

Veijo Katajisto

# Jauhemaalın laadunvalvonta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinööriyö

2.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Veijo Katajisto Jauhemaalain laadunvalvonta
Sivumäärä Aika	60 sivua + 3 liitettä 2.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Ohjaaja(t)	Laadunvalvonnan esimies Anne Haapakoski (Teknos Oy) Lehtori Arto Yli-Pentti (Metropolia AMK)
<p>Työ tehtiin Teknos Oy:n Rajamäen jauhemaalain laadunvalvontalaboratoriolle. Jauhemaalitehtaassa valmistetaan jauhemaaliala kolmessa vuorossa ja vuoden aikana n. 5 milj. kiloa. Siksi on tärkeää, että laadunvalvontaprosessi toimii riittävällä varmuudella.</p> <p>Vuosien aikana laboratorion työohjeista on ollut vastuussa ainoastaan yksi henkilö, minkä vuoksi suuri osa työohjeista ei vastannut nykyistä laitekantaa. Tämä oli johtanut epävarmuuteen omassa työssä ja toimintaohjeiden jakamiseen vain suullisesti.</p> <p>Työn tavoitteina oli työohjeiden käyminen läpi ja niiden saaminen ajan tasalle. Käytännön osuus koostui laboratorioon hankitun pyknometrin asennuksesta, käyttöönotosta ja työntekijöiden koulutuksesta ja jauhemaalituotteen tuotannon aikana huomattun tiheyden alenemisen tutkimisesta. Lisäksi tarkoituksena oli perehtyä laadunvalvonnan aikana tehtäviin toimenpiteisiin ja koota niiden periaatteet ja syyt osaksi perehdytyskansiota.</p> <p>Vanhentuneet ohjeet päivitettiin, poistuneiden laitteiden ohjeet poistettiin ja uusille laitteille tehtiin uudet ohjeet eli kaikki ohjeet saatiin vastaamaan nykyistä laitekantaa. Hankittu pyknometri saatiin toimintavarmaan kuntoon ja sen käyttö koulutettua työntekijöille. Työn aikana huomattiin, että hankittu pyknometri on helppokäyttöinen, varma ja varsin yksinkertainen laite. Tiheystutkimuksessa saatiin selville tiheyden alenemisen todennäköinen syy.</p> <p>Työlle asetetut tavoitteet saatiin täytettyä ja tämä insinöörityö kokonaisuudessaan tulee olemaan osa Teknos Oy:n jauhemaalilaboratorion perehdytyskansiota.</p>	
Avainsanat	laadunvalvonta, jauhemaaliala, pyknometri, tiheys

Author(s) Title	Veijo Katajisto Quality Control Management of Powder Coatings
Number of Pages Date	60 pages + 3 appendices 2 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Chemistry
Instructor(s)	Anne Haapakoski, Quality Control Manager Arto Yli-Pentti, Senior Lecturer
<p>The Bachelor's thesis was conducted for Teknos Oy's quality control management laboratory of powder coatings in Rajamäki. Powder coatings are produced in three shifts and approximately 5 million kilograms are manufactured annually in the factory. Therefore, it is important that the quality control is performed with sufficient certainty.</p> <p>For years there has been only one person responsible for the laboratory's working instructions. This has resulted in a situation that some working instructions have become obsolete. This has led to uncertainty among co-workers and sharing instructions only verbally.</p> <p>The goal of this thesis was to update the working instructions, and the practical part included an introduction of a new pycnometer, apparatus that measures the density of powder coatings. Furthermore, one of the goals was the training of the laboratory personnel to use that apparatus. The research was conducted on the density of powder coatings when it was noticed that it has reduced during production. In addition, to improve the orientation folder, the principles and reasons of quality control tests are described in detail.</p> <p>As a result, the obsolete instructions were updated, whereas incorrect instructions were deleted and new instructions were made for the new tests. It was discovered that the introduction of the pycnometer was a success and the laboratory personnel are qualified to use the apparatus. In addition, the density research revealed a probable cause for density drops.</p> <p>In conclusion, the goal of this thesis was accomplished and this Bachelor's thesis will be a part of the orientation folder in Teknos Oy's quality control management laboratory.</p>	
Keywords	quality control management, powder coatings, pycnometer, density

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Alkutilanne	1
1.2	Tavoitteet	1
2	Teknoksen esittely	2
2.1	Teknoksen historia	2
2.2	Teknos nykyään	4
2.2.1	Avainluvut	4
2.2.2	Tuotesegmentit	4
2.2.3	Laatu ja ympäristö	5
3	Jauhemaali	5
3.1	Yleisesti	5
3.1.1	Edut	5
3.1.2	Haitat	6
3.2	Jauhemaalityypit	6
3.2.1	Epoksijauhemaali	6
3.2.2	Polyesterijauhemaali	6
3.2.3	Epoksi-polyesterijauhemaali	7
3.2.4	Muita jauhemaalityyppejä	7
3.3	Jauhemaalın valmistusprosessi	8
3.3.1	Raaka-aineiden punnitus	8
3.3.2	Sekoittaminen	9
3.3.3	Ekstrudointi	10
3.3.4	Jäähdytys	10
3.3.5	Murskaus	11
3.3.6	Jauhaminen ja seulominen	11
3.3.7	Pakkaaminen	12
4	Testaaminen ja laadunvalvonta	13
4.1	Laatu	13
4.2	Laadunvalvonnan periaatteet	14

4.3	Laadunvalvontaprosessi	15
4.4	Jauhemaalain laadunvalvonnassa tehtävät toimenpiteet	17
4.4.1	Ruiskutus ja uunitus	17
4.4.2	Partikkelikokoanalyysi	20
4.4.3	Fluidisointi	22
4.4.4	Kalvonpaksuus	24
4.4.5	Kiilto	26
4.4.6	Sävy	28
4.4.7	Mekaanisen kestävyuden määrittäminen	33
4.4.8	Visuaalinen arviointi	36
4.4.9	Geeliajan määrittäminen	49
4.4.10	Jauhemaalain tiheyden määrittäminen	50
4.4.11	Lasisiirtymälämpötila	51
4.4.12	Kuiva-ainepitoisuus	52
4.5	Laadunvalvonnan haasteet	53
5	Käytännön osuus	54
5.1	Alkutilanne	54
5.2	Laitteen kokoaminen ja asentaminen	54
5.3	Laitteen kalibrointi ja mittauksen aloittaminen	54
5.4	Koesuunnitelma laitteen luotettavuuden todentamiseksi	55
5.5	Työohjeiden tekeminen	55
5.6	Työntekijöiden kouluttaminen	55
5.7	Toistokokeiden tulokset	56
5.8	Tulosten tarkastelu	56
5.9	Raaka-aineiden tutkiminen	57
5.9.1	Alkutilanne	57
5.9.2	Tulokset	57
5.9.3	Tulosten tarkastelu	58
6	Yhteenveto	58
6.1	Laadunvalvonta	58
6.2	Tiheysmittarin käyttöönotto	58
6.3	Työntekijöiden kouluttaminen	59
6.4	Tiheystutkimus	59
7	Loppupäätelmät	59
	Lähteet	61

## Liitteet

Liite 1. Accupyc 1340 -laitteen työohjeet

Liite 2. Partikkelikokoanalyysinäytteen tulokset

Liite 3. Jauhemaalinäytteen tiheystulokset

## Lyhenteet ja käsitteet

Agglomeraatti	Hienosta jauheesta yhteen liittynyt suuri partikkeli
Apuaine	Aine, jolla muutetaan mm. jauhemaalain kiiltoa ja fluidisointia
Bondaaminen	Metallipigmentin sekoittaminen jauhemaalisiin jauhetta lämmitämällä, jolloin sulavat partikkelit ja metalli yhdistyvät.
Kovete	Raaka-aine, joka verkkouttaa jauhemaalain sideaineen
Kuivasekoitus	Mekaaninen sekoittamistapa lisäämiseen jauhemaalisiin esim. metallipigmenttiä
Metameria	Valonlähteen vaihtumisesta johtuva sävyn muutos
Pigmentti	Värillinen hienojakoinen aine, joka sekoitetaan jauhemaalisiin antaen maalille väriä ja peittokykyä
Polttoaika	Aika, joka tarvitaan jauhemaalain verkkoutumiseen
Polttolämpötila	Lämpötila, joka vaaditaan jauhemaalain verkkoutumiseen.
R & D	Research and Development eli tutkimus- ja tuotekehityslaboratorio
Sideaine	Sideaine sitoo maalin yhtenäiseksi kalvoksi ja pitää maalin kiinni maalattavassa pinnassa.
Takaisinimu-efekti	Jauhemaalauksessa yleinen ilmiö, jossa maalikalvon sähkövaraus kasvaa liian suureksi, jolloin maalattava kappale alkaa hylkimään jauhemaalaa.
Tg	Lasisiirtymälämpötila
TGIC	Triglysidyyli-isosyanoureaatti-kovete, jonka käyttö on vähentynyt sen myrkyllisyyden vuoksi.

VOC

Volatile organic compounds eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet

# 1 Johdanto

## 1.1 Alkutilanne

Teknos Oy:n jauhemaalain laadunvalvontalaboratorion työohjeet olivat jääneet päivittämättä monen vuoden aikana. Uudempiin laitteisiin ei välttämättä ollut ohjeita lainkaan tai laitteita käytettiin toisen vanhemman laitteen työohjeilla. Tätä yritettiin parantaa tämän insinööriyön aikana. Laboratorioon oli myös hankittu Accupyc 1340 -pyknometri eli tiheydenmäärityslaite jauhemaalain laadunvalvonnan suorittamisen osaksi.

## 1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli saada laboratorion toimintaohjeet ajan tasalle ja saada jokaiselle laitteelle toimivat työohjeet, jotta jokainen pystyisi käyttämään laitetta myös vähäisellä koulutuksella. Samalla laboranttien työmenetelmät yhtenäistyisivät, jolloin tuloksiin voitaisiin luottaa paremmin. Tavoitteena oli myös rakentaa perehdytyskansio sähköisen järjestelmän lisäksi, johon kerättäisiin kaikki tärkeimmät työohjeet, mikä tukisi uuden työntekijän perehdytysprosessia. Työohjeista voitaisiin helposti tarkistaa mittauksen toiminta-periaate. Laboratorioon ostettu pyknometri tulisi saada myös toimintavarmaan kuntoon ennen kuin uuden suuren asiakkaan jauhemaalain tulisi ensimmäistä kertaa valmistukseen.

Tuotteiden ja asiakkaiden lisääntyessä on tärkeää, että laadunvalvonta on luotettavalla, varmallalla ja toistettavalla tasolla. Kilpailun kiristyessä maailmanlaajuisen nopean logistiikan vuoksi laadulla tulee olemaan entistä suurempi vaikutus. [1, s. 680.]

## 2 Teknoksen esittely

### 2.1 Teknoksen historia

Teknos-Tehtaat Oy perustettiin vuonna 1948. Alussa tuotanto oli hyvin pientä. Sodan jälkeisen rakentamisbuumin luoma ruosteenestomaalin kasvava kysyntä johti Ferrex-monipigmenttilyijymönjämäalin kehittämiseen vuonna 1949. Maalista tuli nopeasti menestys. Se oli säänkestoltaan moninkertaisesti parempi kuin vanhat korroosionestoaineet. Lisäksi vaikeasti saatavaa lyijymönjää tarvittiin selvästi vähemmän. Maalin levitys oli helpompaa, ja se oli tutkimuksen mukaan 2,9 kertaa taloudellisempaa kuin tavanomaiset lyijymönjämäalit. Alussa myyminen oli hankalaa, mutta esimerkiksi Kone Oy:n ja Rautatiehallituksen uudet ruostesuojausstandardit mahdollistivat Ferrexin myymisen enenevässä määrin. [2, s. 23–24.]

1950-luku oli kasvun ja uusien tuotteiden aikaa. Uusina tuotteina olivat alkydikitti ja Donna-lattiavaha, joiden valmistus aloitettiin vuonna 1952. Ferrex oli johtava tuote, mutta vernissat, lakat ja Riihi-maali myivät hyvin. Ruosteenestoa kehitettiin edelleen johtuen Suomen sääoloista. Lopulta Ferrex-maali laajeni kokonaiseksi ruosteenestojärjestelmäksi. Kun lyijyn käyttö kiellettiin maaleissa, lyijy korvattiin korroosionestopigmenteillä. Myöhemmin kehitettiin myös lyijyttömät ruosteenestomaalit Korrex (sinkkikromaatti) ja Galvex (sinkkipöly). Konepajapohjamaaleja kehitettiin edelleen ja niiden nimeksi tuli KORRO. [2, s. 35–37.]

Alkuvuosien monet uudet tuotteet loivat pohjan nopealle kasvulle. 1960-luvulla kasvu oli voimakasta, mutta tasaisempaa. Uudet tuotteet takasivat kasvun. Ruosteenestossa, betonilattiamaaaleissa ja puun ulkomaalauksessa Teknoksen markkinaosuus oli suuri. Nämä kuuluivat myös Teknoksen erikoistumisalueeseen. Tuotteita oli kuitenkin melko vähän, mutta tuotteet olivat itsekehitettyjä ja tutkittuja. [2, s. 52–53.]

1970-luvulla alettiin kiinnittää huomiota työturvallisuuteen ja työntekijöiden henkilökohtaiseen suojaamiseen. Raskaana olevat naiset siirrettiin työtehtäviin, joissa altistusta liuottimille ei ollut. Monissa hyvissä raaka-aineissa huomattiin vaikutuksia etenkin maala-reihin. Osa raaka-aineista kiellettiin ja maaleihin lisättiin tuoteseloste myrkyllisistä aineista. Aloitettiin tuotteiden uudistaminen turvallisempaan suuntaan. Myös ympäristö-

asiat vauhdittivat myrkyllisten raaka-aineiden korvaamista. Työntekijöille hankittiin suojavaatteita, koska omat vaatteet kuluivat. Ilmanvaihtoon ja paloturvallisuuteen kiinnitettiin enemmän huomiota. Pitäjänmäen vanhassa tehtaassa parannettiin ilmanvaihtoa uusimalla laitteet. Paloturvallisuutta parannettiin asentamalla sprinklerilaitteet Pitäjänmäelle. [2, s. 63–65.]

Vuonna 1971 aloitettiin myös jauhemaalien tuotanto Pitäjänmäellä. OXYPLAST-epoksi-pulverista tuli saman tien menestys, jonka tuotannosta suurin osa meni vientiin vuonna 1972. [2, s. 67.]

Kasvun myötä Pitäjänmäen tontit olivat pian rakennettu täyteen, joten laajenemistilaa oli etsittävä. Sellaista löytyi Nurmijärveltä, tarkemmin Rajamäeltä. Tälle tontille rakennettiin uudet tuotantorakennukset ja myöhemmin myös teollisuus- ja varistorakennus, joka valmistui vuonna 1990. Rajamäellä aloitettiin jauhemaalien valmistus samana vuonna. Rakennuksien valmistumisen jälkeen yhtiön rakennusten tilavuus oli 138 000 m<sup>3</sup>. [2, s. 85.]

Taantuma aiheutti 1980-luvulla maalin kysynnän laskua, jota paikattiin yritysostoilla (Tasotuote Oy v. 1983) ja uusien tuotteiden parempien versioiden myymisen aloittamisella. Super Panun myynti aloitettiin v. 1985 [1, s. 87]. Teknos laajeni Ruotsiin ja Tanskaan vuosina 1989 ja 1990, kun ostettiin Tranemo Färg ja Schou Farve- og Lakfabrikin [3].

1990-luvulla yritysostot, tytäryhtiöiden perustaminen ja jo olemassa olevien tilojen laajentaminen lisäsivät tuotevalikoimaa ja maantieteellistä laajuutta. 1992 Ruotsissa saatiin käyttöön uusi tehdastila ja varasto. Ostettiin osake-enemmistö englantilaisesta European Coating Ltd:stä. Vuonna 1997 perustettiin tytäryhtiö puolaan. 2001 ostettiin tanskalainen Hygæa Farve og Lakker A/S. Vuonna 2007 valmistui Rajamäen jauhemaalitehtaan laajennus, jonka johdosta tehdas on Pohjoismaiden suurin ollen pinta-alaltaan 10.000 m<sup>2</sup>. Tytäryhtiöt Ukrainaan ja Vietnamiin perustettiin vuosina 2010 ja 2011. [3.] 9.6.2015 Pietariin valmistui tehdas, joka palvelee suurta maalin kysyntää Venäjällä [4].

## 2.2 Teknos nykyään

### 2.2.1 Avainluvut

Teknos Oy:n työntekijämäärä on noin 1 200 henkilöä. Näistä noin 200 henkilöä toimii tuotekehityksen ja tutkimuksen palveluksessa. Konsernin liikevaihto oli noin 295 milj. euroa ja käyttökate noin 36 milj. euroa vuonna 2015. Tuotantoa on seitsemässä maassa: Suomessa, Ruotsissa, Kiinassa, Venäjällä, Puolassa, Saksassa ja Tanskassa. [5;6.]

### 2.2.2 Tuotesegmentit

Teknosin tuotteet voidaan jakaa kolmeen segmenttiin, jotka ovat kauppa- ja rakennusmaalit, metalli-, mineraali- ja jauhemaalit ja puuteollisuusmaalit. Kauppa- ja rakennusmaalit on suunniteltu ammattimaalareille ja kotimaalareille. Ne ovat helppokäyttöisiä ja joko vesiliukoisia tai liuotteettomia.

Puuteollisuusmaalien markkinaosuus on ollut kasvussa Teknoksella, koska pintakäsittelyyn on panostettu. Yritysosotot ovat tehneet Teknoksesta markkinajohtajan Suomessa ja useissa maissa Euroopassa. Jo yli 30 vuoden aikana Teknos on panostanut puuteollisuuden tarpeisiin suunniteltuihin tuotteisiin.[7.]

Metallimaaleilla suojataan kohdetta unohtamatta maalin ja värien visuaalista vaikutusta ympäristöön. TEKNOMIX-sävytysjärjestelmä tarjoaa lukemattomat sävytysmahdollisuudet. Teknos on markkinajohtaja tällä sektorilla ja sillä onkin valmiudet tarjota tuotteet myös todella vaativiin kohteisiin, kuten kemianteollisuuden laitteisiin, paperikoneisiin tai siltoihin. Teknosin tuotevalikoimasta löytyy vesiohenteinen vaihtoehto jokaiselle metallimaalauskohteelle. [8.]

Jauhemaali, jota tämä työ pääasiassa käsittelee, on monien metallimaalamoiden suosima vaihtoehto VOC-päästöttömyyden, maalin kierrätyksen ja kappaleen nopean käyttövalmiuden vuoksi. Kappale on käyttövalmis, kun jauhemaali on verkkoutunut uunituksessa ja jäähdytetty. [9.]

### 2.2.3 Laatu ja ympäristö

Teknos parantaa osaamistaan ja tietämystään jokaisella osa-alueella, jotta työntekijöillä ja asiakkailta olisi käytössään parhaat mahdollisuudet hyvien tuotteiden käyttöön ja tuotantoon. Teknos kierrättää jätteet ja ottaa huomioon ympäristölainsäädännön parantamissaan tuottavuuttaan ja valitsevat mahdollisimman ekologiset raaka-aineet. Systemaattinen laadunvalvonta takaa tuotteiden viimeisen tarkistuksen ennen asiakkaalle toimittamista. Teknos Oy on ottanut tavoitteekseen säästää 2 200 MWh energiaa vuoteen 2016 mennessä. [10.]

## 3 Jauhemaali

### 3.1 Yleisesti

Jauhemaali on sideainetta, kovetetta, pigmenttejä, lisäaineita ja täyteainetta sisältävää muovijauhetta, joka varataan sähköstaattisesti ja paineilman avustuksella ruiskutetaan maadoitettuun kappaleeseen, joka on yleensä metallia. Kappale laitetaan tämän jälkeen uuniin, jossa maali reagoi lopulliseen muotoon. Jäähdytynyt kappale on käyttövalmis. [11; 12.]

#### 3.1.1 Edut

Jauhemaali on kokonaan kiinteää ainetta, ja haihtuvia ainesosia on vain vähän. Tämän vuoksi jauhemaalien koko massa käytetään maalikalvon muodostamiseen ja sillä voidaan maalata noin 1,5-kertainen alue märkämaaliin verrattuna painoyksikköä kohden. Liuottimia ei tarvitse käyttää valmistuksen aikana, joten jauhemaalien kuljettaminen ja varastointi on ekologisempaa ja VOC-päästöjä ei synny myöskään maalauksen tai jätteenkäsittelyn seurauksena, mikä lisää myös paloturvallisuutta. Tämän vuoksi jauhemaali luokitellaan vaarattomaksi materiaaliksi. [11; 1, s. 652.]

Jauhemaalauksen hyötysuhde on korkea, jota auttaa korkea kuiva-ainepitoisuus, sekä mahdollisuus käyttää kappaleesta ohimenevä maali uudelleen maalauslinjastoissa. Jauhemaalilla saadaan aikaan tarpeeksi paksu maalikalvo yleisesti kertamaalauksella, joka nopeuttaa tuotteiden maalaamista. [13; 1, s. 652.]

### 3.1.2 Haitat

Jauhemaalilla joudutaan maalaamaan pääsääntöisesti verrattain paksuja maalikalvoja (n. 70–100 µm) hyvän maalikalvon saavuttamiseksi. Ohuemmillä kalvoilla haasteeksi muodostuu huonompi peittokyky ja maalikalvon huono tasoittuminen.

Jauhemaali kontaminoituu helposti verrattuna esimerkiksi nestemäiseen liuotinmaaliin. Liuotinmaali pystyy liuottamaan rasvaa ja muista aineita itseensä maalikalvon siitä kärsimättä. Jauhemaalikalvolla kosteus ja rasva aiheuttavat paljon ongelmia.

Kuivat partikkelit sekoittuvat helposti jauhemaalisiin aiheuttaen maalikalvoon virheitä. Myös vieras jauhemaali aiheuttaa maalissa ongelmia, koska erilaiset jauhemaalit eivät liukene toisiinsa. Tämän vuoksi maalaus- tai tuotantolinjan puhdistamiseen kuuluu helposti paljon aikaa ja jauhemaalien sävyä ei voi muuttaa sekoittamalla siihen eriväristä jauhemaalialia. [14; 1, s. 652–653.]

## 3.2 Jauhemaalityypit

Seuraavaksi käydään läpi yleisimmät jauhemaalityypit.

### 3.2.1 Epoksijauhemaali

Epoksijauhemaali tunnetaan hyvin liuottimia, kemikaaleja ja mekaanista rasitusta kestäväenä jauhemaalina. Heikon UV-säteilykeston vuoksi se ei sovellu ulkotiloihin. UV-säteily aiheuttaa maaliin liituuntumista, jossa maalin kiilto putoaa ja sävy saattaa muuttua. Maali suojaa silti hyvin, vaikka mekaanisessa rasituksessa kalvon uloimmasta osasta irtoaa jauhomaista maalia. Epoksijauhemaali kellastuu myös liian pitkän tai liian korkean lämpötilan uunituksen johdosta. Valmiin kappaleen käyttölämpötila on myös tiedettävä, koska korkeat lämpötilat aiheuttavat maalin kellastumista ajan kuluessa. Epoksijauhemaalialia voidaan ruiskuttaa kitka- tai koronaruisilla. [15, s. 123.]

### 3.2.2 Polyesterijauhemaali

Polyesterijauhe ei kestä kemikaaleja ja liuottimia yhtä hyvin kuin epoksijauhe. Kestävyys on kuitenkin todettu riittäväksi. Mekaanista rasitusta polyesterijauhe kestää yhtä hyvin ja

UV-säteily ei aiheuta ongelmia. Siksi sitä käytetään pääasiassa ulkona oleviin kappaleisiin. Polyesterijauhe ei myöskään ole herkkä liialliselle polttoajalle tai polttolämpötilalle. Vasta pitkään uunitettaessa saattaa esiintyä värivirheitä.

Polyesterijauhemaali jaetaan kahteen eri tyyppiin: triglysidyyli-isosyanoureaatti-kovetteeseen (TGIC) ja TGIC-vapaaseen maaliin. TGIC-kovetteisella maalilla on hyviä ominaisuuksia, kuten sitä voidaan maalata paksuja kerroksia ilman maalikalvon reikiintymistä. TGIC-kovete on kuitenkin myrkyllistä, joten sen käyttö on selvästi vähentynyt [15, s. 124; 16, s. 205.]

TGIC-vapaata polyesterijauhetta ei voida maalata yhtä paksultti, kuin TGIC-kovetteista. Yli 120–160 µm maalikalvot saattavat reikiintyä uunituksessa. Reikiintymistä voidaan vähentää hidastamalla polttolämpötilan nousemista, koska reikiintymisen aiheuttaa maalista haihtuva vesi. Normaalikäytössä ongelmia ei kuitenkaan ole. [15, s. 124.]

### 3.2.3 Epoksi-polyesterijauhemaali

Epoksi-polyesterijauhe, jota myös usein mikserijauhemaaliksi kutsutaan, sisältää nimensä mukaisesti epoksi- ja polyesterisideainetta. Tällä tavoin on saatu jauhemaalia, jossa on hyviä ominaisuuksia molemmista jauheista. Liituuntumista esiintyy vähemmän kuin pelkällä epoksimaalilla, mutta mekaaninen kestävyys on huonompi. Mikserijauhetta käytetään Suomessa eniten kaikista jauhetyypeistä. Pigmentit vaikuttavat paljon jauheen UV-säteilykestoon. [15, s. 124.]

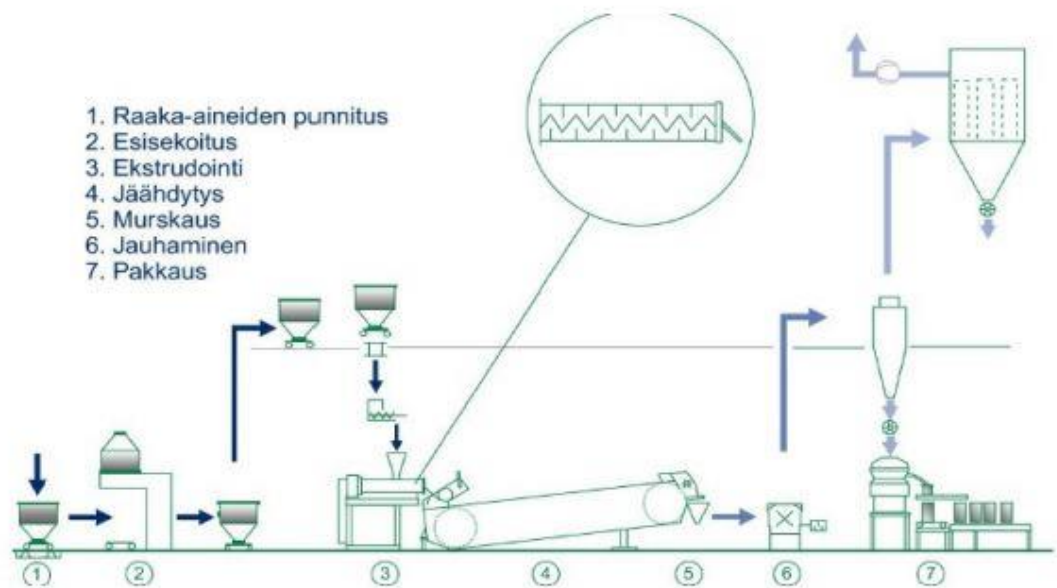
### 3.2.4 Muita jauhemaalityyppejä

Seuraavassa on lueteltu muita yleisiä jauhemaalityyppejä

- Struktuurijauhemaali, jonka pinta on kuviollinen. Pinnan laatu on herkkä kalvonpaksuuden vaihteluille.
- Metallihohtojauhemaalit, joissa on metallipigmenttiä. Metallipigmentti on sekoitettu maaliin joko bondaamalla tai kuivasekoittamalla.
- Sinkkipölyjauheet, joita käytetään pohjamaalauksessa. Sinkkipöly antaa hyvän korroosionkeston. [15, s.124–125.]

- Polyuretaanijauhemaali, joka kestää hyvin kemikaaleja, mekaanista rasitusta ja UV-säteilyä. Polyuretaanijauhe tasoittuu erittäin hyvin, joten sillä saadaan maalattua erityisen hyvin sileitä ja kiiltäviä pintoja. [17; 18.]
- Silikonijauhemaali, joka soveltuu maalauskohteisiin, joissa lämpötilat ovat hyvin korkeita. Silikonijauhe kestää 400–650 °C:n lämpötiloja. [17; 18.]

### 3.3 Jauhemaalain valmistusprosessi



Kuva 1. Jauhemaalain valmistusprosessi [19]

#### 3.3.1 Raaka-aineiden punnitus

Jauhemaalain valmistaminen (kuva 1.) aloitetaan punnitsemalla reseptin mukaisesti sideaineet, pigmentit, täyteaineet, kovetteet ja muut lisäaineet. Tarkkuutta vaaditaan erityisesti pienten raaka-ainemäärien kohdalla, koska pienet punnitusvirheet vaikuttavat lopputulokseen paljon. Panoksessa saattaa olla satoja kiloja sideainetta ja täyteainetta, mutta vain joitakin grammoja tiettyjä pigmenttejä. Raaka-aineiden partikkelikoko tulisi olla mahdollisimman lähellä toisiaan, jotta esiseoksesta saadaan mahdollisimman homogeeninen. [ 20, s. 255; 21, s. 65.]

### 3.3.2 Sekoittaminen

Esiseoksen sekoittaminen on hyvin tärkeä osa valmistusprosessia, koska se määrää, kuinka tasalaatuista lopputuotteesta tulee. Liian vähäinen sekoitus aiheuttaa kiillon, sävyn ja mekaanisten ominaisuuksien vaihtelua valmiissa jauheessa. Liiallinen sekoittaminen voi aiheuttaa esiseoksen lämpenemistä ja sideaineen pehmenemistä, jolloin saattaa muodostua agglomeraatteja esiseokseen. [20, s. 254–255; 22, s. 594.]

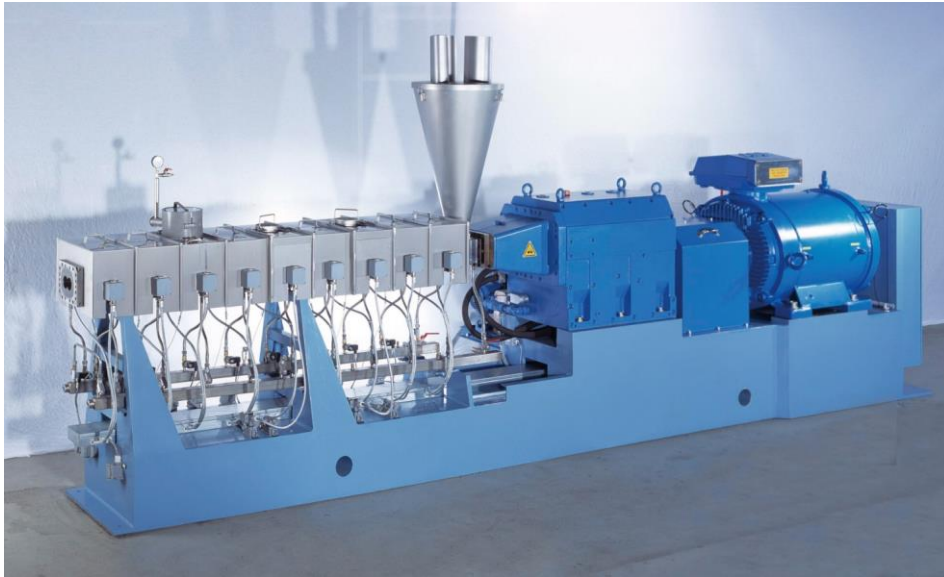
Tyypillinen sekoitin jauhemaaleille on laajalti käytetty ”Mixaco” (kuva 2.). Se on säiliösekoitin. Laitteessa on helposti puhdistettava sekoituspää, jota voidaan käyttää erillisten säiliöiden sekoittamiseen. Nopea puhdistaminen helpottaa värin tai muiden ominaisuuksien osalta erilaisten panosten sekoittamista. [20, s. 259.]



Kuva 2. ”Mixaco” ja sekoitettu panossäiliö

### 3.3.3 Ekstrudointi

Homogenisoitu esiseos johdetaan suulakepuristimeen eli ekstruuderiin (kuva 3.). Lämmitetyssä ekstruuderissa olevat ruuvit hiertävät seosta, jolloin se sulaa kitkan ja lämmön vaikutuksesta. Sulaessa pigmentit dispergoituvat ja esiseos muuttuu homogeeniseksi tahnaksi. Tahna liikkuu ruuvien avustuksella ulos ekstruuderista. Tahna on kuumaa, joten verkkoutumisreaktio on käynnissä. [21, s. 66; 20, s. 262.]



Kuva 3. Jauhemaalain valmistukseen käytettävä ekstruuderin [23]

### 3.3.4 Jäähdytys

Nestemäinen reagoiva esiseos tulee jäähdyttää mahdollisimman nopeasti, jotta se ei ehdi verkkoutumaan kiinteään muotoon. Sula esiseos syötetään jäähdyttävälle valssille, jotka puristavat seoksen vain parin millimetrin paksuiseksi levyksi. Levy kulkee jäähdytetyn liukuhinnan eli jäähdytysnauhan (kuva 4.) päällä ja palaa takaisin kiinteäksi ilman, että reaktio on edennyt loppuun asti. [21, s. 70; 1, s. 244.]



Kuva 4. Jäähdytysnauha

### 3.3.5 Murskaus

Jäähdytyshinnan päässä olevat murskain (kuva 5.) rikkoo levyn muutamien senttien kookseksi rouheeksi, jotka joko kerätään säiliöön tai johdetaan suoraan jauhatuslinjaan [21, s. 70; 20, s. 275].



Kuva 5. Murskain

### 3.3.6 Jauhaminen ja seulominen

Rouhe johdetaan myllyyn (kuva 6.), joka jauhaa rouheen vaadittuun partikkelikokoon. Vasaramyllyssä partikkelit jauhautuvat iskeytyessään toisiaan ja myllyn vasaroita vasten. Partikkelikokoon voidaan vaikuttaa vasaroiden pyörimisnopeudella. Myllyn jälkeen

jauhe johdetaan sykloniin, jossa jauheesta erotetaan hienoin osuus. Syklonista (kuva 7.) jauhe putoaa seulalle, jossa siitä poistetaan karkeimmat partikkelit. Seuloina käytetään yleisesti täryseuloja. [21, s.71; 1, s. 245; 20, s. 276.]



Kuva 6. Linjan 24 mylly



Kuva 7. Esimerkkikuva syklonista [24]

### 3.3.7 Pakkaaminen

Seulottu jauhemaali pakataan asiakkaan toiveiden mukaisesti joko 10–20 kg:n pahvilaa-tikkoihin (kuva 8.) tai 250–700 kg painaviin suursäkkeihin. Pakkauslinjan jälkeen valmiit tuotteet kuljetetaan varastoon tai suoraan lähteväksi asiakkaalle. [21, s.74.]



Kuva 8. Jauhemaalilaatikko pakkauslinjalla

## 4 Testaaminen ja laadunvalvonta

### 4.1 Laatu

Laatu käsitteenä on muuttunut ajan kuluessa. Aikaisemmin laatu merkitsi tuotteen ominaisuuksista muodostuvaa kokonaisuutta. Nykyisin laadulla tarkoitetaan yleisesti asiakkaan tarpeiden ja vaatimuksien tyydyttämistä. Laatuajatteluun ovat yhdistyneet ekologisuus, asiakaspalvelu, aikataulun mukaiset tuotetositukset sekä tuottajan nopea reagointi asiakkaan ongelmiin. Laatuajattelun laajuuden vuoksi se koskettaa koko yhtiötä ja jokaisen yrityksen työntekijän pitäisi se ymmärtää.

Laadunhallintaa käsitteleviä standardeja on lukusia, ja ne antavat ohjeistuksia laadunhallinnan toteuttamiseen. Laatustandardeja voidaan toteuttaa monilla tasoilla ja niiden toteutumista voidaan auditoida. Auditoituja yrityksiä voidaan täten vertailla keskenään. Saavutetut laatustandardit eli sertifikaatit kertovat yrityksen laadusta ja luotettavuudesta.

Standardi SFS-EN ISO 9000 antaa ohjeita muiden standardien käyttämiseen ja SFS-EN ISO 9001 -standardi kertoo tarkemmin laadunhallinnan toteuttamisesta. Standardi keskittyy tuotantoon ja laadunvalvonnan tarkistuksiin ja testaamiseen. Se kattaa myös tuotekehityksen ja suunnittelun.

Standardeja uudistetaan ja yhdistetään toisiinsa asioiden selkeyttämisen vuoksi. Lisäksi uusia standardeja ilmestyy. Esimerkiksi autoteollisuuden laatustandardi ISO/TS 16949 korvaa valtioiden omia standardeja tehden laadunvalvonnasta yhtenäisempää.

Standardoitu laadunhallinta ei pelkästään ohjaa yritysten toimintaa. Kiristynvä lainsäädäntö saasteiden, luonnonvarojen ja energian kulutuksen suhteen aiheuttavat myös muutoksia ja sopeutumista. Ympäristöasioiden huomioimista on myös standardisoitu SFS-EN ISO 14000 -sarjan muodossa. Yritykset, joilla on sekä SFS-EN ISO 9000 ja SFS-EN ISO 14000 -sarjan standardeja, kehittävät siis toimintaansa laatu- ja ympäristönäkökulmista. [1, s. 680–685.]

#### 4.2 Laadunvalvonnan periaatteet

Laadunvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että tuotettu maali noudattaa vaadittuja standardeja ja on tarpeeksi hyvää käyttötarkoitusta varten. Asiakas voi määrätä muita vaadittuja ominaisuuksia. Laadunvalvontaan määritetään testit, joilla ominaisuudet ja tuotteen tasalaatuisuus voidaan varmistaa. Maali- ja pinnoiteteollisuuden laadunvalvonnan kannalta on tärkeää muistaa, että tuotteet eivät ole valmiita, vaan tuote tulee valmiiksi vasta maalaamossa. Tuotteen laadunvalvonta joudutaan usein tekemään eri olosuhteissa, kuin asiakas sitä käyttää. [22, s. 658; 1, s. 661.]

Testien olisi hyvä olla helposti toistettavia, jotta tuloksiin voidaan luottaa tekijästä riippumatta. Laitteiden tulisi olla nopeasti ja vaivattomasti puhdistettavia ja helppokäyttöisiä. Tuloksen saaminen tulisi olla nopeaa ja yksiselitteistä, jotta tuotteen laatu voidaan nopeasti varmistaa keskeytymättömässä tuotannossa. Yksinkertaisiin testeihin ei kannata hankkia kalliita laitteita, ellei tulokselta vaadita erityistä tarkkuutta. Ulkoisten tekijöiden (ilmankosteus, tärinä, lämpötila) vaikutus tulisi ottaa huomioon. [22, s. 656.]

Laadunvalvontaa tehdään sekä tehtaalla että maalaamoissa. Maalin tuottajilla ja käyttäjillä on usein juuri tähän tarkoitukseen koulutettuja työntekijöitä. Laadunvalvontaa pidetään tylsänä ja vain pakollisena kulueraänä, mutta muistettakoon, että laadunvalvonnan suorittavat laborantit ovat suuressa vastuussa yhtiön tuotteiden maineen ja uskottavuuden suhteen, koska suurimmat asiakkaat tilaavat usein samoja tuotteita. [22, s. 656–657.]

Testejä tulisi tehdä mahdollisimman vähän tuotteen laadun varmistamiseksi, jotta aikaa ja rahaa käytettäisiin mahdollisimman vähän. Laboratorioissa on valmiudet mitata maaleista todella paljon eri ominaisuuksia, mutta suuresta osasta jauhemaaleja ei mitata kuin partikkelikokojakauma ja valmiista maalikalvosta kiilto, sävy, kalvonpaksuus ja mekaaninen kestävyys. Jokaiselle näytteelle tehdään myös visuaalinen arviointi, jossa tarkastetaan, että maalikalvossa ei ole vikoja. Pinnan virheet voidaan helposti huomata harjaantuneen laborantin toimesta. [22, s. 661; 12, s. 667.]

#### 4.3 Laadunvalvontaprosessi

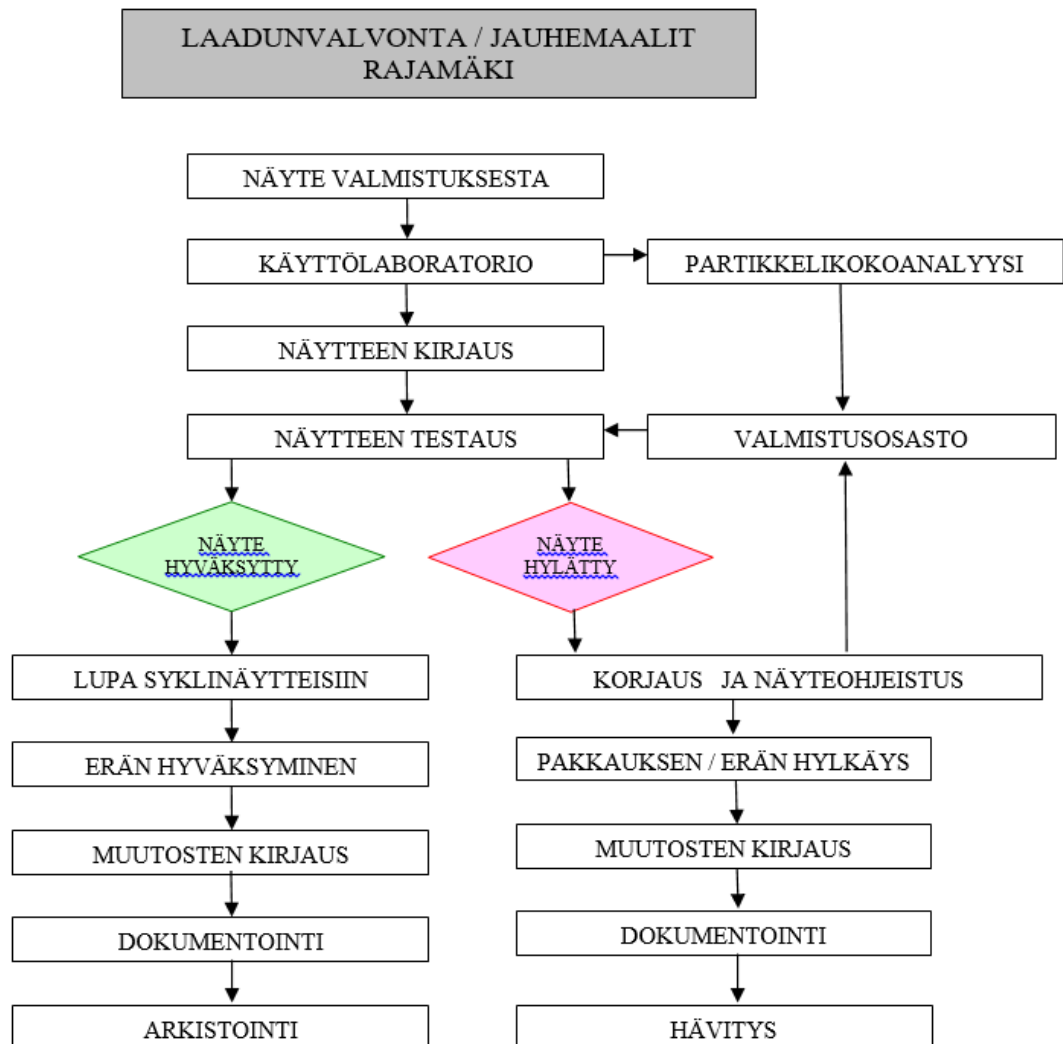
Teknos Oy:n tehtaalla Rajamäellä laadunvalvonta suoritetaan kuvan 9. osoittamalla tavalla. Tuotannosta ajon aloituksesta tuodaan laboratorioon näytteitä. Tärkein mitattava ominaisuus tässä vaiheessa on partikkelikokojakauma, koska se säädetään jo tuotannossa. Rajoista eriävän tuloksen saatuaan, maalinvalmistaja säätää laitteistoa kohti optimaalista partikkelikokoa.

Näytteestä suoritetaan tämän jälkeen laadunvalvontakaavakkeessa määrätyt testit mahdollisimman nopeasti tärkeysjärjestyksessä. Tärkeysjärjestys muodostuu ominaisuuden tärkeydestä ja/tai sen helposta korjattavuudesta. Mikäli näytteet täyttävät vaaditut ominaisuudet, annetaan tuotannolle lupa tuoda näytteitä 30 minuutin välein, joista tehdään jälleen vaaditut testit.

Mikäli näyte ei täytä vaatimuksia, ilmoitetaan siitä tuotteen virheellisyydestä riippuen joko maalia valmistavalle työntekijälle tai vaikeammissa tapauksissa työnjohdolle. Laadunvalvonnan esimies tai tuotteesta vastaava tutkiva voi myös hyväksyä tuotteen. Jos näyte joudutaan hylkäämään, tarkoittaa se myös kyseisen pakkauksen hylkäämistä, josta näyte on otettu. Työnjohto päättää, korjataanko virhe linjaa pysäyttämättä vai joudutaanko ajo keskeyttämään. Päätösten teossa vaaditaan hyvää ammattitaitoa ja nopeaa päätöksentekoa, koska linjan sulkeminen hidastaa tuotantoa ja voi johtaa muihin ongelmiin. Ajon jatkaminen on myös hyvin riskialtista, koska hylättyä maalia voi tulla nopeasti paljonkin.

Tuotantolinjan mahdollinen alasajo tarkoittaa, että korjaavia toimenpiteitä ei voida tehdä ajon aikana tai virheen syytä ei tiedetä. Tämä tarkoittaa usein linjan uudelleen puhdistaa-

mista. Hylätyn pakkauksen vuoksi joudutaan ottamaan lisää näytteitä pakkauksista ennen hylättyä näytettä ja sen jälkeen, jotta voidaan erotella hyvät ja huonot pakkaukset. Ongelmien korjaannuttua ajoa jatketaan lopetukseen asti, jolloin tuodaan jälleen useita näytteitä, koska tuotantolinjan tyhjentyessä esiseoksesta jauhemaali ei ole usein enää



homogeenistä.

Kuva 9. Kaaviokuva tuotannon aikana tehtävän laadunvalvonnan suorittamisesta. [19]

#### 4.4 Jauhemaalain laadunvalvonnassa tehtävät toimenpiteet

##### 4.4.1 Ruiskutus ja uunitus

Jokaisesta näytteestä ruiskutetaan näytelevy (kuva 10.), joka useimmiten on ohutta alumiinia, jonka koko on 10 x 15 cm. Vastaavankokoisia levyjä on myös 0,8 mm:n paksuista alumiinia ja rautaa, sekä 0,4 mm:n paksuista rautaa. Eri levyvaihtoehtoja käytetään erilaisiin testeihin. Iskutestit tehdään 0,8 mm:n paksuisille rautalevyille ja eri levyillä saadaan maalille myös erilaiset uunitukset, koska levyt lämpenevät eri nopeuksilla. Rautalevyjä löytyy myös 30 cm:n pituisina. Muun kokoisia levyjä käytetään myös satunnaisesti.



Kuva 10. Näytelevyjä (Ohut alumiinilevy, 0,8 mm:n alumiinilevy ja 0,8 mm:n rautalevy)

##### 4.4.1.1 Ruiskut

Maalin ruiskuttamiseen käytetään pääasiassa korkeajänniteruiskuja (kuva 11.) (koronaruisku) tai kitkavarautuvia ruiskuja (kuva 12.) (tribostaattinen ruisku). Molemmat tyypit ovat elektrostaattisia ruiskuja, jotka varaavat maalipartikkelit sähköisesti. Jauhemaalain on eristävää materiaalia, joten partikkelit pitävät sähköisen varauksen ja kiinnittyvät maalattavaan kappaleeseen. [20, s. 340.]



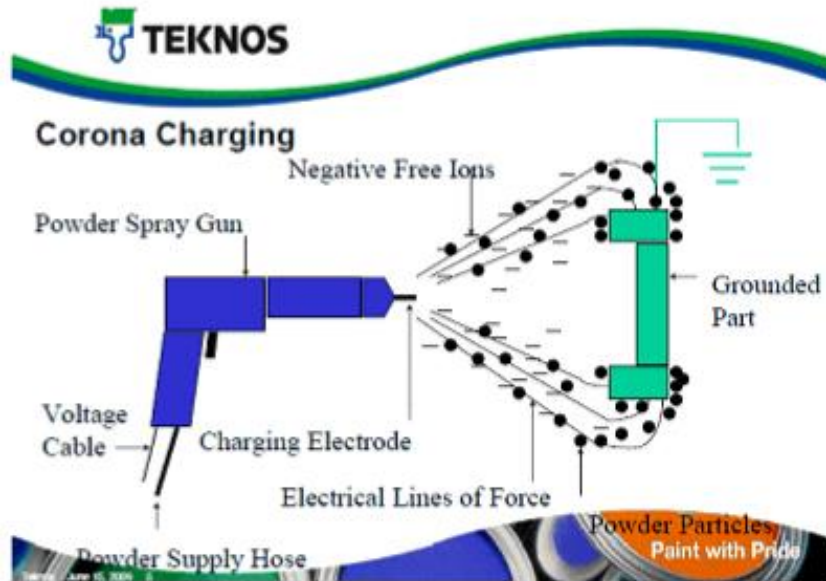
Kuva 11. Koronaruisku [25]



Kuva 12. Kitkaruisku [26]

#### 4.4.1.1 Korkeajänniteruisku

Koronaruisku on näistä kahdesta yleisempi, koska suurin osa jauhemaalista voidaan ruiskuttaa koronaruiskulla. Koronaruiskutuksen periaate on esitetty kuvassa 13. Ruiskun rakenne on yksinkertainen. Ruiskun sisällä oleva korkeajännitelähteeseen kytketty elektrodi tuottaa sähkökentän, joka ionisoi ilmaa synnyttäen negatiivisia ioneja. Ruiskun läpi puhalletut jauhemaalipartikkelit varautuvat negatiivisesti. Kaikki ionit eivät kuitenkaan varaa partikkeleita vaan noin 99,5 % ioneista ovat vapaina jauhepilvessä. Koronaruiskun päästä poistuu siis varattuja ja neutraaleja maalipartikkeleita ja vapaita ioneja. [20, s. 341.]



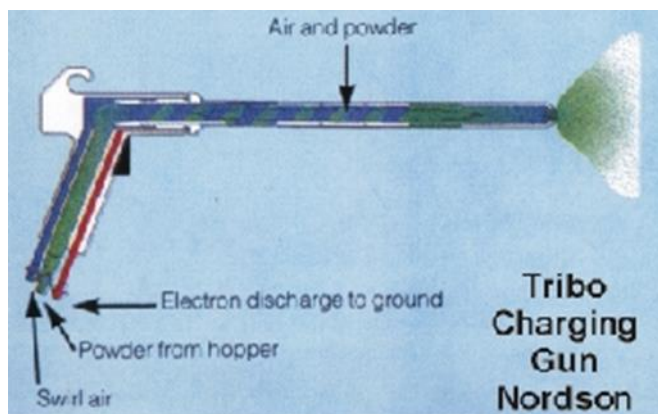
Kuva 13. Koronaruiskutus [19]

Koronaruiskun ongelmana on Faradayn häkki-ilmiö, jonka vuoksi sillä on hankalaa maalata muita kuin tasaisia kappaleita, jos käytetään pientä ilmavirtaa maalin kuljettamiseen. Maalipartikkelit seuraavat sähkökenttää eivätkä kulkeudu maadoitetun kappaleen onkaloihin. [20, s. 345.]

#### 4.4.1.1.2 Tribostaattinen ruisku

Kitkavarautuvan ruiskun periaatteena toimii kauan sitten keksitty ilmiö. Ilmiössä kahta eristettä hangataan toisiaan vasten ja irrotetaan toisistaan, jolloin toinen kappale saa negatiivisen ja toinen positiivisen varauksen.

Ruisku (kuva 14) koostuu usein teflon-putkesta, jonka läpi jauhemaali kuljetetaan paineilman avulla. Putki on maadoitettu, joten ainoastaan maali säilyy varautuneena, kun se poistuu ruiskun putken suusta. Kitkaruisku ei tarvitse erillistä jännitelähdettä, mikä tekee siitä yksinkertaisen rakenteen ohella halvemmän kuin koronaruisku. Toisena etuna on myös yksinkertaisuudesta johtuva helpompi puhdistettavuus. Etuna on myös lähes kokonaan poistunut Faradayn häkki-ilmiö, koska varatun jauhemaalien ja maalattavan kappaleen välillä on vain erittäin heikko sähkökenttä. [20, s. 346–347.]



Kuva 14. Triboruiskun rakenne [27]

Kitkaruiskuilla on pääsääntöisesti pienempi maalauskapasiteetti kuin koronaruiskuilla ja partikkelikoko vaikuttaa niillä maalaamiseen selvästi enemmän kuin koronaruiskuilla. Tämä selittyy sillä, että suuremmat partikkelit iskeytyvät Tefloniin suuremmalla voimalla. Kitkamaalauslinjojen käyttämissä jauheissa tulisi siis olla mahdollisimman vähän hienoa jauhetta, koska suuremmat partikkelit jäävät kappaleeseen ja pienemmät joutuvat kierätyslinjaan voiden aiheuttaa ongelmia. [20, s. 347–348.]

#### 4.4.1.2 Uunitus

Lämpökovettava jauhemaali tulee uunittaa lopullisen maalikalvon aikaansaamiseksi. Reaktio alkaa jauhemaalipartikkeleiden sulamisella ja yhtymisellä. Yhteinen kalvo verkkoutuu yleensä kovetteen avulla. Uunitusta jatketaan haluttuun pisteeseen, jossa maalikalvo on valmis. [20, s.102.]

#### 4.4.2 Partikkelikokoanalyysi

Jauhemaalien partikkelikokojakauma on hyvin tärkeä maalattavuuteen vaikuttava tekijä ja sen säätäminen on suhteellisen helppoa nykyisillä tuotantolaitteilla. Tärkeimmät jauhemaalinäytteestä seurattavat asiat ovat  $d(0.5)$  eli keskipartikkelikoko,  $\%<10\ \mu\text{m}$  eli hieno osuus ja top cut eli näytteen karkeimmat partikkelit. Yleisesti jauhemaaleissa käytetään

partikkelikokoa 20–45 µm. Partikkelikoko vaikuttaa saavutettavissa olevaan kalvonpaksuuteen. Mitä kapeampi partikkelikokojakauman käyrä on eli tuote sisältää mahdollisimman vähän hienoa ja karkeaa jauhetta, sitä paremmin jauhe toimii maalattaessa. Jauhe maalin korkea hieno-osuus ( $\% < 10 \mu$ ) aiheuttaa ongelmia. Hieno maali ei varaudu yhtä hyvin, ja siksi sitä kertyy usein maalin kierrätyslinjaan. Hieno maali fluidisoi huonommin ja saattaa tukkia maalauslinjaston, lisäksi se agglomeroituu helpommin. Erittäin karkeat partikkelit aiheuttavat näkyviä vikoja varsinkin sileissä maalikalvoissa. [20, s. 308; 21, s. 77; 1, s. 574.]

Jauhemaaleja valmistetaan myös epäoptimaalisilla partikkelikokojakaumilla. Jauheet saattavat vaatia hienompaa partikkelikokoa käytettäessä, jolloin  $< 10 \mu$  osuus luonnollisesti kasvaa. Asiakkaiden toiveita täytetään myös valmistamalla erityisen karkeita maaleja, jotta saavutetaan paksumpia maalikalvoja. Jotkin maalit sideaineesta riippuen jauhuvat helpommin. Partikkelikokojakauman säätäminen voi olla tällöin erittäin hankalaa.

#### 4.4.2.1 Mittaustekniikka

Partikkelikokoanalyysin tekemiseen paras mahdollinen tekniikka on laserdiffraktio. Tekniikka on nopea, helppokäyttöinen ja antaa luotettavia tuloksia. ISO eli kansainvälinen standardisoimisjärjestö on standardisoinut tekniikan ja se kuuluu standardiin SFS-EN ISO 8130-13.

#### 4.4.2.2 Toimintaperiaate

Laitteen (kuva 15.) helium-neon -laser tuottaa lasersäteen. Lasersäteen halkaisija laajennetaan linssillä, jotta mahdollisimman moni partikkeli saadaan laserin mittausalueelle. Näyte laitetaan syöttölaitteeseen, joka levittää partikkelit ilman avulla mittausalueelle. Mitattavat hiukkaset sirottavat lasersäteilyä niiden koon mukaisesti eri kulmiin. Säteet siroavat pienistä hiukkasista suuremmassa kulmassa kuin isommista. Sironnut valo kerätään pii-fotodiodi -detektoreihin. Detektorit mittaavat hajaantuneen valon ja tuottavat signaalit jokaiselle näytteen partikkeleille. Signaalit muutetaan digitaaliseen muotoon ja analysoidaan tietokoneella. Tulokset saadaan graafisessa ja taulukkomuodossa (liite 2.). [20, s. 309–310.]



Kuva 15. Malvern 3000 –partikkelikokoanalysointilaitteisto [28]

#### 4.4.2.3 Käytäntö

Seuraavassa esitetään mittauksen suoritus

- Laitetta ohjaavaan tietokoneohjelmaan kirjataan näytteen tiedot.
- Mitataan taustasironnan taso, jolla selvitetään, onko laite puhdas edellisen mittauksen jäljiltä. Mitä suurempi taustasironnataso on, sitä huonommin näyte voidaan mitata tarkasti. Laite suorittaa tämän ennen näytteen mittaamista
- Näyte syötetään mittalaitteeseen syöttölaitteen avulla, ja laite suorittaa mittauksen automaattisesti.
- Tulokset annetaan graafisessa ja taulukkomuodossa tietokoneen ruudulle. [29; 30.]

#### 4.4.3 Fluidisointi

Fluidisoiminen eli leijuvuus tarkoittaa jauhemaalien muuttamista fluidiksi jauheeseen puhalletun ilman avulla. Jauhemaalit tulevat fluidisoitua, jotta niitä voidaan kuljettaa maalaukselinjassa ja ruiskuttaa, eli se on tärkein jauhemaalauksen mahdollistava ominaisuus. [1, s. 573.]

Jauhemaalit jaetaan kolmeen luokkaan fluidisointikyvyn perusteella:

A-luokka fluidisoituu helposti ja maalissa muodostuu paljon pieniä ilmakuplia. B-luokan jauhemaalissa muodostuu suuria kuplia ja C-luokka kanavoituu helposti, jolloin ilma kulkee tiettyä reittiä pitkin estäen fluidisoinnin. Maalaamoissa käytettävät maalit ovat A- ja C-luokan välimuotoja. [1, s. 573.]

Leijuvuus voidaan mitata ja jotkin asiakkaat myös vaativat sen mittaamista, jotta varmistetaan maalin toimivuus maalauslinjassa. Aina mittaaminen ei ole tarpeellista, koska näytettä ruiskutettaessa voidaan karkeasti arvioida, kuinka hyvin maali fluidisoituu. Maalin leijuvuutta parannetaan usein maaliin lisättävillä apuaineilla. Fluidisoinnin mittaaminen on kuvattu standardissa SFS-EN ISO 8130-5.

#### 4.4.3.1 Mittaaminen

Mittaus suoritetaan standardoiduissa olosuhteissa paineen ja lämpötilan suhteen siihen erikseen kehitetyllä laitteella (kuva 16.). Mittauksessa määrätty määrä jauhetta laitetaan leijutusastiaan, jonka pohjan kautta puhalletaan ilmaa, joka fluidisoi jauhemaalina. Jauhemaalina annetaan fluidisoitua tasapainotilaan ja jauhemaalipatsaan korkeus ( $h_1$ ) mitataan millimetreinä. Ilman virtaus suljetaan ja jauheen annetaan laskeutua lepotilaan. Korkeus ( $h_0$ ) mitataan. Fluidisointitekijä lasketaan kaavalla 1.

$$\phi = \frac{h_1}{h_0} \quad (1)$$

Seuraavaksi ilmavirta avataan uudestaan ja fluidisoitua jauhetta lasketaan astian kyljessä olevasta reiästä 30 s:n ajan. Laskettu jauhe punnitaan ( $m$ ). Jauheen virtaustekijä ( $R$ ) voidaan laskea kaavalla 2.

$$R = m \times \phi \quad (2)$$

Mittauksen suorittajan kahden mittauksen tuloksilla ei tulisi olla yli 5 % eroa. [20, s. 316.]



Kuva 16. Fluidisoinnin mittaamiseen käytettävä laite.

#### 4.4.4 Kalvonpaksuus

Maalattava kalvonpaksuus on usein kompromissi, jotta kappaleelle saadaan riittävä suojaus, pinnan laatu ja tasainen väri. Mitä ohuemmallalla kalvonpaksuudella pärjätään, sitä vähemmän maalia tarvitaan. Kalvonpaksuuden kasvattaminen aiheuttaa usein mekaanisten ominaisuuksien huononemista. [1, s. 341.] Laadunvalvontalaboratoriossa yleisin maalattava kalvonpaksuus on 80–100  $\mu\text{m}$ .

Huonon peittokyvyn omaavia maaleja tulisi maalata tarpeeksi paksu kalvonpaksuus, jotta värisävy olisi tasainen. Ilmiötä esiintyy erityisesti kirkkailla punaisen ja keltaisen sävyillä [31, s. 74].

Liian suuri kalvonpaksuus voi aiheuttaa neulanpistoja eli pieniä reikiä maalikalvossa. Reiät johtuvat haihtuvista aineksista, jotka läpäisevät lähes verkkoutuneen maalikalvon uunituksessa. [31, s. 29.]

Liian ohut kalvonpaksuus johtaa usein huonoon tasoittuvuuteen ja mahdollisten karkeampien partikkelien näkymiseen maalikalvossa. Kalvoa paksuntamalla voidaan peittää osa karkeasta aineksestä johtuvista pintavirheistä, mutta tällöin on vaarana ylittää maalille optimoitu kalvonpaksuus ja riskinä ovat neulanpistot.

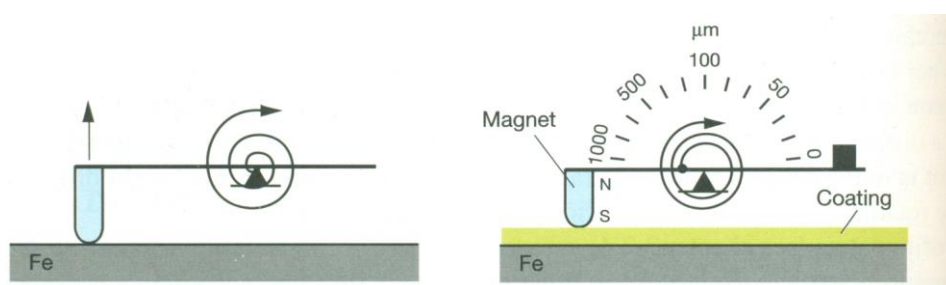
Kalvonpaksuuden mittaaminen on ongelmallista, koska laitteet mittaavat paksuuden vain tietyistä kohdasta. Varsinkin epätasaisilla struktuuripinnoitteilla kalvonpaksuus arvioidaan usein visuaalisesti pinnan muotojen perusteella.

#### 4.4.4.1 Mittaaminen

Jauhemaalilla maalataan lähes poikkeuksetta metallia. Metallit jaetaan magneettisiin ja ei-magneettisiin metalleihin. Magneettisuudesta riippuen kalvonpaksuus voidaan mitata eri tavoilla.

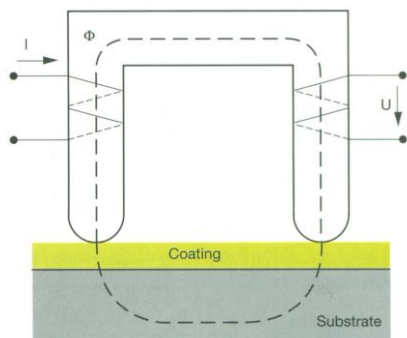
##### 4.4.4.1.1 Magneettinen alusta

Maalausalustan eli substraatin ollessa magneettista voidaan kalvonpaksuus mitata kahdella eri tavalla. Ensimmäinen perustuu kestopagneetin vetovoiman riippuvuuteen kalvonpaksuudesta (kuva 17.). Mittari irrotetaan maalikalvosta, ja mittari ilmoittaa vaaditun voiman ja sitä vastaavan kalvonpaksuuden. Paksummalla maalikalvolla tarvitaan irrottamiseen vähemmän voimaa, koska maalikalvo huonontaa magneettista vetovoimaa. [1, s. 345.]



Kuva 17. Magneettiseen vetovoimaan perustuva mittaustapa. [1]

Toinen vaihtoehto (kuva 18.) perustuu sähkövirran synnyttämään magneettivuohon sähkömagneetin käämissä. Magneettivuosta aiheutuu jännite. Kalvonpaksuutta mitattaessa maalikalvon paksuus vaikuttaa magneettivuon voimakkuuteen ja siitä aiheutuvaan jännitteeseen. [1, s. 345.]



Kuva 18. Magneettivuon aiheuttamaan jännitteeseen perustuva tekniikka. [1]

#### 4.4.4.1.2 Muut alustat

Muille kuin magneettisille maalausaloille käytetään tekniikkaa, joka toimii myös magneettisille substraateille. Tekniikassa mitataan näennäisvastuksen muutosta mittauspäässä, jonka aiheuttaa substraattiin muodostetut pyörrevirrat. Menetelmä sopii alumiinille, sinkille, kuparille ja magnesiumille. Menetelmä on selitetty tarkemmin standardissa SFS-EN ISO 2360. [1, s. 346.]

#### 4.4.4.2 Mittaukseen käytettävä laite

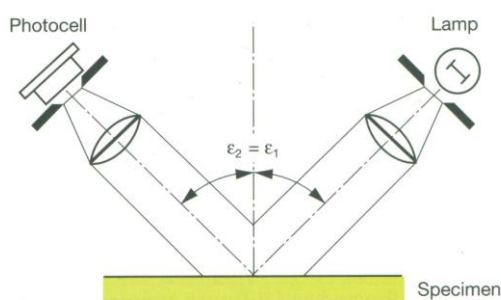
Kalvonpaksuus mitataan BYK MICRO-TRI-GLOSS -kiilto- ja kalvonpaksuusmittarilla (kuva 20.), joka käyttää magneettivuon voimakkuutta mittaamiseen magneettisille ja pyörrevirtatekniikkaa epämagneettisille maalausaloille. Kalvonpaksuus mitataan kahdella napin painalluksella, ja mittaus kestää 2 sekuntia.

#### 4.4.5 Kiilto

Kiilto on jauhemaalain tärkeimpiä visuaalisia ominaisuuksia. Kiilto tarkoittaa maalipinnan kykyä heijastaa valoa. Sileä pinta heijastaa valoa enemmän kuin karkea, joten maalipinnan laadulla ja muodoilla on suuri vaikutus kiiltoon. [1, s. 352.]

Matalakiiltoisilla maalipinnoilla pienetkin kiiltomuutokset nähdään helposti. Mitä suuremmaksi maalipinnan kiiltoarvo nousee, sitä suurempi muutos kiillossa tarvitaan sen visuaaliseen havaitsemiseen. Tämä helpottaa laadunvalvontaa matalamman kiillon maalilla, koska kiiltovirheiden tunnistaminen on helppoa.

Kiiltoa pitää pystyä mittaamaan, jotta se ei olisi vain ihmissilmän arvioinnin varassa. Kiilolla tulisi olla myös numeerinen arvo ja tulosten pitäisi olla vertailukelpoisia eri maalivalmistajien välillä. Tämän vuoksi kiillon mittaaminen maalipinnasta on standardisoitu. Standardin SFS-EN ISO 2813 mukaan kiiltomittarit vertaavat maalikalvon kiiltoa mustaan lasilevyyn, jonka taitekerroin on 1,567. Lasilevyn kiilto on 100. Mitä korkeampi kiiltoarvo, sitä kiiltävämpää maali on. Samassa standardissa on myös kuvattu kiiltomittarin eli reflektometrin toimintaperiaate (kuva 19.). Laite lähettää valoa tietyssä kulmassa maalipintaan. Kulmat ovat 20°, 60° ja 85°. Valo heijastuu samassa kulmassa takaisin valoherkkään sensoriin, joka mittaa valon intensiteetin. [20, s. 315; 21, s. 83; 1, s. 353–354.]



Kuva 19. Kiillon mittaamisen periaate [1]

Suuressa kulmassa kohdistettu valo heijastuu pinnasta paremmin, joten mattapintaisten maalien kiiltoa mitataan 85°:n kulmassa. Vastaavasti puolikiiltävien kiiltoa mitataan 60°:n kulmassa. Tässä kulmassa mitattu tulos yli 70 kiillon maalista ei ole enää tarkka vaan täyskiiltävillä käytetään kulmaa 20°. [20, s. 315; 1, s. 353–354.]

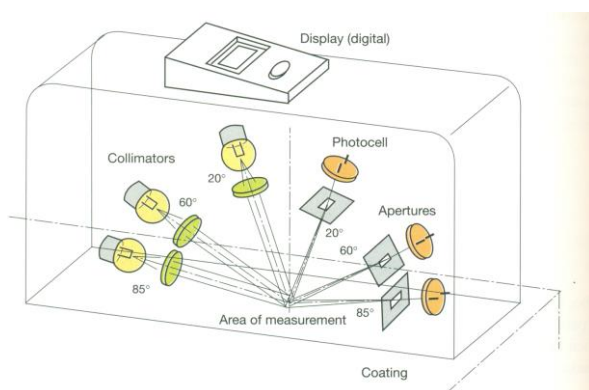
Halutusta kiiltoarvosta riippuen käytetään sopivia raaka-aineita. Kiiltoon voidaan vaikuttaa lisäaineilla, jotka muuttavat maalipintaa sameammaksi tai epätasaisemmaksi. Uunituksen kesto ja lämpötila vaikuttavat myös kiiltoon. Pääsääntöisesti pidempi aika ja korkeampi lämpötila laskevat kiiltoa. Kalvonpaksuus ja ruiskutustekniikka vaikuttavat kalvon tasaisuuteen, joka on yhteydessä kiiltoarvoon. Kiillon raja-arvot on määrätty tietyille kalvonpaksuusarvoille erikseen jokaiselle tuotteelle.

#### 4.4.5.1 Mittaukseen käytettävä laite

Nykyaikaisilla kiilto- ja kalvonpaksuusmittareilla (kuva 20.) voidaan mitata kiiltoarvot jokaisesta kolmesta kulmasta samanaikaisesti. Sama laite hoitaa myös kalvonpaksuuden mittaamiseen, jolloin kiiltoarvot saadaan tietyltä kalvonpaksuudelta. Laitteen rakenne on kuvattu kuvassa 21. [1, s. 354.]



Kuva 20. BYK MICRO-TRI-GLOSS -kiilto- ja kalvonpaksuusmittari

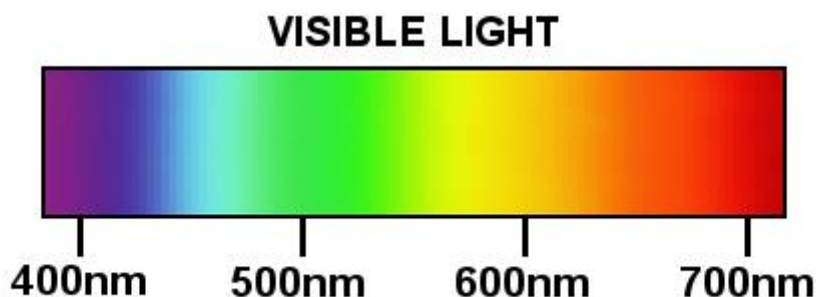


Kuva 21. Kiiltoimittarin rakenne [1]

#### 4.4.6 Sävy

Kappaleen väri riippuu sen kyvystä absorboida näkyvän valon eri aallonpituuksia valon spektristä (kuva 22.). Vihreä kappale absorboi kaikki muut aallonpituudet paitsi vihreän, jonka se heijastaa. Myös valonlähde vaikuttaa heijastuvaan sävyyn. Jos valonlähteen valo on keltaisempaa, näyttää värisävy myös keltaisemmalta. Värin mittaaminen on kuitenkin välttämätöntä tuloksien vertailun vuoksi. Siksi CIE (International Commission of Illumination) on standardoinut sävyn mittaamiseen käytettävät valonlähteet: A-valo, joka vastaa hehkulampun tuottamaa valoa, D 65-valo, joka vastaa päivänvaloa, B-valo, joka vastaa auringonvaloa ja TL 84 joka vastaa loisteputkivalaistusta. Mikäli maalin värisävy

muuttuu riippuen käytettävästä valonlähteestä, on kyseessä ilmiö nimeltä metameria. [1, s. 360–362, 368.]



Kuva 22. Näkyvän valon spektri. [32]

Tuotannon aikana valmistettuja sävyvirheellisiä panoksia ei voida pääsääntöisesti korjata. Mikäli sävyvirhe huomataan ajoissa, voidaan jäljellä oleva esiseos sävyttää. Muissa tapauksissa joudutaan tekemään kokonaan uusi panos korjatulla pigmentoinnilla. Sävytys tapahtuu sävymittarin sävytysohjelmalla. Laitteelle mitataan ensin valmistuksessa olevan tuotteen sävystandardi ja valitaan ohjelmassa tuotteen reseptillä käytetyt pigmentit. Ohjelma laskee teoreettisen reseptin kyseisillä pigmenteilla. Reseptinmukainen pigmentointi korjataan ohjelmaan. Seuraavaksi mitataan värimittarilla sävyvirheellinen näytelevy. Ohjelma laskee, mitä pigmenttejä panokseen tulisi lisätä sävyvirheen korjaamiseksi, tai antaa kokonaan uudet pigmenttimäärät kokonaisen panoksen valmistamiseksi. Arvioidaan, ovatko ohjelman antamat pigmenttimäärät järkeviä, ja ilmoitetaan sävytyksen järkevyydestä tuotannon esimiehelle. Tuotantoa jatketaan korjatulla panoksella.

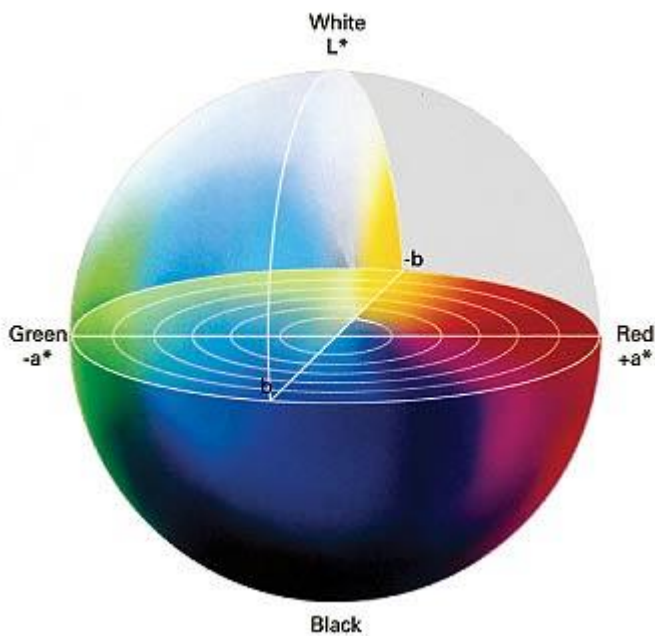
#### 4.4.6.1 Sävymittarin toiminta

Laitteena käytetään spektrofotometriä. Kuvassa 23 näkyvä laite tuottaa polykromaattista eli valkoista valoa, joka hajotetaan monokromaattorilla yksivärisiksi spektrin osiksi aallonpituusalueella 380–780 nm. Monokromaattorissa käytetään yleisesti prismoja. Erotetut valonsäteet ohjataan mitattavaan kappaleeseen ja heijastuva valo mitataan. [1, s. 370.]



Kuva 23. Datacolor 600 – spektrofotometri [33]

Maalin eri sävyjen määrittämiseen käytetään pääasiassa CIELAB-värimallia. Pallonmuotoisen värimalli sisältää kolme akselia kuvan 24 mukaisesti. L-akselin positiivisessa päässä on valkoinen ja negatiivisessa musta, a-akselin päissä ovat vihreä ja punainen ja b-akselissa vastakkain ovat keltainen ja sininen. Värimalli perustuu siihen, että väri ei voi olla sinistä ja keltaista tai punaista ja vihreää yhtäikää. [1, s. 367; 34.]



Kuva 24. CIELAB – väriavaruus [35]

Maalin eri sävyjen määrittämisestä on hyötyä, mutta tärkeämpää on mitata tuotetun maalin ja sävystandardin välinen väriero. Värierolla ( $\Delta E$ ) tarkoitetaan kaavalla 3 laskettua geometrista välimatkaa standardin CIELAB-koordinaateista [1, s. 367; 21, s. 85.]

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3)$$

#### 4.4.6.2 Sävystandardit



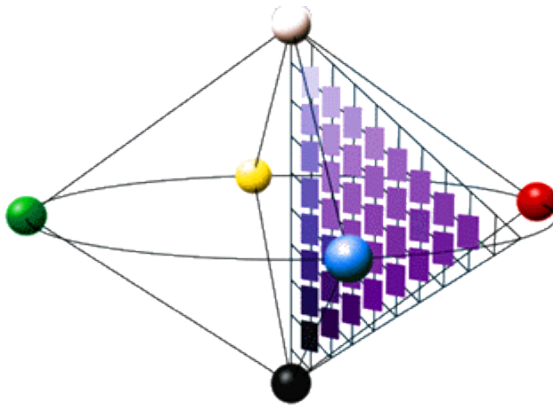
Kuva 25. NCS-standardiviuhka [36]

Ihmisten halu valita värisävyjä maaleille erilaisista sävykartastoista synnytti sävystandardit. Standardien hyötynä on, että tietty värisävy tietystä standardista on aina sama. Väristandardeja on monia erilaisia, ja samat sävyt löytyvät useista standardeista eri nimillä. [12, s. 371.]

##### 4.4.6.2.1 NCS-järjestelmä

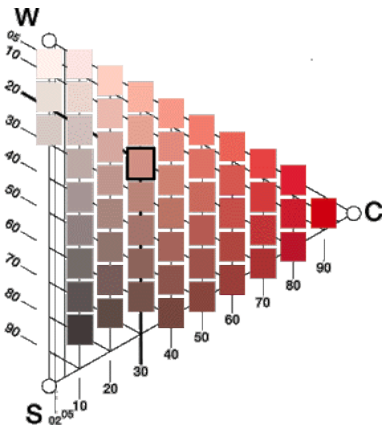
NCS-järjestelmä (Natural Colour System) pohjautuu ihmissilmän kykyyn nähdä eri perusvärejä. Järjestelmässä perusvärit ovat valkoinen, musta, keltainen, punainen, sininen ja vihreä. Järjestelmän väreille annetaan värikoodi, joka kertoo millainen sävy on kyseessä. Esimerkiksi värikoodi NCS-S8010-R90B tarkoittaa, että sävyssä on 80 % mustaa ja 10 % kromaattisuutta eli kuinka paljon sävyssä on väriä, joka ilmoitetaan loppuosassa. R90B tarkoittaa, että sävyssä on 90 % sinistä ja 10 % punaista. [37.]

Koko sävykartta voidaan myös esittää kolmiulotteisena värikarttana (kuva 26.). Kartta koostuu ympyrän kehällä olevista perusväreistä ja ylä- ja alakulmassa olevista mustasta ja valkoisesta. [37.]



Kuva 26. Kolmiulotteinen NCS-värikartta [38]

Värikartta voidaan leikata pystysuunnassa, jolloin saadaan värikolmio (kuva 27.), jonka kulmissa on valkoinen (W), musta (B) ja tietty perusvärien kohtaamiskohta. [37.]



Kuva 27. NCS-värikolmio [39]

#### 4.4.6.2.2 RAL-standardit



Kuva 28. RAL-standardiviuhka [40]

RAL-värikarttoja käytetään yleisesti jauhemaalien sävyn määrittämiseen. Sävykartta kehitettiin vuonna 1927 helpottamaan valmistajien ja asiakkaiden yhteistyötä. Aikaisemmin jouduttiin lähettämään mallilevyjä, mutta kartaston jälkeen sävyistä puhuttaessa tarvittiin vain numerosarja. Alkuperäisessä RAL Classic -sävykartassa oli 40 sävyä. [41.]

Uudemmat sävykartat kuten RAL Design pohjautuvat CIELAB-järjestelmään, ja niiden seitsemännumeroinen värikoodi on jaettu kolmeen osaan. Koodin kolme ensimmäistä numeroa määrittävät sävyä, kaksi seuraavaa kirkkautta ja kaksi viimeistä värikylläisyyttä. [41.]

#### 4.4.7 Mekaanisen kestävyuden määrittäminen

##### 4.4.7.1 Yksinkertaistettu taivutuskoe

Perusmaaleille voidaan tehdä yksinkertaistettu ja hyväksi havaittu taivutuskoe maalausta näytelevystä. Kokeessa levyn kulma taitetaan. Mikäli maalipinta kestää rikkoutumatta, on testi hyväksytty. [21, s. 86.]

#### 4.4.7.2 Iskutesti






Testi on kuvattu standardissa SFS-EN ISO 6272-2. Iskutesti kertoo, kuinka helposti maalikalvo murtuu ja kestää iskuja. Testissä punnus, jonka kärki on kartionmuotoinen, pudotetaan maalikalvolle ja näytelevyn maalaamattomalle puolelle. Testi tehdään kuvassa 29 näkyvällä laitteella, jossa punnus putoaa ohjainputken ohjaamana levyn pintaan. Ohjainputkeen on myös merkitty pudotuskorkeudet, jotta punnus putoaa aina halutulla voimalla. Punnuksen liike-energia saa näytelevyssä ja maalipinnassa aikaa nopeita muutoksia. Mikäli maalipinta säilyy ehjänä halkeilematta tai irtoamatta maalaus- alustasta, voidaan maalipinnan kestävyys hyväksyä. [20, s. 314–315.]



Kuva 29. Iskutestilaite [23]

#### 4.4.7.3 Hilaristikkokoe

Hilaristikkokoe on yksinkertainen valmiille maalikalvolle tehtävä maalikalvon adheesiota ja mekaanista kestävyyttä mittaava koe. Menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN ISO 2409. Standardinmukaisella kuusiteräisellä leikkaustyökalulla tehdään maalikalvoon viillot. Tämän jälkeen tehdään toiset viillot kohtisuorassa edellisten viillojen kanssa. Viilloista muodostuu 25 neliötä. Muodostuneita neliöitä verrataan standardissa oleviin kuviin (kuva 30.) ja arvioidaan maalin irtoamista alustasta. [1, s. 381–382.]

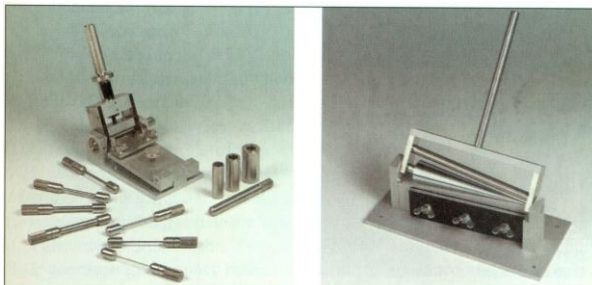
Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut <sup>2)</sup> (Esimerkki kuudelle rinnakkaisleikkaukselle)
0	Leikkausurien reunat ovat täysin sileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut.	
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut.	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta tai urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 5 % mutta korkeintaan 15 %.	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta korkeintaan 35 %.	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta korkeintaan 65 %.	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti.	-

<sup>2)</sup> Luvut ovat esimerkkejä hilaristikosta eri luokissa. Ilmoitetut prosenttiosuudet perustuvat kuvien perusteella saatun silmämääräiseen vaikutelmaan, eikä samoja prosenttiosuuksia välttämättä saada digitaalisella kuvantamisella.

Kuva 30. Hilaristikkokokeen arvostelutaulukko [42]

#### 4.4.7.4 Taivutustesti

Standardin SFS-EN ISO 1519 mukaisessa taivutustestissä pinnoitettua näytelevyä taivutetaan sylinterinmuotoisen tuurnan ympäri. Tuurnan halkaisijaa, jolla näytelevyn maalikalvo halkeilee tai irtoaa, käytetään vertailuarvona. SFS-EN ISO 6860 -taivutustestissä käytetään kartionmuotoista tuurnaa. Kartionmuotoisen tuurnan etuna on, että yhdellä testillä voidaan testata taivutuskestävyyttä monella eri halkaisijalla. Koelaitteet on esitetty kuvassa 31. [1, s. 391–392.]



Kuva 31. Taivutustestilaitteet [1]

Hilaristikkokoetta tai standardisoituja laitteilla tehtäviä taivutuskokeita ei tehdä tuotannon ohessa tehtävässä laadunvalvonnassa. Tuotteet, jotka tehtaalle tulevat valmistukseen ovat käyneet jo R & D -laboratorion laadunvalvonnan, jossa näitä testejä käytetään. [43.]

#### 4.4.8 Visuaalinen arviointi

Maalikalvon visuaalinen arviointi on tärkein yksittäinen tehtävä testi, koska siinä arvioidaan maalin visuaalisten ominaisuuksien kokonaisuus lopullisesta tuotteesta. Tällä päästään mahdollisimman lähelle maalin käyttäjän maalauslinjastolla tapahtuvaa laadunvalvontaa. Maalipinnan laatu tarkistetaan ruiskutetuista näytelevyistä laitteilla tehtävien mittausten lisäksi myös laadunvalvonnan työntekijöiden eli laboranttien näön avulla. Ihmissilmä on erittäin tarkka instrumentti maalikalvossa olevien pintavikojen etsimiseen. Sillä voidaan havaita jopa 0,5 µm:n eroja maalikalvon paksuudessa. [1, s. 664–667.]

Pintavirheet pystytään havaitsemaan nopeasti kokeneen laborantin avulla. Häiriön havaitseminen ei kuitenkaan kerro mitään syntymekanismista. Kokeneet työntekijät pystyvät kuitenkin yleensä havaintojen perusteella tunnistamaan virheet ja niiden todennäköiset syyt. Tämä johtaa nopeasti vaadittaviin toimenpiteisiin ongelman korjaamiseksi. [1, s. 664–667.]

Virheisiin tulee reagoida oikealla tavalla. Mikäli virhe on syntynyt ruiskutettaessa eikä jauheessa ole vikaa, ei tuotantolinjan sulkemisesta ole kuin haittaa. Vastaavasti jos jauhe on viallista, mutta luullaan, että virhe on syntynyt ruiskutettaessa, voi se johtaa nopeasti suureen määrään hylättyä tuotetta ja suuriin taloudellisiin tappioihin.

Fyysisten pintavirheiden lisäksi maalikalvosta arvioidaan visuaalisesti myös sävyä ja kiiltoa. Kiillon silmämääräinen arviointi on kuitenkin selvästi vähentynyt luotettavien ja tarkkojen mittalaitteiden vuoksi. Sävyyn visuaalisessa arvioinnissa tuotetta verrataan fyysiseen standardiin, joka on edellinen erä ja/tai virallinen sävymalli. Vaikka tarkka mittalaite antaisikin toleranssien ulkopuolella olevan numeerisen sävyeron standardista, voidaan tuote pääsääntöisesti hyväksyä, jos eroa ei silmällä erota.

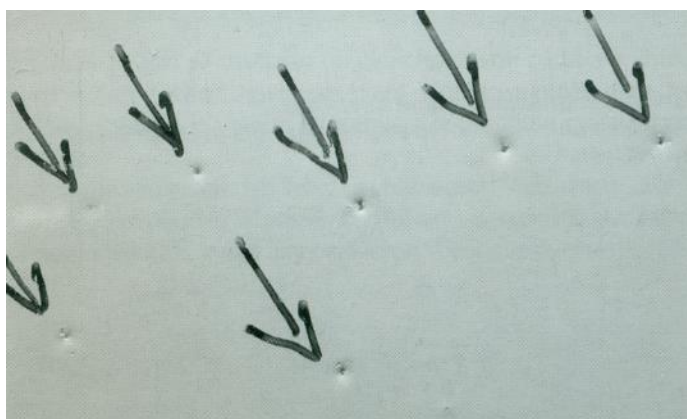
#### 4.4.8.1 Virheet jauhemaalissa

Maalikalvon virheet jaetaan yksittäisiin, laajoihin ja myöhemmin ilmeneviin. Näitä virheitä voi aiheutua maalikalvoon erillisesti tai kaikkia samanaikaisesti. Myöhemmin ilmeneviä ongelmia ei luonnollisesti voida havaita jauhemaalinvalmistuksen aikana tehtävän laadunvalvonnan aikana, joten niitä ei tässä insinööriyössä käydä läpi. Tuotannon aikana tehtävän laadunvalvonnassa havaituista virheistä voidaan esimerkkeinä mainita kraaterit, neulanpistot ja maalipinnassa näkyvät isot partikkelit. Virheitä nimetään yleisesti niiden visuaalisen ulkonäön perusteella, eikä nimi selvennä syntymekanismia, joten työpaikoilla käytettävät nimitykset vaihtelevat suuresti ja aiheuttavat ongelmia virheistä keskustellessa. [1, s. 664–665.]

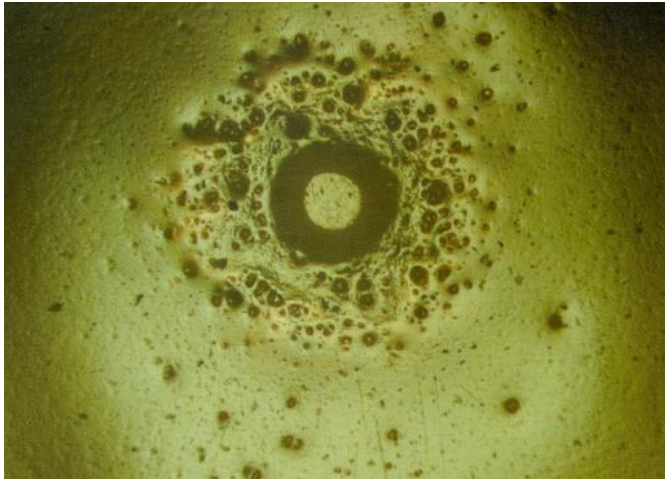
Virheet voivat johtua huonosta esikäsittelystä, huonosta maalausalueesta, viallisesta tuotteesta, ulkopuolisesta kontaminaatiosta, huonosti säädetyistä maaluslaitteista, virheellisestä varastoinnista ja kuljetuksesta, virheistä tuotantolaitteiden käytössä tai raaka-aineiden punnituksessa. Jauhemaaleilla suuri osa virheistä johtuu huonosta peittokyvystä tai liian ohuesta kalvonpaksuudesta [1, s. 672, 676.]

##### 4.4.8.1.1 Kraaterit

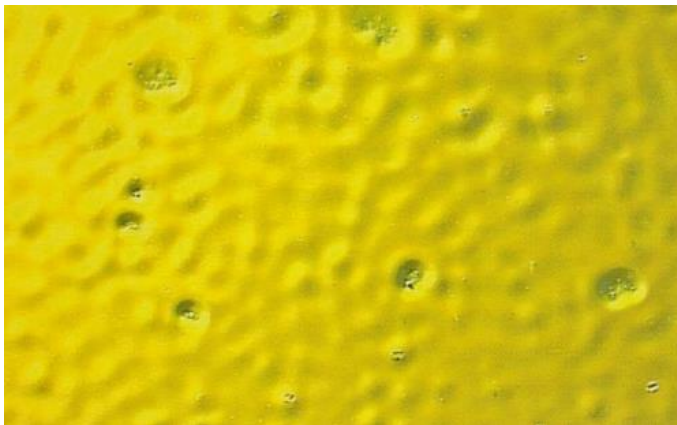
Kraaterit, (kuvat 32. 33. 34.) eli pienet verkkoutusmishäiriöt johtuvat jauheesta tai substraatin pinnalla olevista epäpuhtauksista, esim. paineilman, tuotantolaitteiston tai käsien kautta ilmaantunut rasva. Maalikalvolle joutunut kemiallisesti erilainen jauhemaalii aiheuttaa usein kraatereita. Myös esimerkiksi panoksesta unohtunut tasoiteaine aiheuttaa kraatereita (kuva 35.). Tasoite muuttaa sulan jauhemaalinv pintajännitystä ja viskositeettiä paremmin alustalle levittyvään muotoon. Jos tasoiteainetta on liian vähän, aiheutuu siitä yleensä vain epätasainen pinta. [31, s. 11,16; 20, s. 202.]



Kuva 32. Silikonin aiheuttamia kraatereita maalikalvossa. [31]



Kuva 33. Mikroskooppikuva silikonin aiheuttamasta kraaterista. [31]



Kuva 34. Kontaminaation aiheuttamia kraatereita struktuurijauhemaalissa. [31]



Kuva 35. Puuttuvan tasoitteen aiheuttamia kraatereita polyesterimaalissa.

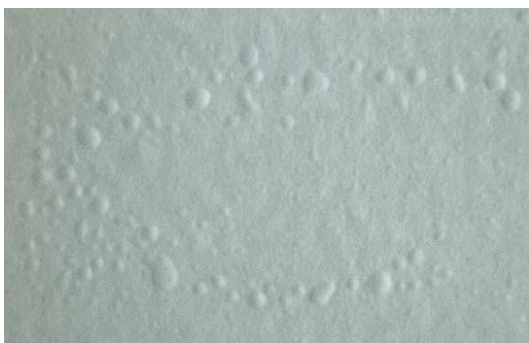
#### 4.4.8.1.2 Neulanpistot

Neulanpistot, joita näkyy kuvassa 36, voidaan myös laskea kraatereiksi, mutta ovat syntymekanismiltaan erilaisia. Neulanpistoissa jauhemaalissa oleva kosteus tai muu haihtuva aines ei pääse haihtumaan tarpeeksi ajoissa vaan joutuu tunkeutumaan maalikalvon läpi vaiheessa, jossa maalikalvo on jo lähes kokonaan verkkoutunut. Tässä vaiheessa maalin viskositeetti ja pintajännitys ovat niin suuret, että onkalo ei enää sulkeudu. Neulanpistot suuressa laajuudessa voivat aiheuttaa kiillon alenemista. Tätä ilmiötä kutsutaan ”hitikoksi”. Ilmiössä maalipinta samenee huomattavasti, mikä huomataan helposti varsinkin kiiltävämmillä maaleilla. [31, s. 29; 1, s. 671–672.]



Kuva 36. Neulanpistoja maalikalvossa. [31]

#### 4.4.8.1.3 Rakkulat



Kuva 37. Rakkuloita kostean varastoinnin seurauksena [31]



Kuva 38. Sormenjälkien aiheuttamia rakkuloita. [31]

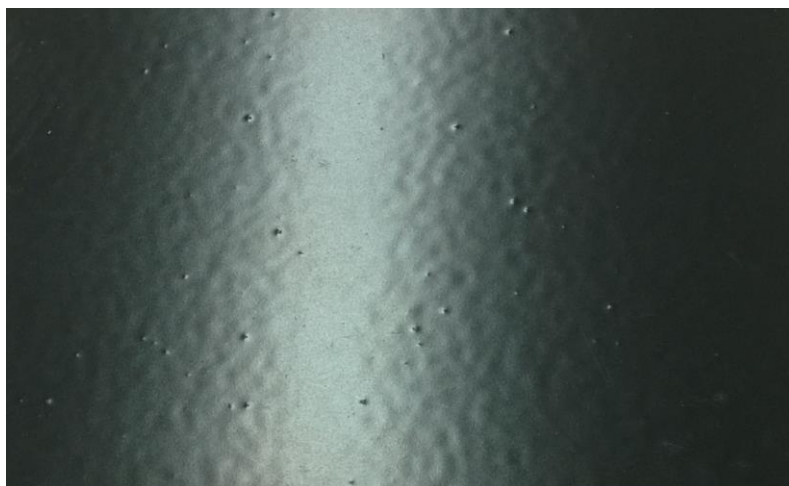
Rakkulat (kuvat 37. ja 38.) ovat maalikalvon pyöreitä kohoumia. Ne syntyvät samalla tavalla kaasuuntuvan vieraan aineen vaikutuksesta, mutta maalikalvo säilyy ehjänä. Eriyisesti vettä imevät eli hygroskooppiset aineet esimerkiksi suolat keräävät kosteutta paikallisesti aiheuttaen rakkuloita. Myös sormenjäljet eli sormista irronnut rasva voi aiheuttaa rakkuloita. [31, s. 26.]

#### 4.4.8.1.4 Geelipartikkelit eli ”nöppelit”

Geelipartikkeleita (kuva 39.) voi syntyä ekstruuderissa. Ekstruuderin liian suuri lämpötila kovettaa esiseosta lopulliseen verkkoutuneeseen muotoon. On hyvin tärkeää valvoa ekstruuderin lämpötilaa, jäähdytystä ja aikaa jonka esiseos pysyy ekstruuderin sisällä. Verkkoutunut jauhemaali on niin kovaa, että partikkelit eivät hajoa jauhatuksessa. Hiukkasia ei voida yleensä havaita kuin valmiista maalikalvosta. [31, s. 41; 20, s. 267.]

#### 4.4.8.1.5 Karkeat hiukkaset

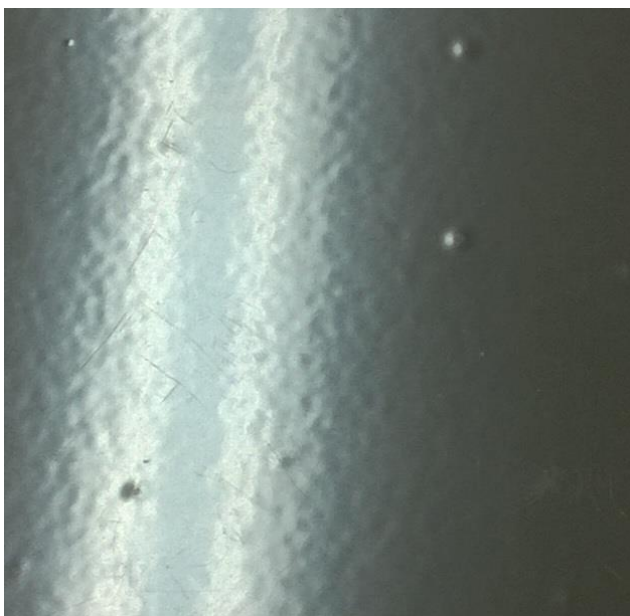
Karkeita partikkeleita voi syntyä myös jauhatuksen yhteydessä. Huonosti tehdyt myllyn säädöt aiheuttavat karkeiden partikkeleiden kerääntymistä seulalle. Jos seulaa ei puhdisteta säännöllisesti, on mahdollista, että suuria hiukkasia tunkeutuu seulaverkon läpi valmiiseen tuotteeseen. Jauhatuksessa syntyvän karkea aines toimii samalla tavalla kuin ekstruuderissa syntynyt, vaikka mekanismi on erilainen.



Kuva 39. "Nöppeleitä" polyesterimaalikalvossa.

#### 4.4.8.1.6 Agglomeraatit eli "hiiret"

Agglomeraatit (kuva 40.) ovat hienosta jauheesta koostuvia suuria jauhemaalipartikkeleita. Ne voivat syntyä valmistuksen, varastoinnin tai maalausprosessin aikana. Jauhemaalien kohonnut kosteus aiheuttaa maalin paakkuuntumista eli agglomeraatteja. Liian suuri varastointilämpötila voi myös sulattaa jauhemaalaa, jolloin syntyy paakkuja. Maalauslinjastossa olevaan kierrätyslinjaan voi myös konsentroitua hienoa ainesta, joka alkaa paakkuuntumaan ja saattaa tukkia koko maalauslinjan. [1, s. 673; 31, s. 94.]



Kuva 40. Sulaneita agglomeraatteja näytelevyn pinnalla.

#### 4.4.8.1.7 Huono tasoittuvuus



Kuva 41. Liian matalan kalvonpaksuuden aiheuttama appelsiinipinta [31]



Kuva 42. Liian suuren kalvonpaksuuden aiheuttama huono tasoittuvuus [31]

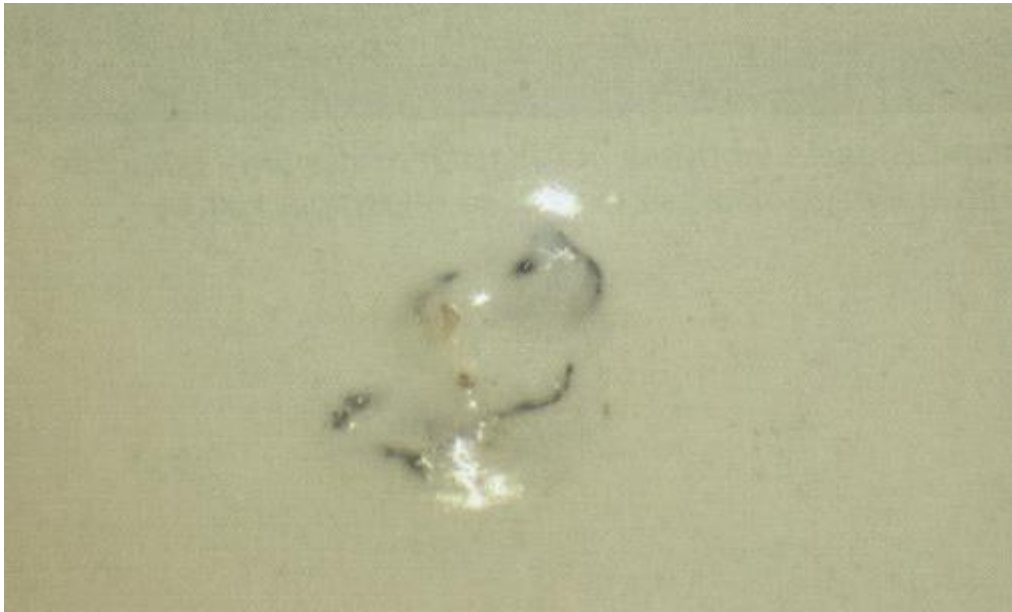
Huono tasoittuvuus (kuva 41. ja 42.) ilmenee usein appelsiinipintana. Nimitys johtuu appelsiinin kuorta muistuttavasta pinnasta. Yleisin syy ilmiöön on liian ohut tai paksu kalvonpaksuus. Liian ohuessa maalikalvossa ei ole tarpeeksi maalia, joka pystyisi pintajännityksen ja viskositeetin avulla leviämään tasaiseksi kerrokseksi. Liian paksussa epätasainen pinta johtuu yleensä takaisinimusta (back ionization, backspray). Ilmiö johtuu jauhekalvon paksuuntuessa lisääntyvästä varauksesta. Varauksen kasvaessa liian suureksi varausero tasoittuu ja syntyy positiivisia ioneja. Nämä ionit hylkivät negatiivisesti varautunutta jauhekerrosta, jolloin myös tasaisen jauhekerroksen maalaus vaikeutuu. [31, s. 79; 20, s. 345.]

#### 4.4.8.1.8 Vieraat esineet ja pisteet

Kuidut, hiekka, pöly, metallilastut ja kemiallisesti samanlainen, mutta erivärinen jauhe-maali aiheuttavat huomattavia vikoja maalikalvoon (kuvat 43–46.). Kuidut joutuvat maalikalvoon pääsääntöisesti työntekijöiden vaatteista tai muusta karvoituksesta. Tärkeää on käyttää oikeanlaisia työvaatteita ja puhdistaa maalausala huolellisesti. Hiekka ja pöly, joita leijuu ilmassa, ei ole jauhemaaleille niin vaikea ongelma kuin nestemaaleille, joiden kuivumisaika on selvästi suurempi. Jauhemaalit verkkoutetaan uunissa ja niiden uunitusajat ovat minuuteissa. Nestemaaleilla kuivumisajat voivat olla tunteja.

Pisteet aiheutuvat tuotantolinjassa tai maalauslaitteistossa olevista vieraista jauhemaalipartikkeleista. Syynä on virheellinen tai riittämätön puhdistus. Pisteongelma on hyvin riippuvainen jauhemaalien värisävyistä, sillä jotkin värit aiheuttavat helpommin havaittavia pisteitä kuin toiset. Esimerkiksi valkoinen maali näkyy mustalla pohjalla selvästi.

[1, s. 674; 31, s. 31, 43.]



Kuva 43. Vaatteista irronneita kuituja maalikalvossa. [31]



Kuva 44. Struktuuripinnassa näkyvä vieraasta partikkelista muodostunut kohouma. [31]



Kuva 45. Riittämättömästä puhdistuksesta johtuvia pisteitä maalikalvossa. [31]



Kuva 46. Maalikalvossa ilmeneviä likapartikkeleita lähikuvassa. [31]

#### 4.4.8.1.9 Kellastuminen



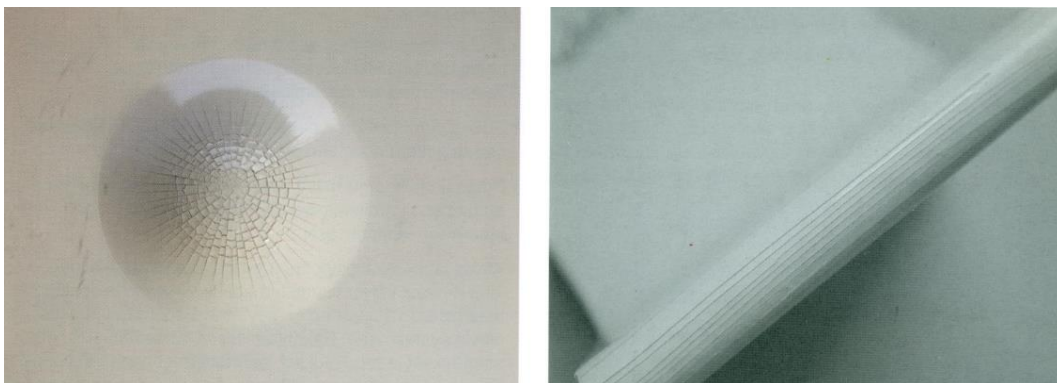
Kuva 47. Vasemmalla oikein uunitettu mikseri – näytelevy ja oikealla ylipoltettu näytelevy. [31]

Kellastuminen (kuva 47.) on standardissa DIN 6167:1980-01 kuvattu värin muuttuminen, joka johtuu kemiallisesta reaktiosta, kosteudesta, säteilystä tai lämpötilasta. Värin muutosta voidaan kuvata kellastumisluvulla. Ilmiö on yleinen ylipoltetussa tai auringolle altistuneessa epoksi- tai mikserijauhemaalipinnassa. Kaasu-uunien käyttämisestä tulisi välttää vaaleiden sävyjen uunituksessa, koska palamisessa syntyvät typpioksidit reagoivat jauhemaalain kanssa. [31, s. 72.]

#### 4.4.8.1.10 Huono kemiallinen ja mekaaninen kestävyys

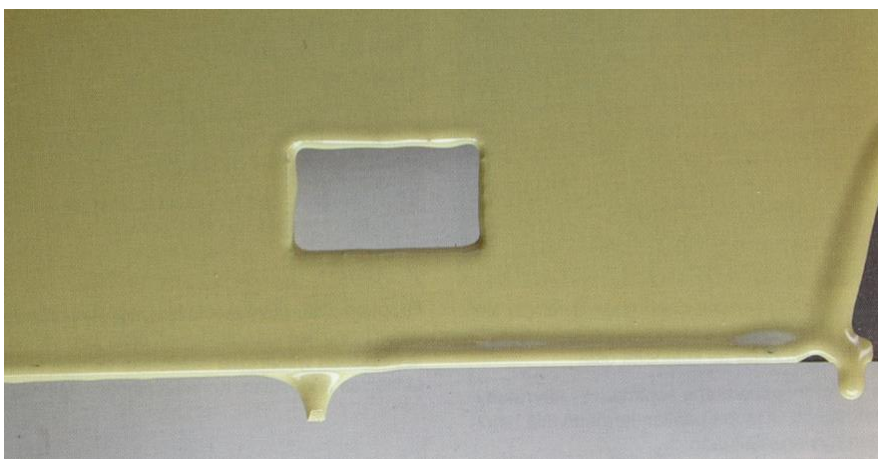
Kemiallisesti riittämätön kestävyys tarkoittaa, että maalikalvo ei kestä kemiallisia olosuhteita, johon se on suunniteltu. Liuottimien ja muiden vahvojen kemikaalien vaikutuksille altistuminen vaatii tarkasti valittuja raaka-aineita, oikeaa kalvonpaksuutta ja oikeaa uunitustapaa. Kalvo voi himmentyä, pehmetä tai pahimmillaan liuota kokonaan. [31, s. 105.]

Huono mekaaninen kestävyys (kuva 48.) johtaa maalikalvon halkeiluun ja osittaiseen irtoamiseen muokkauksen aikana. Riittävä uunitus, oikea kalvonpaksuus ja oikeat raaka-aineet ovat välttämättömiä. [31, s. 105.]



Kuva 48. Isku- ja taivutuskokeessa huomattu huono mekaaninen kestävyys. Vasemmalla iskukoe ja oikealla taivutuskoe. [31]

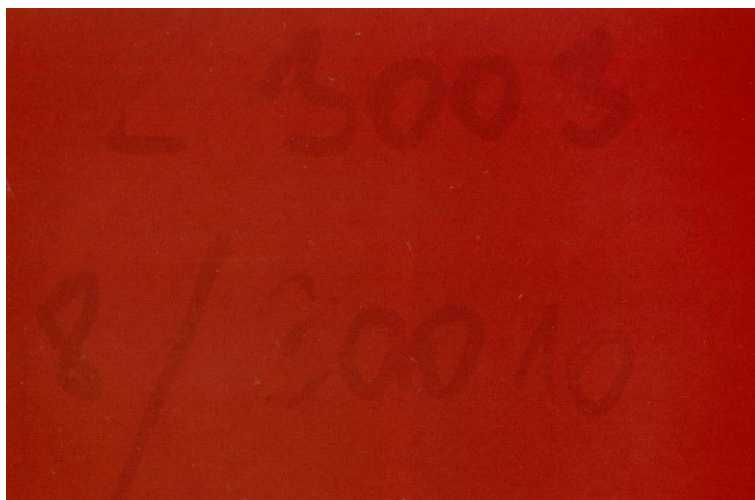
#### 4.4.8.1.11 Valumat



Kuva 49. Liian suuresta kalvonpaksuudesta johtuvia valumia. [31]

Valumat (kuva 49.) eli pisarat muodostuvat maalattavan kappaleen reunoille, kun verk-koutuvan jauhemaalain viskositeetti on liian pieni. Ongelman aiheuttavat virheelliset raaka-aineet, liian suuri kalvonpaksuus tai liian kuuma uunituslämpötila. [31, s. 92.]

#### 4.4.8.1.12 Huono peittokyky



Kuva 50. Havainnollistava kuva huonosta peittokyvystä. Kalvonpaksuus 80 µm [31]

Huono peittokyky (kuva 50.) johtuu yleensä riittämättömästä kalvonpaksuudesta tai huonosti peittävästä pigmenteistä. Jauhemaalien raaka-aineet tulisi mahdollisuuksien mukaan valita niin, että peittokyky olisi hyvä, jotta kalvonpaksuutta ei tarvitsisi kohottaa pinnanlaadun kustannuksella. [31, s. 74.]

#### 4.4.8.2 Yhteenveto

Jauhemaalipinnan virheiden syntyyn on hyvin monia syitä. Virheet voivat syntyä missä tahansa raaka-aineiden punnituksen ja asiakkaalla tuotetun valmiin maalipinnan välillä. Siksi on hyvin tärkeää tuntea virheiden syntymekanismit, jotta ongelmiin voidaan reagoida oikeilla toimenpiteillä. [1, s. 676.]

Jauhemaalien laadunvalvonta tulee olla myös riittävällä tasolla, jotta virheellistä jauhemaalaa ei lähetetä asiakkaalle. Reklamaatioiden käsittely on myös helpompaa, kun omaan tuotanto- ja laadunvalvontaprosessiin voidaan luottaa ja voidaan tutkia, missä vaiheessa jauhemaalien elinkaarta virheet ovat ilmaantuneet.

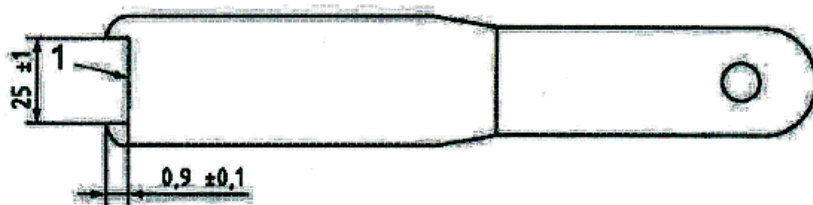
Eräät asiakkaat ovat myös alkaneet standardisoida omien tuotteidensa visuaalista tarkistusta. Näytteistä ruiskutettuja näytelevyjä tarkastellaan määritellyistä kulmista ja tietyltä suhteelliselta etäisyydeltä, joka riippuu tarkastelijan näkökyvystä. Tarkasteluseinällä olevien kirjainten näkemisen perusteella valitaan etäisyys, jolla määrätty rivi erotetaan. Täältä etäisyydeltä katsotaan näkyvätkö, virheet vai eivät.

#### 4.4.9 Geeliajan määrittäminen

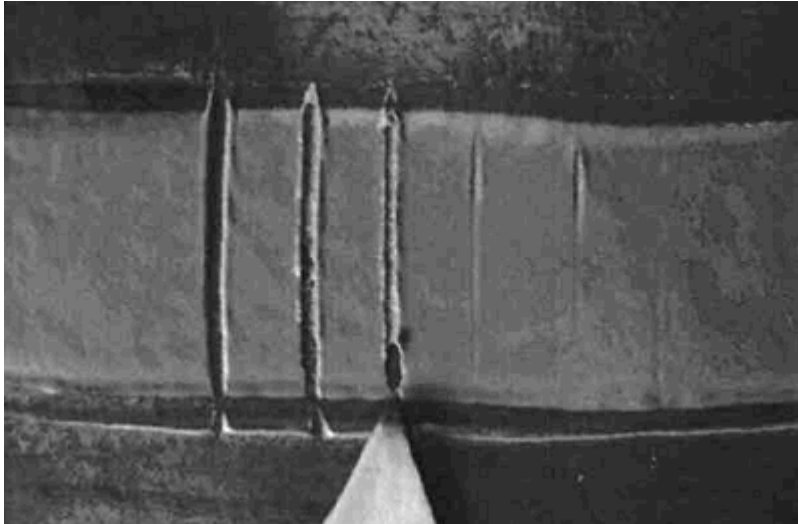
Jauhemaalista määritettävä geeliaika kertoo jauhemaalien reaktionopeuden. Testi on yksinkertainen ja helposti suoritettava. Testi kertoo, hyvin onko panoksessa oikea määrä sideainetta ja kovetetta. Mikäli kovete puuttuu, jauhemaalilla ei kovetu lainkaan. Testin suorittajien välillä saattaa kuitenkin esiintyä eroja.

Standardissa SFS-EN ISO 8130-6 kuvatussa menetelmässä noin 0,25 ml jauhemaalilla laitetaan lämpölevyllä olevaan astiaan. Jauheen muuttuessa sulaksi käynnistetään sekuntikello. Näytettä sekoitetaan. Sekoittamista jatketaan ja sekoitinta nostetaan 2–3 sekunnin välein. Kun jauhemaalirihmat eivät enää kestä venymistä vaan katkeavat sekoitinta nostettaessa, lopetetaan ajanotto. Mitattu aika sekunteina on geeliaika [20, s. 305.]

Epoksimaalille käytetään standardissa ISO 21809 kuvattua menetelmää. Epoksimaalia levitetään 205 °C:n lämpölevylle kuvassa 51 esitetyllä työkalulla 25 mm leveäksi kerrokseksi. Samaan aikaan käynnistetään sekuntikello. Maaliin tehdään viiltoja kuvan 52 mukaisesti, kunnes työkalu ei enää läpäise jauhemaalilla lämpölevyyn asti vaan nousee maalikalvon päälle. Tällä hetkellä ajanotto lopetetaan. Saatu aika on geeliaika. [44.]



Kuva 51. Vedostyökalu, mitat millimetreinä. [44]



Kuva 52. Geeliajan mittauksen aikana tehtyjä viiltoja. [44]

#### 4.4.10 Jauhemaalain tiheyden määrittäminen

Jauhemaalista mitataan tiheyttä, jotta selvitetään, että panos sisältää kaikki tarvittavat raaka-aineet. Mittaamiseen käytetään kaasupyknometriä. Kuvassa 53 näkyvä laite varsinaisesti mittaa tilavuutta, mutta kun massa punnitaan etukäteen, voidaan materiaalin tiheys määrittää. Laite antaa tiheystuloksen automaattisesti. [45.]



Kuva 53. Accupyc 1340 -laite [45]

Laitteen toiminta perustuu Boylen lakiin. Laki tarkoittaa sitä, että kun kaasun lämpötila ja massa pidetään vakiona ja painetta kasvatetaan, kaasu puristuu kokoon ja näin kaasun tilavuus pienenee. Sama pätee myös päinvastoin.

Laitteen rakenne on kuvattu kuvassa 54. Ensiksi näytekammio (Cell) paineistetaan haluttuun paineeseen ns. yläpaine. Tämän jälkeen venttiili aukeaa ja päästää paineen tasaantumaan näytekammion ja laajenemiskammion välillä. Paineen tasaannuttua saadaan ns. alapaine. Kalibroinnissa määritetään näytekammion ja laajenemiskammion tilavuudet. Kun nämä ja laitteen mitaamat paineet ovat tiedossa, laite pystyy laskemaan näytteen tilavuuden kaavalla 4. [45.]

$$V_{SAMP} = V_{CELL} - \frac{V_{EXP}}{\frac{P_{1g}}{P_{2g}} - 1} \quad (4)$$

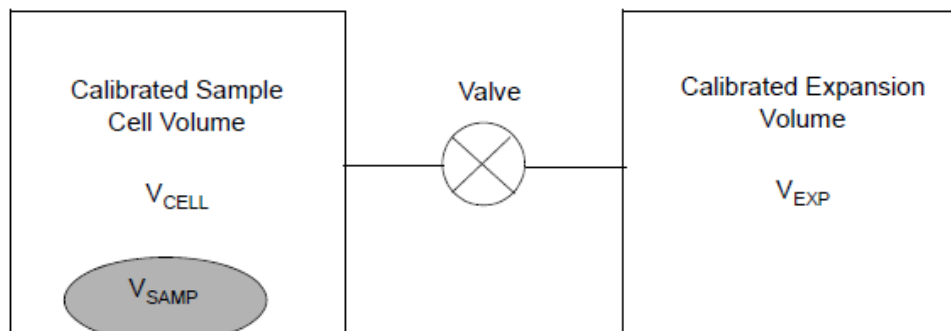
$V_{SAMP}$  on näytteen tilavuus

$V_{CELL}$  on näytekammion tilavuus (Cell volume)

$V_{EXP}$  on laajenemiskammion tilavuus (Expansion volume)

$P_{1g}$  on yläpaine

$P_{2g}$  on alapaine



Kuva 54. Accupyc 1340 -laitteen rakenne. [45]

Näytteen mittaaminen ja kalibrointi on kuvattu yksityiskohtaisesti liitteessä 1.

#### 4.4.11 Lasiirtymälämpötila

Lasiirtymälämpötilaa ( $T_g$ ) käytetään kuvaamaan lämmön aiheuttamia faasimuutoksia aineessa. Jauhemaaleilla suure kuva maalikalvon muodostumista, fysikaalista ja kemiallista stabiilisuutta. Stabiilisuudella tarkoitetaan usein varastointivakautta. Määritetyn  $T_g$ :n alapuolella varastoitu jauhemaali pysyy vakaana, koska verkkoutumisreaktion vaadittava lämpötila on suurempi. Vastaavasti jos jauhemaalia säilytetään lasiirtymälämpötilan yläpuolella, jauhemaali alkaa reagoida ja muodostaa paakkuja. Mitä korkeampi jauhemaalista mitattu  $T_g$ , sitä vakaampaa maali on. [20, s. 226–227.]

#### 4.4.11.1 Mittaukseen käytettävä laite

Lasisiirtymälämpötila mitataan kuvassa 55. esitetyllä DSC (Differential Scanning Calorimetry)- laitteella. Laite lämmittää näytettä ja referenssiä ja pyrkii pitämään ne samassa lämpötilassa. Koska jauhemaalain verkkoutumisreaktio on endoterminen eli energiaa sitova, tarvitsee näytteen lämmittäminen enemmän energiaa, kuin referenssinä usein käytetty tyhjä näyteastia. Laite mittaa näytteen vaatiman lämpöenergian ja ilmoittaa lämmön tarpeen graafisesti käyränä. Kun reaktio on edennyt siihen pisteeseen, että lämpöä ei enää sitoudu, alkaa näytteen lämpötila nousta. Laite tulostaa käyrän, jonka avulla voidaan määrittää lasisiirtymälämpötila. [20, s. 93–96.]



Kuva 55. Perkin Elmer DSC 6000 -DSC-laite [46]

#### 4.4.12 Kuiva-ainepitoisuus

Jauhemaalain suurentunut kosteuspitoisuus saattaa aiheuttaa agglomeraatteja. Tämän vuoksi jauhemaalista voidaan mitata kuiva-ainepitoisuus.

Jauhemaalista mitataan kuiva-ainepitoisuus kuvassa 56 näkyvän Precisa XM 50 -kosteusanalysaattorin avulla. Kertakäyttöiseen alumiiniastiaan punnitaan 5 g jauhetta. Astia asetetaan analysaattoriin ja laite käynnistetään. Laite lämmittää jauheen 105 °C:seen, jolloin jauheessa olevat haihtuvat aineet poistuvat. Laite ilmoittaa kuiva-ainepitoisuuden prosentteina.



Kuva 56. Precisa XM 50 -kosteusanalysaattori [47]

#### 4.5 Laadunvalvonnan haasteet

Kuten insinööriyön alussa todettiin, laadunvalvontalaboratorion työohjeiden huono paikansapitavuus ja niiden puuttuminen aiheutti ongelmia. Suuri osa mittausten suoritusohjeista oli työntekijöiden muistin varassa, joten suoritusmenetelmät saattoivat poiketa paljonkin työntekijöiden välillä. Lisäksi uuden työntekijän perehdytyksessä saattoi ilmetä ongelmia varsinkin, jos työntekijää perehdytti useampi henkilö. Tällöin työntekijälle saatettiin ohjeistaa menetelmiä ristiriitaisesti. Työohjeet päivitettiin vastaamaan nykyisiä mittalaitteita ja järjestelmästä poistettiin vanhentuneet työohjeet.

Mittalaitteiden määräaikaikalibroinnin lisäksi mittalaitteiden kuntoa tulee seurata. Tämän vuoksi mittalaitteille on määritetty vastuuhenkilöitä, jotka kalibrointien lisäksi huoltavat ja ilmoittavat esimiehelle puutteista tai ongelmista. Tämä on jakanut vastuuta työntekijöille, koska aikaisemmin vastuu mittalaitteiden kunnosta on ollut pelkästään esimiehellä. Esimies ei jatkuvasti käytä laboratorion mittausvälineitä, joten laboranttien on helppompaa työn ohessa seurata mittalaitteiden kuntoa. Vastuu mittalaitteesta voi johtaa kohonneeseen motivaatioon ja siihen, että työntekijä pitää omaa työtään entistä tärkeämpänä.

Laadunvalvonnassa suoritettavien testien luotettavuus on hyvin tärkeää, koska turhaan hylätty tai asiakkaalle toimitettu viallinen tuote aiheuttavat taloudellisia tappioita yritykselle. Toistettavuuden ja luotettavuuden apuvälineenä voidaan käyttää MSA (Measurement system analysis) -koesarjaa. Koesarjassa valitaan tehtävät testit, niiden suorittajat ja mittalaitteet. Tilastollisilla menetelmillä voidaan analysoida tulokset ja tutkia, johtuvatko mittaustuloksissa syntyvät erot henkilöistä, laitteista vai itse testistä. [49.]

## 5 Käytännön osuus

### 5.1 Alkutilanne

Teknos Oy:n valmistaman uuden jauhemaalituotteen laadunvalvonnan vuoksi laboratorioon hankittiin uusi mittauslaite. Hankitulla pyknometrillä mitataan jauhemaalien tiheyttä. Aikaisemmin mahdolliset näytteet, joista tiheys mitattiin, lähetettiin Ruotsiin mitattavaksi. Tämän jauhemaalien suuren tuotantovolyymien johdosta tulokset piti saada nopeasti, joten oman mittauslaitteen hankkiminen oli enemmän kuin perusteltua. Tiheysmittarin asentaminen, käyttöönotto, alkukalibrointi ja työntekijöiden kouluttaminen laitteen käyttämiseen sopi hyvin insinööriyön käytännön osuudeksi.

### 5.2 Laitteen kokoaminen ja asentaminen

Accupyc 1340 -laite koottiin laadunvalvonnan esimiehen kanssa. Mukana oli myös muita tehtaan ylempiä toimihenkilöitä. Laitteen kokoamis- ja käyttöönotto-ohjeet oli käännetty aikaisemmin suomeksi, mikä auttoi tätä vaihetta paljon.

Laite yhdistettiin tietokoneeseen, koska päätettiin, että tietokoneen ruudulla olevasta käyttöliittymästä olisi helpompi ohjata ja käyttää laitetta. Tietokoneen käyttöliittymä oli myös selkeämpi kuin laitteen oman nestekidenäytön ilmoitukset. Tulosten tallentaminen onnistuisi myös suoraan tietokoneeseen, ja tulokset voitiin lähettää tarvittaessa eteenpäin.

Laitteen ohjausohjelmiston asentaminen tietokoneeseen ei onnistunut kuitenkaan suoraan, koska ohjelmisto ja käyttöjärjestelmä eivät olleet täysin yhteensopivat. Ongelma saatiin kuitenkin korjattua. Tämän jälkeen laitteen kalibrointi pystyttiin aloittamaan.

### 5.3 Laitteen kalibrointi ja mittauksen aloittaminen

Kalibrointiohjeet oli käännetty ensin suomen kielelle, jotta kalibrointi oli helpompi suorittaa. Kalibrointi suoritettiin onnistuneesti ohjeiden avulla ja ohjeiden antamiin mittausepävarmuustoleransseihin päästiin, joten laite toimi oikein. Tämä piti kuitenkin varmistaa oikeilla mittauksilla.

Vertausdataa saatiin tämän uuden jauhemaalituotteen koeajoista, jotka oli aikaisemmin lähetetty Ruotsiin mitattavaksi. Vanhoista tuloksista saatiin myös asetukset, joilla mitata näytteet. Käyttöohjeiden perusteella aloitettiin mittauksien suorittaminen. Verrattiin laitteen antamia tuloksia Ruotsista tulleisiin, jolloin todettiin, että tulokset olivat lähes samoja. Tämä piti vielä varmistaa toistokokeilla.

Liitteessä 3 on esitetty laitteen antamat mittaustulokset työntekijän 1 suorittamasta toistokoe mittauksesta. Sivuiksi valittiin informatiivisimmat sivut, joista vaihdettiin alkuperäisten näytteiden nimet.

#### 5.4 Koesuunnitelma laitteen luotettavuuden todentamiselle

Laitteen tulosvarmuuden varmistamiseksi työntekijöiden kouluttamisen ohella suoritettavat mittaukset toimivat toistokokeina. Toistoja tehtiin yhdeksän ja yhden mittauksen aikana laite mittaa näytettä 10 kertaa ja ilmoittaa mittauksien keskiarvon ja keskihajonnan. Näytteenä käytettiin samaa näytettä, joka oli lähetetty Ruotsiin.

#### 5.5 Työohjeiden tekeminen

Ensimmäinen versio työohjeista saatiin suoraan suomeksi käännettyistä käyttöohjekirjan sivusta, joka käsitteli näytteen mittaamista. Ohjeet toimivat hyvin, mutta ne piti testata myös muun henkilökunnan kanssa, jotta jokainen pystyisi itsenäisesti tekemään mittauksia vain työohjeiden perusteella.

#### 5.6 Työntekijöiden kouluttaminen

Tehtaan kolmessa vuorossa toimivan laadunvalvontalaboratorion vuoksi oli erittäin tärkeää, että laitetta osataan käyttää laboratoriossa tarvittavalla varmuudella. Siksi jokainen laborantti oli koulutettava käyttämään laitetta. Harjoitusmittaukset tehtiin mahdollisuuksien mukaan vain työohjeiden varassa, jotta tiedettiin, miten hyvin ohjeet toimivat. Koulutettavilta saadun palautteen avustuksella saatiin työohjeet valmiiksi siihen muotoon kuin ne nyt ovat.

## 5.7 Toistokokeiden tulokset

Taulukkoon 1 on kerätty Ruotsista saadut mittaustulokset ja työntekijöiden tekemät koulutustarkoituksessa tehdyt mittaukset.

Taulukko 1. Koulutusmittaukset ja Ruotsista saadut mittaustulokset

Kokeen suorittaja	Tiheys g/cm <sup>3</sup>	Keskihajonta g/cm <sup>3</sup>
Ruotsi 1	1,4592	0,0003
Ruotsi 2	1,4615	0,0003
Ruotsi 3	1,4550	0,0015
Ruotsi 4	1,4691	0,0015
Työntekijä 1	1,4579	0,0012
Työntekijä 2	1,4562	0,0008
Työntekijä 3	1,4609	0,0017
Työntekijä 4	1,4639	0,0025
Työntekijä 5	1,4569	0,0004
Työntekijä 6	1,4600	0,0010
Työntekijä 7	1,4589	0,0012
Työntekijä 8	1,4584	0,0015
Työntekijä 9	1,4606	0,0019

## 5.8 Tulosten tarkastelu

Tulosten tarkastelu suoritettiin taulukkolaskentaohjelmalla. Ruotsin mittausten keskiarvo oli 1,4612 g/cm<sup>3</sup> ja keskihajonta 0,0059 g/cm<sup>3</sup>. Keskiarvon luottamusväli oli 1,4448–1,4776 g/cm<sup>3</sup> luottamustasolla 99 %.

Omien mittauksien keskiarvo oli 1,4593 g/cm<sup>3</sup> keskihajonnalla 0,0023 g/cm<sup>3</sup>. Laskettu keskiarvon luottamusväli luottamustasolla 99 % oli 1,4567–1,4619 g/cm<sup>3</sup>.

Ruotsin keskiarvon ja omien mittauksien keskiarvon ero oli 0,13 %.

Molempien mittauksien tekijöiden keskiarvot osuvat luottamusvälille ja koska prosentuaalinen ero laitteilla saatujen mittauksien välillä on pieni, voidaan päätellä, että laite antoi luotettavia tuloksia.

## 5.9 Raaka-aineiden tutkiminen

### 5.9.1 Alkutilanne

Tuotannon edetessä huomattiin, että tiheys oli laskenut koeajoista. Tästä syystä päädyttiin tutkimaan, mistä tiheyden pieneneminen johtuu. Tiheyden raja-arvot oli laskettu raaka-ainetoimittajien ilmoittamien tiheyksien mukaan. Spekuloitiin, että raaka-aineiden ilmoitetuissa tiheyksissä ja todellisissa tiheyksissä on eroa.

### 5.9.2 Tulokset

Raaka-aineiden tiheydet mitattiin yksitellen ja taulukoitiin (taulukko 2.). Pycnometri mittaa näytteen kymmenen kertaa ja antaa keskihajonnan automaattisesti. Laskettiin mitattujen ja ilmoitettujen raaka-aineiden tiheyksien perusteella valmiin tuotteen teoreettinen tiheys. Verrattiin saatua teoreettista tiheyttä valmiin tuotteen arvoon.

Taulukko 2. Ilmoitetut ja mitatut raaka-aineiden tiheydet

Raaka-aine	Ilmoitettu tiheys g/cm <sup>3</sup>	Mitatut tiheys g/cm <sup>3</sup>	Mitatun tiheyden keskihajonta g/cm <sup>3</sup>
Täyteaine	2,94	2,89	0,0023
Sideaine A	1,21	1,19	0,0004
Kovete	1,2	1,18	0,0007
Pigmentti A	4,05	4,10	0,0118
Sideaine B	1,19	1,20	0,0008
Pigmentti B	1,8	1,90	0,0051

Valmiin tuotteen teoreettinen tiheys määritettiin ensin laskemalla reseptinmukaiset massaprosenttiosuudet jokaiselle raaka-aineelle. Massan ja tiheyden avulla laskettiin aineksien yhteistilavuus. Kokonaistiheys laskettiin kokonaismassan ja kokonaistilavuuden

avulla. Kokonaisuudessaan massaprosentteja ja maalin komponentteja ei voida salaussyistä tässä ilmoittaa, koska se vaatisi tuotteen reseptin julkaisemisen.

Raaka-aineille ilmoitettujen tiheyksien perusteella laskettu valmiin tuotteen tiheys oli 1,4580 g/cm<sup>3</sup> ja mitattujen tiheyksien avulla laskettu 1,4355 g/cm<sup>3</sup>.

### 5.9.3 Tulosten tarkastelu

Saatuja arvoja verrattiin tuotannon aikana mitattujen 26 näytteen tiheyteen. Mitattujen tiheyksien keskiarvo oli 1,4400 g/cm<sup>3</sup>, korkein arvo 1,4631 g/cm<sup>3</sup>, pienin arvo 1,4266 g/cm<sup>3</sup>, vaihteluväli 0,0365 g/cm<sup>3</sup> ja keskihajonta 0,01 g/cm<sup>3</sup>. Laskettiin myös keskiarvon luottamusväli 99 %:n luottamustasolla, joka oli 1,4345–1,4455 g/cm<sup>3</sup>.

Raaka-aineiden mitattujen tiheyksien perusteella laskettu tiheys on luottamusvälin sisäpuolella, joten voidaan päätellä, että raaka-ainetoimittajien ilmoittamissa tiheyksissä on eroa todellisiin tiheyksiin kyseisissä raaka-aine-erissä.

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Laadunvalvonta

Jauhemaalituotannon laadunvalvonta on haastavaa ja nopeatempoista, koska tuotantolinjalta tullut valmis jauhemaalipakataan asiakkaalle tarkoitettuihin pakkauksiin. Siksi on yleistä, että jauhemaalissa olevia virheitä tai puutteita ei voida korjata jälkeinpäin, vaan hylätyt pakkaukset hävitetään. Haasteellisuutta aiheuttavat tietämättömyys laadunvalvonnan aikana jauhemaalista löytyneiden virheiden synnystä, sekä epävarmuus ns. rajatapauksien hylkäämisestä tai hyväksymisestä varsinkin työvuoroissa, joissa laadunvalvonnan esimiestä ei ole paikalla. Jauhemaalien kontaminaatioherkkyyden vuoksi myös laboratorio-olosuhteissa kontaminaatio ja pienet pintavirheet ovat varsin yleisiä.

### 6.2 Tiheysmittarin käyttöönotto

Käyttöönotto aiheutti haasteita ja paineita, koska laitteen hankintahinta oli kallis ja se oli tuntematon kaikille. Laitteen asentaminen piti hoitaa huolellisesti ja varmuudella, jotta

laite ei vahingoittuisi. Pienten vaikeuksien jälkeen mittari saatiin toimintakuntoon ja toimivat työohjeet varmistivat sen, että laite saatiin toimintavarmaan kuntoon mittauksen suorittajasta riippumatta. Laite on varsin yksinkertainen ja vaatii vain vähän huoltoa, mikä myös kohottaa laitteen luotettavuutta. Laite saatiin käyttöön ennen ensimmäistä tuotantoerää, mikä oli myös tavoitteena.

### 6.3 Työntekijöiden kouluttaminen

Laitteen käytön kouluttaminen onnistui laboranteille erittäin hyvin. Ongelmat johtuivat lähinnä pienistä virheistä työohjeissa, eivät niinkään koulutettavista. Vaikka laboranteista löytyy nuoria ja keski-ikäisiä ihmisiä, jotka eivät paljoa käytä tietokonetta ja ovat hieman epävarmoja uuden laitteen kanssa, laitteen käyttäminen kuitenkin opittiin käytännössä yhden mittauksen suorittamisen aikana. Seuraavissa mittauksissa turvauduttiin vielä varmistamaan asioita ohjeista, mutta hyvin nopeasti ohjeita ei tarvittu enää juuri lainkaan. Kaikki työntekijät saatiin koulutettua kolmen viikon aikana. Palautteen perusteella tiheysmittarin käyttöönotossa, koulutuksessa ja työohjeiden luomisessa onnistuttiin hyvin.

### 6.4 Tiheystutkimus

Tutkimuksessa saadut tulokset olivat järkeviä, vastasivat hyvin ennakko-odotuksia ja tyydyttivät tutkitun jauhemaalın vastaavaa tutkijaa. Tutkimus varmistı sen, että tiheyden aleneminen johtui raaka-aineista, eikä virheellisestä tuotantomenetelmästä.

Jauhemaalın tiheyden pieneminen ei aina tarkoita virheellistä tuotetta. Tiheys koostuu kaikista raaka-aineista, ja varsinkin polymeeristen sideaineiden tiheys vaihtelee suuresti. Siksi esimerkiksi sideaine-erän vaihtuminen voi muuttaa lopputuotteen tiheyttä paljonkin.

## 7 Loppupäätelmät

Laadunvalvontaa suorittavan laborantin on hyvä tiedostaa oman työn tärkeys ja miksi jauhemaalista tehdään mitäkın mittauksia. Lisäksi mittausten toimintaperiaatteen syvempi ymmärtäminen saattaa auttaa jauhemaalissa tai mittalaitteessa ilmenevien ongelmien ratkaisemisessa. Tämän vuoksi tässä insinööriyössä on mittauslaitteet, mittausten menetelmät ja mittauksien syyt käyty läpi pintaa syvemältä. Työskentely laboratoriossa

muuttuu helposti toistavaksi ja tylsäksi, jos ajatellaan laadunvalvonnan koostuvan vain raja-arvoista ja testeistä, jotka pakollisista syistä tehdään jokaiselle näytteelle syitä tai seurauksia ymmärtämättä.

Tutkimus kehittää jatkuvasti erilaisia jauhemaalreja, ja jatkuvasti kiristyvät ympäristöasetukset, kilpailu ja laatuvaatimukset aiheuttavat jauhemaaliteollisuuden muutoksia. Erilisten tuotteiden ilmaantuessa myös laadunvalvonta joutuu sopeutumaan tuotteiden tarpeisiin. Tämä tarkoittaa uusia mittauksia, työntekijöiden koulutusta, laitehankintoja ja työohjeiden päivittämistä.

Teknos Oy on ottanut käyttöön uuden intranetin, jossa työohjeet, muut tärkeät asiakirjat ja uutiset ovat helposti löydettävissä. Tämä parantaa käyttömukavuutta työntekijöiden ja esimiehen osalta, koska tietoa, ohjeita ja muuta ilmoitettavaa on helppo jakaa mahdollisesti koko konsernin laajuisesti.

Tämän insinööriyön aikana hankittu tiheysmittari saatiin asennettua ja lähes kaikki työohjeet ajan tasalle. Tämä on kuitenkin vain hetkellinen ratkaisu, jos toimintatapoja mittauksien työohjeiden ajantasaisuuden ja laadunvalvonnan varmistamiseen ei jatkuvasti paranneta. Tämä insinööriyö tulee olemaan osa Teknos Oy:n jauhemaalien laadunvalvontalaboratorion työohje- ja perehdytyskansiota.

## Lähteet

- 1 Goldschmidt, Artur. Streitberger, Hans-Joachim. 2003. BASF HANDBOOK ON Basics of Coating Technology. Hannover: Primedia
- 2 Korppi-Tommola, Aura. 1998. Teknos Oy: Pintaa Syvemältä 1948–1998. Espoo: Art Print.
- 3 Teknoksen historia. Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.teknos.fi/?pageid=H2901>> Luettu 21.11.2015
- 4 Teknoksen Pietarin tehdas valmistunut! Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.teknos.fi/?pageid=H7176>> Luettu 21.11.2015
- 5 Teknos lyhyesti. Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.teknos.fi/?pageid=H2897>> Luettu 21.11.2015
- 6 Teknos Oy Avainluvut. Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.teknos.fi/?pageid=H2899>> Luettu 21.11.2015
- 7 Puun teollinen pintakäsittely . Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.wood.teknos.fi/?lang=7>> Luettu 21.11.2015
- 8 Metallimaalit. Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.metal.teknos.fi/?pageid=H2847>> Luettu 21.11.2015
- 9 Jauhemaalit . Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.metal.teknos.fi/?pageid=H2848>> Luettu 21.11.2015
- 10 Laatu ja ympäristö . Verkkodokumentti. Teknos Oy. <<http://www.teknos.fi/?pageid=H2916>> Luettu 21.11.2015
- 11 Environmental advantages of powder. Verkkodokumentti. AkzoNobel. <[https://www.akzonobel.com/powder/sustainability\\_in\\_powder/environmental\\_advantages\\_of\\_powder/](https://www.akzonobel.com/powder/sustainability_in_powder/environmental_advantages_of_powder/)> Luettu 27.2.2016
- 12 What's in a powder coating? Verkkodokumentti. AkzoNobel. <[https://www.akzonobel.com/powder/guide\\_to\\_powder\\_coatings/whats\\_in\\_a\\_powder\\_coating/](https://www.akzonobel.com/powder/guide_to_powder_coatings/whats_in_a_powder_coating/)> Luettu 27.2.2016
- 13 Guide to Powder Coatings. Verkkodokumentti. AkzoNobel. <[https://www.akzonobel.com/powder/guide\\_to\\_powder\\_coatings/](https://www.akzonobel.com/powder/guide_to_powder_coatings/)> Luettu 27.2.2016
- 14 What are the disadvantages of powder coatings? Verkkodokumentti. AkzoNobel. <[http://www.interpon.com/expertise\\_topics/about\\_powder\\_coatings/what-are-the-disadvantages-of-powder-coatings/](http://www.interpon.com/expertise_topics/about_powder_coatings/what-are-the-disadvantages-of-powder-coatings/)> Luettu 27.2.2016
- 15 Jokinen, Isto. Kuusela, Asko & Nikkari, Tapani. 2001. Metallituotteiden maalaus. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.
- 16 Brock, Thomas. Groteklaes, Michael & Mischke, Peter. 2000. European Coatings Handbook. Hannover: Vincentz Verlag.

- 17 Jauhemaalauus, Pulverimaalaus, Polttomaalaus. Verkkodokumentti. Teollisuusmaalaamo VTM Oy. <<http://www.vtm.fi/pintakasittely/jauhemaalauus-pulverimaalaus/>> Luettu 22.4.2016
- 18 Tietoa jauhemaalauksesta. Verkkodokumentti. Linjateräs Oy. <<http://www.linjateras.fi/tietoa-jauhemaalauksesta>> Luettu 22.4.2016
- 19 Haapakoski Anne. Teknoksen sisäinen materiaali. Luettu 18.4.2016
- 20 Gillis de Lange, Pieter. 2004. Powder Coatings Chemistry and Technology. Hannover: Vincentz network.
- 21 Härkönen Anne. 2004. Jauhemaalauin valmistusprosessi. Insinöörityo. Espoon-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu.
- 22 Oil and Colour Chemists's Association, Australia.1984. Surface coatings volume 2-paints and their applications. Australia: TAFE EDUCATIONAL BOOKS.
- 23 Jauhemaalauin valmistukseen käytettävä ekstruuderu. Verkkodokumentti. Bühler Group. <[http://www.buhlergroup.com/static/global/en/media/07-News/News\\_Extruders\\_for\\_all\\_cases.jpg](http://www.buhlergroup.com/static/global/en/media/07-News/News_Extruders_for_all_cases.jpg)> Luettu 18.4.2016
- 24 Esimerkkikuva sykilonista. . Verkkodokumentti. TECA Oy. <<http://www.teca.fi/tuotteet/ilmansuojelu/syklonit>> Luettu 18.4.2016
- 25 Koronaruisku. Verkkodokumentti. Wagner Group. <[http://www.wagner-sprint.com/index\\_en.html](http://www.wagner-sprint.com/index_en.html)> Luettu 18.4.2016
- 26 Kitkaruisku. Verkkodokumentti. DATEL Ledeč s.r.o. <<http://www.datel-ledec.cz/16-nanaseci-technika.html>> Luettu 18.4.2016
- 27 Triboruiskun rakenne . Verkkodokumentti. Coatings Fabrication. <[http://www.coatfab.com/powder\\_coat.htm](http://www.coatfab.com/powder_coat.htm)> Luettu 18.4.2016
- 28 Malvern 3000 -partikkelikokoanalysoattori. Verkkodokumentti. Malvern. <<http://www.malvern.com/en/products/product-range/mastersizer-range/master-sizer-3000/>> Luettu 19.4.2016
- 29 Haapakoski Anne. RLABK-001 PARTIKKELIKOKOANALYSAATTORI MALVERN 2000 –työohje. Teknoksen sisäinen materiaali. Luettu 17.4.2016
- 30 Haapakoski Anne. Malvernkouluus esitys 2010 PowerPoint. Teknoksen sisäinen materiaali. Luettu 17.4.2016
- 31 Pietschmann, Judith. 2004. Virheet jauhemaalauinnoitteissa. Hannover: Vincentz Network.
- 32 Näkyvän valon spektri. Verkkodokumentti. <<https://sites.google.com/a/njuhsd.com/waves3/visible-light>> Luettu 18.4.2016
- 33 Datacolor 600 –spektrofotometri . Verkkodokumentti. Datacolor. <<http://industrial.datacolor.com/portfolio-view/datacolor-600/>> Luettu 18.4.2016

- 34 Technical Guides Color models CIELAB. Verkkodokumentti. <[http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe\\_tg/models/cielab.html](http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/cielab.html)> Luettu 10.4.2016
- 35 CIELAB-väriavaruus. Verkkodokumentti. <[http://www.newsandtecharchives.com/issues/2002/02-02/ifra/02-02\\_greybalance.htm](http://www.newsandtecharchives.com/issues/2002/02-02/ifra/02-02_greybalance.htm)> Luettu 10.4.2016
- 36 NCS-standardiviuhka. Verkkodokumentti. Mattonettikauppa. <[http://www.mattonettikauppa.fi/index/product/id/NCS%2520GLOSS%2520IND/NCS\\_GLOSSY\\_INDEX\\_1950.html](http://www.mattonettikauppa.fi/index/product/id/NCS%2520GLOSS%2520IND/NCS_GLOSSY_INDEX_1950.html)> Luettu 11.4.2016
- 37 NCS Järjestelmä .Verkkodokumentti. Kustannus Oy Hakkuri. <<http://www.ncscolourfin.com/fi/NCS%20J%C3%84RJESTELM%C3%84/>> Luettu 9.4.2016
- 38 Kolmiulotteinen NCS-välimalli. Verkkodokumentti. Kustannus Oy Hakkuri. <<http://www.ncscolourfin.com/fi/NCS%20J%C3%84RJESTELM%C3%84/>> Luettu 9.4.2016
- 39 NCS-värikolmio. Verkkodokumentti. Kustannus Oy Hakkuri. <<http://www.ncscolourfin.com/fi/NCS%20J%C3%84RJESTELM%C3%84/>> Luettu 9.4.2016
- 40 RAL-standardiviuhka. Verkkodokumentti. Mattonettikauppa. <[http://www.mattonettikauppa.fi/index/product/id/RALK7/RAL\\_GUIDE\\_CLASSIC.html](http://www.mattonettikauppa.fi/index/product/id/RALK7/RAL_GUIDE_CLASSIC.html)> Luettu 9.4.2016
- 41 RAL colour standard. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/RAL\\_colour\\_standard](https://en.wikipedia.org/wiki/RAL_colour_standard)> Luettu 10.4.2016
- 42 SFS-EN ISO 2409. Hilaristikkokoe. 2013. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 43 Haapakoski Anne. 2016. Laadunvalvonnan esimies, Teknos Oy, Rajamäki. Puhelinkeskustelu. 12.4.2016
- 44 SFS-EN ISO 21809-1. 2011. Petroleum and natural gas industries. External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 45 Micromeritics. 2013. Accupyc II 1340 Operator's Manual. U.S.A.: Micromeritics Instrument Corporation
- 46 Perkin Elmer DSC 6000 – DSC-laite. Verkkodokumentti. Perkin Elmer. <<http://www.perkinelmer.com/product/dsc-6000-sys-with-a-s-100-240v-50-60hz-n5370217>> Luettu 9.4.2016
- 47 Precisa XM 50 –kosteusanalysointilaite. Verkkodokumentti. Novatron. <<http://www.novatron.co.uk/shop/precisa-xm-50/>> Luettu 9.4.2016

## Accupyc 1340 -laitteen työhohjeet

### RLABTR1660 Jauhemaalintihyden määrittys

Jauhemaalintihyden määrittys

#### 1. TARKOITUS

Testin tarkoituksena on määrittää jauhemaalintihyys ISO 21809-1:2011 (E) mukaisesti.

#### 2. LAAJUUS

Jauhemaalintuotannon laadunvalvonta

#### 3. VASTUUT

Laadunvalvonnan esimies

#### 4. TOTEUTUS JA VAATIMUKSET

##### 4.1. Jauhemaalintytteen mittaaminen

###### 1. Alkutarkistus

Tarkista, että

- a. Kaasupullo on auki (Ruskean helium-pullon taaemmassa mittarissa on yli 13,8 baria painetta.)
- b. Kaasun syöttöpaine mittalaitteeseen on 1,5 bar (mittari löytyy seinästä mittalaitteen takaa).
- c. Laite on päällä (mittalaitteen vihreä valo palaa ja laitteen näytössä on tekstiä)

###### 2. Ohjelman avaaminen

- a. Avaa 1340 Accupyc -ohjelma työpöydältä kuvakkeesta.
- b. Odota, että laite ilmoittaa: "Calibration data downloaded from instrument" tai, että ilmestyvä ikkuna katoaa.
- c. Paina Ok.
- d. Mittalaitteen näyttöön ilmaantuu teksti: "Remote operation".
- e. Palaa takaisin tietokoneelle.
- f. Mene kohtaan Unit1 -> Sample analysis
- g. Ohjelma ehdottaa mittauksen numeroa (14 tarkoittaa vuotta ja seuraavat numerot ovat vain juokseva numero näytteille) → Paina ok
- h. Jos kyseistä tiedostoa ei ole olemassa, ohjelma kysyy, haluatko luoda uuden. Vastaa "Kyllä"

###### 3. Näytteen valmistaminen

- a. Käytä aina lateksi- tai nitrilikäsineitä, kun käsittelet näytekuppiä tai kalibrointistandardeja.
- b. Älä missään nimessä kolhi tai pudota näytekuppiä. Se vaikuttaa kupin tilavuuteen ja sitä kautta kalibroinnin tarkkuuteen.
- c. Näytekuppi löytyy puurasiasta.
- d. Puhdista näytekuppi varovasti paineilmalla lähimmässä vetokaapissa.
- e. Punnitse tyhjä näytekuppi ja kirjoita tulos muistiin. (Tulos on milligrammoina)
- f. Lisää kuppiin näytettä 5000 mg ± 500 mg.
- g. Punnitse täytetty näytekuppi ja kirjoita tulos muistiin. (Tulos on milligrammoina)
- h. Vähennä täytetyn näytekupin massa tyhjän kupin massasta, jotta saat näytejauheen massan. Muunna tulos grammoiksi eli jaa tulos tuhannella.
- i. Avaa mittalaitteen näytekammion korkki kiertämällä vastapäivään.

- j. Laita näytekuppi paikalleen näytekammion keskelle.
  - k. Tarkista, että näytekammion korkin O-rengas on puhdas ja että se on rasvattu. (O-renkaassa ei näy harmaita pisteitä, O-rengas löytyy korkin pohjasta)
  - l. Mikäli O-rengas on likainen, pyyhi se puhtaalla paperilla ja levitä renkaaseen rasvaa erittäin ohuelti. Pyyhi ylimääräiset rasvat pois.
  - m. Laita näytekammion korkki paikalleen ja kierrä myötöpäivään loppuun asti.
  - n. Palaa takaisin tietokoneelle.
4. Mittauksen asetukset
- a. Älä paina Enter-näppäintä vahingossa. Se aloittaa mittauksen.
  - b. Kirjoita näytteen tiedot kohtaan "Sample": Tuote, eränumero, näyte (esim. AK1067 Lot. F1234567 BB1)
  - c. Kirjoita jauhenäytteen massa oikealle riville grammoina.
  - d. Tarkista, että oikeat mittaustulokset on valittu
    - i. Summary report
    - ii. Volume vs cycle
    - iii. Density vs time
    - iv. Pressure and volume table
  - e. Jos jokin kohta puuttuu, lisää valinta kaksoisklikkaamalla.
5. Mittaus
- a. Paina Start aloittaaksesi mittauksen.
  - b. Mittausikkunassa näkyy "No data available", kunnes ensimmäinen mittaussykli on valmis.
  - c. Mittaus koostuu sykleistä. Ensimmäiseksi laite puhdistaa kammiota 20 kertaa. Tämän jälkeen laite aloittaa itse näytteen mittaamisen. Mittaussyklejä on 10.
  - d. Mittarin sen hetkisen toiminnan näkee riviltä "Operation" vasemmasta alareunasta.
  - e. Mittauksen edistymisen näkee ikkunan oikeasta alakulmasta. (esim. Cycle 3/10)
  - f. Laite on täysin automaattinen ja mittaus kestää noin 48 minuuttia.
  - g. Laite piippaa kolme kertaa, kun mittaus on valmis.
  - h. Mittauksen valmiuden näkee myös, jos Operation -kohdassa lukee "Idle"
6. Tulosten tallentaminen
- a. Mittausikkunassa paina oikeasta yläkulmasta Report.
  - b. Mittaustulokset aukeavat.
  - c. Paina oikeasta laidasta "Save as"
  - d. Valitse oikea kansio (Mittaukset → Tuote – Eränumero)
  - e. Lisää juoksevan numeron perään näytteen nimi. (esim 14-0003-BB4)
  - f. Paina "Tallenna"
7. Tulosten kirjaaminen pdf-muotoon
- a. Mittaustulosikkunassa oikeasta reunasta paina Print.
  - b. Valitse valikosta CutePDFwriter
  - c. Paina OK.
  - d. Valitse oikea kansio (Mittaukset → Tuote – Eränumero)
  - e. Lisää juoksevan numeron perään näytteen nimi (esim 14-0003-BB4)
  - f. Paina Tallenna.
  - g. Tarkista, että mittaukset tallentuivat. (Kansiosta Mittaukset → Tuote – Eränumero) Pikakuvake löytyy tietokoneen työpöydältä.
8. Tulokset
- a. Näytteen tuloksen löydät tallentamasi PDF-tiedoston ensimmäiseltä sivulta kohdasta "Sample density: Average"
  - b. (Esimerkkinä katso ohjeen seuraava sivu. )
  - c. Voit sulkea tulosikkunan ja PDF-tiedoston
9. Näytteen jälkitoimenpiteet
- a. Poista näytekuppi näytekammiosta.
  - b. Laita näytekammion korkki heti takaisin kiinni.
  - c. Puhdista kuppi varovasti paineilmalla..
  - d. Jos et heti mittaa seuraavaa näytettä, laita näytekuppi takaisin puurasiaan.
10. Seuraava näyte

- a. Jos mittaat toisen näytteen heti edellisen jälkeen, paina mittausikkunassa Next
  - b. Valitse Browse, jotta saat uuden mittaustiedoston (Juokseva numero muuttuu)
  - c. Paina Ok.
  - d. Ohjelma kysyy haluatko luoda uuden tiedoston "Kyllä"
- Mene kohtaan 3.

#### 4.2. Accupyc 1340 -laitteen kalibrointi

1. Alkutarkistus  
Tarkista, että
  - a. Kaasupullo on auki (Ruskean helium-pullon taaemmassa mittarissa on yli 13,8 baria painetta. )
  - b. Kaasun syöttöpaine mittalaitteeseen on 1,5 bar (mittari löytyy seinästä mittalaitteen takaa)
  - c. Laite on päällä (mittalaitteen vihreä valo palaa ja laitteen näytössä on tekstiä)
2. Ohjelman avaaminen
  - a. Avaa 1340 Accupyc -ohjelma työpöydältä kuvakkeesta
  - b. Odota, että laite ilmoittaa: "Calibration data downloaded from instrument" tai, että ilmestyy ikkuna katoaa.
  - c. Paina Ok
  - d. Mittalaitteen näyttöön ilmaantuu teksti: "Remote operation"
3. Kalibroinnin ensimmäinen vaihe  
**Muista käyttää lateksi- tai nitrilikäsineitä, kun käsittelet näytekuppia ja standardikuulia!**
  - a. Avaa mittalaitteen korkki.
  - b. Aseta tyhjä näytecuppi laitteeseen.
  - c. Sulje korkki.
4. Kalibrointiasetusten valitseminen  
Mene kohtaan Unit > Calibration > Calibrate Volume " -> Calibrate Volume Scale ikkuna avautuu
  - a. Kohtaan Volume of Calibration Standard, kirjoita kalibrointikuulien tilavuus.
  - b. Valitse Measured -vaihtoehto.
  - c. Klikkaa Analysis Conditions.
  - d. Paina Replace.
  - e. Valitse tiedosto "calstd.anc"
  - f. Paina OK.
5. Paina Start aloittaaksesi kalibroinnin ensimmäisen vaiheen
  - a. Ikkunassa näkyy mittauksen eteneminen.
  - b. Laite ilmoittaa, kun kalibrointikuulat voi laittaa laitteeseen.
6. Kalibroinnin toinen vaihe
  - a. Kierrä mittalaitteen korkki irti.
  - b. Ota tyhjä näytecuppi laitteesta.
  - c. Laita mittalaitteen korkki kiinni.
  - d. Laita molemmat kalibrointikuulat näytecuppiin kallistamalla kuppia lähes vaakatasoon, jotta kuulat pyörivät mahdollisimmat pehmeästi kupin pohjalle
  - e. Avaa korkki.
  - f. Laita näytecuppi kuulineen laitteeseen.
  - g. Sulje korkki.
  - h. Anna laitteen ja kuulien lämpötilan tasaantua **10 min.**
  - i. Klikkaa "Continue"
  - j. Laite ilmoittaa, kun toinen vaihe on valmis.
  - k. Klikkaa Done, jotta hyväksyt uudet arvot.
  - l. **Älä poista näytekuppia tai kalibrointikuulia laitteesta.**

7. Kalibroinnin kolmas vaihe, jolla varmistetaan, että kalibrointi onnistui ja laite toimii oikein.
  - a. Mene kohtaan Unit1 -> Sample analysis
  - b. Ohjelma ehdottaa mittauksen numeroa (14 (tarkoittaa vuotta) – (Seuraavat numerot ovat vain juokseva numero näytteille)) → Paina ok
  - c. Jos kyseistä tiedostoa ei ole olemassa, ohjelma kysyy, haluatko luoda uuden. Vastaa "Kyllä"
  - d. Klikkaa "Replace"
  - e. Valitse tiedosto nimeltä "refanly.smp"
  - f. Paina OK.
  - g. Paina Start.
  - h. Mittaus tapahtuu samalla tavalla, kuin näytteen mittaaminen
8. Tulosten tallentaminen
  - a. Mittausikkunassa paina oikeasta yläkulmasta Report.
  - b. Mittaustulokset aukeavat.
  - c. Paina oikeasta laidasta "Save as"
  - d. Valitse oikea kansio (Mittaukset → Kalibrointimittaukset)
  - e. Lisää juoksevan numeron perään näytteen nimi (esim. 14-0003-Kalibrointi\_28\_2\_2015\_VeKa)
  - f. Paina "Tallenna"
9. Tulosten kirjaaminen pdf-muotoon
  - a. Mittaustulosikkunassa oikeasta reunasta paina Print
  - b. Valitse valikosta CutePDFwriter
  - c. Paina OK
  - d. Valitse oikea kansio (Mittaukset →Kalibrointimittaukset)
  - e. Lisää juoksevan numeron perään näytteen nimi (esim 14-0003-Kalibrointi\_28\_2\_2015\_VeKa)
  - f. Paina Tallenna
  - g. Tarkista, että mittaukset tallentuivat (Kansiosta Mittaukset →Kalibrointimittaukset) Pikakuvake löytyy tietokoneen työpöydältä
10. Kalibroinnin onnistumisen todentaminen
  - a. Todetaan, että mitattu standardien tilavuus on rajojen sisällä. [Rajat ovat standardien ilmoitettu tilavuus ± varianssi. (Varianssi = (kammion tilavuus × 0,0003) + (kalibrointikuulien ilmoitettu tilavuus × 0,0003) Kaava löytyy käyttöohjekirjasta.]
  - b. Rajat ovat seuraavat: yläraja 6,376303418 cm<sup>3</sup> ja alaraja 6,3664805824 cm<sup>3</sup>
  - c. Jos standardikuulien mitattu tilavuus on ylä- ja alarajan välissä on laite kalibroitu oikein.
  - d. Ota kuppi ja standardikuulat pois laitteesta ja laita ne puurasiaan.
  - e. Välinerekisteriin liitetään tallennettu PDF-tiedosto mittauksesta, tilavuuden ulkorajat ja prosentuaalinen ero mitatun ja ilmoitetun standardien tilavuuden välillä.

## 5. KORJAAVAT JA EHKÄISEVÄT TOIMENPITEET

Ohjeeseen tai laitteeseen liittyvissä ongelmissa ilmoitetaan niistä ohjeen laatijalle.

## 6. RAPORTOINTI

Tulokset tallennetaan tietokoneelle, jolla tehdään myös mittaukset.

## 7. ARKISTOINTI

Jauhenäytteitä, joista on kaikki tarpeellinen mitattu, ei tarvitse säilyttää.

## TOIMINTAAN LIITTYVÄT OHJEET JA LOMAKKEET

## **LIITTEET**

**Laitteen käyttöohjekirja**

## Partikkelikokoanalyysinäytteen tulokset



MASTERSIZER



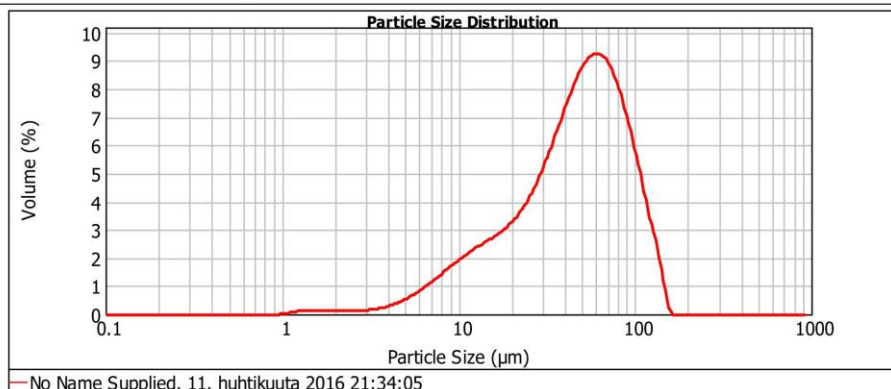
## Result Analysis Report / TEKNOS OY

**Sample Name:** SOP Name: Measured: 11. huhtikuuta 2016 21:34:05  
**Sample Source & type:** Measured by: rmjauhel Analyzed: 11. huhtikuuta 2016 21:34:07  
**Sample bulk lot ref:** Result Source: Measurement

**Particle Name:** Fraunhofer **Accessory Name:** Scirocco 2000M **Analysis model:** General purpose **Sensitivity:** Normal  
**Particle RI:** 0.000 **Absorption:** 0 **Size range:** 0.100 to 1000.000  $\mu\text{m}$  **Obscuration:** 4.04 %  
**Dispersant Name:** Dry dispersion **Dispersant RI:** 1.000 **Weighted Residual:** 0.290 % **Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0035 %Vol **Span :** 1.799 **Uniformity:** 0.551 **Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.236  $\text{m}^2/\text{g}$  **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 25.378  $\mu\text{m}$  **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 51.693  $\mu\text{m}$  **Top cut : 152,3  $\mu\text{m}$**   
**% <10 $\mu\text{m}$  : 7,2 %**  
**% >80 $\mu\text{m}$  : 19,3 %**

**d(0.1): 12.242  $\mu\text{m}$     d(0.5): 47.390  $\mu\text{m}$     d(0.9): 97.505  $\mu\text{m}$     d(0.99) : 136  $\mu\text{m}$**



Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.08	11.482	2.09	120.226	2.57	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.11	13.183	2.31	138.038	0.78	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.13	15.136	2.52	158.489	0.00	1659.687	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.14	17.378	2.78	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.13	19.953	3.13	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.12	22.909	3.63	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.12	26.303	4.29	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.14	30.200	5.13	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.18	34.674	6.07	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.18	39.811	7.01	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.27	45.709	7.80	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.40	52.481	8.29	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.58	60.256	8.32	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.80	69.183	7.84	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	1.05	79.433	6.86	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	1.33	91.201	5.53	954.963	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	1.60	104.713	3.98	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.02	11.482	1.86	120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:

## Jauhemaalinnäytteen tiheystulokset



AccuPyc II 1340 V1.09

Unit 1

Serial #: 2899

Page 1

Sample: Näyte 1  
 Operator: Kayttolaboratorio/Jauhe  
 Submitter: Teknos Oy/Rajamaki  
 Bar Code:  
 File: C:\1340\DATA\14-0000.SMP

Analysis Gas: Helium  
 Reported: 25.9.2014 15:10:45  
 Sample Mass: 5.0370 g  
 Temperature: 23.47 °C  
 Number of Purges: 20  
 Chamber Insert: None

Analysis Start: 25.9.2014 14:23:36  
 Analysis End: 25.9.2014 15:10:00  
 Equilib. Rate: 0.002 psig/min  
 Expansion Volume: 8.4476 cm<sup>3</sup>  
 Cell Volume: 11.7416 cm<sup>3</sup>

### Combined Report

#### Summary Report

Sample Volume  
 Average: 3.4550 cm<sup>3</sup>  
 Standard Deviation: 0.0029 cm<sup>3</sup>

Sample Density  
 Average: 1.4579 g/cm<sup>3</sup>  
 Standard Deviation: 0.0012 g/cm<sup>3</sup>

Tabular 1

Cycle#	P1 Pressure (psig)	P2 Pressure (psig)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Total Pore Volume (cm <sup>3</sup> /g)
1	19.602	9.705	3.4568	1.4571	0.3137
2	19.622	9.716	3.4562	1.4574	0.3138
3	19.624	9.720	3.4505	1.4598	0.3150
4	19.630	9.721	3.4540	1.4583	0.3143
5	19.615	9.711	3.4581	1.4566	0.3135
6	19.611	9.711	3.4553	1.4578	0.3140
7	19.611	9.709	3.4580	1.4566	0.3135
8	19.598	9.708	3.4498	1.4601	0.3151
9	19.617	9.712	3.4579	1.4567	0.3135
10	19.632	9.722	3.4535	1.4585	0.3144

Summary Data                      Average                      Standard  
 Deviation

Volume:                      3.4550 cm<sup>3</sup>                      0.0029 cm<sup>3</sup>  
 Density:                      1.4579 g/cm<sup>3</sup>                      0.0012 g/cm<sup>3</sup>

6202- Total solids concentration is invalid; liquid density is greater than or equal to solids density.

Tabular 2

Cycle#	P1 Pressure (psig)	P2 Pressure (psig)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Total Pore Volume (cm <sup>3</sup> /g)
1	19.602	9.705	3.4568	1.4571	0.3137
2	19.622	9.716	3.4562	1.4574	0.3138
3	19.624	9.720	3.4505	1.4598	0.3150
4	19.630	9.721	3.4540	1.4583	0.3143
5	19.615	9.711	3.4581	1.4566	0.3135
6	19.611	9.711	3.4553	1.4578	0.3140
7	19.611	9.709	3.4580	1.4566	0.3135
8	19.598	9.708	3.4498	1.4601	0.3151
9	19.617	9.712	3.4579	1.4567	0.3135
10	19.632	9.722	3.4535	1.4585	0.3144



AccuPyc II 1340 V1.09

Unit 1

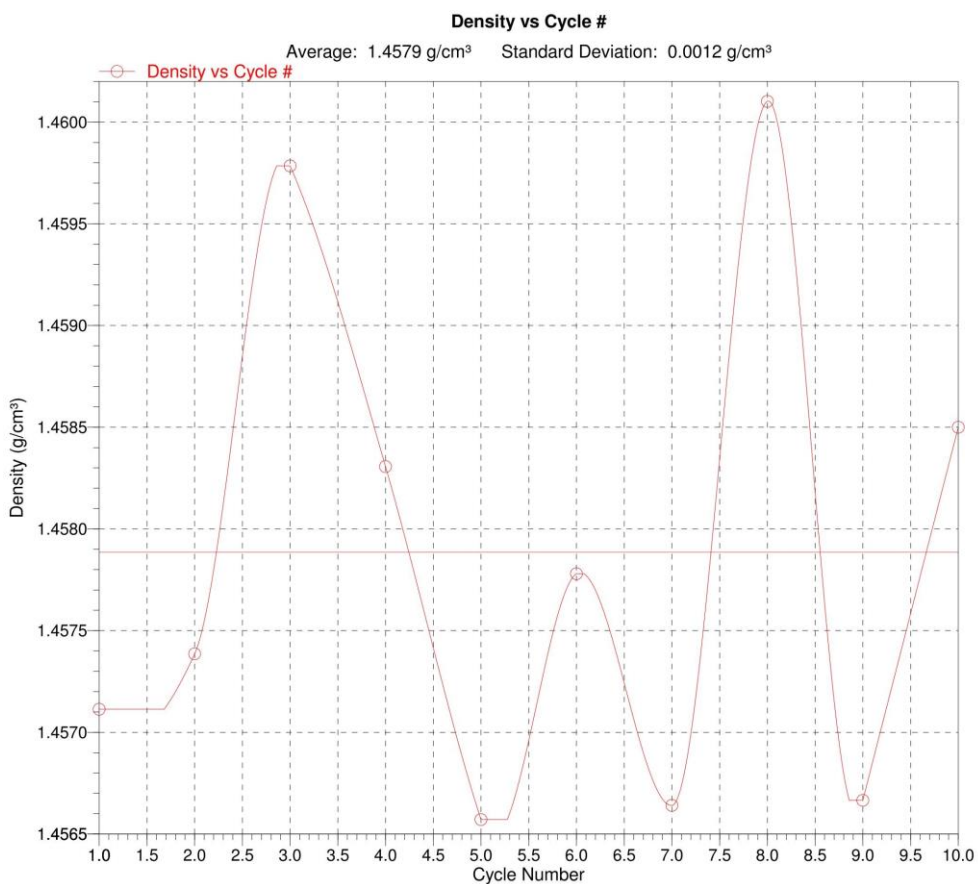
Serial #: 2899

Page 5

Sample: Näyte 1  
Operator: Kayttolaboratorio/Jauhe  
Submitter: Teknos Oy/Rajamaki  
Bar Code:  
File: C:\1340\DATA\14-0000.SMP

Analysis Gas: Helium  
Reported: 25.9.2014 15:10:45  
Sample Mass: 5.0370 g  
Temperature: 23.47 °C  
Number of Purges: 20  
Chamber Insert: None

Analysis Start: 25.9.2014 14:23:36  
Analysis End: 25.9.2014 15:10:00  
Equilib. Rate: 0.002 psig/min  
Expansion Volume: 8.4476 cm<sup>3</sup>  
Cell Volume: 11.7416 cm<sup>3</sup>



**Options Report**

**Sample Information**

Parameter 1 0.000  
Parameter 2 0.000  
Parameter 3 0.000



AccuPyc II 1340 V1.09

Unit 1

Serial #: 2899

Page 8

Sample: Näyte 1  
Operator: Kayttolaboratorio/Jauhe  
Submitter: Teknos Oy/Rajamaki  
Bar Code:  
File: C:\1340\DATA\14-0000.SMP

Analysis Gas: Helium  
Reported: 25.9.2014 15:10:45  
Sample Mass: 5.0370 g  
Temperature: 23.47 °C  
Number of Purges: 20  
Chamber Insert: None

Analysis Start: 25.9.2014 14:23:36  
Analysis End: 25.9.2014 15:10:00  
Equilib. Rate: 0.002 psig/min  
Expansion Volume: 8.4476 cm<sup>3</sup>  
Cell Volume: 11.7416 cm<sup>3</sup>

**Density and Volume Table**

Cycle#	Volume (cm <sup>3</sup> )	Volume Deviation (cm <sup>3</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Density Deviation (g/cm <sup>3</sup> )	Elapsed Time (mm:ss)	Temperature (°C)
1	3.4568	0.0018	1.4571	-0.0008	11:38	23.28
2	3.4562	0.0012	1.4574	-0.0005	15:05	23.32
3	3.4505	-0.0045	1.4598	0.0019	18:58	23.36
4	3.4540	-0.0010	1.4583	0.0004	22:13	23.37
5	3.4581	0.0031	1.4566	-0.0013	26:17	23.46
6	3.4553	0.0002	1.4578	-0.0001	31:59	23.49
7	3.4580	0.0029	1.4566	-0.0012	34:33	23.56
8	3.4498	-0.0052	1.4601	0.0022	38:11	23.57
9	3.4579	0.0029	1.4567	-0.0012	40:34	23.60
10	3.4535	-0.0015	1.4585	0.0006	45:19	23.66

Summary Data

Average

Standard Deviation

Volume:	3.4550 cm <sup>3</sup>	0.0029 cm <sup>3</sup>
Density:	1.4579 g/cm <sup>3</sup>	0.0012 g/cm <sup>3</sup>