

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikka

**Anna Saarinen**

**Dispergointimenetelmien vertaaminen  
maalin valmistuksessa**

**Insinööriyö 28.4.2010**

Ohjaaja: prosessikehityspäällikkö Jari Lassila

Ohjaava opettaja: yliopettaja Veli-Matti  
Taavitsainen

Tekijä Otsikko	Anna Saarinen Dispergointimenetelmien vertaaminen maalin valmistuksessa
Sivumäärä Aika	31 28.4.2010
Koulutusohjelma	kemiantekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	prosessikehityspäällikkö Jari Lassila yliopettaja Veli-Matti Taavitsainen
<p>Tämä insinööriyö tehtiin Tikkurila Oyj:lle. Opinnäytetyön kannalta merkityksettä asioita, kuten laitteiden nimiä ja käytettyjä pastoja on muutettu. Lisäksi mittaustulosten lukuarvot on koodattu. Koodaus ei estä johtopäätösten tai tulkintojen tekoa.</p> <p>Työn tarkoituksena oli vertailla maalin valmistuksessa käytettäviä dispergointilaitteita pigmenttipartikkeleiden jauhamisessa tuotteeseen. Työn tavoitteena oli tutkia mahdollisuutta saavuttaa sama tai parempi muuttujan X arvo pienemmällä spesifisellä energialla. Kokeet toteutettiin kahdella eri pastalla (pasta A ja pasta B) ja kahdella eri laitteella (laite C ja laite D). Laitetta C käytetään nykyisin dispergoinnissa ja laite D on kokeellinen.</p> <p>Laitteella D suoritettiin viisi koetta pastalla A ja kolme koetta pastalla B. Tuloksia verrattiin laitteella C saatuihin tuloksiin. Pastalla A saavutettiin laitteella D sama muuttujan X arvo kuin laitteella C käyttäen <math>0,25 \frac{\text{kWh}}{\text{tn}}</math> vähemmän energiaa. Tämä lyhentäisi dispergointiaikaa 50 %. Pastalla B laitteella D ei päästy yhtä hyvään tulokseen kuin laitteella C. Laitteella D saadut tulokset analysoitiin regressioanalyysillä ja tehtiin mallinnus, joka on muotoa <math>y = a + b \cdot \ln(x)</math>.</p> <p>Laitteella D tehdyt kokeet jäivät vajavaisiksi. Saatujen tulosten perusteella laitteella D kannattaa tehdä lisäkokeita ja tutkia paremmin sen mahdollisuutta korvata laite C dispergoinnissa.</p>	
Hakusanat	dispergointi, maalin valmistus

Author Title	Anna Saarinen Comparison of dispersion methods in paint manufacturing
Number of Pages Date	31 28 April 2010
Degree Programme	Chemical Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jari Lassila, Process Development Director Veli-Matti Taavitsainen, Principal Lecturer
<p>This engineering project was made to Tikkurila Ltd. Facts irrelevant in terms of the thesis such as the names of the equipment and the analyzed pastes were changed. In addition, the numeric values of the measurement results were encoded. The encoding does not prevent making conclusions or interpretations.</p> <p>The purpose of this engineering project was to compare grinding equipment used for grinding pigment particles in the paint manufacture. The aim of the project was to investigate the possibility of achieving the same or better value of the variable X with lower use of specific energy. The experiments were accomplished with two different pastes (Paste A and Paste B) and with two different equipments (Equipment C and Equipment D). Equipment C is used nowadays for grinding pigment particles and Equipment D is experimental.</p> <p>With Equipment D, five experiments were conducted with Paste A and three experiments with paste B. The results were compared to the results received with Equipment C. With Paste A Equipment D yielded the same value of the variable X as Equipment C and consumed <math>0.25 \frac{\text{kWh}}{\text{tn}}</math> less energy. This would shorten the grinding time by 50 %. With Paste B Equipment C gave a little better value of the variable X than Equipment D. The results received with Equipment D were analyzed by regression. Simulation was done, and the results were fit with the equation <math>y = a + b \cdot \ln(x)</math>.</p> <p>The experiments conducted with Equipment D remained insufficient. On the basis of the results, more tests should be run with Equipment D, and its potential to substitute for Equipment C in grinding should be examined more detail.</p>	
Keywords	grinding, paint manufacturing

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto.....	6
2 Tikkurila Oy.....	7
2.1 Historia .....	7
2.2 Organisaatio .....	7
2.3 Tuotteet .....	7
2.4 Arvot ja laatu.....	8
3 Maalin koostumus .....	9
3.1 Sideaineet.....	9
3.2 Pigmentit ja täyteaineet.....	9
3.2.1 Epäorgaaniset pigmentit.....	10
3.2.2 Orgaaniset pigmentit.....	10
3.2.3 Korroosionestopigmentit.....	10
3.3 Täyteaineet .....	11
3.4 Apuaineet .....	11
3.5 Ohenteet .....	11
4 Maalin valmistus .....	12
5 Dispergointimenetelmiä .....	15
5.1 Dissolveri.....	15
5.2 Roottoristaattorimyly.....	16
5.3 Helmimyly .....	17
5.3.1 Rakenne ja toimintaperiaate .....	17
5.3.2 Helmien valinta .....	18
5.3.3 Täyttöaste.....	18
5.3.4 Energia .....	19
6 Dispergointilaitteiden kokeellinen vertailu.....	20
6.1 Pasta A.....	20
6.1.1 Laite C.....	21
6.1.2 Laite D .....	21

6.2 Pasta B .....	22
7 Regressioanalyysi.....	23
8 Tulokset .....	24
8.1 Pasta A.....	24
8.2 Pasta B .....	25
8.3 Regressioanalyysin tulokset .....	26
9 Tulosten tarkastelu .....	28
9.1 Parametrin F vaikutus .....	28
9.2 Parametrin E vaikutus.....	29
9.3 Parametrin G vaikutus .....	29
9.4 Energian kulutus ja ajan käyttö .....	30
10 Yhteenveto.....	30
Lähteet:.....	31

## 1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin Tikkurila Oyj:lle, josta lisää luvussa 2. Opinnäytetyön kokeellisessa osassa tutkittavia pastoja merkitään A:lla ja B:llä ja laitteita C:llä ja D:llä. Lisäksi mittaustulosten lukuarvot on koodattu välille 0 - 1, missä 0 vastaa pienintä arvoa ja 1 suurinta. Koodaus ei estä johtopäätösten tai tulkintojen tekoa.

Dispergointi tarkoittaa pigmenttipartikkelien jauhamista tuotteeseen. Maaliteollisuus on siirtymässä käyttämään entistä enemmän ympäristöystävällisempiä, vesiohenteisia tuotteita liuotinpohjaisten sijaan. Tästä johtuen on alettu miettiä vaihtoehtoisia menetelmiä korvaamaan nykyisin käytössä oleva laite C dispergoinnissa. Laitteella C on hankala jauhaa vesiohenteisia tuotteita, koska laite C kuluu nopeasti aiheuttaen kunnossapitokuluja ja tuotantoseisokkeja. Lisäksi laitteella C on huono hyötysuhde, ja jauhatusaika on pitkä. Vuosien saatossa on tutkittu laitteen D soveltuvuutta maalinvalmistukseen. Tutkimusten mukaan laitteen D pitäisi korvata laite C hyvin. Laitteen D on ennustettu dispergoivan pigmenttipartikkelit nopeammin kuluttaen vähemmän energiaa kuin laite C. Tämä johtaisi maalin tehokkaampaan tuotantoon niin energiankäytön kuin ajan suhteen. Toisaalta jos laitteella D saavutettaisiin samat tai jopa paremmat laatuominaisuudet kuin laitteella C säästettäisiin raaka-ainekustannuksissa.

## **2 Tikkurila Oy**

### **2.1 Historia**

Tikkurila Oy perustettiin 14. elokuuta 1862 Keravanjoen varteen Anders Lorenz Munsterhjelmin toimesta. Nykyään yritys toimii lähes samassa paikassa. Pienestä pellavaöljynpuristamosta on kasvanut johtava maalialan yritys Pohjois- ja Itä-Euroopassa. Suurinta kasvua odotetaan Itä-Euroopasta elintason noustessa, erityisesti Venäjältä. Tikkurila Oy on vastannut Kemiran maaliliiketoiminnasta. Nykyään Tikkurila Oyj valmistaa ja markkinoi maalia sekä tuottaa sideaineita maaliyhtiölleen. Tuotantoa on nykyään Suomen ohella Ruotsissa, Virossa, Venäjällä, Puolassa, Saksassa ja Ukrainassa. Myyntiyhtiöitä on lisäksi Kazakstanissa, Latviassa, Liettuassa, Unkarissa, Norjassa, Tanskassa, Tšekin tasavallassa ja Kiinassa. [1]

### **2.2 Organisaatio**

Tikkurila-konsernin emoyhtiönä toimiva Tikkurila Oy on ollut osa Kemiran konsernia. Tikkurila listattiin Nasdaq OMX Helsingin pörssiin maaliskuussa 2010. Tikkurila-konsernissa oli vuonna 2009 henkilöstöä keskimäärin 3757, josta 22 % työskenteli Suomessa. Liikevaihto oli 530,2 miljoonaa euroa. [1]

### **2.3 Tuotteet**

Tikkurilalla on johtavia paikallisia tuotemerkkejä kauppa- ja rakennusmaaleissa: Suomessa ja Puolassa Tikkurila, Venäjällä Tikkurila ja Teks, Ruotsissa Alcro ja Beckers sekä Baltian maissa Vivacolor. Muita kauppa- ja rakennusmaalituotemerkkejä ovat Puolassa Polifarb Debica, Venäjällä Finncolor, Ukrainassa Kolorit ja Saksassa Pigrol. Tikkurila Coatings on tunnettu tuotemerkki teollisuusmaaleissa. Uusimpia teollisuusmaa-

limerkkejä ovat Gamma ja Ohtek Venäjällä. Kauppa- ja rakennusmaalien asiakkaita, joihin kuuluvat sekä kuluttajat että ammattilaiset, palvelee yli 5000 jälleenmyyjän verkosto lähes 40 maassa. Puu- ja metalliteollisuutta palvelee suoraan tai 250 Temaspeed-jälleenmyyjän kautta 28 maassa. [1]

## **2.4 Arvot ja laatu**

Tikkurilan arvoina ovat ammattilaisuus, innovatiivisuus sekä luottamuksen arvoisuus. Tikkurilan missio on tarjota käyttäjäystävällisiä ja ympäristön kannalta kestäviä ratkaisuja pintojen kaunistamiseen ja suojaukseen. Tikkurilan visio on innostaa ihmisiä ilmaisemaan ideoitaan värien avulla tarjoamalla monikäyttöisiä ja innovatiivisia ratkaisuja. Tikkurilan strategia on olla johtava maaliyhtiö Pohjoismaissa ja Itä-Euroopassa, Venäjä mukaan lukien, niin koon kuin kannattavuuden puolesta. Tämä saavutetaan olemalla asiakaslähtöinen, kasvamalla kannattavasti, olemalla vahva alueellinen toimija, kehittämällä vahvoja tuotemerkkejä ja toimimalla yhtenäisenä Tikkurilana. [1]

Tikkurila tuottaa tuotteet ja palvelut siten, että niitä voidaan koko niiden elinkaaren ajan käyttää sosiaalisesti, eettisesti, taloudellisesti ja ympäristönsuojelullisesti kestävien periaatteiden mukaisesti. Jo vuonna 1994 yhtiö sai ympäristöjärjestelmänsä BS 7750 – standardin mukaisen sertifiointin, joka vuonna 1996 vaihdettiin ISO 14002 – sertifiointiin. Vuonna 1996 Tikkurila Oy oli ensimmäinen yritys Suomessa ja kolmas maaliyhtiö Euroopassa, joka hyväksyttiin EU:n ympäristöjohtamis- ja auditointijärjestelmä EMASiin. [1]



## **3 Maalin koostumus**

### **3.1 Sideaineet**

Maalissa on sideaineita noin 30 % [1]. Sideaine vaikuttaa maalikalvon tarttumiseen sekä sen kestävyteen ympäristön vaikutuksia vastaan. Sideaineiden valinta vaikuttaa myös maalikalvon joustavuuteen, kovuuteen, kulutuksenkestävyyteen, kalvonmuodostukseen sekä kiiltoon. [2, s. 10]

Suurin osa sideaineista on koostumukseltaan kiinteitä tai jäykkiä nesteitä. Niin sanottujen pehmittimien avulla kovista ja hauraista sideaineista saadaan kimmoisia, jotta niitä voidaan käyttää maalin valmistuksessa. Useimmat sideaineet ovat orgaanisia, suurimolekyylisiä polymeerejä tai reaktiokykyisiä lakkahartseja. Maalin kuivuessa lakkahartseista muodostuu polymeerejä. [2, s. 10]

Sideaineiden perusteella maalit jaetaan joko fysikaalisesti kuivuviin tai kemiallisesti kuivuviin maaleihin. Fysikaalisesti kuivuvia sideaineita ovat esimerkiksi vinyyli, nitroselluloosa, lateksit ja PVC-organosolit. Kemiallisesti kuivuvista sideaineista esimerkiksi mainittakoon alkydit, epoksit, hartsit, kalkki, sementti ja silikaatti. [2, s. 10]

### **3.2 Pigmentit ja täyteaineet**

Maalissa on pigmenttejä ja täyteaineita noin 30 %. Pigmentit ovat kiinteitä, liukenemattomia ja hienojakoisia jauheita, jotka dispergoidaan eli jauhetaan sideaineeseen. Pigmentit jaetaan väri- ja korroosionestopigmentteihin sekä apupigmentteihin eli täyteaineisiin. [2, s. 10]

Väripigmentit antavat maalikalvolle värin ja peittokyvyn sekä suojaavat kalvon sideaineita UV-säteilyltä. Väripigmentteinä käytetään sekä epäorgaanisia - että orgaanisia pigmenttejä. Pigmenttömiä maaleja kutsutaan lakoiksi ja läpikuultavia pigmenttejä sisältäviä kuultomaaleiksi. [2, s. 10] Parhaan värivoiman ja suojan antavat pigmentit, joiden partikkelikoko on tarpeeksi pieni välillä 0,05 - 0,5  $\mu\text{m}$  [3].

### **3.2.1 Epäorgaaniset pigmentit**

Tärkeimmät epäorgaaniset pigmentit ovat valkoinen titaanidioksidi, punainen, keltainen ja musta rautaoksidi sekä vihreä kromioksidi. Nämä pigmentit ovat kulutuksen kestäviä sään ja valon suhteen eivätkä ole vaaraksi ympäristölle. [2, s. 10]

### **3.2.2 Orgaaniset pigmentit**

Tärkeimmät orgaaniset pigmentit lähes rajattomasta värivalikoimasta ovat sininen, vihreä ja kirkkaat punaiset ja keltaiset. Orgaaniset pigmentit ovat kalliita ja peittävät huonosti. [2, s. 10]

### **3.2.3 Korroosionestopigmentit**

Korroosionestopigmenttien tarkoituksena on estää maalikalvon peittämän teräksen korroosiota. Nämä toimivat inhibiittoreina eli passivaattoreina saostaen elektrodipinnoille suojakerroksen. Anodiset kerrokset hidastavat rautaionien siirtymistä metallista elektrolyttiin. Katodiset kerrokset hidastavat elektronien siirtymistä metallista elektrolyttiin. Sinkkisulfaatti, sinkkifosfaatti ja bariummetaboraatti ovat esimerkkejä korroosionestopigmenteistä. Näitä käytetään erityisesti alkydi- ja öljymaaleissa. [2, s. 10–11]

### **3.3 Täyteaineet**

Täyteaineet ovat tavallisesti mineraaleja, kuten baryytti, kalsiitti, talkki ja kaoliini. Niiden tarkoitus on tehdä maalikalvo tiiviiksi ja lujaksi. Täyteaineet eivät vaikuta maalin peittokykyyn tai värisävyyn, mutta alentavat maalin hintaa. [2, s. 11–12]

### **3.4 Apuaineet**

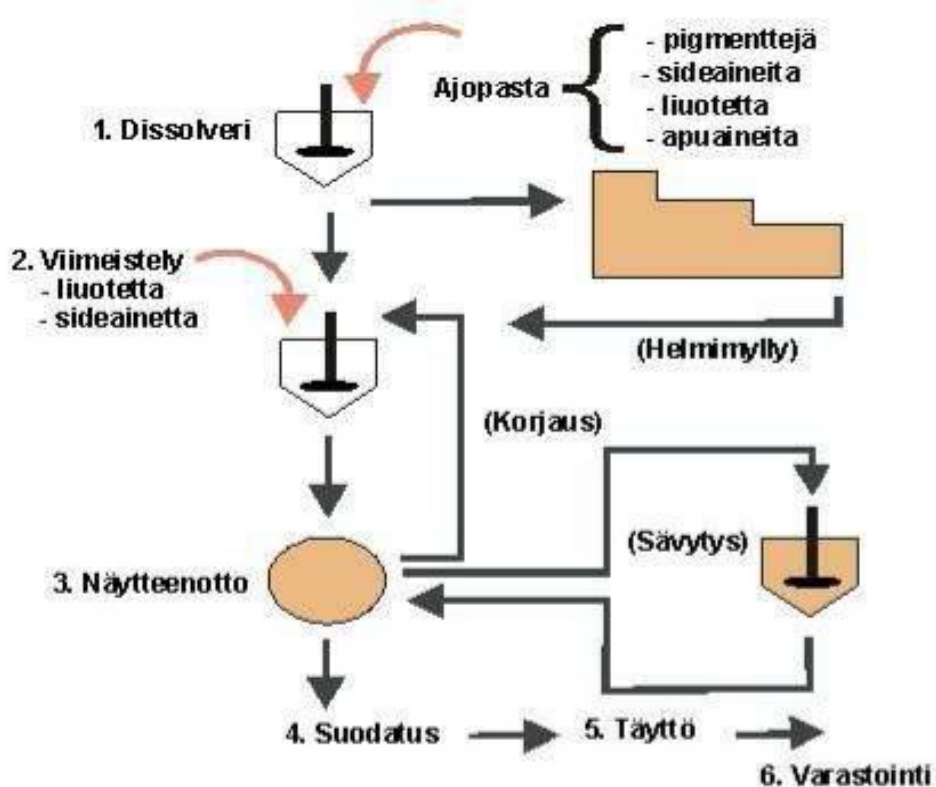
Apuaineiden osuus maaleissa on prosentuaalisesti pieni (0,1-1 %). Niiden tarkoituksena on parantaa maalikalvon toivottuja ominaisuuksia, kuten kuivumisnopeutta, tasoittuvuutta, valonkestävyyttä, homeenkestoa, naarmuuntumiskestävyyttä tai kiiltoa. Lisäksi apuaineiden lisäyksellä pyritään estämään pigmenttien laskeutumista, maalin valumista ja maalikalvon likaantumista. [2, s.12]

### **3.5 Ohenteet**

Ohenteen osuus maalissa on noin 40 % [1]. Ohenteena käytetään joko liuotetta tai vettä, joka haihtuu maalista pois sen levityksen ja kuivumisen aikana. Sen tarkoituksena on antaa maalille levitettävyyden kannalta paras viskositeetti. Ohenne vaikuttaa paljon maalin maalattavuuteen, kalvonmuodostukseen ja kestävyYTEEN. [2, s. 12]

## 4 Maalin valmistus

Maalit valmistetaan aina reseptikaavan mukaisesti. Kaavojen teossa pyritään täyttämään maalille asetetut vaatimukset ja saamaan aikaan optimiominaisuudet. Maalinvalmistuksen vaiheet ovat raaka-aineiden annostelu, esisekoitus, dispergointi, jälkisekoitus, viimeistely, mahdollinen korjaus, sävytys, suodatus ja täyttö. Kuvassa 1 on kaaviokuva maalinvalmistusvaiheista. [2, s. 13]



Kuva 1. Maalinvalmistusprosessi. [1]

Raaka-aineita on sekä jauhemaisia että nestemäisiä. Tasalaatuisen tuotteen saaminen vaatii raaka-aineiden huolellisen sekoittamisen ja dispergoimisen. Ensin sekoitetaan

reseptikaavan mukaisesti osa raaka-aineista keskenään, jolloin muodostuu paksu pasta dispergoimista varten. [1]

Maalinvalmistuksen tärkein osa on dispergointi eli pigmenttien ja täyteaineiden jauhaaminen sideaineeseen tai sideaineliuokseen. Dispergointi käsittää pigmenttikasaantumien ja -ryhmien vettymisen, pigmenttikasaantumien hajottamisen ja niiden uudelleen vettymisen estämisen ja viimein pigmenttipartikkeleiden stabiloinnin. [4; 3] Pigmentit ja täyteaineet ovat valmistuksen jälkeen tarttuneet toisiinsa muodostaen isoja partikkeleja, agglomeraatteja. [2, s. 13] Kiinnipitävään voimaan vaikuttavat monet fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, mukaan lukien pintajännitys ja van der Waalsin voimat eli molekyylien väliset heikot voimat. Näiden agglomeraattien hajottamiseen tarvitaan suuria voimia. [3] Agglomeraatteja rikottaessa poistetaan samalla pigmentin pinnalle imeytynyt ilma sekä kosteus ja pigmentit kostutetaan sideaineella. Pigmenttien kostuttaminen sideaineella estää niiden tarttumisen uudestaan toisiinsa kiinni. [2, s.14] Neste, jolla on matala pintajännitys, kosteuttaa pigmenttejä paremmin kuin korkean pintajännityksen omaava neste. [3].

Stabilointiprosessi eli toisin sanoen flokkulaation estäminen on erittäin tärkeää maalin ominaisuuksien optimointiin. Dispersion stabiilisuus vaikuttaa varastointiin, peittävyys-teen, kiiltoon, valon heijastukseen, kuultavuuteen, reologiaan, prosessointiin ja värivoiman kehittymiseen ja kestämiseen. [4]

Maalin laatu riippuu suuresti pigmenttien dispersion asteesta. Täydellinen pigmenttien dispergointi on erityisen tärkeää optimaalisen värivoimakkuuden, hyvän peittävyys-teen, korkean kiillon ja sääolojen kestävyys-teen saavuttamiseksi. Maalikalvon mekaaniset ominaisuudet ovat myös riippuvaisia pigmenttien dispersion asteesta. [4]

Dispergoinnin jälkeen lisätään muut raaka-aineet, jolloin maali saa lopulliset ominaisuutensa. Valmiista maalista otetaan näyte laboratoriokokeita varten, missä tarkastetaan

maalin hienous, viskositeetti, peittävyys, ominaispaino ja värivoima. Laboratorion hyväksymisen jälkeen maali sävytetään tarvittaessa, suodatetaan ja purkitetaan. [1]

Dispergointilaitteen tehokkuutta mitataan spesifisellä energialla. Spesifinen energia kuvaa sitä työtä, joka on tehty sidoksen rikkomiseen ja on ominainen kullekin tuotteelle. Spesifinen energia lasketaan kaavalla 1:

$$E_s = \frac{P_{eff} \cdot ajoaika}{eräkoko} \left[ \frac{kWh}{tn} \right] \quad (1)$$

$P_{eff}$  on ajopastaan johdettu energia.

Tehointensiteetti kuvaa energian siirtoa dispergoitumassa olevaan nestetilavuuteen. Tehointensiteetti lasketaan kaavalla 2:

$$\frac{P_{eff}}{tilavuus} \left[ \frac{kW}{l} \right]. \quad (2)$$

Tehointensiteetin kasvaessa laatutason tulisi parantua vaikeasti jauhettavilla tuotteilla [5].

## 5 Dispergointimenetelmiä

### 5.1 Dissolveri

Dissolveri on maalinvalmistuslaite, jossa pystysuoraan akseliin on kiinnitetty terä, joka synnyttää radiaalisen virtauksen säiliössä olevaan pastaan. Virtaus on symmetrinen terän ylä- ja alapuolella muodostaen vortex-ilmion. Kuvassa 2 näkyy dissolverin muodostama vortex-ilmio. Vortexin syvyys riippuu levyn geometriasta ja kehänopeudesta ja on kutakuinkin sama kuin levyn halkaisija. Jos akseli on säiliön keskellä, niin säiliön seinät vahvistavat liikettä. Suositeltava kehänopeus on 15 - 30 m/s tuotteesta riippuen, ja optimaalinen nopeus riippuu levyn mitoista, muodosta ja tuotteen viskositeetista. [6, s. 229–231]



Kuva 2. Dissolverin muodostama vortex-ilmio terän ympäri. [7]

Dissolverin pitäisi pystyä sekoittamaan nestemäiset raaka-aineet ennen jauhemaisten raaka-aineiden lisäämistä. Sen lisäksi terän pitää tehokkaasti yhdistää pigmentit nestemäiseltä alueelta tuotteeseen ja kierrättää sitä tarpeeksi nopeasti takaisin terälle, jotta kaikki partikkelit päätyvät dispergoinnin aikana useita kertoja terän lähellä olevaan laminaarisen liikkeen alueelle. Tehokkain alue agglomeraattien rikkomiseen on hyvin lähellä terää, lähinnä sen alapuolella. Suurin työ tehdään partikkeleiden jauhaessa toisiansa terän läheisyydessä. Korkein sekoitettavissa oleva pigmenttipitoisuus johtaa pienimpään partikkelikokoon ja lyhimpään dispergointiaikaan. Lisäksi suurempi pigmenttipitoisuus lisää saantoa. [8, s. 233–234]

Kun kaikki pigmentit ovat syötetty säiliöön, lämpötilan tulisi olla alhainen. Näin ollen pystytään syöttämään enemmän energiaa panokseen, ennen kuin pigmenttien ominaiset lämpötilarajat tulevat vastaan. Hyvän ja tasaisen laadun saavuttamiseksi sekoituksen pitää olla niin tehokas, että jokainen partikkeli käy terän läheisyydessä useita kertoja. Säiliössä ei tulisi olla pimeitä kohtia, mihin sekoitus ei yllä. Tästä johtuen säiliön pohjan kulmat ovat pyöristettyjä. [8, s. 233–235]

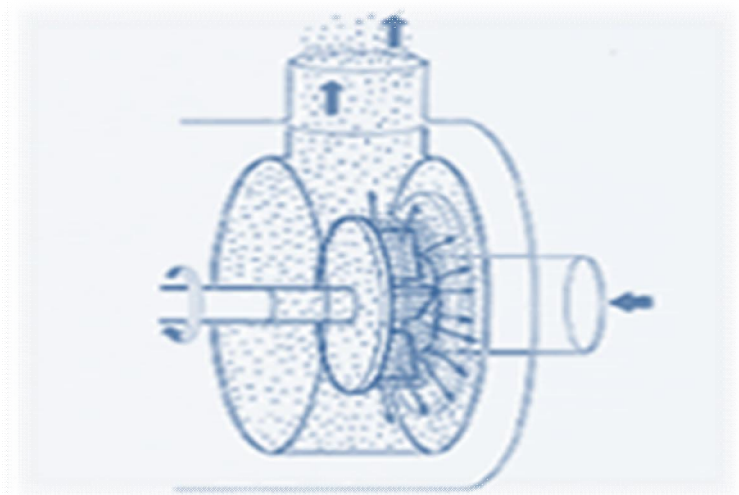
Dissolverilevyn tulisi olla noin 0,4–0,6-kertainen verrattuna säiliön leveyteen. Säiliön korkeuden tulisi olla noin 1,2-kertainen verrattuna säiliön leveyteen. Näin ollen säiliö ei ole liian korkea ja saadaan tasainen sekoittuminen aikaan. [6, s. 229–230]

## **5.2 Roottoristaattorimylly**

Roottoristaattorimyllyn generaattori koostuu kahdesta tai useammasta samankeskeisestä teräsrataskehästä. Ulompi rengas eli staattori pysyy paikallaan ja sisempi eli roottori pyörii nopeasti. Roottoristaattorimylly on itsestään pumppaava. Roottori antaa pastalle erittäin suuren keskipakokiihtyvyyden imien sitä generaattoriin ja työntäen siitä läpi staattorin aukkoihin. Pigmenttipartikkeleiden dispergointi tapahtuu roottorin terien ja



staattorin aukkojen välissä. Dispergointi on jatkuvatoimista. Kuvassa 3 näkyy roottori-staattorimyllyn rakenne. [9]



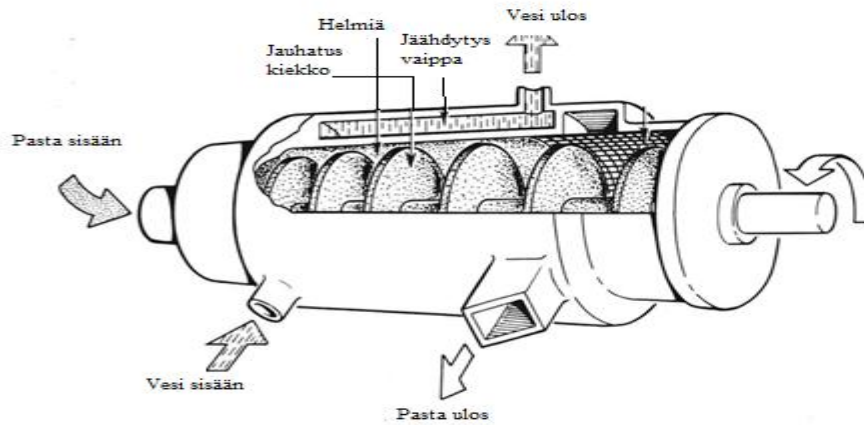
*Kuva 3. Roottoristaattorimylly. [9]*

### **5.3 Helmimylly**

Helmimyllyä käytetään, jos maalilta vaaditaan tavallista korkeampaa kiiltoa. Lisäksi monet värilliset pigmentit jauhetaan helmimyllyssä niiden vaikeiden jauhatusominaisuuksien vuoksi. [1]

#### **5.3.1 Rakenne ja toimintaperiaate**

Helmimyllyssä on joko horisontaalinen tai vertikaalinen helmillä täytetty kammio, jonka sisällä on reiällisiä kiekkoja pyörivällä jauhatusakselilla. Kiekot antavat helmille jauhatukseen tarvittavan energian. Pigmenttipartikkeleiden dispergoituminen tapahtuu leikkausvoimien ja helmien törmäysten ja hiertymien vaikutuksesta. [6, s. 207; 234]. Kuvassa 4 näkyy helmimyllyn kammion rakenne.



Kuva 4. Helmimylly. [10]

### 5.3.2 Helmien valinta

Maalin ominaisuudet vaikuttavat helmien valintaan. Pieniviskoosisilla aineilla käytetään kevyitä ja pieniä helmiä. Jos pieniviskoosisilla aineilla käytettäisiin isoja ja painavia helmiä, helmet sulloutuisivat ja kuluisivat nopeasti. Aineilla, joilla on iso viskositeetti, käytetään suuria ja painavia helmiä. Jos niillä käytettäisiin pieniä ja kevyitä helmiä, ne liikkuisivat tuotteen mukana eikä tuotteessa. Pienempi helmikoko lisää helmien määrää myllyssä, mistä seuraa suurempi työpinta-ala helmien ja maalin kosketuksessa. Liian pienillä helmillä ei puolestaan ole tarpeeksi kineettistä energiaa liikkuakseen. Helmien spesifisen painon lisäämisellä on mahdollisuus lisätä kineettistä energiaa verrattuna kevyempiin helmiin. Helmet, joilla on suurin mahdollinen spesifinen paino, ovat kaikkein tehokkaimpia. [5; 8, s.239]

### 5.3.3 Täyttöaste

Helmimyllyn helmien täyttöasteena käytetään 70 - 90 %:a. Täyttöasteen tarkoituksena on varmistaa partikkeleiden ja helmien kohtaaminen, tehon siirtyminen helmipanokseen sekä panoksen liikkuminen myllyssä halutulla tavalla. Liian suuri täyttöaste estää helmien liikkumisen aiheuttaen helmien ja myllyn nopean kulumisen. Liian pieni täyttöaste näkyy laadussa, koska mylly ottaa suoraan tehoa helmityksen painoon nähden. Jokaisella myllyllä on sille ominainen täyttöaste, minkä laitetoimittaja ilmoittaa. [5]

#### **5.3.4 Energia**

Helmimyllyajo noudattaa energiateoriaa. Kokeellisesti on todistettu, että samalla energiamäärällä eli tietyn aikaa syötetyllä teholla käyttäen samaa helmeä saavutetaan sama laatutaso myllytyypistä ja ajotavasta riippumatta. Tarvittava spesifinen energia muuttuu, kun vaihdetaan helmien kokoa ja materiaalia. Helmet vaikuttavat myllyn kyvykkyyteen siirtää energia työksi, mikä rikkoo partikkeleiden sidokset. Helmien tulisi olla hyvässä kunnossa eli pallonmuotoisia sekä samankokoisia. Energiamäärän kasvattaminen kehittää laatua tiettyyn pisteeseen asti, minkä jälkeen se ei kehity, vaikka tehoa syötettäisiinkin lisää. Helmimyllyn spesifiseen energiaan eivät vaikuta pumpun syöttö, paine, lämpötila eikä myllyn tyyppi. [5]

Noin 8 % myllyn ottoenergiasta menee lämmön haihtumiseen ja sisäisiin vastuksiin. Tästä johtuen helmimylly antaa huonon hyötysuhteen, koska suuri osa energiasta menetetään lämpenemiseen. Lisäksi dispergointiaika on pitkä. [5]

## **6 Dispergointilaitteiden kokeellinen vertailu**

Kuten aiemmin luvussa 1 (s. 6) on kerrottu, tutkittavia pastoja merkitään A:lla ja B:llä, laitteita C:llä ja D:llä, ja lukuarvot on koodattu välille 0 - 1.

Maalinvalmistuksessa on siirrytty käyttämään enemmissä määrin ympäristöystävällisempiä, vesiohenteisia tuotteita. Tästä johtuen on alettu miettiä vaihtoehtoisia laitteita korvaamaan nykyisin käytössä oleva laite C. Laitteella C on hankalaa jauhaa vesiohenteisia tuotteita niiden alhaisten lämpötilavaatimusten takia. Lisäksi laite C kuluu nopeasti aiheuttaen kunnossapitokuluja sekä tuotantoseisokkeja, ja sen hyötysuhde on huono.

Työn tarkoituksena oli vertailla laitteiden C ja D käyttämää spesifistä energiaa verrattuna muuttujan X arvoon. Tutkittiin mahdollisuutta saavuttaa tarvittava tai parempi muuttujan X arvo vähemmällä energialla. Pienempi energian käyttö lyhentäisi myös dispergointiaikaa antaen mahdollisuuden tuottaa tehokkaammin maalia.

Kokeet toteutettiin pastalla A ja pastalla B. Kaikista koesarjoista otettiin näytteitä tietyn ajanjakson jälkeen. Näytteistä määritettiin muuttujan X arvo.

### **6.1 Pasta A**

Normaalisti tämä tuote valmistetaan käyttäen vain dissolveria, mutta pienen erän valmistuksessa joudutaan käyttämään muita menetelmiä pigmentin liiallisen lämpenemisen takia.

Valmistettiin pasta A reseptikaavan mukaisesti. Valmistuksessa käytetty pigmentti on epäorgaaninen. Panos esidispergoitiin dissolverilla, jonka jälkeen panosta dispergoitiin laitteilla C ja D. Esidispergointi jätettiin vähäiseksi, jotta nähtäisiin muuttujan X arvon kehitys selvästi.

### **6.1.1 Laite C**

Laitteella C simuloitiin kierrätysajoa. Dispergoitumassa olevasta pastasta otettiin otantanäytteitä virtauksesta tietyn ajanjakson jälkeen sekä tuotteesta loppunäytteet. Kaikista otetuista näytteistä määritettiin muuttuja X arvo.

Laitteella C tuli kolmannessa näytteenotossa virhe, joka jätettiin huomioimatta tuloksista.

### **6.1.2 Laite D**

Laitteella D tehtiin viisi koeajoa. Kokeissa tutkittiin parametrien E ja F vaikutuksia muuttujan X arvon kehittymiseen sekä käytetyn spesifisen energian määrään.

Laitteella D kolme ensimmäistä koetta oli toistokokeita varmistamaan kokeitten toistettavuus. Neljäs ja viides koe toteutettiin eri parametrien E ja F arvoilla. Näytteet otettiin sekoitusastiasta. Ensimmäisissä kokeissa otettiin myös muutama näyte paluuvirrasta varmistamaan tuotteen tasainen sekoittuminen.

Kokeessa 1 tuli kolmannessa näytteenotossa virhe sekä säiliöstä että paluuvirrasta otetusta näytteestä, jotka on jätetty huomioimatta. Tämä on saattanut johtua pastan epäta-  
saisesta sekoittumisesta sekoitussäiliössä. Koetta 2 jatkettiin lukemaan  $1 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$  asti,

jotta nähtäisiin mihin pisteeseen asti muuttujan X arvoa saataisiin kasvatetuksi. Kokeessa 3 katkaistiin jäähdytysvesi, joten koeajo jouduttiin keskeyttämään pastan liiallisen lämpenemisen vuoksi. Kokeessa 4 tutkittiin parametrin E vaikutusta muuttujan X arvon kehittymiseen. Kokeessa 5 tutkittiin parametrin F vaikutusta muuttujan X arvon kehittymiseen.

## **6.2 Pasta B**

Kohdan 6.1.2 kokeitten tuloksista johtuen päätettiin tehdä jatkokokeita pastalla B, joka normaalisti valmistetaan laitetta C käyttäen. Pastan B valmistuksessa käytetty pigmentti on orgaaninen. Lopputuloksena saatiin hyvin esidispergoitua ja ohennettua pastaa B laitteella D suoritettaviin kokeisiin.

Laitteella D suoritettiin kolme koetta, joissa tutkittiin parametrin F vaikutusta muuttujan X arvoon. Kaikki näytteet otettiin sekoitussäiliöstä, joista määritettiin muuttujan X arvo.

Ensimmäinen koeajo toteutettiin alhaisella parametrin F arvolla. Kahdessa seuraavassa kokeessa kasvatettiin parametrin F arvoa. Muut muuttujat pyrittiin pitämään vakiona, jotta parametrin F vaikutus havaittaisiin selvästi. Kaikista otetuista näytteistä määritettiin muuttujan X arvo.

## 7 Regressioanalyysi

Regressioanalyysiä käytetään mallintamaan yhden tai useamman muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan. Regressiokäyrä kuvaa muuttujien välisen yhteyden voimakkuuden. [11]

Molempien pastojen jokaiselle kokeelle tehtiin regressioanalyysit. Tämän jälkeen pastalle A tehtiin regressioanalyysi parametrien E ja F suhteen ja pastalle B parametrin F suhteen. Saatuihin tuloksiin sovitettiin käyrä, joka on muotoa

$$y = a + b \cdot \ln(x)$$

y on parametrin X arvo

x on spesifinen energia.

Pastalla A kerroin a sekä sen riippuvuus E:stä ja F:stä on tilastollisesti merkityksetön. Kerroin a otetaan kuitenkin huomioon regressioanalyysissä, jotta mallit voidaan esittää yhtenevässä muodossa. Näin ollen yhtälö saa muodon

$$y = a + \alpha \cdot E + \beta \cdot F + (b + \chi \cdot E + \delta \cdot F) \cdot \ln(x)$$

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$  ja  $\delta$  ovat parametrien E ja F kertoimia.

Pastalla B otetaan myös kaikki kertoimet huomioon ja yhtälö saa muodon

$$y = a + \alpha \cdot F + (b + \beta \cdot F) \cdot \ln(x).$$

## 8 Tulokset

### 8.1 Pasta A

Kuvassa 8 näkyy sekä laitteella C että laitteella D saadut pastan A tulokset. Kuvan selitelaatikossa D1 tarkoittaa laitteella D tehtyä ensimmäistä koeajoa. Spesifinen energia on laskettu tuotteen kuiva-ainetonnin kohti, koska laitteilla C ja D dispergointi tehtiin eri ohennuksilla. Näin ollen ne ovat keskenään vertailukelpoisia.



Kuva 8. Pastan A muuttujan X arvon kehittyminen spesifisen energian funktiona.

Taulukossa 1 näkyy tarkat lasketut energian kulutukset sekä muuttujan X arvot, kaksi tulosta jokaista koeajoa kohden. Ensimmäinen tulos valittiin sen perusteella, mikä oli lähinnä laitteen C käyttämää arvoa  $0,49 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$ . Toinen tulos on koeajon viimeinen mitattu piste.

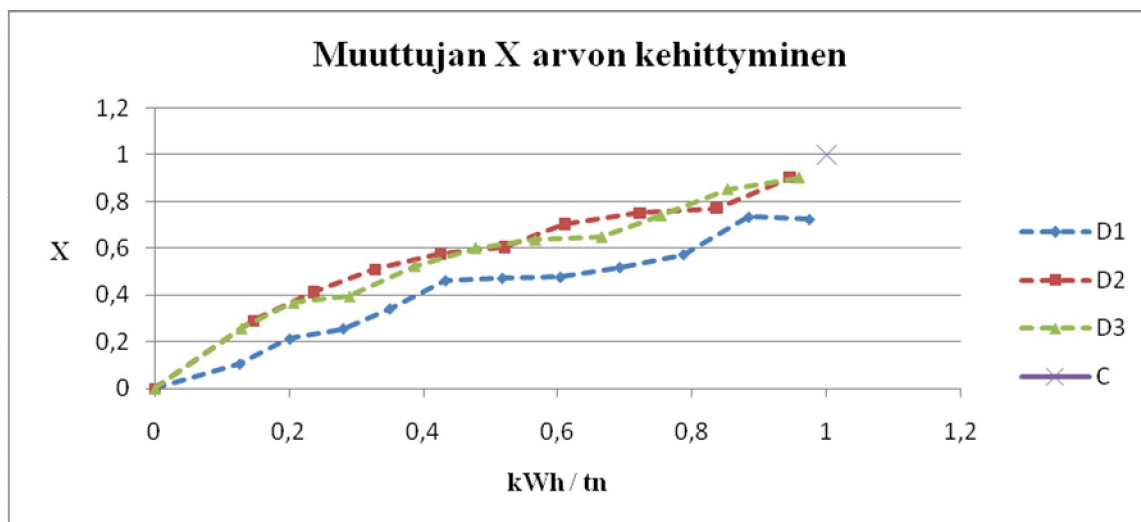


Taulukko 1. Pastan A lasketut energian kulutukset ja mitatut muuttujan X arvot.

koe	kWh/tn	X	kWh/tn	X
C	0,49	0,51	0,68	0,65
D1	0,25	0,49	0,57	0,71
D2	0,22	0,52	1,00	1,00
D3	0,23	0,52	0,40	0,90
D4	0,51	0,51	0,60	0,54
D5	0,56	0,44	0,90	0,93

## 8.2 Pasta B

Kuvassa 9 näkyy pastan B muuttujan X arvon kehittyminen spesifisen energian funktiona. Selitelaatikossa D1 tarkoittaa laitteella D tehtyä ensimmäistä koeajoa. Spesifinen energia on laskettu tuotetonnia kohden, koska laitteilla C ja D dispergointi tehtiin samalla ohennuksella.



Kuva 9. Pastan B muuttujan X arvon kehittyminen spesifisen energian funktiona.

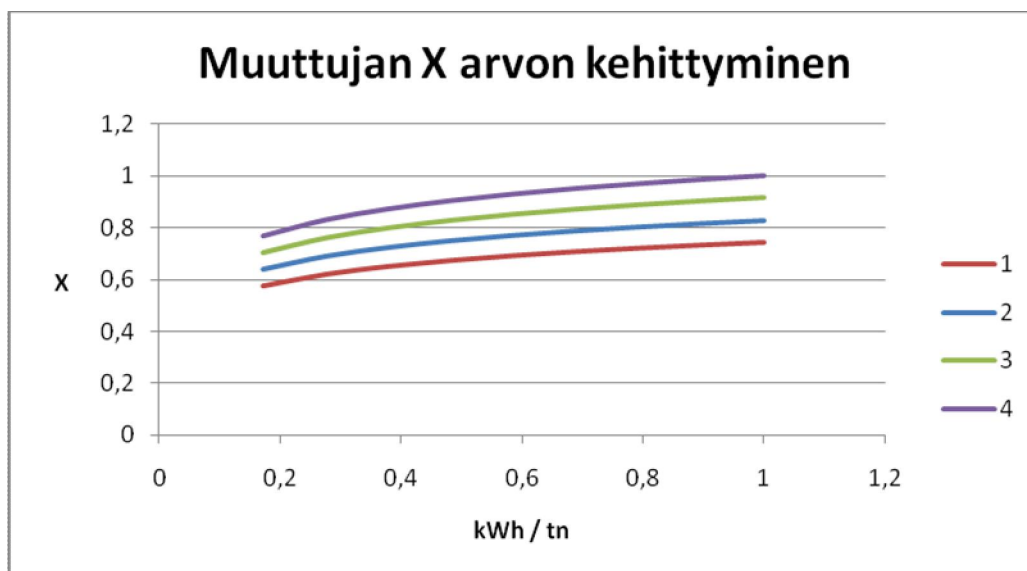
Taulukossa 2 näkyvät tarkat lasketut energian kulutukset sekä mitatut muuttujan X arvot.

Taulukko 2. Pastan B lasketut energian kulutukset ja mitatut muuttujan X arvot.

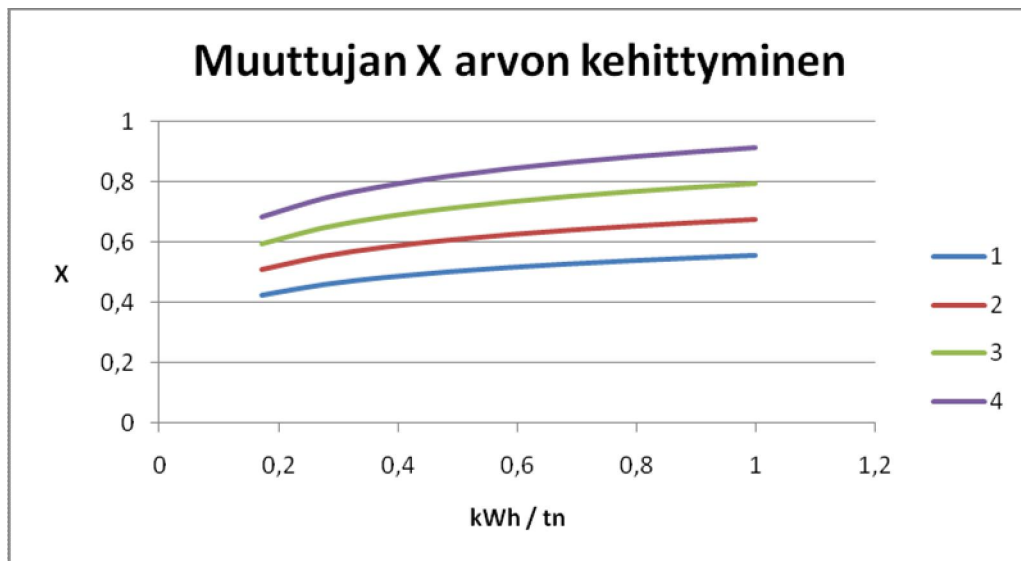
koe	kWh/tn	X
C	1	1
D1	0,97	0,72
D2	0,95	0,90
D3	0,96	0,90

### 8.3 Regressioanalyysin tulokset

Pastan A tuloksista tehtiin käyräparvet (kuvat 10 ja 11) muuttujan X arvon kehittymisestä spesifisen energian suhteen. Parametri E pidettiin molemmissa kuvissa vakiona muuttujan F saadessa eri arvoja. Kuvassa 10 on isompi parametrin E arvo kuin kuvassa 11.

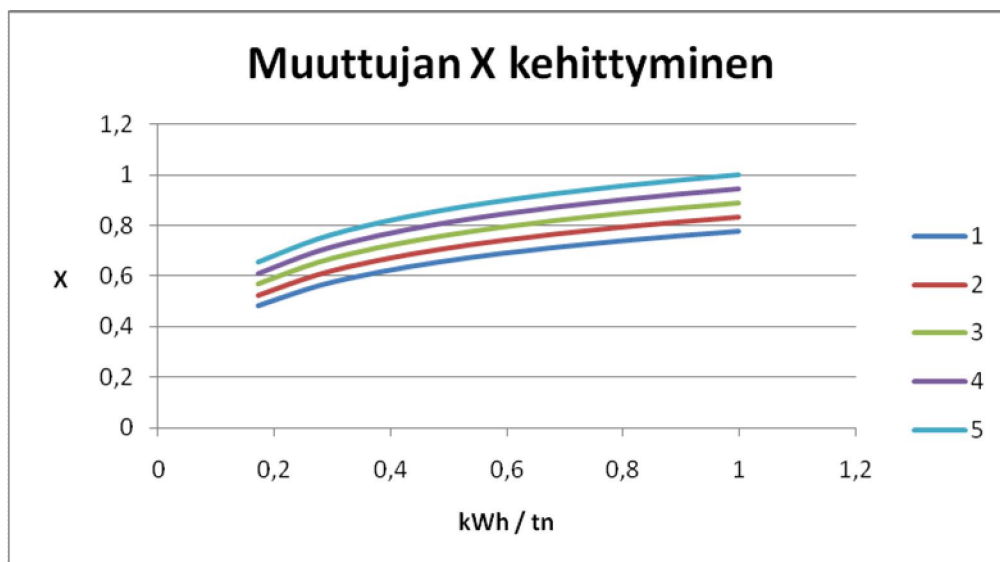


Kuva 10. Pastan A muuttujan X arvon kehittyminen spesifisen energian funktiona. E on vakio.



Kuva 11. Pastan A muuttujan X arvon kehittyminen spesifisen energian funktiona. E on vakio.

Pastan B tuloksista tehtiin käyräparvi (kuva 12) muuttujan X arvon kehittymisestä spesifisen energian funktiona parametrin F saadessa eri arvoja.



Kuva 12. Pastan B muuttujan X arvon kehittyminen spesifisen energian funktiona.

## 9 Tulosten tarkastelu

Pastaa A tarkasteltaessa laite D kulutti noin  $0,25 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$  vähemmän kuin laite C saavuttaen saman tai paremman muuttujan X arvon. Pastan esidispergointi jätettiin tarkoituksella vähäiseksi, jotta nähtäisiin muuttujan X arvon kehitys selvästi laitteella D. Laite C ei pysty korvaamaan huonoa esidispergointia kovin hyvin. Tämä voi osaltaan olla syynä sen huonoon pärjäämiseen verrattuna laitteeseen D.

Pastan B dispergoinnissa laitteella C käytettiin energiaa  $1 \frac{\text{kWh}}{\text{tn}}$  ja saatiin muuttujan X arvoksi 1. Noin  $0,96 \frac{\text{kWh}}{\text{tn}}$  :n energian käytöllä laitteella C saatiin ensimmäisessä kokeessa muuttujan X arvoksi noin 0,72 ja kokeissa 2 ja 3 arvoksi 0,9. Näillä koejärjestelyillä laitteella D ei päästy yhtä hyvään muuttujan X arvoon kuin laitteella C.

Kuvista 8 ja 9 näkyy kokeiden olevan toistettavia, jos ulkopuolisia häiriötekijöitä ei huomioida. Sekoituksen tulee olla tasaista ja jäähdytysveden määrä riittävä.

### 9.1 Parametrin F vaikutus

Tehdyistä kokeista sekä regressioanalyysistä huomattiin parametrin F arvon nostamisen lisäävän muuttujan X arvon kehitystä. Pienemmällä parametrin F arvolla koeajoa jouduttiin ajamaan ajallisesti kauemmin, jolla taattiin riittävä kierrätyskertojen lukumäärä ultraäänikammion läpi. Tämä lisäsi käytetyn energian määrää. Muuttujan X arvon kannalta tämä tarkoitti sitä, että alussa saavutettiin heikompi muuttujan X arvo kuin muilla kokeilla, mutta saavutettua tarpeellisen määrän energiaa päästiin samaan arvoon kuin muilla kokeilla. Erona on, että tehoa käytettiin noin  $0,37 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$  enemmän.

Nostamalla parametrin F arvoa saavutettiin sama muuttujan X arvo kuin laitteella C sekä laitteella D tehdyillä pienemmillä parametrien E ja F arvoilla saadusta kokeista. Suuremmalla parametrin F arvolla käytettiin noin  $0,25 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$  vähemmän energiaa.

Pastan B kokeissa pidettiin muut muuttujat vakioina paitsi parametri F. Tultiin samaan johtopäätökseen, kuin pastalla A, että parametria F kasvattamalla saavutetaan muuttujan X arvon kehittyminen nopeammin. Suuremmalla muuttujan F arvolla saavutettiin samalla energian käytöllä noin 0,2 parempi muuttujan X arvo kuin pienemmällä muuttujan F arvolla.

## 9.2 Parametrin E vaikutus

Parametrin E pienentäminen hidastaa muuttujan X arvon kehittymistä verrattuna muuten samoilla muuttujan arvoilla tehtyihin kokeisiin. Pastalla A parametrin E ollessa pienempi (koe 4) päästiin samanlaisiin tuloksiin kuin laitteella D. Regressioanalyysi osoittaa myös pienemmän parametrin E arvon hidastavan muuttujan X arvon kehitystä.

## 9.3 Parametrin G vaikutus

Ennen varsinaisia koesarjoja tehtiin joukko pilot-ajoja, missä huomattiin parametrin G kasvattamisen nostavan tehonottoa. Parametrin G vaikutusta ei kuitenkaan näillä koejärjestelyillä pystytty tutkimaan tarpeeksi. Parametrin G suurentaminen lisää laitteen tehonottoa, mikä puolestaan kuumentaa pastaa. Tämän takia parametrin G arvo jouduttiin pitämään vakiona.

Kaikissa muissa kokeissa lämpötila pysyi sallituissa rajoissa parametrin G arvolla, paitsi pastan A kokeessa 3. Tässä kokeessa katkaistiin jäähdytysvesi seurauksena pastan läm-

piäminen yli kaavan salliman rajan. Tässä kokeessa muuttujan X arvo kehittyi nopeiten.

#### 9.4 Energian kulutus ja ajan käyttö

Laitteen D panos skaalattiin samankokoiseksi eräksi kuin laitteen C panos oli. Pastaa A dispergoitiin laitteella C 1,0 tuntia käyttäen noin  $0,5 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$ . Sama tulos saavutettiin laitteella D 0,5 tunnissa käyttäen noin  $0,25 \frac{\text{kWh}}{\text{kuiva-ainetn}}$ .

Kokeiden perusteella dispergointi voitaisiin toteuttaa noin 50 % nopeammin laitteella D kuin laitteella C. Laitteella D käytettiin vain 40 - 45 % sen maksimaalisesta teoreettisesta tehosta. Laitteen D tehonottoa parantamalla dispergointiaika lyhenisi entisestään. Dispergointiajan huomattava lyheneminen mahdollistaisi maalin tehokkaamman tuotannon.

## 10 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tutkia laitteen D mahdollisuuksia korvata laite C pigmenttipartikkeleiden dispergoimisessa maalin valmistuksessa. Pastalla A tehtiin vain viisi koetta ja pastalla B kolme koetta. Tehtyjen kokeiden perusteella laitteen D mahdollisuutta laitteen C korvaamiseen kannattaisi mielestäni tutkia lisää. Lisäkokeiden avulla saataisiin tehtyä tarkempi regressioanalyysi ja mahdollisuus mallintaa ajoparametrien vaikutus. Tämä mahdollistaisi ajoparametrien arvojen optimoinnin.

## Lähteet:

1. Tikkurilan Oy:n sisäinen tiedotussivu. (WWW-dokumentti.) <<http://intranet>>. Luettu 11.1.2010.
2. Holger Alen ja Opetushallitus. Maalit ja niiden käyttö. 2. uudistettu painos. Helsinki: Hakapaino Oy. 1999
3. Technical background/wetting and dispersing additives. (WWW-dokumentti) <[www.evonik.com](http://www.evonik.com)>. Luettu 11.12.2009.
4. Bieleman, J.H . Polymeric pigment dispersants for water- and solvent-borne coatings. (WWW-dokumentti.) <<http://www.allbusiness.com/manufacturing/chemical-manufacturing-paint/520858-1.html>>. July 1 1995. Luettu 29.12.2009.
5. Takala, Heikki / Tekninen osasto. Tikkurila Oy. Helmimyllyajosta. Vantaa: 1999.
6. BASF: Basics of coating technology. BASF Coatings AG. Hannover, Germany: Munster:Primedia. 2003.
7. Kuva dissolverista. (WWW-dokumentti.) <[www.ekato.com/uploads/pics/dissolver\\_untent.gif](http://www.ekato.com/uploads/pics/dissolver_untent.gif)>. Luettu 3.2.2010.
8. Curt R. Vincentz Verlag. European coatings handbook. Hannover, Germany: Th. Schäfer 2000.
9. Silversonin kotisivu. How It Works. (WWW-dokumentti.) <<http://www.silverson.com/USA/Products/Inline-HowItWorks.cfm>>. Luettu 20.1.2010.
10. Kuva helmimyllystä. (WWW-dokumentti.) <<http://www.emeraldinsight.com/fig/1290320202011.png>>. Luettu 3.3.2010
11. Regressioanalyysi. (WWW-dokumentti.) <<http://www.fsd.uta.fi/metelmaopetus/regressio/analyysi.html>>. Luettu 27.03.10.





