

Jenni Vuorenniemi

# Scale up ja sekoituksen optimointi laboratorio-olosuhteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

26.4.2016

Tekijä(t) Otsikko	Jenni Vuorenniemi Scale up ja sekoituksen optimointi laboratorio-olosuhteissa
Sivumäärä Aika	36 sivua + 5 liitettä 26.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Tuotannon teknologi Ville Karhu Lehtori Timo Seuranen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Sun Chemical Oy:lle, Espoon tehtaalle, jossa valmistetaan muun muassa liuotin- ja vesipohjaisia painovärejä. Työssä optimoitiin sekoitusnopeudet ja sekoitusajat kolmelle vesipohjaiselle vernissalle. Tavoitteena oli löytää optimit, joissa tuotteet ovat parhaimmillaan ja reikäisyyttä ei esiinny. Lisäksi työssä tarkasteltiin laboratorion reikäisyyskoemenetelmää.</p> <p>Optimoinnit suoritetaan laboratoriossa dispergointilaitteistolla, joka vastaa tuotannossa olevaa laitteistoa. Laboratoriokokeiden perusteella tuotetta valmistetaan tuotannossa ja tuloksia verrataan keskenään. Reikäisyyskokeessa tuotetta vedostetaan vedostussauvalla vedostusalustalle, jotta reiät tulevat näkyviin.</p> <p>Selkeää optimia ei pystytty määrittämään eivätkä tuotannon kokeen tulokset vastanneet laboratoriossa saatuja tuloksia. Tuloksista huomataan kuitenkin, että kovemmilla sekoitusnopeuksilla, tuote on parhaimmillaan. Kokeiden perusteella selviää myös, että parhain lopputuote saavutetaan valmistusresepteissä olevilla sekoitusajoilla. Lisäksi laboratorion reikäisyyskoe osoittautui luultua paremmaksi ja siihen ei tehty muutoksia.</p> <p>Tuloksista voidaan päätellä, että reikäisyyteen vaikuttaa muutkin tekijät kuin sekoitusnopeus ja sekoitusaika, koska optimointi ei onnistunut laboratorion ja tuotannon välillä. Tuloksista selviää, että hitaimmilla sekoitusnopeuksilla tuotteen laatu kärsii. Työn pohjalta tutkimuksia voidaan jatkaa, esimerkiksi tarkastelemalla astian geometriaa ja reikäisyyteen vaikuttavia ominaisuuksia.</p>	
Avainsanat	Dispergointi, reikäisyys, sekoitusnopeus, vernissa, scale up

Author(s) Title	Jenni Vuorenniemi Scale up and Optimization of Mixing in Laboratory Conditions.
Number of Pages Date	36 pages + 5 appendices 26 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Ville Karhu, Manufacturing technologist Timo Seuranen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was made for Sun Chemical Oy, Espoo factory, which produces, e.g. solvent and water-based inks. The objective was to optimize the mixing speeds and mixing times for three water-based varnishes. The aim was to find optima in which the products and their quality are the best, and the pinholes does not occur. In addition, the study was examined the laboratory pinhole test method.</p> <p>Optimization will be conducted in a laboratory using dispersing equipment which corresponds to the production hardware. According to laboratory test, the product is manufactured in the production and the results are compared with each other. In the pinhole test, the product will be printed with a proofing rod on to proofing platform where the holes appear.</p> <p>A clear optimum could not be determined, and the results of the production tests did not respond to the results obtained in the laboratory. However, the results indicate that when mixing at the fastest speeds, the product quality is at its best. Based on the experiments, it was also discovered that the best final product is obtained by following the recipe's mixing times. In addition, the laboratory pinhole test succeeded better than expected and no changes were made on the basis of this thesis.</p> <p>The results support the conclusion that the hole will be affected by other factors than the mixing speed and mixing time, because the optimization was not successful between the laboratory and the production. However, the results show that when mixing at slower speeds, the quality of the product suffers. On the basis of research, the project can be continued, for example, by examining the geometry of the vessel and the factors affecting pinholes.</p>	
Keywords	Dispersion, pinholes, mixing speed, varnish, scale up

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sun Chemical Oy	1
3	Vesivernissan valmistus	2
3.1	Sideaineet	3
3.2	Liuottimet	3
3.3	Lisäaineet	4
3.3.1	Vaahdonestoaineet	4
3.3.2	Pinnantasaaja-aineet	5
3.4	Vaha	6
4	Sekoitus	6
4.1	Dispersio	6
4.1.1	Sekoitusastian ja terän geometria	7
4.1.2	Vortex-ilmiö	8
4.2	Sekoitintyyppi	9
4.3	Reikäisyys	10
5	Työn suoritus	11
5.1	Scale up	11
5.2	Laboratoriokokeet	12
5.3	Tuotannon kokeet	14
5.4	Laadunvalvonta	15
5.4.1	Viskositeetti	15
5.4.2	Reikäisyyskoe	16
6	Tulokset	16
6.1	Laboratorion tulokset	16
6.1.1	Tuote 1	16
6.1.2	Tuote 2	18
6.1.3	Tuote 3	20
6.2	Tuotannon tulokset	21
6.3	Reikäisyyskoe	22

7	Yhteenveto ja johtopäätökset	22
	Lähteet	24
	Liitteet	
	Liite 1. Laboratorion sekoittajan käyttöohjeet	
	Liite 2. Astian teoreettiset mitat suhteessa terään	
	Liite 3. Laboratorion tulokset tuotteelle 1	
	Liite 4. Laboratorion tulokset tuotteelle 2	
	Liite 5. Laboratorion tulokset tuotteelle 3	

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on optimoida sekoitusnopeuksia ja sekoitusaikoja valmistettaessa vesipohjaisia vernissoja Westerlins-merkkisellä sekoittajalla. Tutkimukset kohdistuvat kolmelle ongelmallisimmalle vernissalle, joissa esiintyy huomattavaa reikäisyyttä laboratoriotutkimuksissa. Reikäisyyteen vaikuttaa useampi tekijä, esimerkiksi sekoitusaika ja vaahdonestoaineiden suhde pinnantasaja-aineiden määrään. Lisäksi työssä pyritään parantamaan reikäisyyskoetta laboratoriossa, jotta laborantin vaikutus saatavaan tulokseen voitaisiin minimoida.

Opinnäytetyö tehdään Sun Chemical Oy:lle, joka kuuluu maailman suurimpien painovärien valmistajiin. Työ suoritetaan Espoon tehtaalla, joka on yrityksen Pohjoismaiden tehtaista suurin. Espoon tehtaalla valmistetaan niin vesipohjaisia kuin liuotinpohjaisia vernissoja värien raaka-aineeksi sekä muiden tehtaiden tarpeisiin. Opinnäytetyö rajautuu vesipuolen vernissoihin, koska ne ovat ongelmallisimpia reikäisyytensä vuoksi. Työtä varten on valittu dispergointilaitteisto, joka löytyy sekä tuotannosta että laboratoriosta.

Tällä hetkellä kyseisten tuotteiden osalta laboratoriotutkimusten läpäisyprosentti ensimmäisellä kerralla on noin 50 %. Kyseisten tuotteiden valmistusajat ovat jo valmiiksi pitkiä ja noin puolet valmistuseristä palautuu korjattavaksi, mikä hidastaa tuotantoa entisestään. Optimoimalla sekoitusajat ja -nopeudet pyritään parantamaan läpäisyprosenttia ja näin nopeuttamaan tuotantoa.

Reikäisyyskokeen osalta tutustutaan nykyiseen koemenetelmään ja mietitään muita mahdollisia vaihtoehtoja. Mahdollinen reikäisyys esiintyy vasta painatusprosessissa ja jos asiakkaalle kulkeutuu reikäistä tuotetta, painatukset menevät siltä osin pilalle. Reikäisyyskokeella pyritään varmistamaan, että asiakkaat saavat aina laadukkaita tuotteita.

## 2 Sun Chemical Oy

Sun Chemical on yksi suurimmista painovärien, pinnoitteiden, pigmenttien ja polymeerien valmistajista. Lisäksi yritys on johtava materiaalien toimittaja niin

pakkauksiin, julkaisuihin, mainoksiin, muoveihin, kosmetiikkaan kuin muihin teollisiin markkinointitarpeisiin. Yritys on vuodesta 1986 lähtien kuulunut DIC-ryhmään (Dainippon Ink and Chemicals), joka on yksi ensimmäisistä japanilaisista painovärien tuottajista, ja se onkin vakiinnuttanut asemansa myös Aasiassa [1; 2.]

Yhdessä DIC-ryhmän kanssa, Sun Chemicalin liikevaihto on yli 7,5 miljardia dollaria. Yrityksellä on 176 tytäryhtiötä 63 eri maassa, joissa työskentelee yhteensä 20 000 työntekijää. Tulevaisuudessa Sun Chemicalin tavoitteena on tuottaa räätälöityjä ratkaisuja asiakkaiden tarpeisiin sekä tuoda uusia ideoita ja viimeisintä teknologiaa markkinoille [2.]

Suomessa on tällä hetkellä yksi Sun Chemicalin toimipiste, joka sijaitsee Espoossa, Pieni teollisuuskatu 2, 02920 Espoo. Espoon tehdas on yrityksen suurin tehdas Pohjoismaissa, pienempi tehdas sijaitsee Ruotsissa. Espoon tehtaalla valmistetaan silkkivärejä, vernissoja, lakkoja sekä vesi- ja liuotinpohjaisia painovärejä. Lisäksi yritys välittää värejä lehtipainoihin. Printtimedian kutistumisen myötä toiminta on keskittynyt yhä voimakkaammin pakkausteollisuuteen, jossa painovärien tarve on vastaavasti kasvanut. Espoon tehtaalla työskentelee yli 50 työntekijää, joista noin puolet työskentelee tuotannossa, laboratoriossa sekä lähettämössä ja loput myynnin ja asiakaspalvelun parissa. Tehtaan tärkeimmät asiakasmaat kotimaan lisäksi ovat Venäjä, Puola, Ruotsi, Norja, Tanska sekä Baltian maat, joista tärkeimmät ovat Latvia ja Liettua.

### **3 Vesivernissan valmistus**

Vernissoja käytetään värien valmistuksessa puolivalmisteina, joihin on syötetty haluttuja ominaisuuksia, mutta niitä käytetään myös sellaisenaan pintalakkoina tai muina pintamateriaaleina. Vernissan tuomia ominaisuuksia ovat esimerkiksi kovuus, nopea kuivuminen ja UV-suoja. Vernissan valmistustapa riippuu paljon käyttötarkoituksesta ja käytetyt raaka-aineet vaihtelevat tuotteittain. Nimensä mukaan vesivernissoja käytetään vesipohjaisissa tuotteissa tai sovelluskohteissa, joihin vesi soveltuu [3.]

Valmistustapoja on yhtä monta kuin vernissojakin, mutta valmistuksen peruseräaatteet ovat lähes samat. Aluksi valmistusastiaan lisätään sideaine ja mahdollisesti jokin liuotin, kuten vesi. Seuraavaksi lisätään vaahdonestoaineet ja pinnantasaaja-aineet ja sekoitetaan tarvittava aika. Tämän jälkeen tuotteeseen lisätään liuottimet, mahdolliset

muut sideaineet ja vaha. Kun tuotetta on sekoitettu tarvittava aika, tuotteen laatu varmistetaan laboratoriossa. Kun tuote on hyväksytty, se pakataan ja toimitetaan asiakkaalle [4.]

### 3.1 Sideaineet

Sideaineet ovat niin vernissojen kuin painovärien valmistuksessa kaiken perusta. Niiden tärkein tehtävä on muodostaa yhtenäinen pinta ja pitää muita aineita kiinni toisissaan. Sideaineet voidaan jakaa luonnollisiin, modifioituihin ja synteettisiin sideaineisiin. Tärkeimpiä luonnollisia sideaineita ovat hartsit, öljyt ja bitumi. Luonnollisia sideaineita käytetään harvoin ainoana sideaineena tuotteissa. Muunnettaessa näitä luonnollisia sideaineita pyritään parantamaan ja optimoimaan sideaineiden ominaisuuksia. Esimerkiksi näin voidaan alentaa happolukua, lisätä molekyyliainetta, kiihdyttää kuivumista tai parantaa veden kestävyttä [5, s. 16, 44–47, 50.]

Teollisuuden kehittyminen on mahdollistanut synteettisten sideaineiden valmistuksen, joissa on yhdistetty käyttötarkoituksen mukaan halutut ominaisuudet luonnollisista ja modifioituista sideaineista. Tässä työssä tärkeimmät sideaineet ovat styreeni-akryyli ja akryyli. Niiden tuomia ominaisuuksia vernissalle ovat kirkkaus, kiilto, lämmönkestävyys, nopea kuivuminen ja hyvä painettavuus [6, s. 8, 10.]

### 3.2 Liuottimet

Liuottimet voidaan jakaa ominaisuuksiensa perusteella liuottimiin, ohentajiin ja apuaineisiin. Liuotin on nestemäinen aine, joka kykenee liuottamaan sideainetta ilman kemiallista reaktiota. Ohentajien tehtävä on nimensä mukaan ohentaa ja näin helpottaa myöhempää valmiin tuotteen jalostusta. Apuaineita käytetään yleensä hidastamaan liukenemista, sakan muodostumista tai kemiallista reaktiota. Apuaineet eivät itse kykene liuottamaan sideainetta, joten niitä käytetään usein liuottimien kanssa [5, s. 91–92.]

Suurin osa pintamateriaaleista on liuottimia, haihtuvia yhdisteitä, joiden tärkein tehtävä on säätää viskositeettia, parantaa asettumista ja ehkäistä korroosiota. Liuotinta valittaessa on otettava huomioon esimerkiksi haihtuvuus, reologiset ominaisuudet,

pintajännitys, paloherkkyys, myrkyllisyys ja hinta sekä tärkeimpänä sovellus, jossa tuotetta käytetään [5, s. 91.]

Tässä työssä valmistetaan vesiohenteisia vernissoja, jotka sisältävät lisäksi 0,1–15 % apuliuottimia, joiden tehtävä on vähentää viskositeetin poikkeamia, parantaa kuivumista, auttaa estämään vaahtoamista ja estää kiehumista lämpenemisen aikana. Tärkeimpinä apuliuottimina käytetään butyyliglykolia, metoksiopropanolia sekä glykoolieetteriä [5, s. 106.]

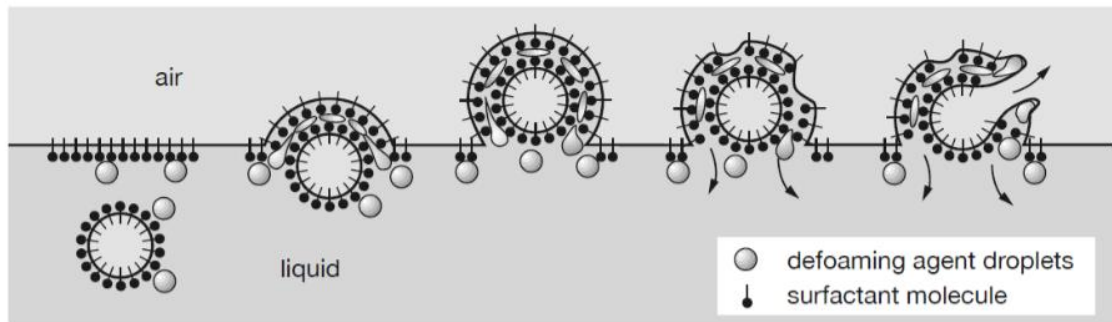
### 3.3 Lisäaineet

Lisäaineet ovat aineita, joita lisätään tuotteisiin pieniä määriä ja jotka antavat tuotteille erityisiä ominaisuuksia. Yleisesti käytettyjä lisäaineita vernissan valmistuksessa ovat vaahdonestoaineet ja pinta-aktiiviset aineet. Näiden lisäksi käytössä on paljon muitakin aineita kuten kostutus- ja dispergointiaineita sekä korroosion estoaineita. Myös sideaineilla ja liuottimilla voi olla samoja ominaisuuksia kuin lisäaineilla, mutta yhdessä ne takaavat parhaan mahdollisen lopputuloksen [5, s. 159.]

#### 3.3.1 Vaahdonestoaineet

Vaahto on nimitys aineelle, jossa kaasu, yleensä ilma, on dispergoitunut nesteeseen. Syntyneet ilmakuplat kerääntyvät nesteen pinnalle ja muodostavat vaahtoa. Vaahdon sisältämien kuplien määrästä ja koostumuksesta riippuen vaahto voi olla joko stabiilia tai epästabiilia. Vaahtoa ei muodostu, jos nesteen pintajännitys on tarpeeksi suuri tai kyseessä on puhdas aine [5, s. 160; 7, s. 21–22.]

Vaahdonestoaineita on kahta eri tyyppiä, ne voivat joko estää vaahtoa muodostumasta pintajännityksen avulla tai rikkoa jo syntyneitä vaahtoa. Vaahdonestoaine tunkeutuu jo syntyneen vaahdon sisälle aiheuttaen virheitä kuplaan, ja lopulta kupla rikkoutuu. Vaahdonestoaineen toimintaperiaate on esitetty alla olevassa kuvassa 1 [5, s. 160; 8.]



Kuva 1. Vaahdonestokemikaalin toimintaperiaate [5, s. 161].

Vaahdonestoaineet toimivat nesteen pinnalla, eivätkä ne liukene nesteeseen kovin helposti. Jos vaahdonestoainetta lisätään liikaa tuotteeseen, se heikentää tuotteen muita ominaisuuksia kuten kuivumista. Vaahdonestoaineet eivät kuitenkaan aina pysty poistamaan kaikkea vaahtoa, ja vesivernissojen kohdalla tuotteisiin muodostuu pieniä reikiä, joista on haittaa painatusprosessissa [5, s. 161.]

### 3.3.2 Pinnantasaaja-aineet

Pinnantasaaja-aineiden tehtävä on poistaa mahdollisia pinnan vikoja, kuten huonoa virtausta ja kraattereiden muodostumista. Huonolla virtauksella tarkoitetaan tässä epätasaista pintaa, jonka pinnantasaaja-aine tasoittaa tasaiseksi, yhtenäiseksi pinnaksi. Kraatterit ovat pieniä syvennyksiä pinnoitekalvolla, jotka johtuvat viallisista kostutusominaisuuksista, ilman saasteista tai liiallisesta vaahdonestoaineiden määrästä. Pinnoitteen pinnalle voi myös muodostua pieniä reikiä, jos liuotin poistuu liian nopeasti ja jolloin viskositeetti kasvaa ja pinta sulkeutuu muodostaen kuplia pintaan [5, s. 164–167.]

Pinnan viat voivat myös johtua pintajännityseroista alusta ja pinnoitteen välillä. Tällaista ongelmaa torjutaan aineilla, jotka pitävät pintajännitystä alhaisena kalvonmuodostuksessa ja kovettumisvaiheessa. Liuotinpohjaisissa tuotteissa on jo valmiiksi matala pintajännitys, joten niissä pinnantasaaja-aineita ei juurikaan tarvita. Vastaavasti vesipohjaisissa tuotteissa pintajännitys on suuri käytetyn veden vuoksi ja pinnantasaaja-aineet ovat tärkeässä roolissa. Kuten muillakin lisäaineilla, myös pinnantasaaja-aineilla on useita muitakin ominaisuuksia tuotteen kannalta. Pinnantasaaja-aineet auttavat lisäksi viskositeetin ja pH:n säädössä [7; 10.]

### 3.4 Vaha

Vahat ovat hydrofobisia, orgaanisia yhdisteitä, joita käytetään vernissassa himmennysaineena ja happisulkuaineena. Vaha on hienojakoista ainetta, joka kerääntyy tuotteen pinnalle sen ollessa ristiriidassa käytetyn sideaineen kanssa estäen sileän pinnan muodostumisen. Koska vahoilla on alhainen taitekerroin ja pieni hiukkaskoko, ne aiheuttavat vain vähän valon sirontaa ja pinnasta tulee läpinäkyvä. Lisäksi vahat vähentävät kitkaa ja lisäävät kulutuskestävyyttä. Vaha pystyy sulkemaan hapen pois tuotteesta, ja tämä mahdollistaa pinnan kovettumisen [5, s. 180–181, 202; 11.]

## 4 Sekoitus

Sekoituksella tarkoitetaan yhden tai useamman faasin homogenisointia joko mekaanisesti, pneumaattisesti tai hydrodynaamisesti. Sekoitusta käytetään yleensä jonkin yksikköoperaation apukeinona, esimerkiksi liuotusprosessissa tai kiteytyksessä. Tässä työssä käytetään dispergointisekoitusta, tarkemmin sanottuna emulgointia, jossa toisiinsa liukenemattomat nesteet sekoitetaan mekaanisesti tasaiseksi homogeeniseksi seokseksi [12; 13.]

Sekoitusta ja sen ominaisuuksia tarkastellaan yleensä erilaisten lukujen avulla. Sekoituksen tehonkulutus riippuu sekoittimen tyypistä, sekoittimen koosta, pyörimisnopeudesta, nesteen tiheydestä ja viskositeetista. Tehonkulutusta pystytään tarkastelemaan erilaisten lukujen avulla, kuten Reynoldsin ja Frouden luvuilla. Reynoldsin luku kertoo virtaustyyppin, onko kyseessä laminaarinen vai turbulenttinen virtaus, ja Frouden luvulla selitetään pintaan muodostuvia pyörteitä. Tässä työssä ei kuitenkaan tutustuta näihin yhtälöihin tämän tarkemmin [12; 13.]

### 4.1 Dispersio

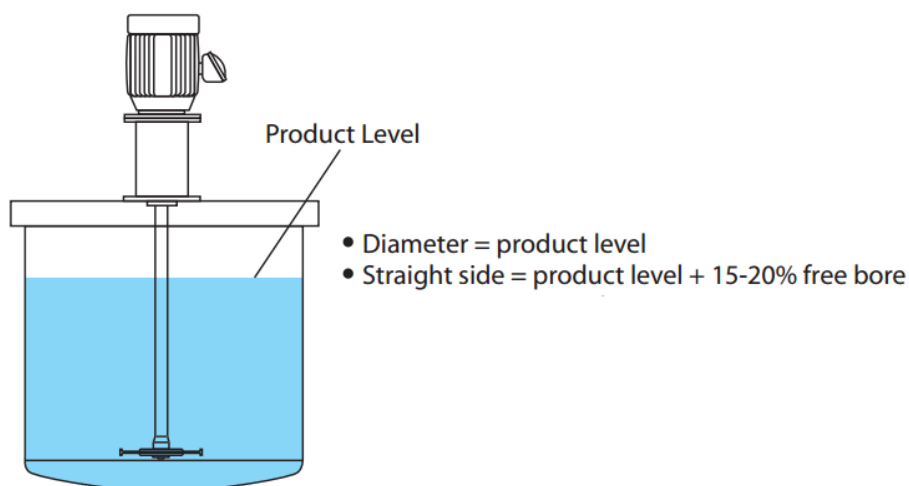
Dispersiolla tarkoitetaan seosta, jossa aineet ovat sekoittuneet tasaisesti toisiinsa. Dispersiota käytetään yleisimmin valmistettaessa kolloidisuspensioita, joissa pieniä kiinteitä partikkeleita sisällytetään nesteisiin. Dispersioon vaiheisiin kuuluu kostutus, mekaaninen pienentäminen ja stabilointi. Tässä työssä on kuitenkin kyseessä kahden toisiinsa liukenemattoman nesteen seoksesta, jota kutsutaan tarkemmin emulsioksi.

Emulgointi tapahtuu samalla periaatteella kuin dispergointi, mutta ilman kiinteätä väliainetta [14, s. 8.]

Parhaan dispergointi tuloksen saavuttamiseksi on kiinnitettävä huomiota erityisesti dispergointiastian geometriaan. Vaikuttavia tekijöitä ovat astian halkaisija, terän halkaisija, kehänopeus, terän etäisyys pohjasta sekä nesteen reologiset ominaisuudet virtauksessa. Oikealla geometrialla ja sekoitusnopeudella syntyy vortex-ilmio, jossa sekoituskiekon pinnalle muodostuu niin sanottu donitsikuvio [14, s. 9; 15.]

#### 4.1.1 Sekoitusastian ja terän geometria

Sekoitusastian geometrialla on yllättävän tärkeä rooli, jotta saavutetaan haluttu dispersio. Kuten kuvassa 2 on esitetty, astian halkaisijan tulisi vastata tuotteen tasoa ja korkeuden olisi hyvä olla 15–20 prosenttia enemmän halkaisijaan nähden, jotta tuotetta voidaan sekoittaa tarpeeksi suurella nopeudella [15, s. 11.]

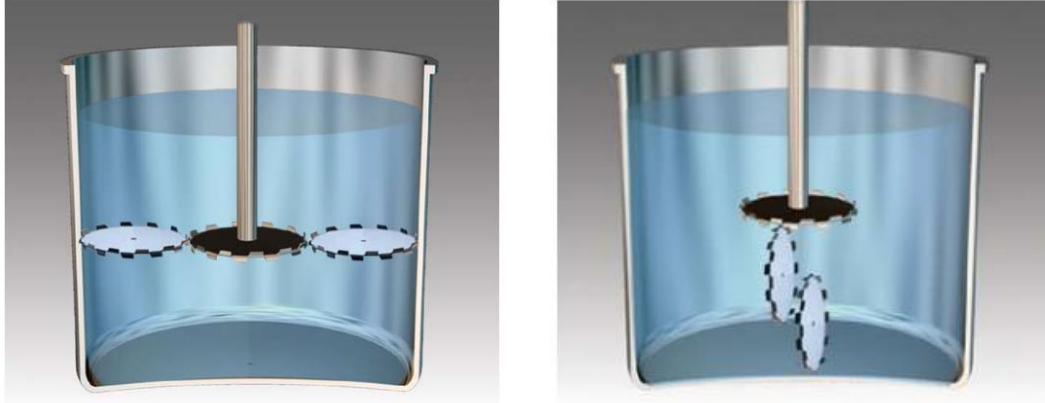


Kuva 2. Astian teoreettiset mitat [15, s. 11].

Terän mitoitus perustuu astian mitoitukseen, sillä terän halkaisijan tulisi olla 1/3 astian halkaisijasta, jotta saavutetaan paras mahdollinen laminaarinen virtaus (kuva 3a). Jos terän halkaisija on liian suuri, tuote ei pääse liikkumaan tarpeeksi hyvin astiassa ja ilmaa dispergoituu tuotteeseen. Vastaavasti jos terän halkaisija on liian pieni, osa tuotteesta voi laskeutua astian pohjalle ja dispergointiaika pitenee [15, s. 12, 16–17.]

Terän etäisyydellä pohjasta on myös vaikutusta lopputulokseen. Jos terä on liian ylhäällä, astian pohjalla ei tapahdu virtausta, tuotetta pääsee laskeutumaan ja ilmaa

dispergoituu seokseen. Terän ollessa liian alhaalla, kaikki aineet eivät dispergoitu tuotteeseen. Kuvassa 3b on esitetty, että optimi korkeus astian pohjasta on 1–1,5 terän halkaisijasta [15, s. 13, 18–19.]



Kuva 3. a) Terän halkaisijan suhde astiaan, b) terän etäisyys pohjasta [15, s. 12–13].

Ilman dispergoituminen seokseen on yksi suurimmista haitoista tässä työssä, ja edellä mainittujen tapauksien lisäksi ilmaa voi päästä seokseen myös väärän sekoitusnopeuden myötä. Sekoitusnopeuteen vaikuttaa astian ja terän lisäksi käytettyjen nesteiden reologiset ominaisuudet, kuten viskositeetti, ja sen määrittäminen voi olla vaikeaa. Liian nopealla sekoitusnopeudella ilmaa pääsee dispergoitumaan tuotteeseen ja tuote lämpenee turhaan. Liian hitaalla sekoitusnopeudella vastaavasti tuotetta pääsee laskeutumaan ja dispergointiaika pitenee [15.]

#### 4.1.2 Vortex-ilmiö

Vortex-ilmiössä keskipakovoiman vaikutuksesta neste nousee astian reunoille ja sekoittajan kohdalle, säiliön keskelle muodostuu syvennys. Yleensä tätä ilmiötä pidetään haitallisena ja sitä pyritään estämään esimerkiksi haittalevyjen avulla. Tässä tapauksessa vortex-ilmiö on kuitenkin toivottava, jotta tasainen dispersio saadaan aikaiseksi. Oikealla sekoitusnopeudella syntyvä ilmiö mahdollistaa kokkareiden kulkeutumisen sekoituskielolle ja kokkareet hajoavat. Ilmiötä kutsutaan myös donitsi-ilmiöksi, koska sekoituskielko tulee näkyviin muodostaen donitsikuvion astian reunojen kanssa. Näin ollen paras dispersio saavutetaan kun käytetään suurinta mahdollista mekaanista tehoa, jolla donitsikuvio pysyy [14, s. 9.]

## 4.2 Sekoitintyyppi

Työssä käytetään Westerlins-merkkistä sekoittajaa (kuva 9), jossa on hammastettu terä, dispergointikiekko. Laboratoriokokeissa käytössä on Dispermat-merkkinen sekoittaja (kuva 7), jonka terä vastaa tuotannossa olevaa terää. Valmistettaessa kyseisiä tuotteita, tarvitaan voimakasta ja repivää sekoitusta, jotta reikäisyys saataisiin pois ja syntyisi tasainen, homogeeninen lopputuote.



Kuva 4. Dispersiokiekko [14, s. 8].

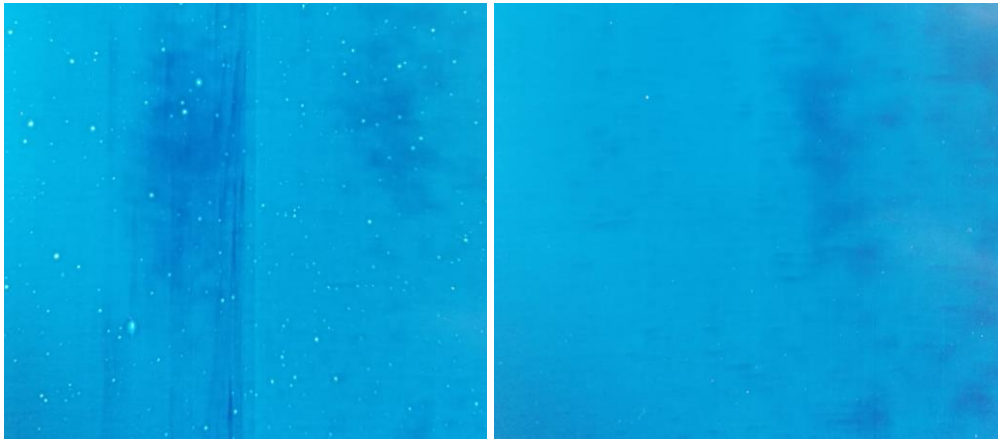
Dispergointikiekko muodostuu pystysuorasta akselista ja suuren leikkausvoiman omaavasta terälevystä (kuva 4). Muotoilun ansiosta terä pystyy luomaan suuren pyörrevirtauksen astiaan ja paineenvaihtelun terän ympärille. Terän ulkokehälle syntyy ylipaine ja sisäpuolelle alipaine, jolloin dispergoitua aineä kulkeutuu terälle ja dispergoituu nesteeseen. Kuvassa 5 on kuvattu sekoituksessa muodostuvat virtaukset. Terän rakenne soveltuu useisiin sekoituksiin ja mahdollistaa nopeat dispersiot [5; 15, s. 4.]



Kuva 5. Dispersio ja muodostuvat virtaukset [16].

### 4.3 Reikäisyys

Reikäisyydellä tarkoitetaan neulanpään kokoisia pieniä reikiä, jotka esiintyvät koevedoksen tai lopputuotteen pinnalla. Reikäisyys on yksi yleisimmistä pintaongelmista ja reikien muodostumiseen vaikuttavat useat eri tekijät. Mitä enemmän reikiä esiintyy, sitä huonompaa tuote on. Alla olevassa kuvassa 6 on esitetty reikäisen tuotteen ja reiättömän tuotteen ero [9.]



Kuva 6. a) reikäinen vedos, b) ei reikäinen vedos

Reikiä voi muodostua, jos tuotteeseen on jäänyt liuottimia, ilmaa tai kosteutta ja ne esiintyvät pinnoitekalvolla käytön ja kuivumisen aikana. Pienet ilmakuplat nousevat pinnoitekalvolle liian hitaasti, jolloin muodostuu reikiä, jotka eivät ehdi sulautua tasaisesti ennen tuotteen kuivumista. Jos taas liuotin ei ole päässyt haihtumaan, tuote on liian viskoosista eikä se ehdi peittämään syntyneitä reikiä [9; 17.]

Reikien muodostuminen kertoo myös siitä, että neste ei ole täysin homogenisoitunut. Käytetty liuotinyhdistelmä voi olla epäsopeva, mikä tukee reikien syntymistä. Esimerkiksi liuottimia, joilla on korkeat kiehumispisteet, ei tulisi käyttää matala moolimassaisten hartsien kanssa. Suurin yksittäinen tekijä on kuitenkin ero pintajännityksessä nesteen ja muiden aineiden välillä [18; 19; 20.]

Reikäisyyttä voidaan estää lisäämällä tuotteeseen pinta-aktiivisia aineita, jotka vähentävät pintajännitystä ja auttavat sulkemaan pinnan kuplia. Lisäksi voidaan käyttää niin sanottuja kaasunpoistimia, joiden tehtävä on tuoda ilmakuplat nopeasti pintaan, jotta ilma voi vapautua ennen kuin tuote kuivuu, ennen asettumista [9; 17.]

## 5 Työn suoritus

### 5.1 Scale up

Jotta työ voidaan suorittaa, laboratorion laitteiston ja tuotannon laitteiston tulisi vastata toisiaan mahdollisimman tarkasti geometrisesti. Aluksi täytyy määrittää tuotannon laitteiston ja sekoitusastian mitat, jotta voidaan valmistaa tuotannon astiaa vastaava astia laboratorion mittakaavaan. Saatujen mittojen perusteella lasketaan laboratorion astian halkaisija  $D_{t6}$  seuraavalla kaavalla,

$$\frac{D_{a1}}{D_{a6}} = \frac{D_{t1}}{D_{t6}} \quad (1)$$

$$D_{t6} = \frac{D_{t1} * D_{a6}}{D_{a1}} \quad (2)$$

$D_{a1}$  on sekoittajan halkaisija tuotannossa (m)  
 $D_{a6}$  on sekoittajan halkaisija laboratoriossa (m)  
 $D_{t1}$  on sekoitusastian halkaisija tuotannossa (m)  
 $D_{t6}$  on sekoitusastian halkaisija laboratoriossa (m)

Samasta kaavasta lasketaan myös laboratorion astian korkeus vaihtamalla  $D_{t6}$  ja  $D_{t1}$  paikoille  $H_6$  ja  $H_1$ .  $H_1$  on sekoitusastian korkeus tuotannossa (m) ja  $H_6$  on sekoitusastian korkeus laboratoriossa (m). Oikeiden mittojen ansiosta laboratoriossa saadut tulokset ovat verrattavissa tuotantoon.

Astian geometrian lisäksi täytyy laskea skaalaukset myös sekoitusnopeuksille ja sekoitusajoille. Sekoitusnopeuden skaalaamisessa käytetään seuraavaa kaavaa,

$$\frac{n_6}{n_1} = \left(\frac{D_{a1}}{D_{a6}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

josta ratkaistaan  $n_6$ , koska tuotannon nopeudet ovat tiedossa.

$$n_6 = n_1 * \left(\frac{D_{a1}}{D_{a6}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

$n_1$  on sekoitusnopeus tuotannossa (rpm)

$n_6$  on sekoitusnopeus laboratoriossa (rpm)

Sekoitusajat skaalataan laboratorion mittakaavaan vastaavasti seuraavalla kaavalla, kun tuotannon sekoitusajat tiedetään.

$$\frac{t_{T6}}{t_{T1}} = \left(\frac{D_{a6}}{D_{a1}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

Kaavasta ratkaistaan  $t_{T6}$  seuraavasti:

$$t_{T6} = t_{T1} * \left(\frac{D_{a6}}{D_{a1}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

$t_{T1}$  on sekoitusaika tuotannossa (s)

$t_{t6}$  on sekoitusaika laboratoriossa (s)

Skaalausta helpottaa huomattavasti se, että tuotannon ja laboratorion sekoitusterät ovat suhteessa toisiinsa. Toisaalta vaikka geometrinen samankaltaisuus saavutetaan tuotannon ja laboratorion välillä, se ei automaattisesti aiheuta dynaamista ja kineettistä samankaltaisuutta. Näin ollen skaalaus ei ole aina täysin ennustettavissa, ja on mahdollista, ettei optimointia pystytä skaalauksesta huolimatta suorittamaan [21, s. 279.]

## 5.2 Laboratoriokokeet

Testattavana on kolme tuotetta, joissa on ollut eniten ongelmia halutun laadun saavuttamisessa. Laboratoriossa valmistetaan 1 kg:n annoksia ja saatujen valmistusreseptien mukaan ensiksi lasketaan oikeat raaka-ainemäärät. Kokeet aloitetaan yleisimmästä tuotteesta ja edetään kohti harvinaisempaan. Kokeet suoritetaan Dispermat-merkkisellä sekoituslaitteella, joka on esitetty kuvassa 7. Sekoituslaitteiston käyttöohjeet on esitetty liitteessä 1.



Kuva 7. a) Laboratorion sekoituslaitteisto, b) sekoituslaitteiston ohjauspaneeli

Ensimmäiseksi optimoidaan sekoitusnopeudet valmistamalla tuotetta reseptin mukaisesti seitsemällä eri sekoitusnopeudella tuotannon maksiminopeudesta aloittaen. Oletuksena on, että mitä kovempaa sekoitetaan, sitä parempi lopputuote saadaan. Kokeet lopetetaan sekoitusnopeuteen 3,7 rpm, joka vastaa tuotannossa 800 rpm. Tuloksista pystytään päättämään lopputuotteen huononevan entisestään sitä pienemmillä sekoitusnopeuksilla. Näissä kokeissa sekoitusajat olivat reseptin mukaisia.

Edellisissä kokeissa selvitettiin paras sekoitusnopeus ja kyseistä nopeutta käytetään sekoitusaikojen optimoinnissa. Ensimmäisissä kokeissa sekoitusaikoja pienennetään, jotta valmistusajat lyhenisivät ja tuotanto olisi tuottavampaa. Seuraavaksi sekoitusaikoja kasvatetaan, jotta nähdään, paraneeko tuote pidemmällä sekoitusajalla. Lopuksi tehdään vielä muutama koe nopeammalla sekoitusnopeudella. Näin selvitetään, onko mahdollista saada hyvä lopputuote lyhemmällä sekoitusajalla mutta nopeammalla sekoitusnopeudella.

Viimeisessä koesarjassa vaihdetaan reseptissä olevaa raaka-aineiden järjestystä. Kokeissa käytetään edellä optimoituja sekoitusaikoja ja sekoitusnopeuksia. Raaka-aineiden paikkoja vaihdettaessa on huomioitava muutamia seikkoja, kuten että vaha tulee pitää mahdollisimman kaukana vaahdonestoaineista aineiden keskinäisen reaktion

välttämiseksi. Kokeissa vaihdetaan sideaineiden ja liuottimien paikkoja mahdollisimman monipuolisesti.

Kaikille kolmelle tuotteelle tehdään samat kokeet, ja kokeiden perusteella selviää ainakin suuntaa antavat optimisekoitusajat ja -nopeudet jokaiselle tuotteelle. Tuotteella, josta saadaan tilaus asiakkaalta, suoritetaan tuotannon koe. Kyseistä tuotetta valmistetaan tuotannossa noudattamalla laboratoriossa optimiksi saatuja sekoitusnopeuksia ja -aikoja.

### 5.3 Tuotannon kokeet

Tuotannossa valmistetaan 1000 kg:n annos tuotetta 2, koska kyseisestä tuotteesta saatiin tilaus, kuvassa 9 esitettyä laitteistoa käyttämällä. Tuote valmistetaan noudattamalla valmistusreseptiä, kuitenkin niin, että vaha lisätään viimeisenä. Lisäksi valmistuksessa noudatetaan laboratoriossa parhaaksi todettuja sekoitusnopeuksia ja sekoitusaikoja.



Kuva 9: Tuotannon sekoituslaitteisto

Ensiksi varmistetaan astian ja terän puhtaus, jotta vältetään suuremmilta epäpuhtauksilta. Sen jälkeen edetään reseptin mukaan punnitsemalla astiaan oikeat määrät sideainetta ja vettä. Veden tulee olla mahdollisimman lämmintä, jotta seuraavat aineet liukenevat sinne helpommin sekä nopeammin. Sekoitin laitetaan päälle kierrosnopeuteen 1200 rpm ja lisätään vaahdonesto- ja pinnantasaaja-aineet. Tuotteen annetaan pyöriä laboratoriossa selvitetyn ajan verran. Seuraavaksi tuotteeseen lisätään loput raaka-aineet: liuottimet, loput vedestä sekä vaha ja tuotetta pyöritetään määrätty aika. Kun tuote on valmis, toimitetaan siitä näyte laboratorioon laadunvalvontaan.

#### 5.4 Laadunvalvonta

Laadunvalvonta on tärkeä osa Sun Chemicalin tuotantoa, ja sitä tehdään kaikille valmistetuille tuotteille. Laadunvalvonnalla varmistetaan tuotteiden laatu, jotta asiakkaille ei päädy huonolaatuisia tuotteita ja yritys pysyy kilpailukykyisenä. Tuotteista riippuen tuotteille suoritetaan erilaisia kokeita, joista tärkein on viskositeetin mittaaminen. Työssä valmistettaville tuotteille tehdään yleensä reikäisyys- ja vaahtoamiskokeet sekä mitataan viskositeetti. Vaahtoamiskokeeseen ei tässä työssä puututa vaan huomio kiinnittyy erityisesti reikäisyyskokeeseen.

##### 5.4.1 Viskositeetti

Viskositeetilla kuvataan fluidien, tässä tapauksessa nesteiden, kykyä vastustaa virtausta. Nesteiden virratessa syntyy kitkavoimia, jotka johtuvat hiukkasten välisistä koheesivoimista. Kitka siis pyrkii vastustamaan hiukkasten välistä liikettä. Viskositeettiin vaikuttaa lämpötila ja paine. Lämpötilan noustessa nesteiden viskositeetti pienenee, kun taas paineen kasvaessa viskositeettikin kasvaa [22, s. 1.]

Viskositeettia voidaan mitata usealla tavalla, mutta tässä viskositeetin mittaamiseen käytetään viskokuppia, jonka pohjassa on pieni aukko. Aukko peitetään sormella ja kuppi täytetään tutkittavalla tuotteella. Sormen irrotessa aukolta, käynnistetään sekuntikello, ja kello pysäytetään kun valumaan alkaa tulla katkoja. Jokaiselle aineelle on omat viskositeetti rajansa, ja ne mitataan tuotteen ollessa 25 asteista ja yksikkönä käytetään sekuntia (25 °C, s) [4.]

### 5.4.2 Reikäisyyskoe

Työssä tarkasteltavissa vernissoissa on ollut ongelmana tuotteiden reikäisyys, joka paljastuu painatusprosessissa. Jotta reikäistä tuotetta ei päädy asiakkaalle, pyritään tuote vedostamaan laboratoriossa painatusprosessia vastaavalla tavalla.

Reikäisyyskokeessa tuotetta otetaan pieni määrä kuppiin, johon lisätään muutama pisaraa väripastaa. Näin reiät on helpompi havaita vernissojen ollessa lähes värittömiä tuotteita. Seos vedostetaan tietyntylaiselle vedostusmateriaalille vedostussauvalla. Valmis vedostus kuivataan ja reikäisyyttä tarkastellaan silmämääräisesti reikäisyysasteikkoa 1–5 (1 heikoin, 5 paras) apuna käyttäen. Jos valmis tuote läpäisee kaikki laboratoriokokeet, se hyväksytään. Jos taas jossakin kokeessa ilmenee poikkeamia, tuotteelle suoritetaan korjaavia toimenpiteitä, esimerkiksi sekoitetaan lisää kunnes tuote on hyväksyttävää [4.]

## 6 Tulokset

### 6.1 Laboratorion tulokset

Tuotteita valmistettaessa joudutaan käyttämään 2–3 eri sekoitusnopeutta, mutta tärkeimpänä tarkastelukohteena on sekoitusnopeus, jossa reikäisyydestä pyritään eroon. Yleensä ensimmäinen sekoitusnopeus on hiljainen, koska sideaineen ja liuottimen ei tarvitse kuin sekoittua. Seuraavassa vaiheessa sekoitusnopeutta kasvatetaan, kun lisätään lisäaineet. Lopuksi sekoitusnopeutta on laskettava, kun lisätään loput raaka-aineet. Muuten tuote tulisi yli reunojen.

#### 6.1.1 Tuote 1

Sekoitusnopeutta tarkasteltaessa huomataan, että parhain reikäisyyskokeen tulos saadaan koe numerolla 1, jossa tuotteessa ei ole reikiä lähes ollenkaan. Hyvät reikäisyyskokeen tulokset saavutetaan myös kokeilla 2 ja 3. Kokeilla 4–7 reikäisyyttä esiintyy jo huomattavasti enemmän ja tuote ei ole enää hyväksyttävää. Sekoitusnopeuden tulokset on esitetty taulukossa 1 ja tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 3.

Taulukko 1: Sekoitusnopeuden tulokset laboratoriossa tuotteella 1

Koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitus aika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)
2	2,15	19,4	6,5	1	6,5	4,8	4	1400
3	2,15	19,4	6,5	2	6	4	4-	1300
6	2,15	19,4	6,5	2	5,5	4	4-.3	1200
1	2,15	19,383	6,463	1	5,1	3,1	5-	1100
4	2,15	19,4	6,5	2	4,6	4	3	1000
7	2,15	19,4	6,5	1	4,1	3,1	3-	900
5	2,15	19,4	6,5	1	3,7	3,7	3	800

Sekoitusnopeuskokeiden perusteella optimiksi saatiin laboratorion sekoitusnopeus 5,1 rpm, joka vastaa tuotannossa nopeutta 1100 rpm. Sekoitusajan optimointikokeissa käytetään sekoitusnopeuden optimia. Sekoitusajan tulokset on esitetty taulukossa 2 ja tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 3.

Taulukko 2: Sekoitusajan tulokset laboratoriossa tuotteella 1

koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitus aika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitus aika yht. (min)	reikäisyys (1-5)
1	2,15	19,4	6,5	1	5,1	3,1	28,05	5-
8	1	12,9	4,3	1	5,1	3,1	18,2	3
9	1	19,4	4,3	1	5,1	3,1	24,7	3
10	2,15	12,9	6,5	1	5,1	3,1	21,55	3
11	2,15	21,54	8,61	1	5,1	3,1	32,3	3

Sekoitusajoja optimoitaessa kokeiltiin erilaisia aikayhdistelmiä. Sekoitusajaa 1 on lyhennetty, koska sitä ei koettu kovin tarpeelliseksi. Kokeissa 8 ja 9 on muutettu ainoastaan sekoitusajaa 2 ja tuloksista huomataan, että se ei vaikuttanut lopputulokseen lainkaan. Kokeessa 10 sekoitusajat 1 ja 3 on pidetty alkuperäisinä ja sekoitusnopeutta 2 on lyhennetty. Kokeessa 11 on kokeiltu, paransiko reikäisyys, jos sekoitusajoja 2 ja 3 pidennettäisiin. Tuloksista huomataan, että alkuperäisillä sekoitusajoilla saavutetaan parhain lopputulos.

Koemielessä kokeiltiin myös, saataisiinko nopeammalla sekoitusnopeudella ja lyhemmillä sekoitusajoilla hyväksyttävä lopputuote. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan reikäisyys pysyi yhtä huonona kuin edellisissäkin sekoitusaikakokeissa. Tulokset ovat nähtävissä liitteessä 3.

Lopuksi kokeiltiin, voiko lopputuotetta parantaa muuttamalla resepteissä olevaa raaka-aineiden järjestystä. Taulukosta 3 huomataan, että raaka-aineiden paikkojen vaihto ei paranna lopputuotetta. Parhain tulos kuitenkin saatiin kokeella 14, jossa sideaineiden paikkoja vaihdettiin keskenään. Huonoin tulos tuli kokeella 13, jossa ensiksi lisättiin vain molemmat sideaineet. Sekoittaminen ei onnistunut, koska sideaineiden seoksesta tuli todella paksua ja seos tarrautui sekoittimen varteen.

Taulukko 3: Raaka-aineiden paikkojen vaihdon tulokset tuotteella 1

koe nro.	Sekoitusaika 1 (min)	Sekoitusaika 2 (min)	Sekoitusaika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	reikäisyys (1-5)
12	2,15	19,4	6,5	1	5,1	3,1	3
13	2,15	19,4	6,5				3
14	2,15	19,4	6,5	1	5,1	3,1	4-3
15	2,15	19,4	6,5	2	5,1	4	3
16	2,15	19,4	6,5	1	5,1	4	3
17	2,15	19,4	6,5	1	5,1	3,1	3

### 6.1.2 Tuote 2

Tässä tuotteessa käytetään ainoastaan kahta eri sekoitusaikaa ja -nopeutta, mikä helpottaa kokeiden tekoa. Reikäisyyttä tarkasteltaessa huomataan, että tuotteesta ei saada missään kokeessa hyväksyttävää lopputulosta (taulukko 4). Kokeilla 18, 20 ja 21 saadaan kuitenkin parhaimmat tulokset ja reikäisyys kasvaa jälleen alemmilla sekoitusnopeuksilla.

Taulukko 4: Sekoitusnopeuden tulokset laboratoriossa tuotteella 2

Koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)
18	19,4	6,5	6,5	3,8	3	1400
19	19,4	6,5	6	4	.3-2	1300
20	19,4	6,5	5,5	3,8	3	1200
21	19,4	6,5	5,1	3,2	3	1100
22	19,4	6,5	4,6	3,8	2	1000
23	19,4	6,5	4,1	3,2	2	900
24	19,4	6,5	3,7	3,7	2	800

Tälle tuotteelle sekoitusnopeuden optimiksi valitaan koe 20, jossa sekoitusnopeus laboratoriossa on 5,5 rpm ja tuotannossa se vastaa 1200 rpm. Vaikka kokeet 18 ja 21 ovat reikäisyyden perusteella yhtä hyviä kokeen 20 kanssa, ne eivät kuitenkaan valikoidu optimiksi muiden syiden vuoksi. Kokeessa 18 sekoitusnopeus on niin suuri, että sekoituslaite resonoi ja kokeessa 21 viskositeetti jää sallittujen rajojen ulkopuolelle. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 4.

Sekoitusajoja optimoitaessa lähtökohtana käytetään koetta 20, jossa on käytetty valmistusreseptissä olleita sekoitusajoja. Taulukosta 5 huomataan, että koe 27 on hylätty, koska tuotteen viskositeetti oli huomattavasti sallittuja rajoja suurempi. Kokeella 28 saatiin parhain tulos, mutta tuotannon kannalta ei ole edullista käyttää pidempiä sekoitusajoja, jos lyhemmilläkin sekoitusajoilla päädytään samaan lopputulokseen. Sekoitusajojen optimiksi valitaan siis alkuperäiset sekoitusajat.

Taulukko 5: Sekoitusajan tulokset laboratoriossa tuotteella 2

koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitus aika yht. (min)	reikäisyys (1-5)
20	19,4	6,5	5,5	3,8	25,9	3
25	12,9	6,5	5,5	3,8	19,4	2
26	19,4	4,3	5,5	3,8	23,7	.3-2
27	12,9	4,3	5,5	3,8	17,2	3
28	21,5	8,6	5,5	3,8	30,1	3
29	25,85	6,5	5,5	3,8	32,35	.3-2

Koesarjassa, jossa kokeiltiin vaihtaa raaka-aineiden paikkoja, yksi vaihtoehto erottautui joukosta hyväksyttävällä reikäisyyden arvolla (taulukko 6). Kokeessa 31 vaha lisättiin viimeisenä, jotta se ei reagoisi muiden raaka-aineiden kanssa vaan toimisi oikealla tavalla. Huonoin tulos saatiin vaihtamalla sideaineiden paikkoja keskenään kokeessa 30. Tarkemmat tulokset on nähtävissä liitteessä 4.

Taulukko 6: Raaka-aineiden paikkojen vaihdon tulokset tuotteella 2

koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	reikäisyys (1-5)
30	19,4	6,5	5,5	3,8	1
31	19,4	6,5	5,5	3,6	4
32	19,4	6,5	5,5	3,6	3
33	19,4	6,5	5,5	3,8	3
34	19,4	6,5	5,5	3,8	3

### 6.1.3 Tuote 3

Tuote 3 osoittautui kaikista kolmesta tuotteesta hankalimmaksi, ja sen tulokset on esitetty taulukossa 7. Koetta 35 ei voitu suorittaa, koska tuote oli viskositeetiltaan niin juoksevaa, että sekoituslaitteisto alkoi kärsimään. Huonoista tuloksista parhaimmiksi osoittautuivat kokeet 36 ja 37. Sekoittajan kunnan kannalta sekoitusnopeuden optimiksi valittiin laboratorion sekoitusnopeus 5,5 rpm. Pienimmillä sekoitusnopeuksilla suoritettavat kokeet olivat todella huonoja.

Taulukko 7: Sekoitusnopeuden tulokset laboratoriossa tuotteella 3

Koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitus aika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)
35	25,9	12,9	4,3	6,5				1400
36	25,9	12,9	4,3	6	3,6	3,6	2	1300
37	25,9	12,9	4,3	5,5	5,5	5,5	2	1200
38	25,9	12,9	4,3	5,1	5,1	5,1	1	1100
39	25,9	12,9	4,3	4,6	4,6	3,8	1	1000
40	25,9	12,9	4,3	4,1	4,1	3,4	1	900
41	25,9	12,9	4,3	3,7	3,7	3,7	1	800

Sekoitusaikoja tarkasteltaessa kokeiltiin erilaisia aikayhdistelmiä, pidentämällä sekä lyhentämällä sekoitusaikoja. Alla olevasta taulukosta 8 nähdään, että reikäisyys ei muutu millään sekoitusajalla. Parhain tulos saatiin edelleen kokeella 37, jossa on käytetty valmistusreseptin mukaisia sekoitusaikoja.

Taulukko 8: Sekoitusaajan tulokset laboratoriossa tuotteella 3

koe nro.	Sekoitusaika 1 (min)	Sekoitusaika 2 (min)	Sekoitusaika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitusaika yht. (min)	reikäisyys (1-5)
37	25,9	12,9	4,3	5,5	5,5	5,5	43,1	2
42	25,9	12,9	0	5,5	5,1	0	38,8	1
43	25,9	8,62	2,87	5,5	5,5	5,5	37,39	1
44	17,24	12,9	4,3	5,5	5	5	34,44	1
45	34,47	12,9	4,3	5,5	5	5	51,67	1

Edellisistä taulukoista 7 ja 8 huomataan, että hyvää tulosta ei saada aikaan muuttamalla sekoitusnopeutta tai -aikaa, joten valmistuksessa on jokin muu ongelma. Tämänkin tuotteen kohdalla suoritettiin kokeita, joissa raaka-aineiden paikkoja vaihdettiin. Reseptissä olevien raaka-aineiden paikkojen vaihtamiselle ei ollut moniakaan mahdollisia vaihtoehtoja. Kokeissa pystyttiin ainoastaan vaihtamaan joidenkin liuottimien paikkoja. Taulukosta 9 huomataan, että paikkoja vaihtamalla ei saatu parempaa lopputuotetta. Tuotteen 3 tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 5.

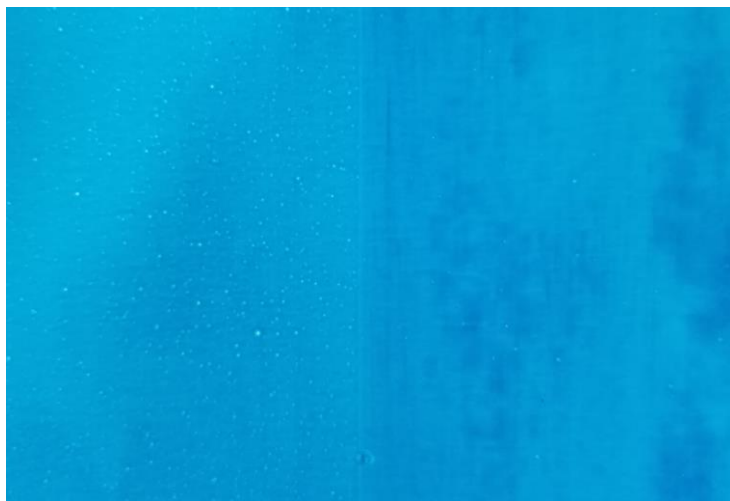
Taulukko 9: Raaka-aineiden paikkojen vaihdon tulokset tuotteella 3

koe nro.	Sekoitusaika 1 (min)	Sekoitusaika 2 (min)	Sekoitusaika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	reikäisyys (1-5)
46	25,9	12,9	4,3	5,5	5	5	1
47	25,9	12,9	4,3	5,5	5	5	1
48	25,9	12,9	0	5,5	5	0	1

## 6.2 Tuotannon tulokset

Tuotetta valmistettiin tuotannossa niiden tuloksen perusteella, jotka olivat osoittautuneet parhaimmaksi laboratoriossa. Oletuksena on, että tuotannon ja laboratorion tulokset vastaavat toisiaan, koska kaikki osa-alueet vastaavat toisiaan astian geometriasta sekoitusnopeuteen ja sekoitusaikoihin. Näin ei kuitenkaan ollut vaan tuotannossa

valmistettu erä oli paljon reikäisempää kuin laboratoriossa valmistettu. Tuotetta täytyi sekoittaa vielä lisää, jotta tuotteesta saatiin reiätöntä. Kuvassa 10 on esitetty reikäisysero laboratoriossa valmistetun ja tuotannossa valmistetun erän välillä.



Kuva 10: Oikealla laboratorion tulos ja vasemmalla tuotannon tulos reikäisyyskokeessa

### 6.3 Reikäisyyskoe

Työssä oli tarkoitus kokeilla yhtenäisempää reikäisyyskoeetta, mutta valitettavasti sitä ei pystytty suorittamaan. Koetta varten olisi pitänyt valmistaa testiliuos, johon ei löytynyt tarvittavia raaka-aineita. Tämän hetken reikäisyyskoemenetelmä osoittautui kuitenkin luultua paremmaksi. Laboratorio-ohjeista löytyi reikäisyysasteikko, jota noudattamalla huomaa helposti reikäisyyden asteen ja lisäksi reiät kyllä huomaa helposti silmämääräisestikin.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Itse työn teko eteni hyvin ja sovitussa aikataulussa. Tuotannon kokeiden osalta tulokset jäivät kuitenkin vajavaisiksi, koska kyseisistä tuotteista ei tullut tilauksia kuin yksi. Laboratoriossa kokeita suoritettiin useita, mutta esimerkiksi sekoitusaikakokeita olisi voinut tehdä enemmän ja järjestelmällisemmin. Toisaalta sekoitusaikojen osalta valmistusresepteihin ei tullut muutoksia.

Työn ongelmana oli tuotteiden reikäisyys ja tarkoituksena oli optimoida sekoitusnopeudet ja sekoitusajat niin, että reikäisyyttä ei esiintyisi. Tuloksista

huomataan, että optimointi ei onnistunut, vaikka skaalaukset olivat kunnossa. Laboratoriossa tuotteesta saatiin hyvä, mutta tuotannossa valmistettua erää jouduttiin sekoittamaan paljon enemmän käytetyillä kierrosnopeuksilla hyvän tuotteen saamiseksi. Tuloksista saatiin kuitenkin selville, että valmistettaessa näitä kolmea tuotetta sekoitusnopeuden tulee olla 1100 rpm tai enemmän. Tämä tullaan täydentämään valmistusresepteihin jatkossa.

Tuotteiden välillä oli eroja ja toisista saatiin paremmat tulokset kuin toisista. Sekoitusajat olivat jokaisen tuotteen kohdalla jo hyvät valmistusresepteissä, joten niihin ei tullut muutoksia tämän työn perusteella. Myöskin raaka-aineiden järjestys oli kunnossa lukuun ottamatta tuotetta 2. Vaha tullaan jatkossa lisäämään viimeisenä. Saadut tulokset tukevat teoriaa, koska sekoitusnopeuksia ja sekoitusaikoja optimoitaessa reikäisyys ei poistunut. Reikäisyyteen vaikuttaa muutkin seikat kuten mahdolliset epäpuhtaudet tai raaka-aineet.

Tutkimuksia reikäisyyden parantamiseksi voitaisiin jatkaa suorittamalla kokeita teorian pohjalta lasketulla astiakoolla. Tällä hetkellä astia on liian suuri suhteessa sekoittajan terään, jolloin ilmaa voi päästä dispergoitumaan tuotteeseen ja sekoitus voi olla epätasaista. Liitteessä 2 on laskettu teorian pohjalta, mikä astian koon tulisi olla suhteessa käytettävään terään. Lisäksi tarkempaa huomiota voisi kiinnittää terän etäisyyteen astian pohjasta.

## Lähteet

1. About DIC. 2015. Verkkodokumentti. DIC-global. <<http://www.dic-global.com/en/about/group.html>>. Luettu 1.2.2016
2. Quality, Service and Innovation from the Global Leader in Inks, Coatings and Pigments. 2016. Verkkodokumentti. Sun Chemical. <<http://www.sunchemical.com/about/>>. Luettu 1.2.2016
3. Hill, Chris. 2013. What´s the Difference Between Polyurethane, Varnish, Shellac and Lacuer? Verkkodokumentti. <<http://www.diynetwork.com/how-to/skills-and-know-how/painting/whats-the-difference-between-polyurethane-varnish-shellac-and-lacquer>>. Luettu 17.3.2016
4. Laboratorio-ohjeet. Sisäinen raportti. Sun Chemical.
5. Brock, Groteklaes, Mischke. 2000. European Coatings Handbook. Hannover, Saksa: Vincentz Verlag
6. Benefits, built on each other, The BASF resins and additives portfolio for printing and packaging. Verkkodokumentti. BASF. <<https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/load/fid807244/Product%20Selection%20Guide%20-%20R%26A%20-%20P%26P%20-%20benefits%20built%20on%20eachother.pdf>>. Luettu 8.2.2016
7. Kilponen, Kirsi. 2012. Vaahdonestokemikaalit ja niiden käyttö kylmävalssatun ruostumattoman teräksen kemiallisessa valssausöljyn poistoprosessissa. Verkkodokumentti. Opinnäytetyö. <[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39979/Kilponen\\_Kirsi.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39979/Kilponen_Kirsi.pdf?sequence=1)>. Luettu 8.2.2016
8. Hubbe, Martin. Mini-Encyclopedia of papermaking Wet-End Chemistry, Anti-foam/ Defoamer. Verkkodokumentti. <<http://www4.ncsu.edu/~hubbe/DFOM.htm>>. Luettu 17.3.2016

9. Surface Modifying Agents for Coatings, Pinholes. 2016. Verkkodokumentti. SpecialChem. <<http://coatings.specialchem.com/selection-guide/surface-modification-center/pinholes>>. Luettu 6.4.2016
10. Nonionic Dynamic Wetting Agent and Molecular Defoamer. 2014. Verkkodokumentti. Air products. <<http://www.airproducts.com/~media/downloads/s/surfynol-104pg50/data-sheets/en-surfynol-104pg50-datasheet.pdf?tradeName=Surfynol-104&S>>. Luettu 17.3.2016
11. Waxes and Other Esters. Verkkodokumentti. Cyberlipid. <<http://www.cyberlipid.org/wax/wax0001.htm>>. Luettu 21.3.2016
12. Mekaaniset prosessit 2 –luentomateriaa. 2014. Metropolia AMK.
13. Prosessitekniiikan laboratoriotyöt 1 -työohje. 2014. Metropolia AMK.
14. Dispersion Know-How. 2006. Verkkodokumentti. VMA-Getzmann GMBH. <[http://www.kohsieh.com.tw/PDF\\_Files/VMA/KnowHow\\_eng\\_web.pdf](http://www.kohsieh.com.tw/PDF_Files/VMA/KnowHow_eng_web.pdf)>. Luettu 5.4.2016
15. Modern Dispersion Technology. Verkkodokumentti. Morehouse Cowles. <<http://www.morehousecowles.com/pdfs/Fundamentals%20of%20Dispersion.pdf>>. Luettu 5.4.2016
16. How the High Speed Dispensers Works. 2015. Verkkodokumentti. Charles Ross and Son Company. <<http://www.mixers.com/Prodetails.asp?ProdID=69#animation-tab-tab>>. Luettu 4.4.2016
17. Reader, Jim. 1996. Ask the Experts Paints and Coatings. Verkkodokumentti. Air Products. <<http://www.airproducts.com/industries/Paints-Coatings/ask-the-experts-paints-and-coatings/Paints-Coatings/control-micro-foam-pinholes-areless-spray-applied-topcoats.aspx>>. Luettu 6.4.2016
18. Index of Coating Defects. 2016. Verkkodokumentti. The MPI Group. <<http://www.mpigroup.co.uk/publishing/fitzs-atlas-of-coating-defects/translation/4-coating-defects/>>. Luettu 6.4.2016

19. Surface Control. 2016. Verkkodokumentti. BASF. <[https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1\\_564555](https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_564555)>. Luettu 6.4.2016
20. Philip. 2013. Pin-holes in Powder Coatings. Verkkodokumentti. Northpoint LTD. <<http://www.northpoint.ltd.uk/pin-holes-in-powder-coatings/>>. Luettu 6.4.2016
21. McCabe, Smith, Harriot. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering. United States of America.
22. Viskositeetti ja pintajännitys. Verkkodokumentti. Noppa- opintoportaali. <<https://noppa oulu.fi/noppaimages/766106P/VISKOSITEETTI%20JA%20PINTAJANNITYS.pdf>>. Luettu 8.4.2016

## Laboratorion sekoittajan käyttöohjeet

1. Nosta terää ja lukitse se haluamallesi korkeudelle.
2. Aseta astia terän alle.
3. Poista lukitus ja laske terä haluamallesi korkeudelle ja lukitse uudelleen.
4. Aseta astia niin, että terä on astian keskellä. Kiristä astia haluttuun kohtaan vasemman sivulukitsimen ja oikean kiristimen avulla.
5. Paina ohjauspaneelista vasemman puolensin nappi pohjaan ja sen jälkeen paina START-nappia. START-nappiin syttyy vihreä valo, jos astia on tarpeeksi hyvin kiinni.
6. Säädä prosenttiasteikosta kierrokset haluttuun nopeuteen oikean puoleista kierroslukumittaria apuna käyttäen.
7. Lopetettaessa sekoitus, käännä kierrokset nolnaan prosenttiasteikosta.
8. Paina STOP-nappia ja sen jälkeen vasemmanpuoleista nappia, jotta laite sammuu.
9. Vapauta astia löysäämällä kiristintä ja poistamalla sivulukitus.
10. Irrota terän lukitus ja nosta terä ylös ja lukitse ja poista valmistusastia alta.
11. Pese terä ja astia.

## Astian teoreettiset mitat suhteessa terään

Tuotanto:

$$\frac{1}{3} = \frac{D_{a1}}{D_{t1}}$$

$D_{a1}$  on sekoittajan halkaisija tuotannossa (m)

$D_{t1}$  on sekoitusastian halkaisija tuotannossa (m)

$$\frac{1}{3} = \frac{0,4}{x}$$

$$x = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ (m)}$$

Astian korkeuden tulisi olla halkaisija + 15–20 % eli tässä 1,38–1,44 metriä. Terän etäisyys pohjasta tulisi olla 1–1,5 terän halkaisijasta eli tässä 0,4–0,6 metriä astian pohjasta.

Laboratorio:

$$\frac{1}{3} = \frac{D_{a6}}{D_{t6}}$$

$D_{a6}$  on sekoittajan halkaisija laboratoriossa (m)

$D_{t6}$  on sekoitusastian halkaisija laboratoriossa (m)

$$\frac{1}{3} = \frac{0,04}{x}$$

$$x = 3 \cdot 0,04 = 0,12 \text{ (m)}$$

Astian korkeuden tulisi olla 0,138–0,144 metriä ja terän etäisyyden pohjasta 0,04–0,06 metriä [15 s. 12–13.]

Laboratorion tulokset tuotteelle 1

Sekoitusnopeuden optimointi												
Koe nro.	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitusnopeus yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	Reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitusnopeus, tuotanto (min)				
2	2.15	19.4	6.5	6.5	1	6.5	4.8	28.05	28	4	1400	130
3	2.15	19.4	6.5	6.5	2	6	4	28.05	26	4	1300	130
6	2.15	19.4	6.5	6.5	2	5.5	4	28.05	27	4-3	1200	130
1	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	3.1	28.05	26	5	1100	130
4	2.15	19.4	6.5	6.5	2	4.6	4	28.05	24	3	1000	130
7	2.15	19.4	6.5	6.5	1	4.1	3.1	28.05	25	3	900	130
5	2.15	19.4	6.5	6.5	1	3.7	3.7	28.05	27	3	800	130
Sekoitusajan optimointi												
Koe nro.	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitusnopeus yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	Reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitusnopeus, tuotanto (min)				
1	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	3.1	28.05	26	5	1100	130
8	1	12.9	4.3	4.3	1	5.1	3.1	18.2	23	3	1100	85.36
9	1	19.4	4.3	4.3	1	5.1	3.1	24.7	24	3	1100	115.36
10	2.15	12.9	6.5	6.5	1	5.1	3.1	21.55	24	3	1100	100
11	2.15	21.3	8.4	8.4	1	5.1	3.1	31.85	24	3	1100	150
2.1	1	12.9	4.3	4.3	1	6.5	3.1	18.2	24	3	1400	85.36
2.2	1	19.4	4.3	4.3	1	6.5	3.1	24.7	24	3	1400	115.36
Raaka-aineiden paikkojen vaihto												
Koe nro.	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitusnopeus yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitusnopeus, tuotanto (min)				
12	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	3.1	28.05	26	3	1100	130
13	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	3.1	28.05	21	3	1100	130
14	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	3.1	28.05	27	4-3	1100	130
15	2.15	19.4	6.5	6.5	2	5.1	4	28.05	25	3	1100	130
16	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	4	28.05	27	3	1100	130
17	2.15	19.4	6.5	6.5	1	5.1	3.1	28.05	27	3	1100	130

Laboratorion tulokset tuotteelle 2

Sekoitusnopeuden optimointi										
Koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitus aika yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	Reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitus aika, tuotanto (min)	
18	19,4	6,5	6,5	3,8	25,9	25	3	1400	120	
19	19,4	6,5	6	4	25,9	22	.3-2	1300	120	
20	19,4	6,5	5,5	3,8	25,9	25	3	1200	120	
21	19,4	6,5	5,1	3,2	25,9	27	3	1100	120	
22	19,4	6,5	4,6	3,8	25,9	24	2	1000	120	
23	19,4	6,5	4,1	3,2	25,9	23	2	900	120	
24	19,4	6,5	3,7	3,7	25,9	27	2	800	120	
Sekoitusajan optimointi										
Koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitus aika yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	Reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitus aika, tuotanto (min)	
20	19,4	6,5	5,5	3,8	25,9	25	3	1200	120	
25	12,9	6,5	5,5	3,8	19,4	22	2	1200	90	
26	19,4	4,3	5,5	3,8	23,7	24	.3-2	1200	110	
27	12,9	4,3	5,5	3,8	17,2	40	3	1200	80	
28	21,5	8,6	5,5	3,8	30,1	25	3	1200	140	
29	25,85	6,5	5,5	3,8	32,35	24	.3-2	1200	150	
Raaka-aineiden paikkojen vaihto										
Koe nro.	Sekoitus aika 1 (min)	Sekoitus aika 2 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitus aika yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitus aika, tuotanto (min)	
30	19,4	6,5	5,5	3,8	25,9	20	1	1200	120	
31	19,4	6,5	5,5	3,6	25,9	42	4	1200	120	
32	19,4	6,5	5,5	3,6	25,9	22	3	1200	120	
33	19,4	6,5	5,5	3,8	25,9	28	3	1200	120	
34	19,4	6,5	5,5	3,8	25,9	24	3	1200	120	

Laboratorion tulokset tuotteelle 3

Sekoitusnopeuden optimointi												
Koe nro.	Sekoitus-aika 1 (min)	Sekoitus-aika 2 (min)	Sekoitus-aika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitus-aika yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	Reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitus-aika, tuotanto (min)	
35	25,9	12,9	4,3	6,5			43,1			1400	200	
36	25,9	12,9	4,3	6	3,6	3,6	43,1	24	2	1300	200	
37	25,9	12,9	4,3	5,5	5,5	5,5	43,1	25	2	1200	200	
38	25,9	12,9	4,3	5,1	5,1	5,1	43,1	24	1	1100	200	
39	25,9	12,9	4,3	4,6	4,6	3,8	43,1	23	1	1000	200	
40	25,9	12,9	4,3	4,1	4,1	3,4	43,1	24	1	900	200	
41	25,9	12,9	4,3	3,7	3,7	3,7	43,1	25	1	800	200	
Sekoitusajan optimointi												
Koe nro.	Sekoitus-aika 1 (min)	Sekoitus-aika 2 (min)	Sekoitus-aika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitus-aika yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	Reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitus-aika, tuotanto (min)	
37	25,9	12,9	4,3	5,5	5,5	5,5	43,1	25	2	1200	200	
42	25,9	12,9	0	5,5	5,1	0	38,8	24	1	1200	180	
43	25,9	8,62	2,87	5,5	5,5	5,5	37,39	24	1	1200	173,3	
44	17,24	12,9	4,3	5,5	5	5	34,44	25	1	1200	160	
45	34,47	12,9	4,3	5,5	5	5	51,67	25	1	1200	240	
Raaka-ainesten paikkojen vaihto												
Koe nro.	Sekoitus-aika 1 (min)	Sekoitus-aika 2 (min)	Sekoitus-aika 3 (min)	Sekoitusnopeus 1 (rpm)	Sekoitusnopeus 2 (rpm)	Sekoitusnopeus 3 (rpm)	Sekoitus-aika yhteensä (laboratorio, min)	Viskositeetti (25°C, s)	reikäisyys (1-5)	Sekoitusnopeus, tuotanto (rpm)	Sekoitus-aika, tuotanto (min)	
46	25,9	12,9	4,3	5,5	5	5	43,1	23	1	1200	200	
47	25,9	12,9	4,3	5,5	5	5	43,1	24	1	1200	200	
48	25,9	12,9	0	5,5	5	0	38,8	24	1	1200	180	