



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Laura Niemi

Sävytyspastojen reseptimuunnokset ja tuotannon optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

15.03.2021

Tekijä Otsikko	Laura Niemi Sävytyspastojen reseptimuunnokset ja tuotannon optimointi
Sivumäärä Aika	43 sivua 15.03.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Lehtori Eija Koriseva Production & Colourant Development Manager, QC Manager Mats Graeffe
<p>Työn tavoitteena oli tutkia, miten sävytyspastojen reseptejä muuttamalla saataisiin pastat paremmin tuotannonajoista läpi. Yleisin syy pastan joutumiselle uudelleen jauhettavaksi oli sen liiallinen karheus. Uudelleen jauhamiseen kului tarpeeton määrä ylimääräistä aikaa, energiaa, käyttökustannuksia ja mikä ajassa menetettiin, myös rahassa hävitettiin.</p> <p>Työ tehtiin Chromaflo Technologies Finland Oy:lle. Chromaflo Technologies Finland Oy on globaali yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Ohiossa. Yksi toimipisteistä sijaitsee Vantaalla. Chromaflo Technologies Finland Oy valmistaa pastoja eli vesiohenteisia nestemaalin esivalmisteita teollisuusyrityksille, jotka valmistavat maaleja ja pinnoitteita teollisuuteen sekä kuluttajille.</p> <p>Työssä tutkittiin yhteensä 15:tä erilaista sävytyspastaa. Nämä pastat päättyivät seurantaan, koska niiden valmistuseristä yli 20 % joutui lisäjauhatukseen, mikä valittiin lisäjauhatuksen rajaksi. Työ suoritettiin mittaamalla viskositeetteja LV 330 KU-1 -nimisellä laitteella. Pastan viskositeetteja seurattiin 25 °C:ssa ennen jauhatuksia sekä niiden jälkeen. Näytteitä otettiin prosessin eri vaiheissa, joita olivat muun muassa dispersion jälkeen, ennen ilmausta, ennen myllyä, dispergoinnin jälkeen, ennen lisäaineiden lisäystä, ennen loppuvesien eli liuotteen lisäystä, loppuvesien lisäyksen jälkeen ja helmimyllyajon jälkeen. Viskositeettien mittausten lisäksi kirjattiin myös dissolverin sekä helmimyllyn pumpun kierrokset, paineen, roottorin pyörimisnopeuden, lämpötilan ja tehon lukemat, koska näilläkin oli vaikutusta pastan ominaisuuksiin.</p> <p>Tehtyjen mittausten perusteella voitiin todeta reseptimuunnosten onnistuneen joidenkin tuotteiden kohdalla. Ongelmia ilmeni edelleen niiltä tuotteilta, joilta oli aiemmin havaittu jauhattavuusongelmia. Joihinkin tuotteisiin ei tarvinnut tehdä sen suurempia reseptimuutoksia. Yleisimmät muutokset resepteissä olivat jauhatusenergian lisääminen, viskositeettiarvojen muuttaminen joko korkeammaksi tai matalammaksi, täytepigmenttien määrän muuttaminen tai pigmenttien suhteen muuttaminen. Pääpiirteittäin saatiin hyviä tuloksia pastojen reseptejä muuttamalla ja niitä aiotaan jatkossa vielä seurata mahdollisten muutosten suhteen.</p>	
Avainsanat	sävytyspasta, sävytyspastaresepti, viskositeettimittaus

Author Title	Laura Niemi Recipe conversions for tinting pastes and production optimization
Number of Pages Date	43 pages 15 March 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Eija Koriseva, Lecturer Mats Graeffe, Production & Colourant Development Manager, QC Manager
<p>The aim of this thesis was to change the recipes of tinting pastes which would get better past through production times. The most common reason for the paste to be re-grinding was its excessive roughness. Re-grinding took an unnecessary amount of extra time, energy, operating costs and what was lost in time, money was also lost.</p> <p>The aim was made for Chromaflo Technologies Finland Oy. Chromaflo Technologies Finland Oy is a global company headquartered in Ohio. One of their offices is located in Vantaa. Chromaflo Technologies Finland Oy manufactures pastes, i.e. water-based liquid paint prefabricated products, for industrial companies that manufacture paints and coatings for industry and consumers.</p> <p>A total of 15 different tinting pastes were examined in the aim. These pastes ended in monitoring because more than 20% of their batches were further milled, which was chosen as the limit for further grinding. The work was carried out by measuring viscosities using a device called LV 330 KU-1. The viscosities of paste were monitored at 25 °C before and after grinding. Samples were taken at different stages of the process, including after dispersion, before the expression, before the mill, after dispersion, before the addition of additives, before the addition of the final water, i.e. the solvent, after the addition of the final waters and after the pearl mill run. In addition to viscosity measurements, the pump rotations of the dissolver and pearl mill, the speed of the rotor, temperature and power readings were also recorded, as these also had an impact on the properties of paste.</p> <p>At the basis of the measurements carried out, it was found that prescription conversions were successful for some products. Problems continued to arise in those products that had previously been found to have grinding problems. Some products did not need to be subject to any major prescription changes. The most common changes in recipes were increasing grinding energy, viscosity changing values to either higher or lower, changing the number of filler pigments, or changing the relationship between pigments. In general, good results were achieved by changing the recipes for pastes, and they will be monitored for possible changes in the future.</p>	
Keywords	tinting paste, tinting paste recipe, viscosity measurement

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sävytyspasta	2
3	Pastan raaka-aineet	3
3.1	Pigmentit	3
3.2	Väripigmentit	4
3.3	Apupigmentit eli täyteaineet	5
3.4	Pastan apuaineita	5
3.5	Liuotteet, ohenteet ja sideaineet	5
4	Dispergointi	7
4.1	Kostutus	8
4.2	Primäärihiukkasten, agglomeraattien ja aggregaattien hajotus	8
4.3	Stabilointi	10
5	Jauhatusmenetelmät	10
5.1	Dissolveri	11
5.2	Vakuumpumppu	14
5.3	Helmimyllyjauhatus	16
5.3.1	Helmimyllyn rakenne ja toimintaperiaate	16
5.3.2	Helmien valinta	18
6	Sävytyspastan valmistusprosessi	19
7	Viskositeetin mitta	21
8	Työn suoritus, tulokset, havainnot	22
8.1	Viskositeetti mittaukset	24
8.2	Dissolverin ja helmimyllyn parametrit	30
9	Tulosten tarkastelu ja reseptimuunnokset	37

10	Johtopäätökset	42
	Lähteet	44

Lyhenteet ja käsitteet

Agglomeraatti	Primääripartikkeleista muodostunut suurempi yhteenkasaantuma pastassa.
Aggregaatit	Pigmenttihiukkasista muodostunut suurempi yhteenkasaantuma primäärihiukkasten kide- tai kristallipinnoilla.
Assosioitua	Yhdistyä, liittyä.
BS	<i>British Standard</i> -värijärjestelmä.
Dispergointi	Jauhatus. Primääripartikkeleista ja aggregaateista muodostuneet agglomeraatit jauhetaan sideaineeseen pienemmiksi partikkeleiksi.
Flokkulointi	Fluidissa olevat pienet partikkelit kasaantuvat suuremmiksi kokonaisuuksiksi.
KU – Krebs Unit	Krebs Stormer -viskosimetrin mittaussyksikkö KU. Aineen sekoitustuntumaa kuvaava yksikkö.
NCS	<i>Natural Color System</i> -värijärjestelmä.
Pasta	Nestemäinen tahna, johon väripigmentit ovat jo valmiiksi hierrettyjä ja liuotettuja.
Primääripartikkeli	Pigmenttihiukkasen kide tai kristalli.
RAL	<i>Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen</i> -värijärjestelmä.
Reologia	Fluidin muodonmuutoksista ja virtauksista.
Sävy	Värin sijainti spektrissä. Jokaisen värisävyn kohdalla on määritetty oma valon aallonpituus.

Viskositeetti	Fluidin sisäistä virtausta ja muodonmuutoksen vastustuskykyä, nestemäinen ominaisuus, mittaussyksikkö η [Pa·s], (pascal sekunti).
Värivoima	Pigmenttihiukkasten välimatka, mitä suurempi välimatka sitä vahvempi värivoima.

1 Johdanto

Työn tarkoituksena oli tutkia, miten sävytyspastojen reseptejä muuttamalla saataisiin pastat paremmin tuotannonajoista läpi. Sävytyspastat ovat nestemäisiä tahnoja, joihin väripigmentit ovat jo valmiiksi hierrettyjä ja liuotettuja. Sävytyspastat koostuvat pigmenttiosasta, jota on pastassa 2–75 %. Työ tehtiin johtavalle sävytyspastayritykselle Chromaflo Technologies Finland Oy:lle. [1, s. 3; 2, s. 108.]

Päätavoite työssä oli nopeuttaa sävytyspastaerien läpimenoaikaa ja samalla myös koko prosessia. Joidenkin pastojen kohdalla todettiin ongelmiksi niiden aiheuttamat lisäajot, koska ongelmia ilmeni niiden karkeudessa, jolloin pastat menivät takaisin jauhatukseen sisäisen laadunvalvonnan takia. Liiallinen karkeus vaikuttaa pastan ominaisuuksiin, kuten sävyyn ja värivoimakkuuteen. Lisäajoista koitui yritykselle tarpeeton määrä ylimääräistä aikaa sekä prosesseihin kuluva energiaa ja käyttökustannuksia.

Edellä oleva ongelma pyrittiin ratkaisemaan muuttamalla pastojen reseptejä, jolloin pastojen läpimenoaika paranisi. Samalla tästä ansiosta niiden sävy ja värivoima paranisivat ja teoreettisesti ajateltuna saataisiin saantoa parannettua.

Työ suoritettiin viskositeetteja mittaamalla LV 330 KU-1 -nimisellä laitteella. Pastan viskositeetteja seurattiin 25 °C:ssa ennen jauhatuksia sekä niiden jälkeen. Viskositeetteja otettiin prosessin eri vaiheissa, joita olivat muun muassa dispersion jälkeen, ennen ilmausta, ennen myllyä, dispergoinnin jälkeen, ennen säilöntäaineiden lisäystä, ennen loppuvesiä, loppuvesien jälkeen ja myllyajon jälkeen. Viskositeettien mittausten lisäksi kirjattiin myös dissolverin sekä myllyn pumpun kierrokset, paineen, roottorin pyörimisnopeuden, lämpötilan ja tehon lukemat, koska näilläkin oli vaikutusta pastan ominaisuuksiin. Sävytyspastojen nimet ja eränumerot on nimetty uudelleen salassapitovelvollisuuden vuoksi.

Chromaflo Technologies Oy on vuonna 2012 perustettu johtava maailmanlaajuinen väriaine ja väriteknologiaratkaisujen toimittaja, joka palvelee asiakkaita arkkitehtonisten pinnoitteiden, teollisuuspinnoitteiden ja kovamuovikomposiittien markkinoilla. Chromaflo-tuotemerkkiperheellä on yli kahdeksan vuosikymmenen kokemus väriainejärjestelmistä ja kemiallisten pigmenttien dispersioista, ja siihen kuuluu yli 200 erilaista

tuotelajia ja yli 7 000 erilaista sävytystuotetta, ja yritys palvelee asiakkaita kuudella eri mantereella. Chromafloilla on tehtaita Suomen lisäksi Hollannissa, Etelä-Afrikassa, Intiassa, Kiinassa, Malesiassa, Brasiliassa, Uruguassa, Mexikossa, USA:ssa, Kanadassa sekä Australiassa. Tunnetuimpia Chromaflon tuotteista ovat Colortrend, Innovatint, Chroma-Chem ja Plasticolors. Alun perin Chromaflo Technologies syntyi Colortrendin ja Plascolorsin liiketoimintojen yhdistyessä vuonna 2012, mutta Colortrendin historia pinnoiteteollisuudessa juontaa juurensa vuoteen 1929. [3.]

2 Sävytyspasta

Maalituotteita sävytetään lisäämällä niihin joko voimakasvärisiä sävytysmaaleja tai pigmentoinnin suhteen konsentroidumpia sävytyspastoja [1, s. 3]. Sävytyspastat ovat nestemäisiä tahnoja, joihin väripigmentit ovat jo valmiiksi hierrettyjä ja liuotettuja. Pigmenttien lisäksi niihin kuuluvat ionittomat tai anioniset dispergointiaineet. Sideaineena voidaan käyttää esimerkiksi selluloosaeetteriä, polyetyleeniglykolia tai hydroksietyylietyleniureaa. Vesiohenteisten pastojen ohenteena toimii luonnollisesti vesi tai veden lisäksi jokin muu apuliuotin, esimerkiksi dietyleeniglykolin monoetyylieetteri [1, s. 6]. Maaliin voidaan lisätä pastaa vain noin maksimissaan 10 tilavuusprosenttia maalin määrästä. Tästä suuremmat määrät vain huonontaisivat maalin omia ominaisuuksia [2, s. 108].

Yleensä sävytys tehdään valmiisiin, valkoisiin tai värillisiin maaleihin. Perusmaalien väri sekä niiden peittokyky riippuvat pigmenttien, etenkin valkoisten pigmenttien määrästä. Sävytyksessä perusmaalien tilalla voidaan käyttää myös lakkoja. Sävytysmaalit ovat tuotekohtaisia ja ne valmistetaan erikseen kullekin sävytettävälle maalityypille. [1, s. 3.]

Konsentroidut sävytyspastat ovat yksi osa sävytysjärjestelmää. Yhdellä pastasarjalla suoritetaan jopa kymmenien erityyppisten maalituotteiden sävytykset. Tämä vähentää huomattavasti työtä, tuotteiden lukumäärää ja varastoinnintarvetta, parantaen samalla palvelun nopeutta. [1, s. 4.]

Sävytys tehdään jo maalitehtaalla, suurissa erissä, yleensä tilauskohtaisesti. Jakeluvastoihin ja maalikauppoihin toimitetut perusmaalit sävytetään suoraan myyntipakkaukseen.

Uusimmissa sävytysjärjestelmissä sävytyskaavat tallennetaan tietokoneen muistiin. Kone annostelee automaattisesti kaavan mukaisesti sävytyspastamäärät perusmaaliin. Tämän jälkeen seuraa tehokas sekoitus ja sävytys on valmis. Riippuen sävytysalueen laajuudesta yhtä tuotetta kohti tarvitaan 1–10 perusmaalia ja sävytysjärjestelmää kohti 5–40 sävytyspastaa.

Maalituotteet sävytetään kansallisia tai kansanvälisiä sävystandardeja noudattaen (RAL, BS, NCS) värikarttojen mukaisiin sävyihin. Sävytyskoneeseen voidaan liittää värimittausyksikkö, jonka avulla sävytys tehdään värimallin mukaan, jolloin sävyjen määrä on periaatteessa lähes rajaton.

Sävytysjärjestelmiä pyritään käyttämään mahdollisuuksien mukaan, koska näin maali- varastoja voidaan pienentää ja kustannuksissa säästetään. Tämä varmentaa laatua ja parantaa samalla asiakaspalvelua. Joitakin perusmaaleja, erityisemmin valkoisia, myydään myös sävyttämättä.

3 Pastan raaka-aineet

Sävytyspastojen tärkeimpiä komponentteja valmistuksen suhteen ovat pigmentit, ohenteet, sideaineet sekä apuaineet. Sävytyspastat sisältävät 2–75 % pigmenttiosaa, 10–60 % ohenneosaa, 10–50 % sideaineosaa ja 0–5 % apuaineosaa [1, s. 1]. On olemassa myös sellaisiakin pastoja, jotka eivät sisällä sideainetta ollenkaan, ja apuaineitakin voi olla jopa yli 20 % pastassa [4].

3.1 Pigmentit

Sävytyspastat koostuvat pigmenteistä ja nestemäisestä väliaineesta, johon pigmentit dispergoidaan. Dispergointiväliaine koostuu ohenteesta, joka on yleensä orgaaninen liuote tai vesi, sideaineesta tai dispergointiaineesta. Dispergointiaineen lisäksi tulevat myös muut apuaineet. [1, s. 4.]

Pigmentti on hienojakoinen, kiinteä liuotinaineeseen liukenematon jauhe, jota dispergoidaan sideaineeseen pastan valmistuksessa [5, s. 10]. Sen tehtävänä on muodostaa

maalattavalle alustalle peittävä, värillinen kalvo, ja sideaine suojaa sitä kulutukselta sekä UV-säteilyltä. Pigmenttien ominaisuudet määräytyvät pitkälti käyttötarkoituksen mukaan, kuten peittokyky, väri, tiheys ja valonkesto maalituotteessa. Titaanioksidi on maleissa käytetyin valkoinen pigmentti, koska sen peittokyky on kaikista suurin verrattuna muihin valkoisiin pigmentteihin. Lisäksi se antaa valkoisen värin maalille [2, s. 12]. Pigmentit voidaan jakaa kahteen eri pigmenttityyppiin, jotka ovat väripigmentit ja apupigmentit eli täyteaineet. [5, s. 10.]

3.2 Väripigmentit

Maaleissa käytetyt värilliset pigmentit jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin pigmentteihin. Epäorgaanisiin pigmentteihin kuuluvat esimerkiksi rautaoksidit (punainen, keltainen ja musta), titaanioksidi ja vihreä kromioksidi. Epäorgaanisilla pigmenteillä on hyvä sään- ja valonkestävyys, ja ne ovat vaarattomia ympäristölle. [2, s. 12; 5, s. 10.]

Orgaaniset pigmentit ovat väriltään kirkkaampia verrattuna epäorgaanisiin pigmentteihin ja niiden kestävyysominaisuudet vaihtelevat hyvin paljon toisistaan. Orgaanisiin pigmentteihin kuuluvat esimerkiksi flatonsiniset- ja vihreät pigmentit sekä eräät kirkkaan punaiset ja keltaiset pigmentit. Orgaanisilla pigmenteillä on laajempi värivalikoima verrattuna epäorgaanisiin pigmentteihin. Epäorgaanisten värien peittokyky on usein hyvä, mutta värjäysvoimassa epäorgaaniset värit häviävät orgaanisille pigmenteille. Orgaaniset pigmentit ovat huonon peittokyvyn lisäksi kalliita. [2, s. 12.]

Pigmentin valinnassa huomioidaan tarkasti, minkä tyyppisissä maalituotteissa sävytyspastaa tullaan käyttämään. Pigmentin tärkeitä ominaisuuksia sävyn, peittokyvyn ja värjäysvoiman lisäksi ovat reaktiivisuus happamissa tai emäksisissä olosuhteissa, dispergoituvuus (kostutinominaisuudet, öljynabsorptio), keskihiukkaskoko ja hiukkaskokojakauma, ominaispinta-ala, kirkkaus sekä valon-, kemikaalien-, sään- ja lämmönkestävyys. [1, s. 12.]

Raakapigmentit toimitetaan yleensä jauheina, joissa pigmenttikiteen hiukkaskoko on 20–100 µm tai granukatteina, joissa hiukkaskoko on 2000–5000 µm. Näissä pigmenttikiteet eli primäärihiukkaset muodostavat toisiinsa löyhemmin sitoutuneita agglomeraatteja tai kooltaan pienempiä ja tiiviimpiä aggregaatteja.

Primäärihiukkasten keskikoko orgaanisilla pigmenteillä on luokkaa 0,01–0,1 µm, epäorgaanisilla ja valkoisilla pigmenteillä 0,1–1,0 µm ja täytepigmenteillä 1–5 µm. Jauhatuksessa raakapigmentit hajotetaan niin pieniksi, että pastaan saadaan hyvä värjäysvoima ja haluttu sävy.

3.3 Apupigmentit eli täyteaineet

Apupigmentit eli täyteaineet ovat yleensä mineraaleja, kuten talkki, kalsiitti, baryytti ja kaoliini. Ne nimensä mukaisesti parantavat maalin ominaisuuksia eli tekevät maalikalvon tiiviiksi ja lujaksi. Samalla ne alentavat lopputuotteen hintaa, mutta eivät vaikuta maalin peittokykyyn eivätkä värisävyyteen. [5, s. 11–12.]

3.4 Pastan apuaineita

Pasta ei saa huonontaa maalin ominaisuuksia ja siksi pastojen, kuten maalienkin, ominaisuuksia on paranneltu erilaisilla lisäainemilla, joita on käytetty hyvin pieniä määriä. Apuaineita käytetään esimerkiksi parantamaan maalikalvon kiiltoa, kuivumisnopeutta, tasoittuvuutta, valonkestävyyttä tai naarmuuntumiskestävyyttä. Paksuntumien tarkoituksena on parantaa maalin levittymistä sekä säilymistä ja estää maalin valumista. Kuivikkeilla, kuten serotoniineilla ja sikkatiiveilla, nopeutetaan hapettumisella tapahtuvaa kalvon muodostumista. Säilöntäaineiden avulla estetään bakteerikasvua ja homeenes-täjillä homeitiöiden kasvua maalipurkeissa ja valmiilla kalvoilla. Vaahdonestoaineilla estetään vaahdon muodostumista sekä valmistuksen että maalin levityksen aikana. Jauhatuksen aikana dispergointiaineilla erotetaan pigmentti- ja täyteaineosaset toisistaan. [2, s. 14; 5, s. 12.]

3.5 Liuotteet, ohenteet ja sideaineet

Nestemäisten liuotteiden ja ohenteiden tehtävänä on antaa pastalle oikeanlainen viskositeetti, jotta se olisi helposti levitettävissä. Tämän lisäksi ohenteet ja liuottimet vaikuttavat maalin kalvon muodostukseen, maalin maalattavuuteen sekä maalikalvon kestävyys-teen. Ohenteet ja liuottimet haihtuvat kalvolta pois levityksen ja kuivumisen aikana.

Liuottimena käytetään haihtuvaa nestettä tai nesteseosta, johon pastan ainesosat sekoitetaan. Yhä useammin vettä käytetään haihtuvana pastan osana, koska haihtuessa pois maalin kalvolta se ei orgaanisten liuottimen tapaan kehitä höyryjä, jotka ovat terveydelle ja ympäristölle haitallisia. Dispergoinnin avulla saadaan orgaaniset sideaineet sekoittumaan veteen, koska ilman dispergointia ne eivät yksistään sekoittuisi veteen. Ohenteena käytetään pastan sideaineen liuotetta tai seosta liuotteesta ja apuliuotteesta. Apuliuotteella tarkoitetaan haihtuvaa nestettä, joka toimii liuotteena vain toisen aktiiviaineen kanssa. [5, s. 12.]

Maalien sideaineet ovat orgaanisia, suurimolekyylisiä polymeerejä, jotka ovat yleensä joko muoveja tai reaktiokykyisiä lakkahartseja. Ne muodostavat polymeerejä maalin kuivumisen aikana. Sideaineet vaikuttavat maalin maalaus- ja kuivumisominaisuuksiin, kuten maalikalvon tarttuvuuteen alustaan sekä ympäristönvaikutusten keston. Ne myös vaikuttavat maalikalvon ominaisuuksiin, kuten joustavuuteen, kiiltoon, kovuuteen, kuluksenkestävyyteen ja kalvonmuodostukseen. Huoneenlämpötilassa sideaineet ovat joko kiinteitä aineita tai jäykkiä nesteitä. Sideaineita liuotetaan tai dispergoidaan nesteeseen, jotta maali olisi levityskelpoinen. Jotkut sideaineet ovat niin kovia ja hauraita, että ne eivät yksistään liukene nesteeseen, ilman tiettyjen aineiden, niin kutsuttujen pehmentimien lisäystä. Nämä tekevät sideaineesta kimmoisamman ja pehmeämmän. [5, s. 10.]

Pastojen teossa käytetään samoja ohenteita, kuin sävytettävien maalienkin teossa. Maalien tavallisia sideaineita ei voida kuitenkaan käyttää pastoissa, koska niillä on huono kombinoituvuus muiden sideaineiden kanssa, korkea viskositeetti sekä huonot pigmenttien kostutusominaisuudet. Tästä syystä pastoille käytetään omia erityisiä sävytyspastasideaineita, jotka ovat paljon polaarisempia ja helppoliukoisempia verrattuna tavallisiin maalien sideaineisiin. Sideaine voidaan korvata myös muulla väliaineella, esimerkiksi pelkällä dispergointiaineella ja ohenteella, kuten vedellä tai orgaanisella liuotteella, esimerkiksi glykolilla. [1, s. 5.]

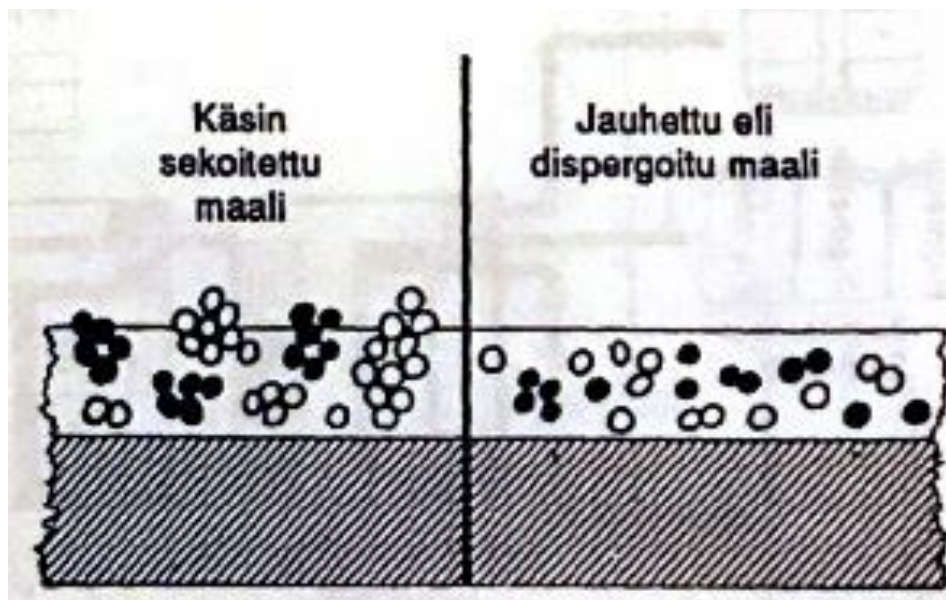
Sävytyspastoilla esiintyy hyvinkin usein maali- tai sävytyskohtaisia ongelmia, kuten kiillon, ominaisuuksien, stabiiliuden, sävyn toistettavuuden ja puhtauden kanssa. Sen vuoksi ohenteen ja sideaineiden lisäksi käytetään erilaisia apuaineita, kuten dispergointi- ja kostutusapuaineita.

4 Dispergointi

Pastanvalmistuksen tärkein vaihe on jauhatus eli dispergointi. Dispergoinnissa raaka-pigmentit ja täyteaineet jauhetaan ja sekoitetaan dispergointiväliaineeseen eli sideaineeseen tai sideaineliuokseen. Dispergointi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen, jotka ovat hiukkaspintojen- ja huokoisten kostutus, agglomeraattien ja aggregaattien hajotus, primäärihiukkasten, pienten agglomeraattien ja aggregaattien kostutus ja stabilointi. [1, s. 5; 5, s. 13.]

Dispergointi suoritetaan laitteilla, joiden teho perustuu isku-, leikkaus- tai kavitaatiovoimiin. Näihin lukeutuvat esimerkiksi erilaiset panos- tai jatkuvatoimiset dispergaattorit, isku-, kuula-, helmi- ja telamylyt, atriittorit, turbusekoittajat, kolloidimylyt ja niin edelleen. Raaka-pigmenttien hajoaminen ei niinkään riipu dispergoinnissa käytetystä kokonais-energiasta vaan enemmänkin prosessiolosuhteista ja laitteistotyypistä. [1, s. 5.]

Enemmän suurta merkitystä dispergoinnissa on dispergointiväliaineella, jolla täytyisi olla hyvä pigmenttien stabilointi- ja kostutuskyky sekä näiden lisäksi hyvä kombinoituvuus erityyppisten maalien kanssa. Kuvassa 1 näytetään käsin sekoitetun maalin ja dispergoitun maalin ero.



Kuva 1. Dispergoinnin vaikutus maalikalvon kiiltoon ja väriin [5, muokattu]

4.1 Kostutus

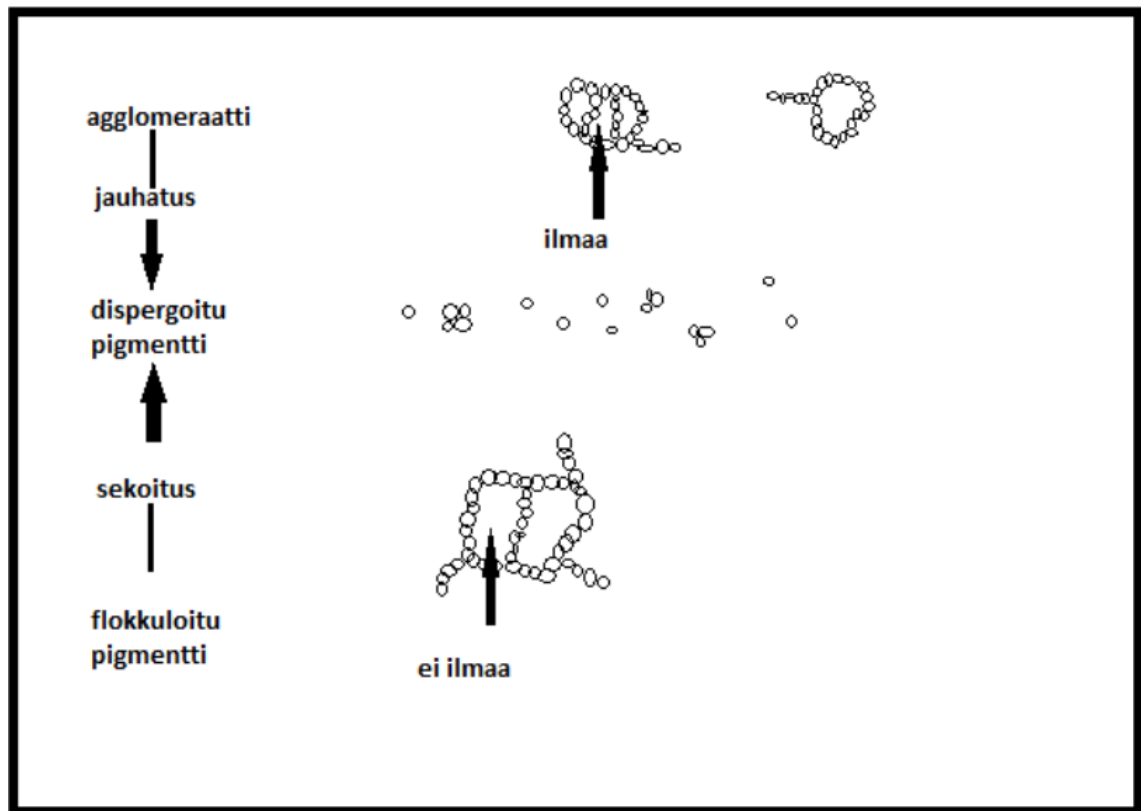
Kostutusvaiheessa nestemäinen dispergointiväliaine syrjäyttää ilman agglomeraattien ja -aggregaattien pinnalta ja huokosista. Kostutuskykyyn vaikuttavat muun muassa pigmentin pinnalla tai nestepinnalla vaikuttava rajapintajännitys, kosketuskulma sekä nesteen viskositeetti. Näiden edellä mainittujen tekijöiden tulisi olla arvoltaan pieniä, jotta kostutusvaihe onnistuisi. [1, s. 5.]

4.2 Primäärihiukkasten, agglomeraattien ja aggregaattien hajotus

Pigmenttahiukkaset ovat yleensä primäärihiukkasten, aggregaattien, agglomeraattien ja flokkulaattien muodossa. Primäärihiukkaset ovat yksittäisiä kiteitä tai niihin assosioituneita kristalleja, jotka muodostuvat valmistusprosessin aikana. Niiden koko voi vaihdella riippuen saostumisolosuhteista. Aggregaatit ovat tiiviisti pakkautuneet yhteen primäärihiukkasten kide- tai kristallipinnoilla. Aggregaatit muodostuvat valmistusprosessin sekä saostumisen jakson aikana. [6, s. 2.]

Pigmentit ja täyteaineet ovat pieniä hiukkasia, mutta ne takertuvat toisiinsa muodostaen isompia partikkeleita eli agglomeraatteja pigmenttivalmistuksen jälkeen. Agglomeraatit ovat suurin piirtein samankokoisia tai jopa suurempia maalikalvon paksuuden kanssa. Agglomeraattien erottamiseen tarvitaan suuria voimia, koska jos niitä ei hajoteta, maalikalvolle muodostuu hiekkapaperimainen kalvo, joka tekee myös värisävystä väärän. [5, s. 13–14.]

Jauhatuskoneen aiheuttamien leikkausvoimien avulla rikotaan agglomeraatit, mutta näistä pienemmät, yksittäiset hiukkaset eivät rikkoonnu. Samalla pigmentin pinnalle imeytynyt ilma sekä kosteus poistetaan agglomeraattien rikotuksen aikana, jolloin pigmentit kostutetaan kostutinaineella. Jos pigmentit eivät kostu kunnolla, ne tarttuvat uudestaan toisiinsa muodostaen isompia partikkeleita eli flokkuloituvat ja tekevät silloin maalista epävakaan. Jauhituksen tarkoituksena on siis rikkoa agglomeraatit, poistaa pigmenteistä imeytynyt ilma ja kosteus ja kostuttaa kostutinaineella pigmentit. Kuvassa 2 näytetään agglomeraattien ja flokkuloituneiden pigmenttien hajottaminen.



Kuva 2. Agglomeraatin ja flokkuloituneen pigmentin hajottaminen [5, muokattu]

Dispersion ensisijaisena tarkoituksena on hajottaa pigmenttiaggregaatit ja agglomeraatit niiden optimaaliseen pigmenttihiukkaskokoon ja jakaa nämä pigmenttihiukkaset tasaisesti koko väliaineeseen. Yleensä väliaine on neste tai kiinteä polymeerimateriaali, joka on muotoiltavissa korkeissa lämpötiloissa käsittelyn aikana. Jotta saavutettaisiin pigmentin optimaaliset edut, sekä visuaaliset että taloudelliset, on tarpeen saada mahdollisimman täydellinen pienennys ensisijaiseen hiukkaskokoon. Loppujen lopuksi pigmentin väri vahvuus riippuu sen paljaasta pinta-alasta: mitä pienempi hiukkaskoko, sitä suurempi pinta-ala ja sitä vahvempi väri. Lisäksi pigmentti on yleensä kallein ainesosa, ja siksi käyttäjä haluaa yleensä saavuttaa optimaalisen suorituskyvyn mahdollisimman pienellä pigmenttimäärällä. Ihannetapauksessa hyvä pigmentin dispersio koostuu pääasiassa primäärihiukkasista, joissa on vain irtonaisia aggregaatteja ja agglomeraatteja. Käytännössä primäärihiukkaskoon pienentäminen määräytyy suurelta osin pigmentin luonteen eli sen dispergoituvuuden, dispersiojärjestelmän ja käsittelylaitteiden sekä tuotteen loppukäyttövaatimusten perusteella. [6, s. 4–5.]

Korkeammissa viskositeeteissa leikkausvoimat ovat suuremmat ja hiukkasten hajoaminen ja erottaminen tehostuvat. Juuri tämä aggregaattien ja agglomeraattien mekaaninen hajoaminen vaatii suurta energiapanosta ja voi tulla melko kalliiksi. Joitakin pigmenttejä on kehitetty auttamaan energiantarpeen vähentämisessä. Tällaiset pigmentit tuotetaan pigmentin pintakäsittelyllä valmistuksen aikana, ja niiden tarkoituksena on vähentää tai estää aggregaattien muodostumista. Monissa tapauksissa tällaiset käsittelyt ovat erittäin spesifisiä maalialustalle.

4.3 Stabilointi

Kolmas vaihe, jolla on suuri merkitys dispergoinnissa on pigmentin dispersion stabilointi. Näin varmistetaan, että hiukkasten täydellinen kostuminen ja erottaminen on saavutettu ja että pigmenttihiukkaset jakautuvat tasaisesti väliaineeseen. Jos dispersiota ei stabiloida, flokkuloituminen johtaa pigmenttihiukkasten yhteen kasaantumisen. Flokkulaatit hajoavat tyypillisesti, kun leikkausvoimia käytetään ja muodostuvat uudelleen, kun leikkausvoimat poistetaan. Jos pigmentin dispersiota ei stabiloida, voidaan harkita pintaaktiivisten aineiden tai polymeeristen dispergointiaineiden käyttöä. Tällaisia lisäaineita voidaan käyttää suoraan pigmentin valmistuksen aikana tai ne voidaan lisätä dispergoinnin aikana. [6, s. 6.]

Stabiloinnissa pigmenttihiukkasten pinnalle muodostuu sähköisen tai steerisen stabiloinnin kautta kerros, joka estää hiukkasten tarttumisen uudelleen toisiinsa eli flokkuloitumasta. Liian suuriksi jääneet hiukkaset erottuvat laskeutumalla. Laskeutumista hidastetaan paksunnosaineella, jota voidaan lopuksi lisätä, pastan konsistenssia parantamaan. [1, s. 5.]

5 Jauhatusmenetelmät

Jauhatuksen tarkoituksena on hajottaa pigmenttiaggregaatit ja agglomeraatit pienempään pigmenttihiukkaskokoon ja sekoittaa pigmenttihiukkaset tasaisesti koko väliaineeseen. Jotta saavutettaisiin pigmentin optimaaliset edut, on tarpeen saada mahdollisimman täydellinen pienennys ensisijaiseen hiukkaskokoon. Pigmentin väri vahvuus on riippuvainen pinta-alasta: mitä pienempi hiukkaskoko, sitä suurempi pinta-ala ja sitä

vahvempi väri [6, s. 4–5]. Dissolvereja käytetään kaikille pigmenteille. Se toimii alkujauhatusena, rikkoen suurimmat partikkelit, granulaatit sekä suurimmat agglomeraatit. Tämä tehostaa helmimyllyn toimintaa ja vähentää kokonaisenergian tarvetta. [4.]

Prosessissa täytyy olla korkea voluumivirta, jotta kaikki partikkelit menisivät helmimyllyn kammion läpi tarpeeksi monta kertaa. Tilastollisesti koko erän tilavuuden täytyy mennä kammion läpi vähintään kuusi kertaa, jotta voidaan varmistua siitä, että jokainen partikkeli on kiertänyt kammion läpi. Tällöin voidaan olettaa, että koko erä on hyvin jauhettu ja seos on homogeeninen. Yksi syy tuotteen karkeuteen voi olla se, ettei pumppu syöttö ole ollut tehokas.

Pumpun tehoa nostamalla täytyy samalla huomioida, että paineet nousevat silloin kammiossa. Paine ei suoranaisesti vaikuta negatiivisesti tuotteeseen, mutta koneeseen se vaikuttaa. Koneilla on omat paineenkestävyydet ja paineiden ollessa liian korkeat, niiden liitännät kärsivät. Roottorin nopeus kertoo sen, kuinka kovaa helmet törmäilevät toisiinsa ja hiertävät partikkeleita myllyn sisällä. Roottorin tehojen noustessa, myös lämpötila nousee myllyn sisällä iskuvoimien takia. Lämpötila ei saisi nousta liikaa myllyn sisällä, koska pastan kemialliset aineet eivät välttämättä kestä kovin korkeita lämpötiloja. Tehon lukema kertoo sen, kuinka paljon energiaa kohdistetaan tuotteeseen.

Helmimyllyn moottori tarvitsee enemmän energiaa ja samalla vaatii suurempaa tehoa moottorilta partikkeleiden hiertämiseen korkeaviskoosisilla pastoilla, ja vaikutus on päinvastainen matalaviskoosisilla pastoilla. Tehojen nousu tai lasku on riippuvaista pastan viskositeetista eli tehot ovat enemmänkin seurausta viskositeetin vaikutuksesta.

Jokaiselle tuotteelle on määritelty omat optimaaliset parametrit sekä dissolverissa että helmimyllyssä. Pääsääntöisesti pyritään ajamaan korkeilla roottorin nopeuksilla myllyissä, mutta myllyt kuluvat silloin nopeammin ja samalla niistä häviää kustannustehokkuus.

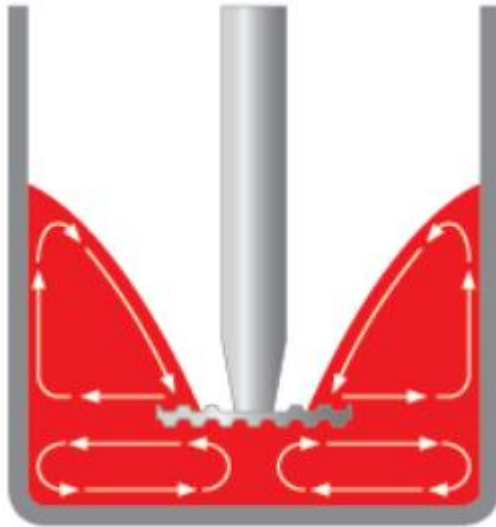
5.1 Dissolveri

Dissolveri on jauhatusmylly, jossa pastan raaka-aineet sekoitetaan ja jauhetaan tasalaa-tuiseksi pastaksi [5, s. 15]. Dissolverin pyöriessä sen virtaukset aiheuttavat

leikkausvoimia, jotka hajottavat pigmentit pienemmiksi hiukkasiksi eli agglomeraateiksi, jotka apuaine kostuttaa. Dispersion aikaansaamiseksi täytyy sekoitinastian ja sekoitinlevyn vastata oikeaa kokosuhdetta ja tämän lisäksi on oltava vielä asianmukaiset sekoitinlevyjenkoot ja -muodot, riittävä pyörimisnopeus, optimoitu täyttökorkeus ja mukautetut myllyn muotoilut. Vaikka edellä luetellut ehdot täyttyisivätkin, dissolverin aiheuttamat leikkausvoimat eivät ole riittävän suuria. [7, s. 229–231.]

Tarvittavan laminaarisen virtauksen luomiseksi astioita ja sekoitinlevyjä sekä täyttökorkeutta ja levykokoonpanoa on sovitettava yhteen edellä mainitulla tavalla. Optimaaliset dispersiotulokset saavutetaan silloin, jos astian halkaisija on noin 2,5–3 kertaa levyn halkaisijan kokoinen, etäisyys sekoitinlevystä astian pohjaan on noin 0,5-kertainen levyn halkaisijan kokoon ja täyttökorkeus on 2 kertaa levyn halkaisijan korkuinen. Tällaisissa olosuhteissa dispersiot ovat mahdollisia, kun levyn kärkinopeus on saavuttanut 24 m/s.

Dissolverin pystysuoran akselin päähän on kiinnitetty sekoitinlevy, joka on samanlainen kuin pyörösahan terä. Sekoitinlevyn terät on aseteltu 90 asteen kulmaan. Sekoitinlevyn terien astekulma vaihtelee tuotekohtaisesti. Dispersio ei tapahdu levyn alueella vaan vaakasuunnassa levyn takana [7, s. 229–231]. Levyn terät ovat suuntautuneet ympärysmittaan siten, että niiden yläpuolelle syntyy ylipainetta ja alapuolella alipainetta. Agglomeraatit, jotka kuuluvat terän vaikutusalueeseen, altistuvat siten lukuisiin, mutta vahvoihin pyörteisiin, jotka hajottavat agglomeraatit. Kuvassa 3 näkyy dissolverin muodostamat virtaukset. [8, s. 233–234.]



Kuva 3. Dissolverin muodostamat virtaukset [9]

Dispersioon vaikuttaa myös viskositeetti. Dissolverin panoserän viskositeetti kasvaa esimerkiksi 3–4 mPas pigmentin lisäyksen yhteydessä. Dissolveri reagoi herkästi panoserän reologisiin ominaisuuksiin. Vaikka viskositeetin nousu on toivottava virtausominaisuus, on olemassa vaara epätäydelliseen virtauskiertoon ja siten epätäydelliseen dispersioon pigmenteille. Viskositeetin nousun vuoksi virrankulutus voi kuitenkin kasvaa dramaattisesti, kun pyörimisnopeutta lisätään, jolloin sekoitinakselin murtuminen on hyvinkin mahdollista. [7, s. 229–231.]

Jos leikkausvoimat riittävät pigmentin dispersioihin, joilla on asianmukaiset reologiset ominaisuudet, dissolverilla on nopea dispergointi. Teoriassa dispersioprosessi kestää alle 15 minuuttia. Dissolvereja, joilla on siirrettävät sekoitusastiat, voidaan siirtää hydraulisesti ylös- ja alaspäin lastauksesta sekoitinlevyjen vaihtamista varten [7, s. 229–231]. Sekoitinastioiden tilavuudet vaihtelevat 80–10 000 litraan [4]. Pyörimisnopeus vaihtelee yleensä hyvinkin paljon. Koko ja siten teho vaihtelevat pienillä, keskisuurilla ja suurilla dissolvereilla, jopa alle 25 kW:sta 200 kW:iin [7, s. 229–231].

Syötetystä energiasta vain pieni osa kuluu agglomeraattien hajottamiseen, minkä takia osa energiasta muuntuu lämmöksi, jolloin pasta lämpenee vähitellen tyypillisesti noin 60 °C:ksi tai jopa kuumemmaksi. Tällä lämmitysvaikutuksella on olennaisesti positiivinen vaikutus pigmentin hajottamisessa ja siten dispersioprosessissa. Jos lämpötila kuitenkin

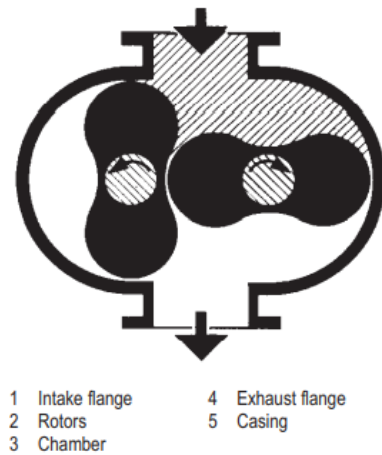
uhkaa nousta yli sallitun rajan, materiaali on jäädytettävä vastajäädyttimellä, joka on asennettu sekoitinastiaan. [8, s. 234.]

5.2 Vakuumpumppu

Vakuumpumppua käytetään kaasunpaineen vähentämiseen pastasta (ilmaukseen) [10, s. 20]. Alipainetta käytetään pastaan syntyneiden ilmakuplien pois imemiseen. Ilmakuplia syntyy muun muassa silloin, kun agglomeraatit hajoavat. Ilma ei liukene nesteeseen, vaan muodostaa kuplia, jolloin kuplat täytyy imeä pastasta pois. Näin ollen on otettava huomioon, että kaasuhiukkaset on poistettava tietystä tilavuudesta [4].

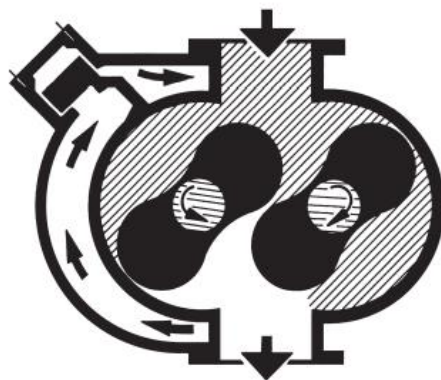
Vakuumpumppuja käytetään pumppuyhdistelmissä yhdessä taustapumppujen pyörivien vanne- ja kiertomäntäpumppujen kanssa ja niiden toiminta-alue ulottuu vakuumin tyhjiöalueelle. Vakuumpumppujen toimintaperiaate mahdollistaa erittäin suurille pumpausnopeuksille, jotka ovat jopa yli 100 000 m³/h. Näitä on usein taloudellisempaa käyttää kuin samalla toiminta-alueella toimivia höyrynheittopumppuja. [10, s. 28.]

Vakuumityhjiöpumppu (kuva 4) on pyörivä positiivisiirtymätyyppinen pumppu, jossa on kaksi symmetrisesti muotoiltua työpyörää, jotka pyörivät pumpun sisällä ja kotelot liikkuvat toistensa ohi lähietäisyydellä. Kotelon seinämän ja roottorien välissä on muutama millimetri vapaata tilaa. Tästä syystä vakuumpumppuja voidaan käyttää suurilla nopeuksilla ilman mekaanista kulumista. Vakuumpumput eivät ole öljytiiviitä, joten puristussuhteet saavutetaan vain alueella 10–100 mbar. Vakuumpumppujen toimintaperiaate perustuu pääasiassa siihen, että pumpun kammion pinta-ala on osoitettu pumpun imupuolelle sekä puristuspuolelle ja ne liikkuvat vuorotellen. Puristusvaiheessa nämä pinta-alat (roottorit ja kotelot) on kuormitettu kaasulla. Imuvaiheen aikana tämä kaasu vapautuu. Kaasukerroksen paksuus riippuu roottorien sekä kotelon seinämän välisestä vapaasta tilasta.



Kuva 4. Vakuumpumpun poikkileikkaus [10]

Kun kyseessä ovat tavalliset vakuumpumput, on otettava käyttöön sellaiset toimenpiteet, jotka varmistavat, että suurinta sallittua paine-eroa ei ylitetä. Tämä tehdään joko painekeytkimellä, riippuen imupaineesta tai käyttämällä paine-eroa tai ylivuotoventtiiliä vakuumpumppujen ohitustiessä (kuva 5). Ylivuotoventtiilin käyttö vakuumpumpun ohitus-tilanteessa on parempi ja luotettavampi ratkaisu. Paino- ja jousikuormitettu venttiili asetetaan tietyn pumpun suurimmaksi sallituksi paine-eroksi. Tämä varmistaa, että vakuumpumppu ei ole ylikuormitettu ja sitä voidaan käyttää millä tahansa painealueella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vakuumpumppu voidaan kytkeä päälle yhdessä taustapumpun kanssa. Paineennousu ei vaikuta haitallisesti yhdistettyyn toimintaan. eli vakuumpumppua ei tarvitse kytkeä pois päältä tällaisissa olosuhteissa. [10, s. 31.]



Kuva 5. Vakuumpumppujen poikkileikkaus ohituslinjalla [10]

5.3 Helmimyllyjauhatus

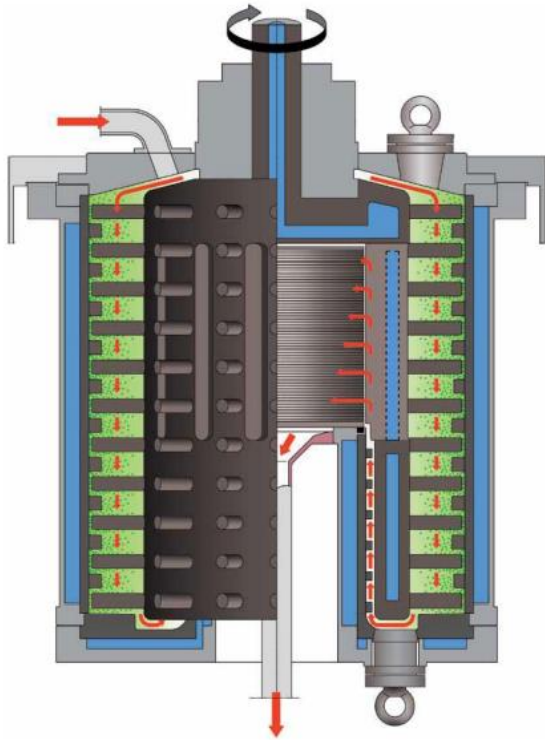
Helmimyllyjä käytetään silloin, jos tuotteelta toivotaan vielä hienojakoisempaa jauhausta. Märkäjauhatusta käytetään silloin, kun halutaan tuottaa pieniä hiukkasia nesteeseen. Koska sisällä olevat helmet kiihtyvät suurelle nopeudelle, koneet pystyvät hiomaan hiukkasia nanokokoon asti. Märkäjauhatuksessa käytetään yleensä vettä kuljetusvälineenä, ja se voidaan korvata myös öljyllä tai muilla nesteillä. [12;13;14.]

Helmimyllyt ovat hioma- ja dispergointikoneita, jotka on suunniteltu jauhamaan tai hajottamaan partikkeleita mikro- ja nanokokoon asti. Hiomakammion sisällä olevat hiomalevyt kiihtyvät kiertämällä akselia ja hiukkaset jauhetaan tai hajotetaan helmien törmäysten ja leikkausvoimien avulla. Hiomakammion ulostulossa on suodatusseula, joka erottaa isommat hiukkaset pienemmistä hiukkasista, mikä mahdollistaa pienhiukkasten jatkuvan tuotannon. [12.]

5.3.1 Helmimyllyn rakenne ja toimintaperiaate

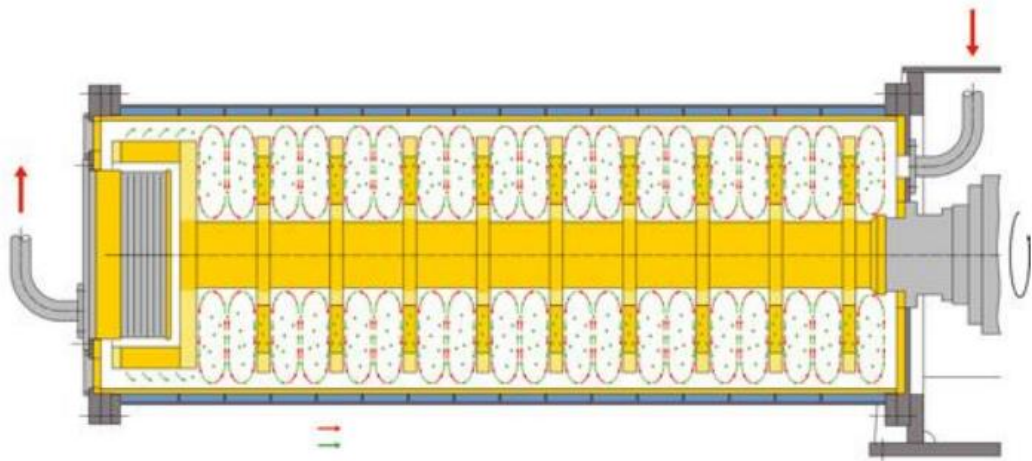
Helmimyllyt ovat onttoja sylintereitä, jotka ollessaan toiminnassa pyörivät vaaka-akselinsa ympäri. Ne täytetään helmillä, jotka ovat yleensä keraamisia tai teräksestä valmistettuja. Eri nopeuksilla kulkevien hiomahelmien suhteellisen liikkeen seurauksena syntyy kitkapintoja, jotka mahdollistavat pigmentin dispergoitumisen. Varsinainen hajontaprosessi tapahtuu silloin, kun helmet kulkevat eri nopeuksilla ja aiheuttavat törmätessään toisiinsa isku- ja leikkausvoimia, jotka hajottavat primaaripartikkelit pienemmiksi hiukkasiksi. Helmimyllyjä löytyy sekä vertikaalisina eli pystysuorasyntereinä (kuva 6) että horisontaalisina eli vaakasuorasyntereinä (kuva 7). [7, s. 238; 8, s. 234.]

Helmimyllyllä on hyvin yksinkertainen rakenne ja se koostuu pääasiassa sekoitusrummista, sekoittimesta, voimansiirtolaitteesta, rungosta ja voitelujärjestelmästä. Spiraalikongitaattori ripustetaan sylinteriin, ja sylinterin voimansiirtolaite saa spiraalisekoittimen pyörimään myötäpäivään, jolloin hionta-astia voi tehdä sylinterissä yleisen moniulotteisen kiertoliikkeen. [12.]



Kuva 6. Vertikaalinen helmimyllyn toimintaperiaate [16]

Pystysuoran helmimyllyn piippu on hitsattu rakenteeseen ja sisäseinään kiinnitetään suojakuori. Sylinterin rungon aukko helpottaa sekoitusakselin huoltoa ja sekoitusastian vaihtamista. Pystysuoran helmimyllyn sekoitusakselilla on spiraaliterät ja sekoitusrakenne on valmistettu kulumista kestävästä materiaalista. Pystysuoran helmimyllyn sekoitusakseli ajaa helmet vahvoihin pyörteisiin hiontavaikutuksen aikaansaamiseksi, ja hajotettava materiaali jauhetaan pienemmiksi hiukkasiksi helmien liikkeen tuottamalla leikkausvoimilla. [14.]

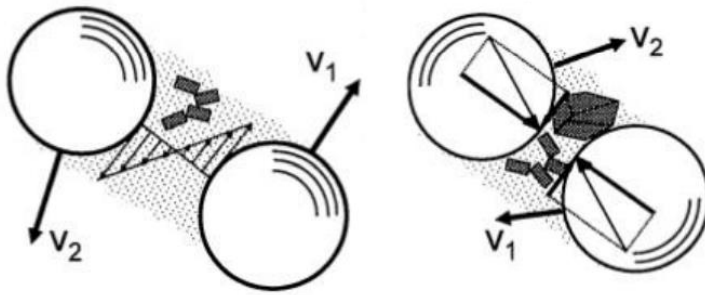


Kuva 7. Horisontaalisen helmimyllyn toimintaperiaate. [16].

Horisontaalisen helmimyllyn sylinterin runko on vaakasuorassa laakerilla molemmista päistä. Vaakahelmimyllyllä on vakaa suorituskyky, yksinkertainen toiminta ja enemmän uutta suunnittelua. Kun horisontaalinen helmimylly käynnistyy, sen piippu alkaa pyöriä. Hajotettava materiaali nostetaan tiettyyn korkeuteen ja altistetaan painovoiman vaikutukselle. Helmien yhteen törmäykset saavat materiaalin partikkelit hajoamaan pienemmiksi hiukkasiksi, agglomeraateiksi. [15.]

5.3.2 Helmien valinta

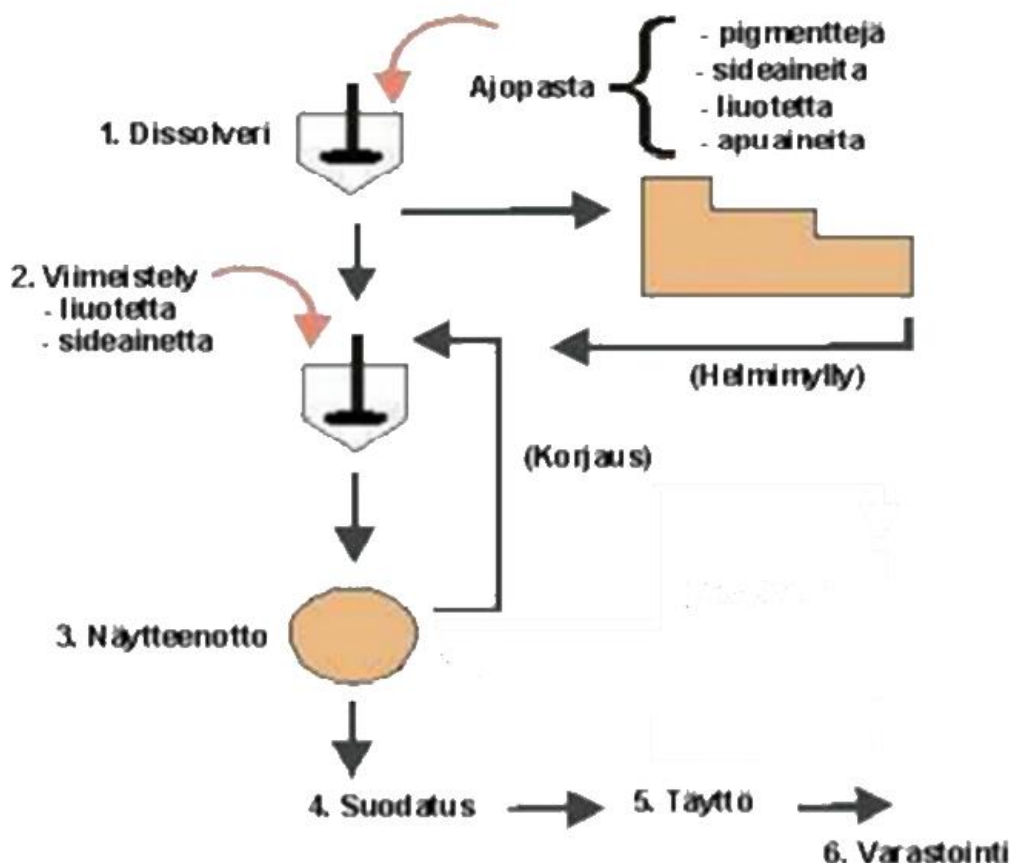
Helmien materiaalina käytetään esimerkiksi terästä, zirkoumoksidia tai alumiinioksidia. Helmien halkaisijan koko riippuu siitä, kuinka hienojakoisempaa jauhatusta tuotteelta toivotaan, esimerkiksi helmien halkaisijan ollessa 0,2–0,5 mm saadaan erittäin hienojakoista jauhatusta. Mitä painavimmat helmet ovat, sitä tehokkaampi jauhaminen on, mutta myllyn kuluminen kasvaa saman aikaisesti (kuva 8). Helmien tiheydellä on epäsuora vaikutus dispersion tulokseen. Teräksestä valmistettuja helmiä ei käytetä vaaleanväristen pastojen hajottamiseen niiden tuottaman tumman hiomapölyn takia. Todennäköisyys sille, että agglomeraatti kulkee kahden helmen välille, kasvaa helmien määrän kasvaessa myllyssä. Helmien määrä on verrannollinen suureeseen $1/d^3$, jossa d on myllyn halkaisija. [8, s. 238.]



Kuva 8. Helmien hiertymien vaikutuksesta pigmenttipartikkeleiden dispergoituminen [16]

6 Sävytyspasta valmistusprosessi

Sävytyspasta valmistetaan maalin ominaisuuksien perusteella. Maalille formuloidaan eli laaditaan maaliresepti, johon etsitään oikeat raaka-aineet, joilla täytetään kyseiselle maalille asetetut vaatimukset sekä toivotut ominaisuudet eli optimiominaisuudet. Joissain määrin joudutaan tinkimään jostain toivutusta ominaisuudesta. Silloin yleensä muutetaan asteittain kerrallaan koesarjojen aikana yhden raaka-aineen laatua ja määrää. Nykyisin käytetään tietokoneohjelmia apuna maalireseptin laadinnassa. Tämän vaiheen jälkeen ajopasta valmistetaan reseptin mukaan. Kuvassa 9 näytetään pastan valmistusprosessin eri vaiheet. [5, s. 14–15.]



Kuva 9. Pastan valmistusprosessi [11, muokattu]

Pasta sisältää kaikki jauhemaiset raaka-aineet, kuten pigmentit ja täyteaineet, sekä osan apuaineista, sideaineista ja liuotteista, joita reseptissä on mainittu. Vesiohenteisten säilytyspastojen valmistuksessa liuotteena käytetään yleensä vettä. Pigmentit ja täyteaineet dispergoidaan eli jauhetaan dissolverissa, jossa pigmentti- ja täyteainepartikkelit irtoavat toisistaan. Sideaine kostuttaa pigmentit jauhatuksen aikana, jolloin raaka-aineet sekoittuvat keskenään tasalaatuisiksi pastaksi. Pigmentit ja täyteaineet ovat pieniä hiukasia, jotka herkästi takertuvat toisiinsa kiinni isommiksi paakuiksi. Pastan dispergoinnissa pigmentti- ja täyteainepaakut rikotaan ja kostutetaan kostutin- tai apuaineilla. Käsillä sekoittamalla paakkuja ei saada rikottua, jolloin pastasta tulee karkealaatuista.

Dispergoinnin jälkeen tarkistetaan jauhetun tuotteen jauhatusaste. Jauhatusaste riippuu paljolti maalityypistä [5, s. 14–15].

Jos vaaditaan hienojakoisempaa jauhatusta, pasta jauhetaan hienommaksi helmimyllyssä, etteivät pigmentti- ja täyteainepaakut näkyisi maalikalvolla. Sideaine ja hienojakoisempi jauhatus aikaansaavat maalille korkeamman kiiltoasteen [4]. Lopuksi ajopastaan lisätään loput raaka-aineet ja pasta sekoitetaan tasaiseksi seokseksi. Sekoitetusta pastasta otetaan näyte, jota tutkitaan laadunvalvontalaboratoriossa. Jos pastaerä hyväksytään laboratoriossa, pasta suodatetaan ja lopuksi purkitetaan [5, s. 14–15].

7 Viskositeetin mittaus

Pastan viskositeetteja määritetään Krebs-stormer (KU) -viskositeettimittarilla (kuva 10). Melatyypinen roottori pyörittää laitetta ja ilmoittaa viskositeettiarvon Krebs-Units (KU) -yksiköissä. Krebs-Units (KU-yksiköt) ovat arvoja, jotka ilmaisevat siveltimellä tai rullalla levitettävien maalien viskositeettien yhdenmukaisuutta. Instrumentin mittausalue on 53–140 KU. Pyörivä melatyypinen viskometri on digitaalinen ja roottorin leikkausnopeus on säädetty 200 rpm:iin.



Kuva 10. Brookfiel-viskometri [18]

Testimenetelmää varten tarvitaan 250 ml:n kokoinen lasipurkki, jonka halkaisija on 65 mm ja korkeus 75 mm. Astia voi olla myös joko muovia tai metallia, kunhan niiden halkaisija on 65 mm. Jos käytetään halkaisijaltaan erilaisia astioita, on huomioitava se, etteivät tulokset erikokoisten astioiden kesken ole verrattavissa. Kokeissa lämpötila vaihtelee 0–50 °C:ssa. Kokeessa astia täytetään pastalla noin 60 mm:n korkeudelle näyteastian pohjasta katsottuna. Näytteen lämpötilan annetaan asettua 25 ± 1 °C. Ennen mittauksen aloittamista näytettä sekoitetaan hyvin 15 sekunnin ajan spaattelilla, välttäen samalla ilmakuplien muodostumista näytteeseen. Kun vertaillaan eri näytteiden tuloksia keskenään, on tarkistettava samalla, että näytemäärät, käytettyjen astioiden koot ja lämpötilat ovat olleet samat kaikilla.

Tämän jälkeen astia asetetaan oikealle alustalle ja viskometrin roottori lasketaan alas mitattavaan näytteeseen. Roottorin melat eivät saa olla lähellä astian reunoja, koska se vaikuttaisi testitulokseen. Roottori on asennettava astian keskivaiheille, jolloin testitulokset ovat paikkansa pitäviä. Roottori käynnistetään ja odotetaan 5 sekunnin ajan ja laite ilmoittaa lukeman näytölle sen tasaantuessa. Jos lukema ei tasaannu 5 sekunnin aikana, lukema otetaan ylös 30 sekunnin mittauksen jälkeen. Lukema pidetään näytöllä painamalla hold-nappia. Mittauksen jälkeen roottori nostetaan ylös mitattavasta näytteestä, astia poistetaan alustalta ja roottorin melat puhdistetaan sopivalla liuottimella. Roottori irrotetaan aina pois meloista puhdistuksen ajaksi. Testitulokset raportoidaan Krebs Units (KU) ja siinä lämpötilassa, jossa mittaus tehtiin, esimerkiksi KU 85 / 25,0°C. [17.]

8 Työn suoritus, tulokset, havainnot

Taulukkoon 1 on koottu yhteensä 15 sävytyspastatuotetta. Nämä tuotteet päätyivät seurantalistalle, sillä valittiin rajaksi 20 % niille valmistuserille, jotka päättyivät uudelleen jauhukseen. Listalla olevat sävytyspastojen lisäajojen tiedot ovat vuodelta 2019 ja tarvittavat muutokset tehtiin pastojen reseptikaavoihin jo silloin. Vuonna 2020 pastat tulivat uudestaan lisäajoon, jolloin tehtiin tarvittavat mittaukset, joiden perusteella pystyttiin toteamaan, autoivatko reseptikaavamuutokset aiempaan ongelmaan vai tehdäänkö uusi muutos reseptikaavaan.

Taulukon 1 vasemmalla puolella lukee tuotesarjojen nimet ja erien nimet, jotka ovat kahdella tai kolmella kirjaimella nimettyjä. Seuraavaksi lukee ajettujen erien määrä ja kuinka

montaa erää oli joutunut lisäjauhatukseen. Lopuksi lukee prosentuaalinen määrä lisäjauhatukseen joutuneista eristä. Prosentuaalinen määrä laskettiin lisäjauhatukseen joutuneiden erien määrä jaettuna koko erienmäärällä ja lopuksi sadalla kerrottuna.

Taulukko 1. Lisäajon tiedot.

Tuotesarja	Tuote	Erien lukumäärä	Lisäjauhettujen erien lukumäärä	Lisäjauhettujen erien prosenttimäärä [%]
Aqua Spectrum	BG	5	2	40,0
	RT	12	3	25,0
	TM			
Star Spectrum	SW	4	3	75,0
	RW	5	3	60,0
	TW	6	3	50,0
	MW	2	1	50,0
Juoppi Z	QT	6	2	33,3
Juoppi R	QR	14	3	21,4
Metropoli	MP	19	6	31,6
	MT	5	2	40,0
	MJ	2	2	100,0
	MK	1	1	100,0
Novita W	GRF	3	2	66,7
	Pw13	9	7	77,8

Mittauksia tehtiin vuonna 2020 sitä mukaa, miten sävytyspastoja tuli uudestaan tuotantoon kahdeksan viikon aikana. Sävytyspastojen nimet ja eränumerot sekä asiakkaiden tiedot on poistettu tai nimetty uudelleen salassapitovelvollisuuden vuoksi. Työ suoritettiin viskositeetteja mittaamalla LV 330 KU-1 -nimisellä laitteella.

Viskositeettien mittausten lisäksi kirjattiin myös dissolverin sekä myllyn pumpun teho, paine, roottorin pyörimisnopeus, lämpötila ja tehon lukemat, koska näilläkin oli vaikutusta pastan ominaisuuksiin, jauhatukseen, värivoimakkuuteen ja saantoon.

8.1 Viskositeetti mittaukset

Pastan viskositeetteja seurattiin 25 °C:ssa ennen jauhatuksia sekä niiden jälkeen. Näytteitä otettiin prosessin eri vaiheissa, joita olivat muun muassa dispersion jälkeen, ennen ilmausta, ennen myllyä, dispergoinnin jälkeen, ennen lisäaineiden lisäämistä, ennen loppuvesiä, loppuvesien jälkeen ja myllyajon jälkeen.

Aqua Spectrum -tuotesarjan BG-tuotteesta tehtiin yksi viskositeettimittaus ja se oli myllyajon jälkeen, ennen loppuvesiä. Viskositeetti näkyy taulukossa 2.

Taulukko 2. BG-tuotteen viskositeetti.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
BG	25	(myllyn jälkeen, ennen loppuvesiä)
		102

Viskositeetti todettiin hyväksi. Tähän tuotteeseen vaihdettiin raaka-aineita sekä lainsäädännöllisistä että taloudellisista syistä.

Aqua Spectrum -tuotesarjan RT-tuotteesta mitattiin kaksi eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat ennen loppuvesien lisäämistä ja loppuvesien lisäämisen jälkeen. Viskositeetit näkyvät alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. RT-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
RT	25	(ennen loppuvesiä)
		128
	25	(loppuvesien jälkeen)
		77

Viskositeetti ennen loppuvesiä todettiin hyväksi viskositeettiarvoksi, mutta loppuvesien lisäämisen jälkeen se laski tarpeettoman alhaiseksi, ihan viskositeettipykälien alarajoille. Ennen varotaan vesien ylioptimointia, koska pigmenttipitoisuuden lisääminen tuotteeseen on haastavampaa, kuin loppuvesien määrän vähentäminen.

Aqua Spectrum -tuotesarjan TM-tuotteesta tehtiin yksi viskositeettimittaus, joka oli myllyajon jälkeen, ilmattu ja ennen loppuvesien lisäystä. Viskositeetti näkyy alla olevassa taulukossa 4.

Taulukko 4. TM-tuotteen viskositeetti.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
QR	25	(myllystä, ilmattu, ennen loppuvesiä)
		133

Kyseessä on violettipigmenttinen pasta, jolloin on hyvin tyypillistä, että myllyajon jälkeen viskositeetti on korkea. Korkea viskositeetti myllyssä on senkin vuoksi hyvä, koska korkeaviskoosisilla pastoilla on suurempi tiheys eli partikkeleita on enemmän nesteessä, jolloin ne törmäilevät ja leikkaavat toisiaan paremmin myllyssä. Violettipigmenttisillä se toisaalta voi olla riskialtista, mutta tuote pyöri hyvin myllyssä, eikä joutunut lisäjauhatukseen, jolloin todettiin tämän viskositeettiarvon olevan hyvä.

Star Spectrum -tuotesarjan RW-tuotteesta mitattiin kolme eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat heti dispersion jälkeen, näytteen asettuessa 25 °C:n lämpötilaan ja ennen myllyä. Viskositeetit on kirjattu alla olevaan taulukkoon 5.

Taulukko 5. RW-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
RW	34	(heti dispersion jälkeen)
		138
	25	(näytteen asettuessa 25°C lämpötilaan)
25	25	(ennen myllyä)
		111

Viskositeetti heti dispersion jälkeen todettiin hyväksi, tosin se oli hieman korkeahko arvo. Lämpötila voisi myös olla korkeampi, koska hyväksi dispergointilämpötilaksi on todettu 40 °C, jolloin lämpötila 34 °C jää aika alhaiseksi dispergointilämpötilaksi. Silloin dispergointi ei ole ottanut kaikkia tehoja agglomeraattien rikkomisessa. Syynä alhaiseen dispergointilämpötilaan voi olla myös se, ettei dispersiota ole optimoitu oikein, koska

lämpötilaa nostamalla viskositeetin arvo laskee noin kaksi pykälää ja viskositeetti sai olla korkeampi. Ennen myllyä pastan viskositeetti laskettiin ja sekin todettiin hyväksi, koska pasta pyöri ja sekoittui hyvin myllyssä jo näilläkin viskositeettiarvoilla. Todettiin näiden kolmen viskositeettiarvojen olevan hyviä.

Star Spectrum -tuotesarjan TW-tuotteesta mitattiin kolme eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat dispergoinnin jälkeen sekä lisäaineiden ja vesien lisäyksen jälkeen, tuotetta ei ilmattu, ilmauksen jälkeen ja loppuvesien jälkeen. Viskositeetit on koottu alla olevaan taulukkoon 6.

Taulukko 6. TW-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
TW	34	(dispergoinnin jälkeiset lisäaineet & vedet lisätty, ei ilmattu)
		>140
	25	(ilmattu)
		>140
	25	(ennen loppuvesiä)
		>140
	25	(400 kg vettä lisätty)
		98

Tuotteen viskositeettimittaus osoittautui vaikeaksi, koska instrumentin mittausalue oli 53–140 KU ja laite ilmoitti näytölle viskositeetin lukemaksi 140 KU. Tuote oli rautaoksidinkeltainen eli se sisälsi kahta eri pigmenttiä, ja niiden suhdetta säädettiin ja viskositeettia muutettiin pienemmäksi lisäämällä vettä 400 kg. Tehtyjen muutosten jälkeen otettiin uusi viskositeettimittaus ja se todettiin hyväksi viskositeettiarvoksi.

Star Spectrum -tuotesarjan MW-tuotteesta tehtiin yksi viskositeettimittaus ja se oli myllyn jälkeen, ennen loppuvesien lisäystä. Viskositeetti näkyy alla olevassa taulukossa 7.

Taulukko 7. MW-tuotteen viskositeetti.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
MW	25	(myllyn jälkeen, ennen loppuvesiä)
		95

Viskositeetti todettiin hyväksi, koska tuotteen viskositeettia säädettiin laboratoriossa vielä alemmaksi eli säätövaraa oli riittävästi.

Juoppi Z -tuotesarjan QT-tuotteesta mitattiin kaksi viskositeettiarvoa yhdestä prosessivaiheesta, joka oli myllyajon jälkeen ennen loppuvesiä. Viskositeetit on kirjattu alla olevaan taulukkoon 8.

Taulukko 8. QT-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
QT	25	(myllyajon jälkeen ennen loppunesteitä)
		80
	25	(lopullinen näyte)
		75

Viskositeetti 80 KU oli aika matala viskositeetiksi ennen loppuvesien lisäystä, mutta se on hyvin tyypillistä violettipigmenttisillä pastoilla. Pigmentiltään violettisävyiset ovat orgaanisia pigmenttejä ja ennen jauhatusta viskositeettiarvo on korkeampi, mutta jauhatuksen aikana pigmentistä vapautuu enemmän pinta-alaa, jonka kostutinaineet kostuttavat. Violettipigmentillä on toiseksi pienin raekoko, mustalla on kaikkein pienin raekoko, joten on hyvin tyypillistä, että violeteilla viskositeetti on aluksi korkea, jolloin siihen lisätään ohenteita, että viskositeetista tulisi matalampi, jotta se pyörisi myllyssä paremmin.

Vasta jauhatuksen lopussa kostutinaineita on sopiva määrä suhteutettuna pinta-alaan ja violeteille on hyvin tyypillistä alhainen viskositeetti, joten arvo 80 KU todettiin hyväksi viskositeettiarvoksi. Laboratoriossa viskositeettia säädettiin vielä matalammaksi, jolloin lopullinen viskositeettiarvoksi tuli 75 KU ja sekin todettiin hyväksi viskositeettiarvoksi, koska yleensä se säädetään alueelle 70–75 KU eli 80 KU ennen säätöä on jo hyvä viskositeettiarvo.

Juoppi R -tuotesarjan QR-tuotteesta mitattiin kaksi eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat myllyn jälkeen ennen loppuvesiä ja loppuvesien jälkeen. Mitatut viskositeetit on koottu alla olevaan taulukkoon 9.

Taulukko 9. QR-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
QR	25	(myllyn jälkeen ennen loppuvesiä)
		104
	25	(loppuvedet laitettu)
		74

Todettiin, että viskositeetit myllyn jälkeen ja loppuvesien jälkeen olivat hyviä. Kyseessä oli taas violettipigmenttinen pasta, jolloin on hyvin tyypillistä, että viskositeetti arvo laskee paljon loppuvesien lisäysten jälkeen. Toisaalta viskositeetti 104 KU on turhan korkeahko myllyn jälkeen, koska siinä on mukana huuhteluvedet. Yleensä myllyajon jälkeen lisätään huuhteluvedet, jotka huuhtelevat myös myllyn kammion eli pastaerän mukana tulevat huuhteluvedet. Huuhteluvesiä oli todennäköisesti siirretty liian paljon ja vesi vaikuttaa viskositeettiin. Tähän tuotteeseen lisättiin lisää apupigmenttejä, jotka korjasivat edellä olevan ongelman.

Metropoli-tuotesarjan MT-tuotteesta mitattiin kaksi eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat ennen loppuvesiä ja loppuvesien lisäysten jälkeen. Viskositeetit on koottu alla olevaan taulukkoon 10.

Taulukko 10. MT-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
MT	25	(ennen loppuvesiä)
		133
	25	(jälkeen loppuvesien)
		108

Viskositeetit ennen loppuvesiä ja loppuvesien jälkeen todettiin hyväksi viskositeeteiksi, eikä tuotetta lisädispergoitu. Kaavamuutoksia ei tehty tähän tuotteeseen, vaan tuote päättyi seurantaan.

Metropoli-tuotesarjan MK-tuotteesta mitattiin kolme eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat dispergoinnin jälkeen, ennen loppuvesien lisäystä, ennen myllyä, loppuvesien lisäyksen jälkeen ja ennen lisäaineiden lisäystä. Viskositeetit näkyvät alla olevassa taulukossa 11.

Taulukko 11. MK-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
MK	25	(dispergoinnin jälkeen ennen loppuvesiä)
		126
	25	(ennen myllyä, loppuvedet laitettu)
109		
25	25	(ennen lisäaineita)
		100

Kaikki viskositeettiarvot todettiin hyväksi. Yleensä viskositeettiarvot ovat, etenkin tässä tuotteessa, alueella 100–110 KU. Loppuviskositeetti 100 KU voisi olla hieman korkeampi, koska laboratoriossa sitä säädetään vielä alemmaksi eli korkeampi viskositeetti toisi enemmän säätövaraa tuotteelle. Kyseessä on pasta, joka on pigmentiltään rautaoksidipunainen ja sen viskositeetti säädetään yleensä alueelle 85–95 KU.

Metropoli-tuotesarjan MJ-tuotteesta mitattiin kolme eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat dispergoinnin jälkeen, ennen loppuvesiä, dispergoinnin jälkeen, loppuvedet laitettu ja myllyn jälkeen, ennen loppunesteitä. Viskositeetit näkyvät alla olevassa taulukossa 12.

Taulukko 12. MJ-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
MJ	25	(dispergoinnin jälkeen, ennen loppuvesiä)
		84
	25	(dispergoinnin jälkeen, loppuvedet laitettu)
76		
25	25	(myllyn jälkeen, ennen loppunesteitä)
		80

Todettiin kaikkien viskositeettiarvojen olevan liian matalaviskoosisia. Mittaus tehtiin heinäkuun 2020 alussa, jonka jälkeen viskositeettia muutettiin korkeammaksi eli lisättiin paksuntajia ja pigmentti vaihdettiin toiseen. Muutokset eivät tehonneet, vaan muutosten jälkeen kaikki ajettut erät päättyivät lisäjauhatukseen.

Novita W -tuotesarjan GRF-tuotteesta mitattiin kolme eri viskositeettia eri prosessivaiheissa, jotka olivat heti dispersion jälkeen, näytteen asettuessa 25 °C:n lämpötilaan ja myllyssä jälkeen ennen ilmausta. Viskositeetit näkyvät alla olevassa taulukossa 13.

Taulukko 13. GRF-tuotteen viskositeetit.

Tuote	Lämpötila °C	Viskositeetti η
GRF	32	(heti dispersion jälkeen)
		113
	25	(näytteen asettuessa 25 °C)
		123
	25	(myllyssä, ennen ilmausta)
		91

Heti dispergoinnin jälkeinen viskositeetti todettiin hyväksi paitsi, että se saisi olla hieman korkeampi. Viskositeetit määräytyvät pitkälti koneen parametrien mukaan eli tehojen ja dissolverin terän halkaisijan, profiilin ja kärkinopeuden mukaan. Jos terä on iso koneeseen nähden, silloin viskositeettia lasketaan alemmas, jotta dissolveri jauhaisi pastan agglomeraatit kunnolla.

Jos kyseessä on pienempi erä, silloin viskositeetti voi olla vähän korkeampi. GRF-tuote tehtiin pienessä dissolverissa. Kylmemmässä viskositeetti on matalampi, mikä on hyvin tyypillistä ja lämpimämpänä se on taas korkeampi. Dispergoinnin jälkeen ennen myllyjauhatusta viskositeetti säädettiin alemmas, jotta pastaerä liikkuisi paremmin myllyn sisällä kammiossa. Jos pasta on liian paksua niin se ei sekoitu silloin kunnolla, jolloin vaarana on sekä paineiden että lämpötilan nousu sen mukana. Viskositeetit säädetään yleensä 100–105 KU ja 91 KU todettiin sopivaksi viskositeettiarvoksi. Novita W -tuotesarjan GRF-tuote ei päätynyt lisäajoon heinäkuussa 2020.

8.2 Dissolverin ja helmimyllyn parametrit

Dissolverin akselin pyörimisnopeus eli kierroksien maksiminopeus oli 800 [1/min]. Dissolverin moottorin optimaaliset tehot olivat 110 kW. Yleensä dissolverissa pyörimisnopeutta on 700 kierrosta minuutissa.

Helmimyllyn pumpun parametri merkitään [%] sen vuoksi, koska pumppu syöttää 90 %:n syöttönopeudella 2 200 litraa/tunnissa pastaa myllyn kammioon ja takaisin tankkiin. Myllyn paineraja oli säädetty 2 baariin asti. Myllyllä maksimi roottorin nopeus oli 750 kierrosta minuutissa. Helmimyllyn moottorin tehon maksimiraja oli 45 kW.

Dispergoinnin lisäajon aikana kirjattiin dissolverin parametrien lukemat ylös. Dispergoinnin jälkeen ennen loppuvesien lisäystä sekä loppuvesien jälkeen dissolverin pastasta otettiin näytteet ja näytteet vietiin laboratorioon analysoitavaksi.

Helmimyllyjauhatuksen lisäajon aikana kirjattiin parametrien lukemat ylös. Myllyjauhatuksen jälkeen ennen loppunesteiden lisäystä myllyn pastasta otettiin näyte ja näyte vietiin laboratorioon analysoitavaksi.

Aqua Spectrum -tuotesarjan BG-tuotetta seurattiin helmimyllyjauhatuksen aikana ja lisäajon aikana kirjattiin parametrien lukemat. Ne on koottu taulukkoon 14.

Taulukko 14. BG-tuotteen helmimyllyn parametrit.

Tuote	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
BG	60		685		

Painetta, lämpötilaa ja tehoa ei saatu mitattua, koska ne heittelevät koko ajon aikana eli olivat hyvin epävakaita. Pumpun syöttö ja roottorin nopeus olivat tarpeeksi suuria ja ne todettiin riittäviksi lukemiksi.

Aqua Spectrum -tuotesarjan RT-tuotetta seurattiin dispergoinnin aikana ja lisäajon aikana kirjattiin dissolverin parametrien lukemat, jotka näkyvät taulukossa 15.

Taulukko 15. RT-tuotteen dissolverin parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]
RT	740	70–80

Kierrokset ja tehot todettiin hyväksi lukemiksi eli dissolverin parametreissa ei ollut mitään säätämisen tarvetta. Tehot heittelevät taas 70–80 kW, mutta tämä ei vaikuttanut joh-topäätösten tekemiseen.

Aqua Spectrum -tuotesarjan TM-tuotetta seurattiin helmimyllyjauhatuksen aikana ja ajon aikana kirjattiin parametrien lukemat. Taulukossa 16 on esiteltynä saadut tulokset.

Taulukko 16. TM-tuotteen helmimyllyn parametrit.

Tuote	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
TM	45	0,8	675	34,2	30

Pumpun syöttömäärä todettiin riittäväksi, vaikka se oli vähän alakantissa. Yleensä pump-puteho tässä tuotteessa saisi olla 60–80 %, mutta ilmeisesti 45 % oli riittävä, koska pasta oli pyörinyt hyvin myllyssä.

Paineen todettiin olevan liian matala, jolloin sitä voisi vielä nostaa, jotta pasta menisi paljon paremmin kammion läpi. Roottorin nopeus saisi olla vielä korkeampi. Syy siihen, miksi roottorin nopeutta on pudotettu alemmas voi johtua lämpötilasta. Lämpötila oli kuitenkin 34,2°C, joka on lämpötilaksi vielä matala. Tehot olivat 30 kW, mikä todettiin riittäväksi, ottaen huomioon sen, että roottorin tehojen maksimiraja oli 45 kW.

Kyseessä on violettipigmenttinen pasta, jolloin aluksi sen viskositeetti on korkeampi ennen jauhatusta, jolloin pumpun syöttö ja roottorin nopeutta pidetään pienempinä, mutta jauhatuksen aikana niitä saisi nostaa, koska violettipigmenttisillä pastoilla viskositeetti laskee jauhatuksen aikana. Tehoja kuitenkin pidetään matalampina, etenkin violettipigmenttisillä pastoilla, koska korkeat tehot kuluttavat myllyä ja sen helmiä, ja paremmin tehoja saadaan kohdistettua partikkeleihin, kun ne ovat vähän matalat.

Star Spectrum -tuotesarjan MW-tuotetta seurattiin helmimyllyjauhatuksen aikana ja ajon aikana kirjattiin parametrien lukemat ja ne näkyvät taulukossa 17.

Taulukko 17. MW-tuotteen helmimyllyn parametrit.

Tuote	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
MW	50	1,63	580	34,3	26,6

Paine oli 1,63 bar, mikä on tavanomaista korkeampi paine. Normaalisti paine katsotaan myllyn letkuissa olevan erillisen painemittarin avulla, joka mittaa paineen ennen kammiota ja se on tietenkin matalampi ja kammion sisällä tietenkin korkeampi kuin ulkopuolella. Paine oli tavanomaista korkeampi, ja se rajoitti pumppu syötön ja roottorin nopeuksien nostattamista. Roottorin kierroksia on otettu paljon alas, mutta se johtuu yksinomaan korkeasta paineesta. Tässä tapauksessa pigmenttiä kannattaa jauhaa pienillä pumpun ja roottorin lukemilla, jotteivat myllyn osat hajoaisi jauhatuksen aikana. Tuotteen kohdalla yleensä roottorin nopeus on rajoitettu 600 1/min ja lukema oli 580 /min, jolloin tälläkin perusteella lukemia voidaan pitää hyvinä.

Star Spectrum -tuotesarjan SW-tuotteesta seurattiin kahta samaa eränumeroltaan olevaa tuotetta. Toista seurattiin dissolverissa ja toista helmimyllyjauhatuksen aikana. Dispergoinnin lisääjon aikana kirjattiin dissolverin parametrien lukemat. Molempien lukemat näkyvät taulukossa 18.

Taulukko 18. SW-tuotteen dissolverin ja helmimyllyn parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]			
SW	730	115			
	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
	80	0,9	700	20,8	29,5

Dissolverin kierrokset ja tehot todettiin hyviksi lukemiksi. Dissolverin tehon lukema oli aika korkea, mutta on hyvin tyypillistä kyseiselle tuotteelle, että tehon lukemat nousevat korkeiksi jauhatuksen aikana. Helmimyllyn pumpun syöttö ja roottorin nopeus todettiin hyviksi. Paine, lämpötila ja tehon lukemat eivät nousseet liian korkeiksi, jolloin niille ei tehty mitään muutoksia.

Juoppi R -tuotesarjan QR-tuotteesta seurattiin kahta samaa eränumeroltaan olevaa tuotetta. Toista seurattiin dissolverissa ja toista helmimyllyjauhatuksen aikana. Dispergoinnin ja helmimyllyn lisääjon aikana kirjatut parametrit lukemat näkyvät taulukossa 19.

Ylempänä taulukossa on dissolverin lukemat ja alempana taulukossa helmimyllyn lukemat.

Taulukko 19. QR-tuotteen dissolverin ja helmimyllyjauhatuksen parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]			
QR	730	90–100			
	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
	75	0,5	665	39,5	29,3

Dissolverin kierrokset ja tehot todettiin hyviksi lukemiksi. Tehon lukemat heittelevät ajon aikana 90–100 kW. Kyseessä oli violettipigmenttinen pasta, jolloin on hyvinkin tyyppillistä, että tehon lukemat vaihtelevat ajon aikana. Jauhatuksen aikana pigmenteistä vapautuu enemmän pinta-alaa, jonka kostutinaineet kostuttavat. Viskositeettiarvo sen vuoksi laskee, koska kostutinaineita on enemmän suhteessa pinta-alaan. Pinta-alaa enemmän vapautuessa, jauhettavaa on luonnollisesti enemmän.

Samaa tuotetta seurattiin myös helmimyllyjauhatuksen aikana. Pumpun ja roottorin nopeuden lukemat todettiin hyviksi. Lämpötila ja teho eivät nousseet ajon aikana liian korkeiksi, jolloin nekin todettiin hyviksi. Näillä edellä luetuilla lukemilla ei ollut mitään säätövaraa eli lukemat olivat jo hyvin sopivia kyseiselle tuotteelle.

Juoppi Z -tuotesarjan QT-tuotetta seurattiin helmimyllyjauhatuksen lisäajon aikana ja kirjattiin parametrien lukemat. Ne näkyvät taulukossa 20.

Taulukko 20. QT-tuotteen helmimyllyn parametrit.

Tuote	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
QT	90	0,9	700	31,8	30,1

Pumppu syöttö oli 90 %, mikä oli yllättävän korkea, koska pumppu pystyy syöttämään myllyn kammioon 2 200 litraa tunnissa, mikä on varsin suuri määrä, mutta se todettiin hyväksi lukemaksi, samoin muutkin lukemat.

Metropoli-tuotesarjan MT-tuotetta seurattiin dispergoinnin lisäajon aikana ja kirjattiin dissolverin parametrien lukemat, jotka näkyvät taulukossa 21.

Taulukko 21. MT tuotteen dissolverin parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]
MT	790	120

Dissolverin tehot olivat 120 kW, mikä todettiin varsin korkeaksi eli dissolveri pyöritti pastaa täysillä tehoilla ja dissolverin optimaalinenraja oli 110 kW:n kohdalla. Kyseessä on valkoinen pasta eli titaanioksidipigmentti, joka on varsin raskas pigmentti, eli se vaati suurempia tehoja, jotta se pyörisi hyvin dissolverissa. Dissolverin ajon alussa pidetään kierroksia ja tehoja korkealla, etenkin titaanioksidin kohdalla. Dissolverin kierrokset ja tehot todettiin hyväksi lukemiksi.

Metropoli-tuotesarjan MJ-tuotteesta seurattiin kahta samaa eränumeroltaan olevaa tuotetta. Toista seurattiin dissolverissa ja toista helmimyllyjauhatuksen aikana. Dispergoinnin ja helmimyllyn lisääjon aikana kirjattiin dissolverin parametrien lukemat, jotka näkyvät taulukossa 22.

Taulukko 22. MJ-tuotteen dissolverin ja helmimyllyn parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]			
MJ	790	60–80			
	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
	60	0,6	660	33	30

Kierrokset ja tehot todettiin hyväksi lukemiksi. Tehot heittelevät taas 60–80 kW välillä, mutta on hyvin tyypillistä, että ne muuttuvat ajon aikana.

Helmimyllyjauhatuksen aikana huomattiin, että myllyn kansi pyöri jauhatuksen aikana väärään suuntaan. Tämän takia sekoittajan propellit pyörivät väärään suuntaan, jolloin sekoitus on huonompaa. Huoltohenkilö korjasi edellä mainitun vian. Pumpun ja roottorin lukemat todettiin hyväksi myös paine, lämpötila ja teho olivat hyviä.

Metropoli-tuotesarjan MK-tuotetta seurattiin dispergoinnin lisääjon aikana ja kirjattiin dissolverin parametrien lukemat ylös. Ne näkyvät taulukossa 23.

Taulukko 23. MK-tuotteen dissolverin parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]
MK	646	122

Kierrokset todettiin aika alhaiseksi kierrosnopeudeksi, mutta tuote-erän koko oli rajoitettava tekijä dissolverissa eli liian suurilla kierrosnopeuksilla pastaa olisi syöksynyt vakuumipumpun sisään. Tehoa pidettiin korkealla sen vuoksi, että pasta sekoittuisi kunnolla.

Metropoli-tuotesarjan MP-tuotetta seurattiin helmimyllyjauhatuksen lisääjon aikana ja kirjattiin parametrien lukemat. Ne näkyvät taulukossa 24.

Taulukko 24. MP-tuotteen helmimyllyn parametrit.

Tuote	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
MP	50	1	700	33,1	23,8

Pumpun syöttö ja roottorin nopeus todettiin hyväksi lukemiksi, myös muut lukemat olivat hyviä. Paine voisi olla hieman korkeampi, mutta sillä ei olisi mitään merkitystä tuotteen kannalta.

Novita W -tuotesarjan Pw13-tuotteesta seurattiin kahta eri eränumeroltaan olevaa tuotetta. Toista seurattiin dissolverissa ja toista helmimyllyjauhatuksen aikana. Taulukkoon 25 on kirjattu dissolverin lukemat ja taulukkoon 26 helmimyllyn lukemat.

Taulukko 25. Pw13-tuotteen dissolverin parametrit.

Tuote	Kierrokset [1/min]	Teho [kW]
Pw13	691	83,2

Taulukko 26. Pw13-tuotteen helmimyllyn parametrit.

Tuote	Pumppu [%]	Paine [bar]	Roottori [1/min]	Lämpötila [°C]	Teho [kW]
Pw13	55	0,9	680	38,1	29,5

Dissolverin kierrokset ja tehot todettiin hyväksi lukemiksi. Kierrokset voisivat olla korkeammat, mutta kyseessä on pienempi erä, jolloin kierroksia ja tehoja on kannattavampaa pitää matalampina, koska muuten pastaa syöksyy liian suurilla kierroksilla ja tehoilla takaisin vakuumpumppuun.

Toista erää seurattiin myös helmimyllyjauhatuksen aikana. Helmimyllynajon aikana kirjattiin parametrien lukemat. Myllyjauhatuksen jälkeen ennen loppunesteiden lisäystä myllyn pastasta otettiin näyte ja se vietiin laboratorioon analysoitavaksi. Pumpun sekä roottorin nopeuden lukemat todettiin sopiviksi. Pumpun lukema voisi olla taas hieman korkeampi, mutta se oli nähtävästi riittänyt kierrättämään pastaa hyvin myllyssä. Lämpötila ei noussut liian korkeaksi, jolloin sekin todettiin hyväksi. Tehot olivat 29,5 kW ja nekin todettiin hyväksi, koska yleensä tehoja pidetään 30 kW:ssa.

Pumpun ja roottorin nopeuden nostossa vaarana on aina, että paineet ja lämpötila nousevat liian korkeiksi, jolloin paineet vaikuttavat koneen kestävyys ja lämpötila taas pastan kemikaaleihin. Näillä lukemilla ajotapaa voidaan pitää vakaana eli edellä olevat lukemat eivät aiheuttaneet mitään ongelmia ajon aikana.

9 Tulosten tarkastelu ja reseptimuunnokset

Vuonna 2019 tuotetuista Aqua Spectrum -tuotesarjan BG-tuotteen viidestä erästä kaksi olivat joutuneet lisäjauhatukseen liiallisen karkeuden vuoksi. Todettiin, että jauhatusenergian määrän lisääminen saattaisi auttaa liiallisen karkeuden poistamisessa. Jauhatusenergian määrän lisääminen on aika luonnollinen ja helppo tapa korjata tuotteen liiallinen karkeus, jos muissa ominaisuuksissa, kuten viskositeetissa, reologiassa ja lämpötilassa, ei ole todettu mitään ongelmaa.

Helmikuussa (2019) jauhatusenergiaa lisättiin 200 kWh/t:sta 250 kWh/t:iin. Heinäkuussa (2020) tehtyjen viskositeettimittausten perusteella ja uudelleen viiden ajatun erän jälkeen mikään näistä eristä ei joutunut lisäjauhatukseen. Voitiin todeta näiden tulosten perusteella jauhatusenergian määrän lisäämisen auttaneen poistamaan BG:n ongelman.

Vuonna 2019 Aqua Spectrum -tuotesarjan RT-tuotteen kahdestatoista ajetusta erästä kolme olivat joutunut lisäjauhatukseen liiallisen karkeuden vuoksi. Kaiken kaikkiaan eriä

oli ajettu yhteensä 34, ja tästä neljä olivat joutunut lisäjauhatukseen joko karkeuden tai väärän värivoiman takia. Näistä neljästä kolme oli ajettu vuonna 2020 ja neljäs taas vuonna 2018.

Todettiin, ettei kaavamuutoksia tarvitse tehdä, koska 34:stä ajetuista eristä vain neljä olivat joutuneet lisäjauhatukseen, jolloin se olisi 11,7 %, mikä on varsin alhainen lisäjauhatusmäärä. Yleensä alle 10 %:n lisäjauhatusmäärää pidetään hyväksyttävänä rajana. Pigmenttinä oranssi on varsin hankala, ei jauhautuvuuden vuoksi vaan jo maalireseptin formuloinnissa, koska siinä yritetään saada korkeaa pigmenttipitoisuutta.

Pigmenttinä oranssi ei ole niin vahva ja se on jatkuvasti ääri rajoilla. Jopa pienetkin muutokset optimoinnissa, esimerkiksi lämpötiloissa, sekoittuvuudessa ja nopeuksissa eli kuinka nopeasti pigmentti päästetään alas, saattavat saada sen hyvinkin nopeasti muuttamaan kellertäväksi. Kaava on siis koko ajan ääri rajoilla, ja automatisointi voisi olla hyvä ratkaisu, mutta oranssipastan tuotanto tehdään aika täsmällisesti samalla tavalla, jolloin automaatiolle ei ole niin suurta tarvetta.

Viskositeetti oli ollut liian korkea myllyajon jälkeen, jolloin viskositeettia laskettiin alemmas. Aqua Spectrum -tuotesarjan TM-tuote ei joutunut lisäjauhatukseen 2019, siksi sen prosenttimäärää ei näy taulukossa. Heinäkuussa 2020 tuotteen tullessa uudestaan ajoon, siihen vaihdettiin ohennusaine toiseen, jonka jälkeen ajettiin kaksi erää onnistuneesti.

Star Spectrum -tuotesarjan SW-tuotteen neljästä ajetuista eristä kolme olivat päättyneet lisäjauhatukseen liiallisen karkeuden vuoksi. Jauhatusenergiaa ei kuitenkaan nostettu tässä tuotteessa, koska historian mukaan se olisi ollut vuonna 2019 syyskuussa viimeksi jauhatuksessa, eikä kyseinen erä joutunut lisäjauhatukseen. Heinäkuussa tehty viskositeettimittauksen arvo oli ollut hyvä helmimyllyjauhituksen jälkeen. Kyseessä on epäorgaaninen pigmentti, eikä jauhatusenergian määrä saa olla liian korkea violettipigmenttisillä pastoilla. Nyt jauhatusenergia on 200 kWh/t eikä määrää nostettu, koska viskositeetti oli ollut hyvä.

Star Spectrum -tuotesarjan RW-tuotteista viidestä erästä kolme olivat joutuneet lisäjauhatukseen heikon värivoiman takia. Tätä tuotetta oli ylisäädetty nesteiden suhteen eli otettiin nesteitä pois ennen jauhatusta, jolloin värivoima saatiin vahvemmaksi.

Star Spectrum -tuotesarjan TW-tuotteen kuudesta erästä kolme olivat joutuneet lisäjauhatukseen karkeuden takia. Ohennetta lisättiin eli vettä ennen jauhatusta ja tämän jälkeen ajettiin vielä 5 erää, joista yksi päättyi huhtikuussa 2020 lisäjauhatukseen. Heinäkuussa 2020 tuote tuli uudestaan tuotantoon. Silmämääräisesti tuote oli paksua eikä viskositeettimittausta pystytty tekemään, koska viskometri ei pysty mittaamaan yli 140 KU viskoosisia pastoja. Lisättiin vielä lisää ohennetta ennen jauhatusta. Ohenteen lisääminen korjasi edellä olevan ongelman.

Star Spectrum -tuotesarjan MW-tuotteen kahdesta ajetusta eristä toinen joutui lisäjauhatukseen pastan pinnalla esiintyvien reikien vuoksi. Tilastohäiriön vuoksi lukema ei pidä paikkaansa, koska tilaston mukaan eriä olisi ajettu yhteensä 10 ja yksi näistä olisi joutunut lisäjauhatukseen. Tämän jälkeen ajettiin vielä yksi erä, eikä se joutunut lisäjauhatukseen eli mitään tarvittavia kaavamuutoksia tähän tuotteeseen ei tarvinnut tehdä.

Juoppi Z -tuotesarjan QT-tuotteen kuudesta ajetusta erästä kaksi olivat joutuneet lisäjauhatukseen alhaisen viskositeetin vuoksi. Pigmenttinä violetti väri on varsin hankala, koska orgaanisena pigmenttinä sen partikkelikoko on pienempi verrattuna epäorgaaniseen pigmenttiin. Kaava on varsin herkkä pienillekin muutoksille. Tuotteen viskositeettia on säädetty edestakaisin: joko siihen lisättiin välillä ohennetta, sitten taas paksuntajia, koska viskositeetista tuli taas liian matala. Viimeisin säätö on tehty maaliskuussa 2019 ja sen jälkeen 14 erää on ajettu ja vain yksi ajetuista päättyi lisäjauhatukseen. Tämän jälkeen ajettiin vielä heinäkuussa 2020, yhteensä 9 erää eikä mikään näistä eristä päätynyt lisäjauhatukseen, jolloin pystyttiin toteamaan viimeisimmän säädön eli maaliskuussa tehdyn auttaneen.

Juoppi R -tuotesarjan QR-tuotteen neljästätoista ajetuista eristä kolme oli päätynyt lisäjauhatukseen liiallisen karkeuden vuoksi. Tämän jälkeen ajettiin 12 erää vuonna 2020, ja näistä kaksi päättyi lisäjauhatukseen karkeuden takia ja yksi värivoiman takia. Viimeisin muutos kaavaan tehtiin maaliskuussa 2020, ja siinä talkin ja bariumsulfaatin (BaSO_4) määrää muutettiin. Tämän jälkeen ajettiin 8 erää, joista yksi erä joutui lisäjauhatukseen pastalla esiintyvien reikien takia ja toukokuussa kaksi muuta erää lisäjauhettiin värivoiman takia. Prosessiteknisesti tätä tuotetta ei pystytty säätämään vaan tuotteen ongelmat johtuivat kemiallisista syistä. Kuitenkin vain kolme erää oli päätynyt lisäjauhatukseen maaliskuun lisäaineiden muutosten jälkeen, jolloin voidaan todeta muutosten vaikuttaneen positiivisesti tuotteen saantoon.

Metropoli-tuotesarjan MP-tuotteesta oli ajettu yhdeksäntoista erää vuonna 2019 ja tästä kuusi olivat joutuneet lisäjauhatukseen liiallisen karkeuden vuoksi. Ongelmaksi voitiin todeta tuotteen pigmentti, koska se poikkeaa muista pigmenteistä siten, että se on granuloiu eli on muutettu helmimäisempään muotoon, pieniksi tableteiksi. Musta väri on hiiltä, joten se muodostaa hiilipölyä, eikä granuloina niin pölyä paljon. Pigmenttikäyttäjille tämä on suotuisa ratkaisu, etteivät tehtaan tilat olisi mustan hiilipölyn peitossa. Jauhatusvaiheessa eli dispergoinnissa granulaatteja on vaikeampi rikkoa, koska ne pakataan joko suursäkkeihin tai pienempiin säkkeihin, jossa ne saattavat pakkautua kiinni toisiinsa koviksi kappaleiksi, jolloin niitä on jauhatuksessa vaikeampaa rikkoa agglomeraateiksi. Granulaatit ovat itsessään paljon isompia ja kovempia, jolloin helmimylly tarvitsee enemmän energiaa ja voimaa niiden rikkomiseen partikkeleita pienemmiksi. Tämä vaihe tehdään yleensä jo dispergointivaiheessa. Tästä syystä se näkyy tuotteessa karkeutena tai värivoima jää liian alhaiseksi.

Viskositeetin tasoa nostettiin lisäämällä täytepigmenttiä ennen dispergointia ja dispergointiaikaa pidennettiin. Dispergointiajan pidentäminen helpotti helmimyllyjauhatusta, jolloin kokonaisenergiaa voitiin laskea, ja prosessiin lisättiin vielä yksi vaihe lisää eli vakumointi ennen helmimyllyjauhatusta. Muutosten jälkeen mikään ajetuista eristä ei joutunut lisäjauhatukseen.

Metropoli-tuotesarjan MT-tuotteen viidestä ajetusta erästä kaksi olivat päättyneet lisäjauhatukseen liiallisen karkeuden vuoksi vuonna 2019. Dispergointiaikaa pidennettiin 50-minuuttiseksi, koska kyseessä oli valkoinen pigmentti eli titaanioksidi, jota ei jauheta myllyllä vaan dispergoidaan. Titaanioksidille on hyvinkin tyypillistä pitkät dispergointiajat. Dispergointiajan pidentämisen lisäksi lisättiin vielä paksuntajaa pastan joukkoon. Muutos tehtiin huhtikuussa 2020, jonka jälkeen erää ajettiin yhteensä 13, eikä näistä eristä mikään päättynyt lisädispergointiin. Voitiin todeta dispergointiajan pidentäminen auttaneen ongelmaan.

Metropoli-tuotesarjan MJ-tuotteesta oli ajettu kaksi erää vuonna 2019, ja molemmat olivat joutuneet lisäjauhatukseen karkeuden ja värivoiman vuoksi. Heinäkuussa 2020 paksuntajaa oli lisätty pastan sekaan ennen dissolveria ja pigmentti oli vaihdettu toiseen pigmenttiin. Tämän jälkeen erää oli ajettu vielä kolme lisää, ja kaikki olivat päättyneet lisäjauhatukseen karkeuden vuoksi. Todettiin, etteivät kaavamutokset tehonneet eli eivät poistaneet tuotteesta karkeutta.

Metropoli-tuotesarjan MK-tuotteesta oli ajettu yksi erä, ja se päättyi suoraan lisäjauhatukseen sävyn ja värivoiman takia. Kaava päivitettiin tämän jälkeen toukokuussa 2020 ja myllyn jauhatusenergian määrää nostettiin 150 kWh/t:sta 200 kWh/t:iin. Tehtyjen muutosten jälkeen heinäkuussa 2020 ajettiin kaksi erää, eivätkä kumpikaan eristä päätyneet lisäjauhatukseen. Tuotetta vielä seurattiin ja tämän jälkeen ajettiin neljä erää ja näistä yksi erä päättyi lisäjauhatukseen karkeuden takia. Tämä saattaa olla myös tilapainen häiriö, koska enempää tuotteista ei päättynyt lisäjauhatukseen. Todettiin, että kaavamuutos paransi sävyä, muttei poistanut vielä tuotteen karkeutta.

Tuotteen pigmentti on rautaoksidin punainen, eli jos sitä jauhetaan liian korkeilla jauhatusenergiämäärillä, tuotteen sävy muuttuu keltaisemmaksi. Orgaanisilla pigmenteillä korkeammilla jauhatusenergiä määrillä värivoima taas lisääntyy, toisin kuin epäorgaanisilla pigmenteillä se ei lisäännä paljoa.

Orgaaniset pigmentit ovat epäorgaanisiin pigmentteihin verrattuna paljon pienempiä. Jauhatuksessa orgaanisista pigmenteistä vapautuu enemmän pinta-alaa ja suurempi pinta-ala antaa enemmän värivoimaa. Tämän vuoksi jauhatusenergiämääriä, etenkin rautaoksidipunaisen kohdalla, täytyy optimoida oikein, jotta haluttu sävy ja värivoima näkyisivät pastassa.

Novita W -tuotesarjan GRF-tuotteen kolmesta ajetuista eristä kaksi olivat päätyneet lisäjauhatukseen värivoiman takia. Tätä tuotetta vertailtiin vastaavaan tuotteeseen, jolla on samanlainen väristandardiasteikko, joten pigmenttipitoisuutta muutettiin vastaamaan väristandardia. Tällä tavalla päivitettiin tuotteen kaavaa ja ongelma korjaantui.

Novita W -tuotesarjan Pw13-tuotteen yhdeksästä ajetuista eristä seitsemän päättyivät lisäjauhatukseen sekä karkeuden että värivoiman takia. Kaava päivitettiin eli pigmenttipitoisuutta nostettiin ja jauhatusenergiaa lisättiin. Tämän jälkeen ajettiin neljä erää vuonna 2020, ja näistä eristä kaksi päättyivät lisäjauhatukseen karkeuden takia. Viimeisimmät säädöt eivät olleet onnistuneet ja eikä tuote ole sen jälkeen ollut ajossa. Tämä tuote tulee suhteellisen harvoin tuotantoon, noin kaksi kolme kertaa vuodessa, mutta tähän mennessä säädöt eivät ole onnistuneet kyseisen tuotteen kohdalla.

Alla olevaan taulukkoon 27 on koottu yhteenveto kaikista pastaeristä sekä niihin tehdyistä parannuksista. Parannukset on merkitty +, lisääjään joutuminen x ja ei lisääjään

joutuminen -. Lisäksi taulukkoon on merkitty +, mikäli reseptimuunnos auttoi. Miinusmerkki (-) tarkoittaa, että reseptimuunnokset eivät auttaneet. Merkki 0 reseptimuunnoksessa tarkoittaa sitä, ettei osata vielä sanoa, koska kyseinen sävytyspasta ei tullut uudestaan ajoon. Osittain parantuneita reseptimuunnoksia on merkitty +/-, koska tuotteesta saattoi esimerkiksi sävy korjaantua, mutta karkeus taas ei.

Taulukko 27. Yhteenveto tutkimuksissa esiintyvistä pastoista.

Pasta	Erä	Väri-voima	Sävy	Karkeus	Reiät	Saanto	Viskositeetti	Lisä-ajo	Reseptimuunnos
Aqua Spectrum	BG			+				-	+
	RT								0
	TM			+				-	+
Star Spectrum	SW			+			+		0
	RW	+						-	+
	TW			+				-	+
	MW				+			-	0
Juoppi Z	QT						+	-	+
Juoppi R	QR	-		-		+		+	(+/-)
Metropoli	MP						+	-	+
	MT			+			+	-	+
	MJ	-	-	-			-	-	-
	MK		+	-				-	(+/-)
Novita W	GRF	+						-	+
	Pw1 3	-		-				+	-

10 Johtopäätökset

Tehtyjen mittausten perusteella voitiin todeta reseptimuunnosten onnistuneen joidenkin tuotteiden kohdalla. Ongelmia ilmeni edelleen niiltä tuotteilta, joilta oli aiemmin havaittu jauhattavuusongelmia. Näiden tuotteiden kohdalla reseptimuunnokset eivät sen vuoksi onnistuneet, koska niiden ongelmat johtuivat kemiallisista syistä, eivätkä prosessiteknisistä syistä. Lisäksi muutosten tekeminen ja niiden vaikutus saattavat näkyä vasta monien kuukausien päästä, koska kyseiset pastat tulevat harvemmin uudestaan tuotantoon.

Joihinkin tuotteisiin ei tarvinnut tehdä juurikaan reseptimuutoksia tai niitä ei tehty ollenkaan. Yleensä jauhatusergian määrän nostattaminen auttoi poistamaan tuotteesta karkeutta. Viskositeettia pystyi säätämään ohenteita tai paksuntajia lisäämällä. Joidenkin tuotteiden kohdalla auttoi pigmentin vaihto toiseen, pigmenttien suhteen muuttaminen, täytepigmenttien (talkin, BaSO_4) määrän muutos tai dispergointiajan pidentäminen.

Dissolverin ja helmimyllyn parametreihin ei tarvinnut tehdä juurikaan muutoksia. Joidenkin tuotteiden kohdalla pumpun syöttöä olisi voinut nostaa korkeammaksi. Violettipigmenttisillä pastoilla pumpun syöttönopeutta ja tehoja sai laskea yleensä alemmaksi. Vaarana oli aina pumpun ja roottorin nopeuden nostossa, että paineet ja lämpötila nousivat liian korkeiksi, jolloin paineet vaikuttavat koneen kestävyteen ja lämpötila taas pastan kemikaaleihin. Ennenkin säädettiin sopiva pumpun syöttönopeus, roottorin kierrokset ja tehot, jotta dispergointi olisi mahdollisimman tehokasta.

Pääpiirteittäin saatiin hyviä tuloksia pastojen reseptejä muuttamalla ja kyseisiä pastoja aiotaan jatkossa vielä seurata mahdollisten muutosten suhteen.

Lähteet

- 1 Sävytyspasta maalituotteisiin. Verkkoaineisto. Patents. <<https://patents.google.com/patent/FI101976B/fi>>. Luettu 11.1.2021.
- 2 Larsen, Sari; Kuusela, Arto; Pyykkönen, Karoliina; Susi, Anu & Virtanen, Jutta. 2007 Pinnalle – maalaustyön perustaidot. Helsinki: Vammalan kirjapaino.
- 3 Chromaflo Technologies Oy kotisivut. Verkkoaineisto. Chromaflo. <https://chromaflo.com/wp-content/uploads/2020/09/Chromaflo-Corporate-Overview-Brochure_82020.pdf>. Luettu 21.12.2020.
- 4 Graeffe, Mats. 2021. Production & Colourant Development Manager, QC Manager. Chromaflo Technologies Oy, Helsinki. Keskustelu 2.3.2021.
- 5 Holger, Alen. 1999. Maalit ja niiden käyttö. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 Tracton, Arthur A. 2007. Coatings materials and surface coatings. Theodore G. Vernardakis (Chap.31). Taylor & Francis Group.
- 7 BASF Handbook on Basics of coating technology. 2003. BASF Coatings AG. Hannover, Germany, Munster: Primedia.
- 8 Vincentz Verlag, Curt R. 2000. European coatings handbook. Hannover, Germany: Th. Schäfer.
- 9 Dispersion in paint manufacturing. Verkkoaineisto. Pigmentdispersers. <<https://pigmentdispersers.com/dispersion-in-paint-manufacturing/>>. Luettu 1.3.2021.
- 10 Umrath, Walter, 2007, Fundamentals of Vacuum Technology, Cologne. Verkkoaineisto. <https://www3.nd.edu/~nsl/Lectures/urls/LEYBOLD_FUNDAMENTALS.pdf>. Luettu 1.3.2021.
- 11 Pastan valmistusprosessi. Saarinen, Anna, 2010, Dispergointimenetelmien vertaaminen maalin valmistuksessa, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 12 Helmimylly. Verkkoaineisto. Ballmillssupplier. <<https://ballmillssupplier.com/product-center/attritor-ball-mill/>>. Luettu 16.2.2021.
- 13 Märkäjauhatus. Verkkoaineisto. Ashizawa. <http://www.ashizawa.com/en/technology/bead_mills.html>. Luettu 2.3.2021.

- 14 Horisontaalisen helmimyllyn toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Ballmillssupplier. <<https://ballmillssupplier.com/product-center/horizontal-ball-mill/>>. Luettu 2.3.2021.
- 15 Vertikaalisen helmimyllyn toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Ballmillssupplier. <<https://ballmillssupplier.com/product-center/vertical-ball-mill/>>. Luettu 2.3.2021.
- 16 Nurminen, Mikael. 2015. Helmimyllyjen läpimenoaikojen lyhentäminen maalin valmistuksessa. Metropolian Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Brookfield KU-2 viskometri käyttöohjeet. Verkkoaineisto. Viscometers. <https://viscometers.org/product_type/brookfield-accessories/>. Luettu 2.3.2021.
- 18 Brookfield-viskometri. Verkkoaineisto. Johnmorrisgroup. <<https://www.johnmorris-group.com/lvdv-e-viscometer-low-viscosity-2>>. Luettu 9.3.2021.