saatu helmimyllyyn kiinni ja koneet olivat käynnistetty. Lisäksi jauhatustapoihin liittyviä muuttujia kokeissa on pumpunteho, joka säädetään aina jauhatustavalle sopivaksi, jotta saadaan jauhatuste vaadittuun arvoon. Pumpunteho säädettiin maali- ja jauhatustapakohtaisesti ja niitä pidettiin vakioina kolmen toistokokeen ajan. Pumpunteho säättää myös massavirtaa sekä myllyn energiakulutusta (kWh/t). Lisäksi helmimyllyn roottorin pyörimisnopeus kuuluu säädettäviin muuttujiin, mutta se pidettiin vakiona koko kokeiden ajan. Kokeissa on myös muuttujia, joita ei voi säätää, kuten lämpötila. Maaleista mitataan viskositeetti ennen helmimyllyjauhatuksen alkua, jotta voidaan pohtia vaikuttaako viskositeetti helmimyllyn kykyyn jauhaa panos sekä miten viskositeetti muuttuu helmimyllyjauhatuksen aikana.

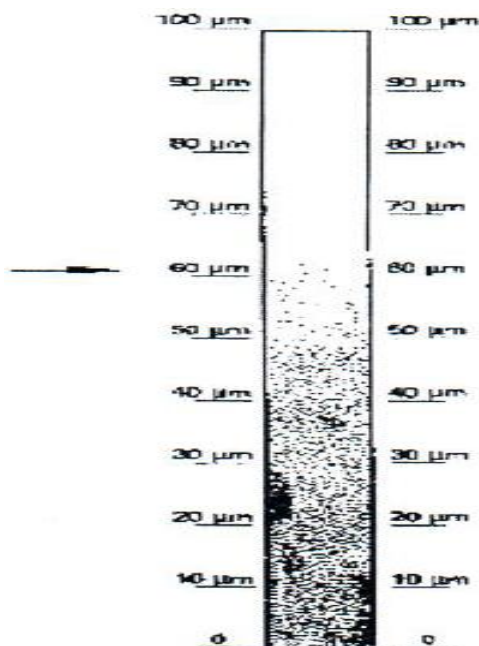
Helmimyllyajojen aikana seurattiin lämpötilan kehitystä, energiankulutusta ja massavirtaa. Roottorin pyörimisnopeus oli jokaisessa kokeessa sama 650 rpm. Pumpun syöttönopeus säädettiin jokaiselle jauhatustavalle erikseen.

Häiriötekijät eliminoidaan tekemällä kokeista täysin homogeeniset suhteessa toisiinsa. Häiriötekijöitä ovat: käyttäjä, raaka-aine-erä, maalierä, jauhatuspanoksen valmistus ja seisotus. Seisotus voi myös parantaa panoksen jauhaantumista, seisotus on kuitenkin jokaiselle kokeelle sama. Häiriötekijät pystyttiin eliminoimaan hyvin, mutta voidaan olettaa kuitenkin, että kokeissa on ollut jonkin verran häiriötä.

#### 6.4 Maalien laboratoriokokeet

Helmimyllyllä jauhetusta maalista otettiin näytteet laboratoriokontrollia varten, joista katsottiin, että eri jauhatustavoilla jauhetut maalit ovat laadultaan samanlaisia. Laboratorio tutkimuksia olivat: jauhatusasteen tarkistus grindometrillä, krebs-stormer viskositeetin mittausta, cone & plate viskositeetin mittausta, lisäksi tutkittiin, antavatko eri jauhatustavat saman värivoiman.

Jauhatusasteen määrittäminen grindometrillä on pitkään käytössä ollut menetelmä maalin hienouden määrittämiseen. Grindometrissä on kaksi ylhäältä alaspäin kapenevaa uraa. Maali pipetoitiin uran syvempään päähän ja vedettiin lastalla maalia uran matalampaan päähän, jonka jälkeen tarkastettiin jauhatusaste grindometrin sivussa olevan asteikon perusteella. Jauhatusaste katsotaan siitä kohtaa, jossa maalissa näkyvät hiukkaset loppuvat. Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu grindometrin tulkintaa. Grindometrissä voidaan havaita, että maalin hiukkaset näkyvät 60 µm:iin asti, joten alla olevan esimerkin jauhatusaste on 60 µm:ä. (ks. Kuva 14).



Kuva 14. Grindometrin tulkinta [11]

Tämän jälkeen määritettiin maalin viskositeetti, eli aineen kyky vastustaa siihen kohdistuvaa voimaa. Viskositeetti on suure, millä määritellään aineen virtausvastus määritelyissä olosuhteissa. Krebs-stormer viskositeetilla mitattiin maalin stabiilisuutta, paksuutta, valuvuutta ja purkkiviskositeettiä pensselimaalauksessa. Cone & plate viskositeetilla eli voimakas leikkausnopeus, kun vaaditaan tietty ruiskutus viskositeetti. Mitä pienempi cone & plate viskositeetin arvo, sitä helpompi maali on ruiskuttaa, mutta jos viskositeetti on liian alhainen tekee se ruiskumaalauksesta sumua. Molemmissa mittauksissa oli siihen suunniteltu laite, mikä mittasi viskositeetit.

Lisäksi tutkittiin, vaikuttaako jauhatustapa värjäysvoimaan. Värjäysvoima määritellään maalille tehdyn taitto-ohjeen mukaisesti. Värjäys voima tarkastetaan rub-out-testillä, jossa taittopaperille vedettyä maalikalvoa pyöritetään sormella, jota saadaan kaikki pigmentit aktivoitumaan mallintaen ruiskumaalauksista. Rub-out-testi simuloi maalin ruiskutusta ja sillä saadaan selville mahdollinen värjäyspatojen uiminen. Rub-out testi tehdään sen takia, että kaikki maalit eivät ota värjäyspatoja hyvin vastaan, jolloin peittopaperista ei saada todellista värjäysvoimaa ilman rub-out testiä. Värjäysvoiman mittaamiseen käytetään siihen suunniteltua laitetta, joka ajaa tulokset suoraan tietokoneelle. Laite mittaa värjäysvoiman rub-out kohdasta. Tarkastellaan esimerkkinä maalin A ensimmäisen kokeen värjäysvoiman tuloksia. Taulukosta tarkastellaan antaako jauhatustavat eri värjäysvoiman. Tutkitaan jauhatustapojen a, b ja c rub-out mittauksia ja jos eroa on yli  $\pm 0,3$  jauhatustapojen antamat värjäysvoimakkuudet eroavat. Tutkitaan jauhatustapojen rub-out arvoja ja onko niiden välillä  $\pm 0,3$  eroa. Taulukosta 2 nähdään, ettei jauhatustapojen välillä ole eroa. Jos eroa olisi tehtäisiin maalin korjauksia, jotta värjäysvoima saadaan vaaditulle tasolle. (ks. Taulukko 2).



Taulukko 2.

**Maali A****Taittokokeet****STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)**

<b>9-10.10.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
jauhatuspanos taitto	0,07	-0,08	-0,18	0,21
<b>c</b> rub out	0,63	0,05	0,12	0,64
<b>c</b> taitto	0,79	0,01	0,2	0,81
<b>a</b> rub out	0,58	0,08	0,26	0,64
<b>a</b> taitto	0,7	0,04	0,21	0,73
<b>b</b> rub out	0,53	0,05	0,16	0,55
<b>b</b> taitto	0,56	0,02	0,08	0,56

*Vaaleus DL + / tummuus DL -*

*punaisuus Da + / vihreys Da -*

*keltaisuus Db + / sinisyys Db -*

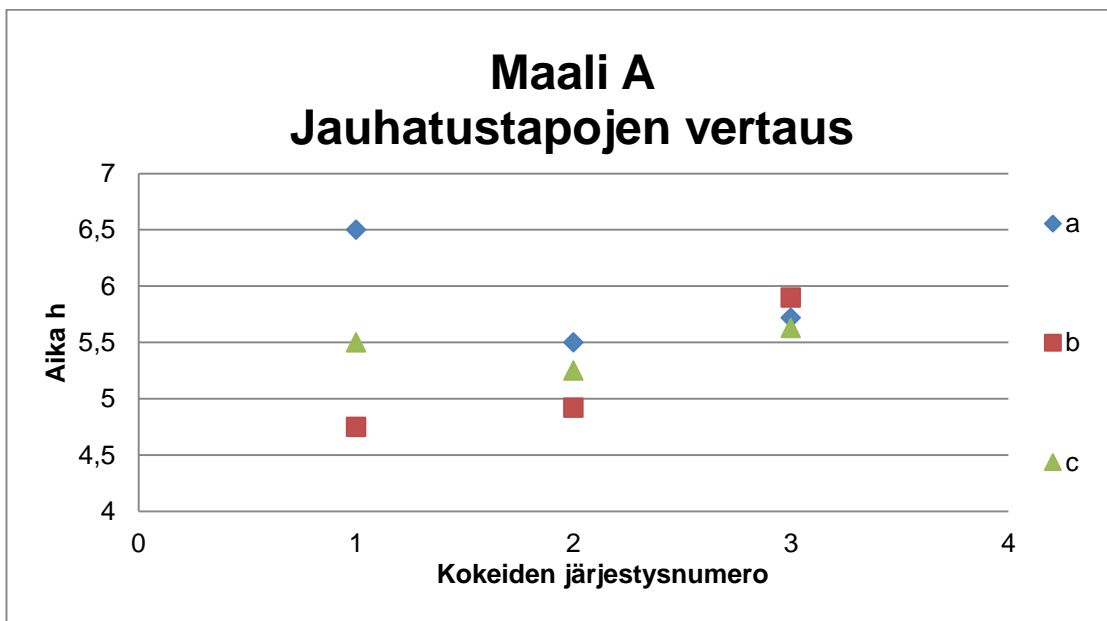
*kokonaisväriero DE*

## **7 Tulosten tarkastelu ja analysointi**

Tutkittavat jauhatustavat tehtiin homogeenisissä oloissa eli lohkoissa. Lohkoissa jauhatustavat satunnaistettiin, jotta saadut mittaustulokset olisivat mahdollisimman tilastollisesti riippumattomia.

### **7.1 Maali A helmimyllyjauhatukset**

Kuvassa 14 näkyy maalin A kolmen toistokokeen läpimenoajat jauhatustavoille a, b ja c. Kuvasta 14 voidaan havaita, että suurimmat erot jauhatustapojen välillä ovat tapahtuneet kokeen 1 aikana. Kokeissa 2 ja 3 jauhatustapojen läpimenoajat ovat huomattavasti lähempänä toisiaan. Kokeen 1 tuloksia selittää se, että kokeessa 1 kului aikaa pumpun tehon säätämiseen, koska kokeita ei ollut ennen tehty, eikä siitä syystä ollut tietoa, millä pumpun teholla maalia pitäisi ajaa. (ks. Kuva 15).



Kuva 15. Maalin A läpimenoajat

Taulukossa 3 näkyvät maalin A helmimyllyjauhatuksen läpimenoajat, toistokokeista saadut koevirheet sekä keskiarvo energiankulutuksesta. Tuloksista voidaan todeta, että jauhatustavalla a, b, c ei ole suurta eroa läpimenoajoissa. Yksittäisen parhaan läpimenoajan sai jauhatustapa b, mutta sen toistettavuus eli koevirhe oli suurin. Maalille A toistettavin jauhatustapa oli c, jonka koevirheeksi saatiin ainoastaan 0,19.

Taulukko 3. Maalin A tuloksia

<i>Jauhatustapa</i>	<i>Aika (h)</i>			<i>Koevirhe (h)</i>	<i>kWh keskiarvo</i>
<b>a</b>	6,5	5,5	5,72	0,53	157
<b>b</b>	4,75	4,92	5,25	0,62	137
<b>c</b>	5,72	5,25	5,63	0,19	144

Maalin A läpimenoaikoja analysoitiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA). Analyysin p-arvo on 0,26 ( $< 0,05$ ), joten luottamustasolla 95 % jauhatustavat a, b ja c eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi. Lisäksi anovan tulostuksesta voidaan katsoa jau-

hatustapojen kolmen toistokokeen keskiarvoja. Keskiarvot voidaan lukea kohdasta "Average". Keskiarvo tarkasteltaessa huomataan, että jauhatustavalla a on suurin läpimeno-aikojen keskiarvo, mutta sitä voidaan selittää sillä, että jauhatustapa a:n ensimmäinen toistokoe oli todella pitkä. Pienintä vaihtelua oli jauhatustavassa c, jossa varianssi "Variance" arvo oli huomattavasti pienempi kuin muilla jauhatustavoilla. Kuitenkaan mitään suuria johtopäätöksiä ei pystytä vetämään, koska maalin A jauhatustavat eivät eroa merkittävästi.

Taulukko 4. ANOVA tulostus.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
a	3	17,72	5,906666667	0,276133333
b	3	15,57	5,19	0,3853
c	3	16,38	5,46	0,0373

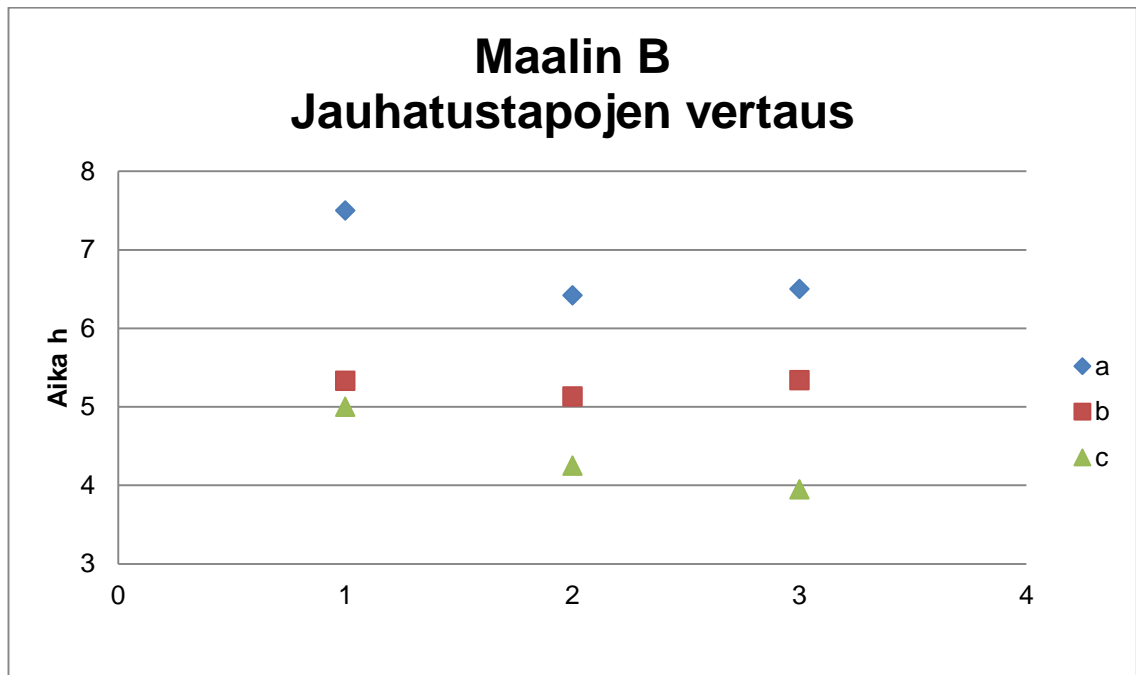
ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,786022222	2	0,393011111	1,6873867	0,26216301	5,14325285
Within Groups	1,397466667	6	0,232911111			
Total	2,183488889	8				

Liitteessä 1 on datamatriisi tutkimuksen tuloksista. Tarkastellaan datamatriisista maalin A viskositeetin muutosta. Datamatriisista voimme päätellä, että maalia A jauhatessa sen viskositeetti kasvaa huomattavasti. Se voidaan selittää sillä, että maalissa A on varsin paljon pigmenttejä, jotka jauhaantuessaan nostavat maalin viskositeettiä ja maalista tulee täyteläisempää. Yleisesti voidaan todeta, että jauhatusasteen pienentyessä maalin viskositeetti kasvaa. Taulukosta 3 voidaan myös todeta että energiankulutus jauhatustapojen a, b ja c välillä ei eroa kovin paljoa. Liitteessä 2 on maalin A värivoiman mittaustulokset. Värivoiman mittaustuloksista huomataan, että jauhatustavat a, b ja c eivät vaikuta värivoimakkuuteen, mikä on hyvä asia.

## 7.2 Maali B helmimyllyjauhaukset

Kuvassa 16 näkyy maalin B kolmen toistokokeen läpimenoajat jauhatustavoille a, b ja c. Kuvasta 16 voidaan havaita, että jauhatustapojen väliset erot ovat olleet tasaisia kaikissa kolmessa kokeessa. Nähdään, että kokeen 1 tulokset eroavat hieman kokeiden 2 ja 3 tuloksista, mikä voidaan maalin A tavoin selittää myös sillä, että aikaa kului pumpun tehon säätämiseen.



Kuva 16. Maalin B läpimenoajat.

Taulukosta 5 voidaan tarkastella maalin B helmimyllyjauhauksien läpimenoaikoja kolmen eri jauhatustavan kolmessa toistokokeessa, toistokokeista saadut koevirheet sekä helmimyllyjauhauksien energiakulutuksen keskiarvo. Tuloksista voidaan todeta että jauhatustavoilla a, b ja c läpimenoajoissa on eroa. Riippumatta toistokokeesta saadaan jauhatustavalla c lyhyempiä läpimenoaikoja kuin jauhatustavoilla a ja b. Maalille B toistettavien jauhatustapa oli b, jonka koevirheeksi saatiin ainoastaan 0,12, mikä osittain selittyy sillä, että jauhatustavassa b on vähiten liikkuvia osia jauhatustavan sisällä.

Taulukko 5. Maalin B tuloksia

<i>Jauhatustapa</i>	<i>Aika (h)</i>			<i>Koevirhe (h)</i>	<i>kwh keskiarvo</i>
<b>a</b>	7,5	6,42	6,5	0,6	181
<b>b</b>	5,33	5,13	5,34	0,12	138
<b>c</b>	5	4,25	3,95	0,54	114

Maalin B läpimenoajat analysoitiin myös yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA). Analyysin p- arvo 0,002 ( $<0,05$ ), joten luottamustasolla 95 % jauhatustavat eroavat tilastollisesti merkittävästi. Tarkasteltaessa läpimenoaikojen keskiarvoja kohdasta "Average" huomataan, että jauhatustavalla c on merkittävästi pienempi läpimenoaikojen keskiarvo kuin jauhatustavoilla a ja b. Voidaan todeta, että maalille B nopein jauhatustapa on c, vaikkakin sen varianssi eli vaihtelu on toiseksi suurin. Varianssin voi katsoa kohdasta "Variance". Hitaimpana jauhatustapana voidaan tuloksien mukaan pitää jauhatustapaa a, jonka läpimenoaikojen keskiarvo oli huomattavasti suurempi kuin jauhatustavalla b ja c.

Taulukko 6. ANOVA tulostus.

Anova: Single  
Factor

## SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
a	3	20,42	6,806666667	0,362133333
b	3	15,8	5,266666667	0,014033333
c	3	13,2	4,4	0,2925

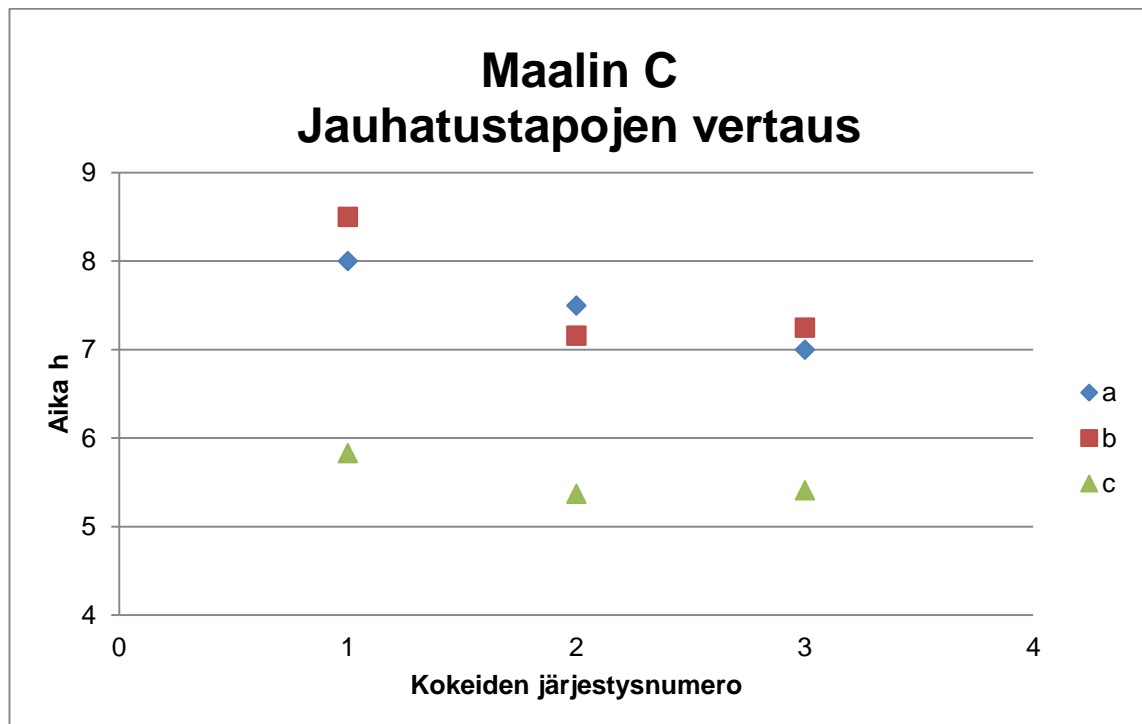
## ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8,914755556	2	4,457377778	19,99820538	0,002219637	5,14325285
Within Groups	1,337333333	6	0,222888889			
Total	10,25208889	8				

Liitteestä 1 voidaan tarkastella maalin B viskositeetin muutosta. Huomataan, että viskositeetti nousee radikaalisti helmimyllyjauhatuksen aikana. Maalin B viskositeetin nousu selittyy sillä, että siinä on erittäin paljon pigmenttejä eikä esisekoittajana toimiva dissolver pysty jauhamaan niitä. Pigmentit jauhaantuvat kunnolla oikeaan hienousasteeseen vasta helmimyllyssä, missä maali jauhatuksen aikana sitkostuu. Helmimyllyjauhatuksien energiankulutuksista voidaan todeta, että jauhatustapojen b ja c kulutus on jonkin verran pienempää kuin jauhatustavan a. Liitteessä 3 on taulukko maalin B värivoimakkuuden mittaustuloksista. Mittaustulokset osoittavat, että myöskään maalin B värivoimakkuus ei eroa jauhatustapojen a, b ja c välillä.

### 7.3 Maali C helmimyllyjauhatukset

Kuvassa 17 näkyvät maalin C kolmen toistokokeen tulokset jauhatustavoilla a, b ja c. Kuvasta 17 voidaan havaita, että ainoastaan jauhatustapojen a ja b välillä on tapahtunut pientä eroa kolmen kokeen aikana. Kuva osoittaa kuitenkin hyvin jauhatustavan c:n poikkeavuuden verrattaessa kahteen muuhun jauhatustapaan, jauhatustavan c läpimenoajat ovat pienempiä kuin jauhatustapojen a ja b läpimenoajat. Myös nähdään, että jauhatustavan c pisteet eivät juurikaan poikkea toisistaan. (ks. Kuva 17).



Kuva 17. Maalin C läpimenoajat

Taulukosta 4 voidaan tarkastella maalin C helmimyllyjauhatuksien läpimenoaikoja ja kolmen eri jauhatustavan kolmessa toistokokeessa. Tuloksia tarkasteltaessa nähdään, että jauhatustavoilla a ja b keskenään ei ole suurta eroa läpimenoajoissa. Sen sijaan, kun verrataan jauhatustapoja a ja b jauhatustapaan c huomataan varsin suurta eroa. Voidaan todeta, että jauhatustavan c läpimenoajat ovat huomattavasti lyhyempiä kuin jauhatustavoilla a tai b. Jauhatustavan c koevirhe on myös maalin C tutkimuksista pienin 0,25, eli se on myös toistettavin jauhatustapa.

Taulukko 7. Maalin C tuloksia.

<i>Jauhatustapa</i>	<i>Aika (h)</i>			<i>Koevirhe (h)</i>	<i>kwh keskiarvo</i>
<b>a</b>	8	7,5	7	0,5	202
<b>b</b>	8,5	7,16	7,25	0,75	204
<b>c</b>	5,83	5,37	5,41	0,25	148

Myös maalin C läpimenoajat analysoitiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA). Analyysistä saatu p-arvo 0,005 (<0,05), joten luottamustasolla 95 % jauhatustavat eroavat tilastollisesti merkitsevästi. Tarkasteltaessa läpimenoaikojen keskiarvoja kohdasta "Average" huomataan, että jauhatustavalla c on merkittävästi pienempi läpimenoaikojen keskiarvo kuin jauhatustavoilla a ja b. Voidaan todeta, että maalin C nopein jauhatustapa on c, jauhatustavalla c on myös pienin varianssi eli vaihtelu. Jauhatustapojen a ja b tulokset olivat tasaisia toisiinsa nähden, mutta jauhatustapojen a ja b ero jauhatustapaan c oli todella suuri.

Taulukko 8. ANOVA tulostus.

Anova: Single Factor

## SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
a	3	22,5	7,5	0,25
b	3	22,91	7,636666667	0,561033333
c	3	16,61	5,536666667	0,064933333

## ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8,283355556	2	4,141677778	14,18436775	0,00532063	5,14325285
Within Groups	1,751933333	6	0,291988889			
Total	10,03528889	8				

Helmimyllyjauhatuksien energiakulutuksia tarkasteltaessa nähdään, että c jauhatustavalla on huomattavasti pienempi kulutus kuin jauhatustavoilla a ja b. Liitteessä 1 olevan datamatriisista voidaan todeta, että maalin C viskositeetti ei muutu merkittävästi helmimyllyjauhatuksen aikana. Viskositeetin pientä muutosta voidaan selittää sillä, että maali C ei sisällä yhtä paljon pigmenttejä kuin esimerkiksi maalit A ja B. Liitteessä 4 on taulukko maalin C värivoimakkuuden mittaustuloksista. Mittaustuloksista huomataan, että helmimyllyjauhatuksen eri jauhatustavat eivät aiheuta eroa värivoimakkuudessa.

## 7.4 Virhearviointi

Tutkimuksessa mahdollisesti esiintyvät virheet ovat selitettävissä inhimillisillä virheen tekijöillä, kuten itse käyttäjän tekemillä virheillä. Käyttäjän virheellä tarkoitetaan käyttäjän itse tekemää tutkimusosaa tai käyttäjän itse säätämiä laitteita, ja niiden toimintaa. On mahdollista, että itse käyttäjä on aiheuttanut seikkoja, jotka vääristävät tulosta juuri itse käyttäjän tekemien virheiden takia.



Esimerkki mahdollisesta tilanteesta, jossa virhemarginaali on suuri, on jauhatuspanoksen valmistus. Kysymys kuuluukin, onko käyttäjä tehnyt jokaisen jauhatuspanoksen täysin samalla tavalla. Tästä kyseisestä seikasta johtuen voidaankin siis olettaa, että pumput eivät anna täsmälleen oikeaa määrää pumpattaessa liuottimia ja sideaineita. Toki täytyy myös huomioida se mahdollisuus, että jokainen jauhosäkki ei sisällä täysin samaa kilomäärää jauhoja.

Virheitä on voinut tapahtua myös punnituksessa. Taas tulee kysyä: toimiiko kokeissa käytetty vaaka täysin ilman virhettä ja onko se voinut vaikuttaa saatuihin tuloksiin?

Laitteen aiheuttaman virheen osuus on pieni, koska laitteelle asetetut arvo olivat aina yhtenevät samalla kokeella. Ainoa virhe laitteen, eli helmimyllyn osalta on voinut olla sen kuluminen. Kuitenkin näin lyhyessä ajassa kuluma ja sen vaikutus on varsin pientä, ellei jopa olematonta.

Virheettä on voinut myös aiheuttaa jauhatustavalle b käytetty sekoittaja. Sekoittajan tehon puute on voinut aiheuttaa pientä virhettä maalin A ja B jauhatustavalle b.

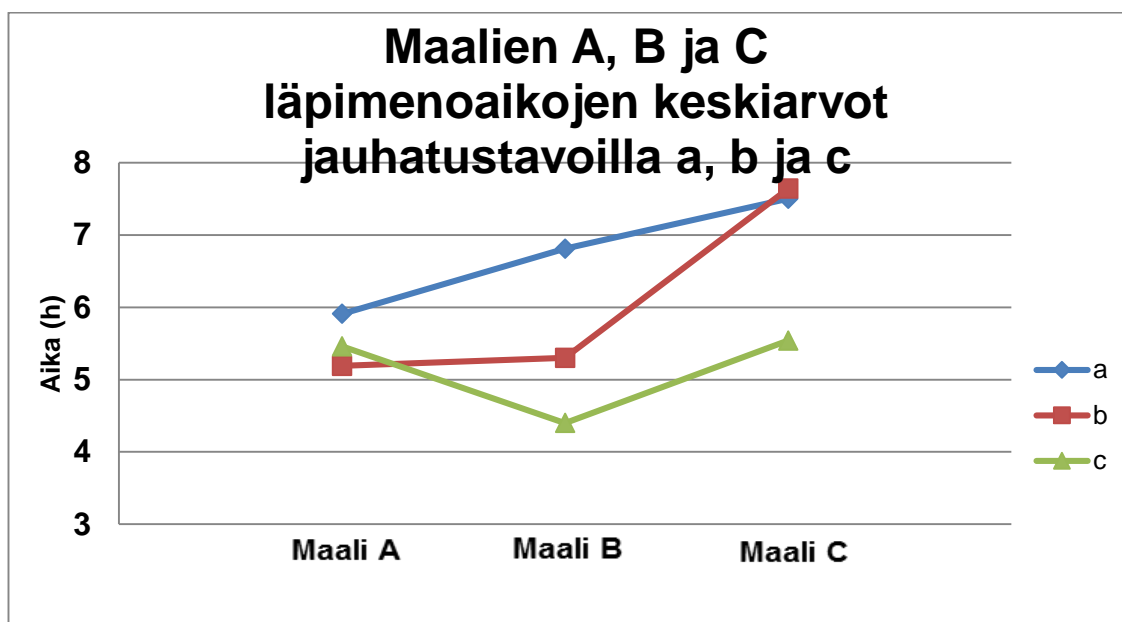
Virhettä kolmannelle toistokokeen jauhatustavalle c aiheutti jauhatussäiliöstä tulleet roskat, jotka tukkivat ennen pumppua olevan sihdin. Sihti jouduttiin puhdistamaan ja vaikutti siltä osin jauhatustavan c läpimenoaikaan kolmannessa toistokokeessa.

## **8 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Työn tarkoituksen oli tutkia onko maalin helmimyllyjauhatukseen nopeampia jauhatustapoja kuin se, mikä Teknos Oy:llä on käytössä. Työssä tutkittiin kolmea vaikeasti jauhaantuvaa maalia A, B ja C. Maaleilla tutkittiin kolmen erilaisen jauhatustavan vaikutusta helmimyllyjauhatuksen läpimenoaikaan. Kokeet suoritettiin satunnaistetuissa lohkoissa, jotta tulokset olisivat mahdollisimman hyvin verrannollisia toisiinsa. Kokeellinen tutkimus kesti yhteensä yhdeksän viikkoa. Kokeita pystyttiin suorittamaan yhden kokeen viikottahtia. Työn tavoitteena oli löytää nopeampi ja parempi jauhatustapa helmimyllyjauhatukseen.

Tutkimuksissa saatiin selville, että nykyistä jauhatustapaa nopeampia jauhatustapoja löytyy helmimyllyjauhatukseen. Parhaana jauhatustapana erottui jauhatustapa c. Jauhattaessa maalia B ja C jauhatustavalla c osoittautui se ylivoimaisesti nopeimmaksi jauhatustavaksi. Maalin A kokeet olivat todella tasaisia, mutta jauhatustapa c oli parhaiten

toistettava, koevirheen ollessa varsin pieni. Jauhatustapa a sen sijaan erottui muita hitaampana jauhatustapana. Selkeimmät tulokset saatiin maalilla B ja C. Alla olevasta kuvasta nähdään kaikkien kolmen maalin A, B ja C läpimenoaikojen keskiarvot jauhatustavoilla a, b ja c. Myös kuvasta nähdään, että jauhatustapa c oli nopein jauhatustapa helmimyllyjauhatukseen maaleilla B ja C. Maalin A läpimenoaikojen tulokset menivät risiini siten, että mikään jauhatustapa ei erottunut edukseen. (ks. Kuva 18).



Kuva 18. Maalien A, B ja C läpimenoaikojen keskiarvot menetelmillä a, b ja c.

Hyvänä tuloksena voidaan pitää sitä, että mikään jauhatustapa ei vaikuttanut lopputuotteen laatuun poikkeavasti. Millään kolmesta eri jauhatustavasta ei saatu poikkeavaa värivoimakkuutta. Jauhatustapojen välillä oli huomattavissa todella pientä vaihtelua viskositeetin muutoksessa jauhatuksessa, mutta vaihtelu ei ollut merkittävää. Jauhatusasteissa oli pieniä eroja maalilla A ja B. Jauhatusavalla b saatiin karkein jauhatusaste ja jauhatustavalla c saatiin hienoin jauhatusaste. Maalilla C kaikilla kolmella eri jauhatustavalla a, b ja c saatiin sama jauhatusaste.

Helmimyllyjauhatuksen jatkokehityksen kannalta suositeltavaa olisi tehdä lisäkokeita jauhatustavalle c, jota voitaisiin kehittää esimerkiksi optimoimalla sitä. Optimoinnilla tässä tapauksessa tarkoitetaan sitä, että saataisiin jauhatustavasta c eri helmimyllyjauhatuksen parametreja säätämällä vieläkin nopeampi läpimenoaika.

Työn tavoite saavutettiin ja löydettiin jauhatustapa millä saadaan lyhennettyä helmimyllyjauhatuksen läpimenoaikaa. Lisäksi saatiin hyödyllistä tietoa jatkokehityksen kannalta.

## Lähteet

- 1 Teknos Oy:n kotisivu. Verkkodokumentti. <[www.Teknos.fi](http://www.Teknos.fi)> Luettu 25.9.2014
- 2 Holger Alen ja Opetushallitus. Maalit ja niiden käyttö. 2. uudistettu painos. Hakapaino Oy, Helsinki 1999. s. 10–29.
- 3 Helge Meyer ja Ove Säberg. Maalinvalmistus. NIFAB/Nordisk information för Färg AB. 1978. s.1–62.
- 4 Tomi Lukkarinen. Mineraalitekniikka. Osa 1 Mineraalien hienonnus. 2 painos 1985. Insinööritieto Oy.s. 78–86, s. 175–248.
- 5 R.T. Hukki. Mineraalien hienonnus ja rikastus. Otavan kirjapaino, Keuruu 1964. s. 82–94, s,169–260.
- 6 Marja-Terttu Huttu. Opetusmateriaali, Mekaaniset prosessit 1. Luettu s. 23.10.2014.
- 7 Coulson & Richardson, Backhurst & Harker. Chemical Engineering vol. 2, third edition. s.50–53.
- 8 C.L. Prasher. Crushing and grinding process handbook. 1987, John Wiley & Sons Ltd. s. 250–252.
- 9 Juhani Pihkala ja opetushallitus. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Kolmas tarkistettu painos. Hakapaino Oy, Helsinki 2003. s. 12–20.
- 10 Veli-Matti Taavitsainen. Opetusmateriaali, Koesuunnittelu. Luettu 15.9.2014.

- 11 Teknos Oy:n sisäinen tiedoitussivu. Luettu 4.11.2014
  
- 12 Bühler group kotisivu. Verkkodokumentti.  
<<http://www.buhlergroup.com/global/en/home.htm>> Luettu. 7.11.2014
  
- 13 Kuva dissolverista. Verkkodokumentti.<<http://www.vma-getzmann.fr/french/>>  
Luettu 20.11.2014
  
- 14 Artikkel, Vätmalning – miljövänlig teknik med många tillämpningar, kemisk tidskrift/kemivärlden, nr 2 1996 108 s 38–40. Luettu 13.11.2014.
  
- 15 Jani Lindén, Marja Neuvonen, Kandidaatintyö, Hienojauhatus helmi- ja planeettamyllyllä, 28.10.2009. Luettu 1.10.2014
  
- 16 Kuva maalin valmistuksen prosessikaaviosta. Verkkodokumentti.  
<[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39286/Rasanen\\_Olli.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39286/Rasanen_Olli.pdf?sequence=1)> Luettu 28.10.2014
  
- 17 Maalien historia. Verkkodokumentti.< <http://fi.wikipedia.org/wiki/Maali>> Luettu 2.10.2014.

Datamatriisi  
Tutkimustulokset

Koe	Malli	Panoskoko (kg)	Nenestelmä (kWh)	kg/(laskettu)	Rootori	lämpötila	Yksötettien emäntä	Yksötettien jalkteen	Parhaus	Pumppu	1. kierros	2. kierros	Ristin	Läpimenoaika	
<b>Lohko 1</b>															
1	B	434	a	199	58	650/39 °C	Ku 78	Ku 92	30/25	5 %	-	-	43 min	7h 29min	-7,5h
							cp 3,36	cp 3,47					9:17-16:46	5h 20min	-5,33h
1	B	434	b	141	81	650/38 °C	Ku 78	Ku 90	30/30	30 %	-	-	16:30-21:30	7:50-8:30	-5,33h
							cp 3,36	cp 3,29						4h 55min	-5,5h
1	B	434	c	129	87	650/38 °C	Ku 78	Ku 91	30/(40)/20	1. 25 % 2. 20 %	1h 44 min	3h 11 min	-	-	-5,5h
							cp 3,36	cp 3,57						10:05-15:40	-5,5h
2	A	672	c	146	122	650/38 °C	Ku 80	Ku 86	30/(40)/20	1. 25 % 2. 25 %	2h 33 min	2h 38 min	24 min	5h 35min	-5,5h
							cp 1,61	cp 1,41						14:21-16:38	7:31-9:11
2	A	672	a	172	103	650/39 °C	Ku 80	Ku 90	30/25	13 %	-	-	37 min	6h 28min	-6,5h
							cp 1,61	cp 1,57						10:06-15:30	-6,5h
2	A	672	b	126	141	650/38,5 °C	Ku 88	Ku 88	30/30	25 %	-	-	-	4h 46min	-4,75h
							cp 1,61	cp 1,61						8h 36min	-6,5
3	C	675	b	229	77	650/39 °C	Ku 88	Ku 71	20/20	25 %	-	-	-	9:04-17:40	-8,5
							cp 1,15	cp 1,30						17:58-21:30	6:30-8:50
3	C	675	c	157	116	650/40 °C	Ku 88	Ku 70	20/(40)/20	1. 25 % 2. 20 %	2h 8min	3h 20min	24 min	5h 52min	-5,83
							cp 1,15	cp 1,19						17:58-21:30	6:30-8:50
3	C	675	a	216	84	650/39 °C	Ku 88	Ku 70	20/20	10 %	-	-	14 min	8h	-8h
							cp 1,15	cp 1,15						8:54-16:54	-
<b>Lohko 2</b>															
4	A	669	b	130	136	650/38,5 °C	Ku 88	Ku 90	30/30	25 %	-	-	-	4h 54min	-4,92
							cp 1,98	cp 1,75						9:13-14:07	-
4	A	669	c	139	127	650/39 °C	Ku 88	Ku 93	30/(40)/20	1. 25 % 2. 25 %	2h 28 min	2h 30 min	15 min	5h 13min	-5,25
							cp 1,98	cp 1,64						14:35-17:40	7:40-9:48
4	A	669	a	146	121	650/41 °C	Ku 88	Ku 92	30/25	13 %	-	-	17 min	5h 33min	-5,5
							cp 1,98	cp 1,73						10:02-15:35	-
5	C	665	a	201	89	650/38,5 °C	Ku 88	Ku 69	20/20	10 %	-	-	17 min	7h 33min	-7,5h
							cp 1,11	cp 1,12						12:15-19:48	-
5	C	665	b	188	93	650/38 °C	Ku 88	Ku 69	20/20	25 %	-	-	-	7h 10min	-7,16
							cp 1,11	cp 1,24						20:00-20:53	7:32-13:50
5	C	665	c	142	124	650/38 °C	Ku 88	Ku 67	20/(30)/12,5	1. 25 % 2. 20 %	2h 4 min	3h 6min	12 min	5h 22min	-5,37
							cp 1,11	cp 1,18						14:24-19:46	-
6	B	408	c	110	96	650/38 °C	Ku 73	Ku 86	30/(40)/25	1. 25 % 2. 20 %	1h 34 min	2h 31 min	10 min	4h 15min	-4,25
							cp 2,59	cp 2,70						6h 25min	-6,42h
6	B	408	a	173	63	650/39 °C	Ku 73	Ku 88	30/25	5 %	-	-	10 min	6h 25min	-6,42h
							cp 2,59	cp 3,13						5h 8 min	-5,13h
6	B	408	b	133	80	650/39 °C	Ku 73	Ku 90	30/30	30 %	-	-	-	5h 8 min	-5,13h
							cp 2,59	cp 3,39						5h 37min	-5,41h
<b>Lohko 3</b>															
7	C	669	c	146	122	650/37 °C	Ku 70	Ku 88	20/(40)/20	1. 25 % 2. 20 %	3h 37 min	1h 50 min	10 min	5h 37min	-5,41h
							cp 1,21	cp 1,10						8:28-14:05	-
7	C	669	a	188	96	650/39 °C	Ku 70	Ku 70	20/20	10 %	-	-	10 min	6h 54min	-7h
							cp 1,21	cp 1,28						14:35-20:20	7:30-8:39
7	C	669	b	195	92	650/40 °C	Ku 70	Ku 70	20/20	25 %	-	-	-	7h 16min	-7,25h
							cp 1,21	cp 1,36						8:44-16:00	-
8	B	418	b	139	78	650/39 °C	Ku 75	Ku 90	30/30	30 %	-	-	-	5h 21min	-5,34h
							cp 2,69	cp 2,70						8:44-14:05	-
8	B	418	c	103	106	650/38 °C	Ku 75	Ku 90	30/(40)/20	1. 25 % 2. 20 %	1h 33min	2h 14 min	10 min	3h 57min	-3,95h
							cp 2,69	cp 3,45						14:21-16:38	7:31-9:11
8	B	418	a	172	64	650/40 °C	Ku 75	Ku 90	30/25	5 %	-	-	10 min	6h 30min	-6,5h
							cp 2,69	cp 3,10						9:20-15:50	-
9	A	712	a	152	124	650/39,5 °C	Ku 65	Ku 90	30/25	13 %	-	-	10 min	5h 43min	-5,72h
							cp 1,13	cp 1,62						14:16-16:24	7:30-11:05
9	A	712	b	156	120	650/38 °C	Ku 65	Ku 90	30/30	25 %	-	-	-	5h 54min	-5,90h
							cp 1,13	cp 1,84						11:09-17:05	-
9	A	712	c	149	126	650/38 °C	Ku 65	Ku 99	30/(40)/20	1. 25 % 2. 25 %	2h 39 min	2h 49 min	10 min	5h 38min	-5,68h
							cp 1,13	cp 1,70						17:09-21:00	7:31-9:20

## Jauhatustapojen värivoimat

## Maali A

## Taittokokeet

**STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)**

<b>9-10.10.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
jauhatuspanos taitto	0,07	-0,08	-0,18	0,21
<b>c</b> rub out	0,63	0,05	0,12	0,64
<b>c</b> taitto	0,79	0,01	0,2	0,81
<b>a</b> rub out	0,58	0,08	0,26	0,64
<b>a</b> taitto	0,7	0,04	0,21	0,73
<b>b</b> rub out	0,53	0,05	0,16	0,55
<b>b</b> taitto	0,56	0,02	0,08	0,56

**STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)**

<b>22-23.10.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
jauhatuspanos taitto	-0,24	-0,06	-0,19	0,31
<b>c</b> rub out	0,31	0,07	0,31	0,45
<b>c</b> taitto	0,38	0,02	0,32	0,50
<b>a</b> rub out	0,36	0,04	0,26	0,45
<b>a</b> taitto	0,39	0,07	0,36	0,54
<b>b</b> rub out	0,37	0,02	0,13	0,39
<b>b</b> taitto	0,39	0,05	0,30	0,50

**STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)**

<b>27-28.11.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
jauhatuspanos taitto	0,22	-0,14	-0,31	0,41
<b>a</b> rub out	0,11	-0,03	0,09	0,14
<b>a</b> taitto	-0,07	-0,11	-0,25	0,28
<b>b</b> rub out	0,4	-0,09	-0,03	0,42
<b>b</b> taitto	0,38	-0,04	0,05	0,38
<b>c</b> rub out	0,06	-0,01	0	0,06
<b>c</b> taitto	-0,04	-0,08	-0,15	0,18

## Jauhatustapojen värivoimat

### Maali B

#### STANDARDI (Normaali helmimyllytys menetelmän rub out)

<b>2.10-3.10.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
a taitto	-0,66	0,23	0,02	0,7
c rubout	-0,04	0,16	-0,04	0,17
c taitto	-0,49	0,29	0,1	0,58
b rubout	-0,02	0,15	-0,04	0,16
b taitto	-0,66	0,25	0,05	0,71

#### STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)

<b>4-5.11.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
jauhatuspanoksen taitto	1,08	0,76	2,22	2,58
c rubout	-0,6	-0,14	-0,84	1,04
c taitto	-1,01	0,18	-0,48	1,13
b rubout	-0,7	-0,06	-0,79	1,06
b taitto	-1,15	0,12	-0,6	1,31
a rubout	-0,71	-0,14	-0,82	1,09
a taitto	-1,29	0,07	-0,69	1,47

#### STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)

<b>18-19.11.2014</b>				
Jauhatustapa	<u>DL</u>	<u>Da</u>	<u>Db</u>	<u>DE</u>
jauhatuspanoksen taitto	1,42	0,7	2,35	2,84
c rubout	-0,5	-0,06	-0,59	0,77
c taitto	-0,64	0,17	-0,36	0,75
b rubout	-0,75	-0,35	-1,04	1,33
b taitto	-0,81	0,05	-0,52	0,96
a rubout	-0,77	-0,23	-0,94	1,23
a taitto	-0,9	0,06	-0,6	1,08

## Jauhatustapojen värivoimat

### Maali C

#### STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)

<b>16-17.10.2014</b>				
Jauhatustapa	DL	Da	Db	DE
jauhatuspanos taitto	2,65	-2,79	2,54	4,61
c out	-0,73	2,89	-0,19	2,99
ci taitto	-0,12	3,04	1,00	3,20
a rub out	-0,69	2,79	-0,22	2,88
a taitto	-0,07	3,06	0,99	3,16
b rub out	-0,99	2,82	-0,30	3,00
b taitto	-0,08	3,01	0,99	3,16

#### STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)

<b>28-29.10.2014</b>				
Jauhatustapa	DL	Da	Db	DE
jauhatuspanos taitto	4,92	-4,83	4,56	8,27
c rub out	-0,03	1,17	-0,03	1,17
c taitto	0,98	1,7	1,64	2,56
a rub out	0,09	1,47	0,58	1,58
a taitto	0,93	1,75	1,97	2,8
b rub out	0,25	1,42	0,36	1,49
c taitto	1,09	1,64	1,61	2,55

#### STANDARDI (jauhatuspanoksen rub out)

<b>12-13.11.2014</b>				
Jauhatustapa	DL	Da	Db	DE
jauhatuspanos taitto	3,87	-4,24	0,13	5,74
c rub out	-1,55	2,3	0,2	2,78
c taitto	-0,63	2,14	1,46	2,66
a rub out	-0,99	2,35	0,6	2,62
a taitto	-0,36	2,37	1,76	2,98
b rub out	-1,25	2,06	0,23	2,42
b taitto	-0,27	2,28	1,68	2,84