

**PIIDIOKSIDIN SEKOITTAMINEN ÖLJYYN PUOLIKIINTEIDEN  
TUOTTEIDEN VALMISTUSPROSESSISSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikka, Hämeenlinna

Kevät 2022

Jani Harjuketo

Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä Jani Harjuketo

Työn nimi Piidioksidin sekoittaminen öljyyn puolikiinteiden tuotteiden valmistusprosessissa

Ohjaaja Marja Allén

Tiivistelmä

Vuosi 2022

---

Opinnäytteen tavoitteena oli laitetestausten ja koeajojen avulla selvittää laitteisto ja toimintamallit lemmikkieläimille suunnatun puolikiinteän ja öljypohjaisen täydennysrehun valmistukseen. Opinnäyte oli osa työn tilaajan kehityshanketta, jossa kehitettiin uutta tuotesarjaa nestemäisiin öljyihin perustuvan tuotevalikoiman rinnalle. Puolikiinteä olomuoto mahdollistaa kiintoainepartikkeleiden lisäämisen öljyyn ilman kiintoaineen vajoamista tuotepakkauksen pohjalle. Työn kokeellisen osion laitetestaukset ja koeajot toteutettiin Hämeenlinnan Sairion koemeijerin ja työn tilaajan tuotantotiloissa sekä koemeijerin laboratoriossa.

Koemeijerin laitetestauksissa ja koeajoissa testattiin piidioksidin sekoittamista öljyyn ja tuotepohjan valmistusprosessia. Koeajot sisälsivät valmistusprosessin simuloinnin pienoiskoossa sekä teollisen mittakaavan laitetestauksen lapasekoittimella varustetussa sekoitussäiliössä. Sekoituksessa syntyvien ilmakuplien kontrollointia tutkittiin koemeijerin laboratoriossa vakuumpumpulla. Alustavien laitetestausten avulla työn tilaaja teki suunnitelmat laitekomponenttien hankinnoista. Koemeijerin laitetestauksissa öljypohjan muodosti kylmäpuristettu rypsiöljy ja työn tilaajan tuotantotiloissa käytettiin raffinoitua auringonkukkaöljyä. Suurimmaksi haasteeksi muodostui hankitun sekoittajan sekoituslapojen malli. Sekoituslapojen suurempi määrä ei toiminut laitetestauksien johtopäätöksien mukaan. Sekoittimen muokkaaminen prosessille sopivaksi ja moottorin tehon säätäminen piidioksidin täydellisen sekoittumisen saavuttamiseksi olisi venyttänyt kehityshanketta liikaa, joten työn tilaajan kanssa päädyttiin ratkaisuun luopua alkuperäisestä menetelmästä ja prosessin optimointia jatkettiin vaihtoehtoisella tavalla.

Kehityshanke jatkuu työn tilaajan toimesta opinnäytteen ulkopuolella valmistusprosessin optimoinnin sekä koemarkkinoinnin kautta markkinoille kaupalliseksi tuotteeksi. Valmistusprosessin optimointi vaatii prosessin tarkastelua esimerkiksi piidioksidin pitoisuudessa, käytetyssä öljyssä, sakeuttavan lisäaineen ja kiintoaineen määrässä sekä sekoittamisessa kierrosnopeuden ja ajan suhteen. Keskeisinä tarkasteltavina muuttujina ovat viskositeetti ja öljyn pidätyskyky. Lopputuotteen puolikiinteä olomuoto helpottaa annostelun tarkkuutta ja tekee tuotteesta muista juoksevista öljypohjaisista täydennysrehuista poikkeavan luoden sille oman markkinaraon.

Avainsanat Piidioksidi, sekoittaminen, puolikiinteä öljy, omega-rasvahapot, täydennysrehu  
Sivut 60 sivua ja liitteitä 2 sivua

The goal of the thesis was to find out the equipment and operating models for the manufacturing process for semi-solid and oil-based supplementary feed for pets with equipment testing and test runs. The thesis was part of the commissioner's project in which a new product line was developed alongside the existing product range based on liquid oils. The semi-solid state allows solids to be added into the oil without the solids sinking to the bottom of the product packaging. The equipment tests and test runs of the experimental part of the thesis were carried out in the production facilities and laboratory of the dairy Sairio in Hämeenlinna and in the production facilities of the commissioner.

The mixing of silica into oil and the manufacturing process were observed during the equipment testing and test runs at the dairy. The test runs included a small-scale simulation of the manufacturing process and an industrial-scale test run in a mixing tank equipped with a paddle mixer. The control of the air bubbles generated during the mixing was studied in a laboratory using a vacuum pump. After the preliminary equipment testing, the planned equipment component purchases were made. The oil base used in the equipment testing in Sairio consisted of cold-pressed rapeseed oil versus the refined sunflower oil which was used at the facilities of the commissioner. The greatest challenge of the project developed from the profile of mixing blades in the acquired mixer. The main challenge was the compact setup of the blades used which was believed to be suitable for the process based on the conclusions of the preliminary equipment testing and test runs at the dairy. Since modifying the mixer to the process and adjusting the engine power used to achieve a complete mix of silica would have stretched the project beyond the original plan, the result was to abandon the used method and the optimization of the process was continued in an alternative way.

In conclusion, the project will be continued by the commissioner through the optimization of the manufacturing process and test marketing. The optimization of the manufacturing process requires the consideration of the process, e.g., in the volumes of silica, the oil type used, the number of thickeners and solids and mixing in terms of speed and time. The main variables considered are viscosity and oil retention. The semi-solid state of the final product enhances the accuracy of dosing and makes the product different from other current oil-based supplementary feeds, creating its own niche.

Keywords Silicon dioxide, mixing, semi-solid oil, omega fatty acids, supplementary feed

Pages 60 pages and appendices 2 pages

## Sisällys

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto .....   | 1  |
| 2     | Piidioksidi (E-551b) .....   | 2  |
| 3     | Tyydyttymättömät rasvahapot ja eläinruokinta .....                         | 4  |
| 3.1   | Rasvahapot.....  | 4  |
| 3.2   | Omega-rasvahappojen terveysvaikutukset lemmikkieläimillä .....             | 7  |
| 3.3   | Täydennysrehut .....   | 10 |
| 4     | Puoli kiinteän öljypohjan prosessointi .....                               | 11 |
| 4.1   | Piidioksidin kostuttaminen .....   | 15 |
| 4.2   | Fluidin pumppaaminen .....   | 16 |
| 4.2.1 | Pumpputyypit.....  | 17 |
| 4.2.2 | Putkikoon määrittäminen .....  | 20 |
| 4.2.3 | Conti-TDS -pumppusekoitin .....  | 22 |
| 4.3   | Sekoittaminen .....  | 25 |
| 4.4   | Prosessilaitteiston pesu .....   | 30 |
| 5     | Tuotepohjan laatu ja viskositeetti .....                                   | 33 |
| 6     | Kokeellisen osion laitetestaukset, koeajot ja mittaukset.....              | 36 |
| 6.1   | Sekoittamis- ja valmistusprosessin simulointi pienoiskoossa .....          | 37 |
| 6.2   | Teollisen mittakaavan laitetestaus ja piidioksidin sekoittaminen .....     | 39 |
| 6.3   | Ilmakuilien kontrollointi alipaineella .....                               | 44 |
| 6.4   | Piidioksidin sekoittaminen ja tuoteajo työn tilaajan tuotantotiloissa..... | 47 |
| 7     | Tulokset, johtopäätökset ja kehityshankkeen jatkuminen .....               | 51 |
|       | Lähteet.....   | 57 |

## Kuvat, taulukot ja kaavat

|   |    |
|---|----|
| Kuva 1. Tyydyttymättömien rasvahappojen ketjurakenteita.....                            | 5  |
| Kuva 2. Omega-3- ja omega-6-rasvahappojen aineenvaihdunta ja vaikutuksia koirassa ..... | 9  |
| Kuva 3. Öljyyn lisätyt kiintoainepartikkelit vajonneena tuotepakkauksen pohjalle. ....  | 12 |
| Kuva 4. Sakeutusaineen vaikutus kiintoainepartikkeleiden vajoamiseen.....               | 13 |
| Kuva 5. AEROSIL® piidioksidin partikkeleiden reaktio nesteessä.....                     | 15 |

|  |    |
|--|----|
| Kuva 6. Ystral Conti-TDS prosessissa. Sininen väri kuvaa nestettä, oranssi väri jauhetta ja punainen väri dispersiota..... | 23 |
| Kuva 7. Conti-TDS toimintaperiaate. Sininen väri kuvaa nestettä, oranssi väri jauhetta ja punainen väri dispersiota.....   | 23 |
| Kuva 8. Conti-TDS toimintaperiaate erä- ja jatkuvatoimiselle prosessille..   | 24 |
| Kuva 9. Nesteisiin käytettäviä sekoittimia.....  | 29 |
| Kuva 10. Valmistusprosessin simulointi pienoiskoossa.....  | 39 |
| Kuva 11. Kylmäpuristettu rypsiöljy koemeijerin laitetestauksia varten.....   | 40 |
| Kuva 12. Laitetestauksiin varatut sekoitussäiliöt A ja B. ....   | 40 |
| Kuva 13. Sekoitussäiliöiden A ja B sekoituslavat. ....   | 41 |
| Kuva 14. Piidioksidi AEROSIL® 200 F ja piidioksidin annostelu sekoitussäiliöön A. ....                                     | 41 |
| Kuva 15. Piidioksidin sekoittuminen kylmäpuristettuun rypsiöljyyn. ....  | 42 |
| Kuva 16. Viskositeetin kasvu aistinvaraisesti arvioitavissa sekoittamisen jälkeen. ....                                    | 42 |
| Kuva 17. Viskositeetin kasvun tarkkailu värähtelyviskometrillä. ....   | 43 |
| Kuva 18. Tuotepohjan siirtäminen sekoitussäiliöstä.....  | 44 |
| Kuva 19. Sekoitussäiliön pesu kiertopesujärjestelmällä. ....   | 44 |
| Kuva 20. Vakuumipumppu ja painekattila ilmakuplien poistamiseen.....   | 45 |
| Kuva 21. Ilmakuplien määrän vähentyminen korkealla alipainekäsittelyllä. ....  | 46 |
| Kuva 22. Työn tilaajan hankkima sekoitussäiliö lapasekoittimella. ....   | 48 |
| Kuva 23. Tuotepohjaan käytetty auringonkukkaöljy.....  | 48 |
| Kuva 24. Hankitun lapasekoittimen malli.....   | 49 |
| Kuva 25. Piidioksidin muodostamia kasautumia.....  | 50 |
| Kuva 26. Yleiskone Metos Karhu 40. ....  | 51 |
| <br>   |    |
| Taulukko 1. Conti-TDS tekniset tiedot.....   | 24 |
| Taulukko 2. Jatkuvatoimisen ja erätoimisen sekoittamisen muuttujien vertailu. ....   | 27 |
| Taulukko 3. Lapasekoittimen prosessiominaisuuksia. ....  | 28 |
| Taulukko 4. Viskositeetin kasvu ajan suhteen.....  | 43 |

## Liitteet

|         |   |
|---------|---|
| Liite 1 | Alustava kuvaus koemeijerin laitetestauksista |
| Liite 2 | AEROSIL® 200 F tuotetiedot                    |

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe oli osa työn tilaajan kehityshanketta, jonka tavoitteena on valmistaa puolikiinteisiin öljyihin perustuvia tuotteita. Hanke jatkuu opinnäytteen ulkopuolella kaupalliseksi tuotteeksi. Yksi kehitystyön haasteista oli saada selkeä kuva sekoitusprosessista, jossa nestemäiseen öljyyn sekoitetaan piidioksidia ennen öljypohjan tehokkaampaa sakeuttamista. Nestemäiseen öljyyn liukenee vain rasvaan liukenevia aineita, mikä johdatteli idean hankkeeseen, johon työn tilaaja oli kehittänyt alustavasti teoreettisen ratkaisun. Ratkaisua lähdettiin tutkimaan ja kehittämään haluttuun mittakaavaan laitetestauksilla ja koeajoilla Hämeenlinnan Sairion koemeijerin ja työn tilaajan tuotantotiloissa. Työn tilaaja tarjoaa nestemäisiin öljyihin perustuvan täydennysrehuihin luokiteltavan tuoteperheen, jonka rinnalle uutta tuotetta suunniteltiin.

Opinnäytteessä perehdyttiin valmistusprosessin vaiheeseen, jossa piidioksidia AEROSIL® 200 F (E-551b) sekoitettiin öljyyn. Työssä selvitettiin, miten piidioksidi saadaan sekoitettua öljyyn tehokkaasti ja ongelmitta prosessille suunnitellulla laitteistolla. Öljypohjan laatua tarkkailtiin viskositeetin kasvun seuraamisella osaprosessien aikana sekä muodostuvia ilmakuplia kontrolloimalla. Osaprosessin prosessiparametrejä haluttiin kartoittaa empiirisellä tutkimustyöllä, jotta valmistusprosessi tehostuisi ja tuotteen tasalaatuisuus varmistettaisiin.

Kehityshankkeen tavoite oli saada selville haluttuun mittasuhteeseen skaalatun prosessilaitteiston sopivuus sekä prosessin ympärillä olevat toimintamallit. Opinnäytteessä tutkittiin piidioksidin sekoittamisen osaprosessia, joten tutkimuskysymyksiksi muodostuivat

1. Minkälainen laitteisto sopii piidioksidin sekoittamiseen öljyyn puolikiinteiden tuotteiden valmistusprosessissa?
2. Miten saadaan prosessoitua laatukriteerit täyttävä puolikiinteä dispersio?
3. Voidaanko sekoitusprosessissa syntyviä ilmakuplia kontrolloida puolikiinteästä öljystä alipaineella?

Tutkimuskysymyksiin vastattiin laitetestauksilla, valmistetuilla koe-erillä ja suunniteltujen mittausten ja kokeiden avulla.

## 2 Piidioksidi (E-551b)

Piidioksidia kuvataan elintarviketeollisuudessa E-koodilla E551. Lisäaineryhmissä se luokitellaan muihin lisäaineisiin. Piidioksidia kuvataan kiillotusaineena ja paakkuuntumisenestoaineena. Piidioksidia käytetään esimerkiksi tablettien, raastetun juuston, makeisten ja kuivien elintarvikkeiden valmistuksessa. Piidioksidille ei ole määritelty hyväksyttävää päivittäistä enimmäissaantia, mutta sillä on olemassa enimmäismäärärajoituksia. (Ruokavirasto, n.d.) Mineraalina piidioksidista käytetään nimitystä kvartsi (Geologia, n.d.). Piidioksidia löytyy luonnosta hiekkana. Elintarviketeollisuudessa käytetty piidioksidi on synteettisesti valmistettua amorfista piidioksidia. Yleensä piidioksidi on käytössä kahdessa eri muodossa, joita ovat piidioksidista muodostettu aerogeeli ja hydratoitu piidioksidi. Aerogeeli on erittäin huokoista ainetta ja hydratoitu piidioksidi on muodoltaan esimerkiksi saostettua piidioksidia. Hydratoidun piidioksidin kemiallinen kaava sisältää vaihtelevan määrän vettä. (Emerton & Eugenia, 2018, s. 259)

Elintarvikekäyttöön tarkoitettu piidioksidi on äärimmäisen hienojakoista jauhetta, jolla on korkea pinta-alasuhde painoa kohti. Hienojakoisuus mahdollistaa piidioksidijauheen kyvyn peittää eri jauhemuodossa olevia aineita samalla estäen tarttumisen. Sama ominaisuus mahdollistaa piidioksidin käytön alus- ja sakeuttamisaineena sekä suurusteena. (Emerton & Eugenia, 2018, s. 259) Elintarviketeollisuudessa piidioksidia käytetään paakkuuntumisenestoaineena, vaahdonestoaineena, sakeuttamisaineena, suodatukseen ja selkeytykseen. Ruoka-aineet, jotka sisältävät paakkuuntumisenestoaineita ovat vakiintuneesti maito- ja kermajauheet, leivinjauhe, ruokasuola, kaakao ja kahvi. (Msagati, 2012, s. 160; JK Silica, 2018) Elintarviketeollisuudessa on käytössä laaja valikoima eri piidioksidityyppejä eri ominaisuuksilla varustettuna riippuen aina siitä, mihin piidioksidia käytetään (Emerton & Eugenia, 2018, s. 259).

Paakkuuntumisenestoaineet voidaan jakaa karkeasti kahteen eri pääryhmään, joita ovat luonnolliset ja synteettiset paakkuuntumisenestoaineet. Synteettiset paakkuuntumisenestoaineet ovat pääsääntöisesti tuotettu teollisuudessa tietyistä raaka-aineista, kuten piidioksidista tai kovista tyydyttyneistä rasvahapoista, esimerkiksi magnesium- ja kalsiumstearaateista. Synteettiset paakkuuntumisenestoaineet sisältävät

kalsiumsilikaattia, magnesiumkarbonaattia, ruokasoodaa, natriumferrosyanidia, kaliumferrosyanidia ja natriumalumiinisilikaattia. Luonnolliset paakkuuntumisenestoaineet sisältävät kaoliinia, bentoniittia ja talkkia. Luetellut aineet ovat silikaattimateriaaleja. Paakkuuntumisenestoaineita käytetään myös muihin käyttötarkoituksiin. (Msagati, 2012, s. 159)

Paakkuuntumisenestoaineet ovat yhdisteitä, jotka estävät jauheina säilytettävien yhdisteiden agglomeraatiota eli yhteen kasautumista. Paakkuuntumisenestoaineet takaavat ominaisuuksillaan aineen vapaamman virtauksen. Useat eri aineet, kuten polysakkaridiset polymeerit ja epäorgaaniset materiaalit, esimerkiksi magnesiumkarbonaatti ja piidioksidi, sisältyvät usein eri paakkuuntumisenestoaineisiin. Jos teollisesti valmistettuihin ruoka-aineisiin ei lisätä paakkuuntumisenestoaineita, ruoka-ainepartikkelit absorboivat ympäröivästä ilmasta kosteutta ja muodostavat kasautumia. Absorption takia muodostuneet paakut estävät ruoka-aineen partikkelien vapaan virtauksen. (Msagati, 2012, s. 159)

Paakkuuntumisenestoaineiden vaikutusmekanismi perustuu ylimääräisen kosteuden adsorptioon tai suojattavien jauhepartikkeleiden peittämiseen, jolloin paakkuuntumisenestoaine luo partikkeleille hydrofobisen suojakalvon. Toiset paakkuuntumisenestoaineet ovat vesiliukoisia, kun taas toiset ovat liukoisia orgaanisille liuottimille. On olemassa myös paakkuuntumisenestoaineita, jotka ovat liukoisia molemmille liuotintyypeille, esimerkiksi yksi yleisimmin paakkuuntumisenestoaineena käytetty kalsiumsilikaatti  $\text{CaSiO}_3$ . (Msagati, 2012, s. 160)

Piidioksidia käytetään elintarviketeollisuuden ulkopuolella yleisimmin hiekkana. Suurin kulutussektori on rakennusteollisuus. Tarkasti avattuna suurin kulutussektori on piidioksidin hyödyntäminen betonin valmistusprosessissa. Piidioksidi on myös lasinvalmistuksessa tärkeä elementti. (Alfatestlab, 2020)

AEROSIL® 200 F -piidioksidin rekisteröity koodi eläinten ravitsemuksessa on Euroopassa E-551b (kolloidinen piidioksidi). AEROSIL® on hydrofiilistä höyrytettyä piidioksidia, jolla on spesifinen pinta-ala  $200 \text{ m}^2/\text{g}$ . Erytyslaatu on valmistettu HACCP-menetelmien mukaisesti (vaarojen arviointi ja kriittiset hallintapisteet). Aineen valmistus- ja pakkausvaihe on



auditoitu ja vaiheet täyttävät asetuksen EC No. 852/2004 vaatimukset. Piidioksidilaadun käyttö täydennysrehuissa on FAMI-QS sertifioitu. (European Commission, 2017; Evonik, n.d.)

AEROSIL® 200 F -piidioksidia on mahdollista hyödyntää ruoan ja rehun valmistuksessa sille sopivissa prosesseissa. Piidioksidilaadulla on monia ominaisuuksia. AEROSIL® 200 F kontrolloi nestemäisten systeemien leikkautuvia ominaisuuksia ja lepojähmeyttä eli tiksotropiaa. Piidioksidilaatua käytetään paakkuuntumisen estämiseen, rakenteen tehostajana ja seoksen asettumisen estämiseen. Lisäksi AEROSIL® 200 F tehostaa vapaata virtausta ja jauheiden kykyä estää paakkuuntumista. Piidioksidilaatu omaa korkean puhtauspitoisuuden ja matalan kosteuspitoisuuden. AEROSIL® piidioksidilla ei ole vaikutusta makuaistimukseen eikä se vaikuta tuotteen väriin. AEROSIL® 200 F -piidioksidia saa valmistajalta lähtökohtaisesti isoissa 10 kilogramman säkeissä. Tuotetta suositellaan säilytettävän suljetussa ja kuivassa tilassa suojaten sitä muilta ympäristöstä haihtuvilta aineilta. (Evonik, n.d.)

### **3 Tyydyttymättömät rasvahapot ja eläinruokinta**

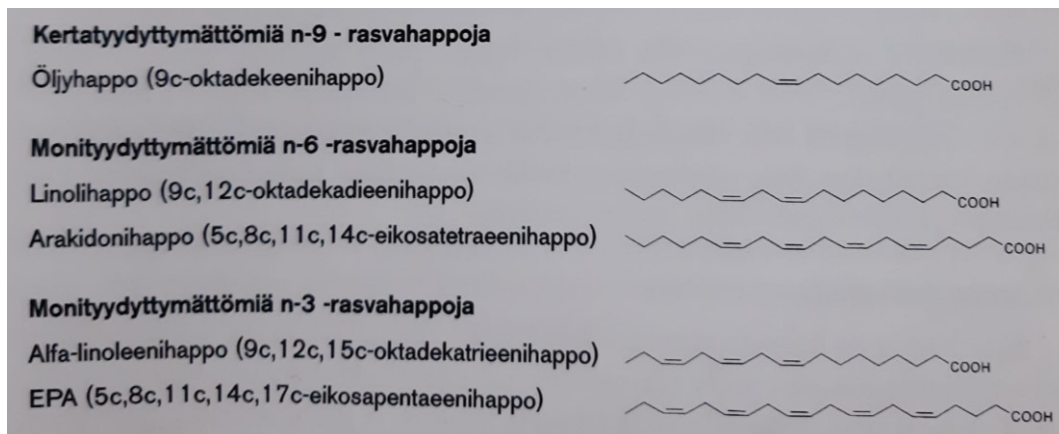
#### **3.1 Rasvahapot**

Rasvojen rakenteeseen, käyttöominaisuuksiin ja ravintosisältöön vaikuttaa niiden kemiallinen koostumus. Suurin osa rasvoista on triglyseridejä, jotka muodostuvat kolmesta glyserolimolekyylin kiinnittyneestä rasvahappomolekyylistä. Rasvahapot eroavat toisistaan neljän tekijän suhteen. Tekijöitä ovat rasvahappoketjun pituus, kaksoissidosten sijainti, geometria ja lukumäärä sekä rasvahapon sijainti glyserolimolekyylissä. Toiminnallisesti ja ravitsemuksellisesti rasvan glyserolirunko on neutraali, minkä takia toiminnalliset ja ravitsemukselliset ominaisuudet ovat riippuvaisia kolmen rasvahapon muodostamasta yhdistelmästä. Esimerkiksi sulamispiste ja oksidatiivinen tasapaino ovat riippuvaisia ominaisuuksia. Rasvahappojen järjestyksellä on myös painoarvoa. Rasvahapot ovat joko tyydyttyneitä, kertatyydyttymättömiä tai monityydyttymättömiä. (Della Porta, 2006, s. 22; Heikkinen & Kortelampi, 1997, s. 134; Saarela, Hyvönen, Määttä & von Wright, 2010, s. 166)

Rasvahapot muodostuvat eripituisista ketjurakenteista (kuva 1). Ketjut koostuvat hiiliatomeista, joihin on sitoutunut happi- ja vetyatomeja. Yleisimmät rasvahapot sisältävät

12–18 hiiliatomia. Vetyatomien puuttuminen mahdollistaa kaksoissidosten muodostumisen, jolloin rasvahapot ovat tyydyttymättömiä. Kun rasvahapon kaikkiin hiiliatomeihin on sitoutunut suurin mahdollinen määrä vetyatomeja ja kaksoissidoksia ei esiinny, rasvahappoa kutsutaan tyydyttyneeksi. Vetyatomien puuttuminen kahdelta vierekkäiseltä hiiliatomilta mahdollistaa hiili-hiili-kaksoissidoksen muodostumisen. Monityydyttymättömissä rasvahapoissa on kahdesta useampaan kaksoissidosta ja kertatyydyttymättömissä rasvahapoissa vain yksi kaksoissidos. (Della Porta, 2006, s. 23; Heikkinen & Kortelampi, 1997, s. 134)

Kuva 1. Tyydyttymättömien rasvahappojen ketjurakenteita (Mattila, Piironen & Ollilainen, 2003, s. 111).



Kaksi perusmuuttujaa rasvahappojen rakenteessa ovat rasvahappoketjun pituus ja kaksoissidosten lukumäärä. Rasvahappoja on olemassa niin paljon, että rasvahappojen nimeämiseksi niitä voidaan mahdollisesti kuvata myös helpommin käsiteltävällä tunnuksella. Tunnuksessa mainitaan hiiliketjun pituus ja kaksoissidosten lukumäärä. Esimerkiksi C18:2 ilmaisee 18 hiiliatomin pituista ketjua ja kaksoissidoksia on kaksi kappaletta. C18:2 on kutsumanimeltään linolihappo. Kaksoissidoksen paikkaa on mahdollista tarkentaa vielä merkitsemällä n + numero, joka kuvaa kuinka kaukana kaksoissidos sijaitsee rasvahapon metyyli päästä. Kirjaimen n sijasta käytetään yleensä omega-kirjainta, joka on tuttu omega-3 rasvahapoista. Numero 3 kertoo tapauksessa ensimmäisen kaksoissidoksen sijainnin kolmannessa hiiliatomiketjun hiilessä. Usein kaksoissidokset sijoittuvat hiiliketjuun niin, että ne ovat kolmen hiilen päässä toisistaan. Esimerkiksi linoleenihapossa (C18:3 = n3-rasvahappo = omega-3 rasvahappo) kaksoissidokset ovat sijoittuneet kolmanteen, kuudenteen ja yhdeksänteen hiileen. (Saarela ym., 2010, s. 166)

Hiiliatomien muodostamat rasvahappoketjut rakentuvat 4–24 hiiliatomista (Terveyskirjasto, 2020). 12, 16 ja 18 hiilen mittaiset rasvahapot ovat yleisiä kasviperäisissä rasvoissa. Ketjun pituus vaikuttaa suoraan rasvan kovuuteen ja sulamislämpötilaan. Lyhyitä rasvahappoja sisältävät rasvat sulavat alemmissa lämpötiloissa. Pituus vaikuttaa rasvan hydrolyyttiseen hajoamiseen eli toisin sanoen lyhyemmät rasvahapot irtoavat glyserolirungosta helpommin, jolloin muodostuu vapaita rasvahappoja. Hapettumiskestävyyteen rasvahappoketjun pituudella ei ole merkitystä. (Saarela ym., 2010, s. 167)

Rasvahapossa kaksoissidoksia esiintyy nollasta viiteen, mutta yleisimmin määrä ei ylitä kolmea. Lukumäärästä riippuen puhutaan tyydyttyneisyysasteesta monityydyttymättömistä monityydyttymättömiin. Kaksoissidosten määrän kasvu triglyseridissä on suoraan verrannollista rasvan juoksevuuteen. Kaksoissidokset voivat olla cis- tai trans-muodossa, jolloin puhutaan avaruudellisesti kahdesta eri muodosta. Luonnossa esiintyvät rasvat ovat suurimmaksi osin cis-muotoisia. Trans-muotoja on yleisimmin kovissa rasvoissa. Kasviöljyihin trans-rasvoja voi syntyä lähinnä rasvojen muokkausprosessoinneissa, joissa rasvojen fysikaalisia ominaisuuksia muokataan. Elimistöllä on kyky valmistaa kertatyydyttymättömiä ja tyydyttyneitä rasvahappoja. Välttämättömät rasvahapot on saatava kehon ulkopuolelta ravinnosta. (Heikkinen & Kortelampi, 1997, s. 136; Saarela ym., 2010, s. 166, 171)

Kertatyydyttymättömät rasvahapot ovat toiselta nimeltään yksinkertaisesti tyydyttymättömät eli yksittäistyydyttymättömät eli monityydyttymättömät eli monoeneit. Kertatyydyttymättömiä rasvahappoja löytyy yleisimmin esiintyvissä eläin- ja kasvirasvoissa. Erittäin paljon kertatyydyttymättömiä rasvahappoja on pelkästään rypsi- ja oliiviöljyssä. Kertatyydyttymättömien rasvahappojen on todettu alentavan kolesterolipitoisuutta veressä. Yleisimpiä monoeneja ovat öljyhappo C18:1 (cis) ja elaidiinihappo C18:1 (trans). (Heikkinen & Kortelampi, 1997, ss. 136–137)

Monityydyttymättömiä rasvahappoja kutsutaan myös polytyydyttymättömäksi rasvahapoiksi eli polyeeneiksi. Monityydyttymättömiä rasvahappoja esiintyy runsaasti kasviöljyissä. Rypsi-, soija-, maissi- ja auringonkukkaöljyissä monityydyttymättömiä rasvahappoja on runsaasti. Joissakin öljyissä kuten pellava- ja seesamiöljyissä on myös paljon polyeeneja. Kalanrasva ja margariinit sisältävät myös monityydyttymättömiä rasvahappoja. Monityydyttymättömillä

rasvahapoilla on useita terveysvaikutteita, kuten veren kolesterolipitoisuuden ja paineen alentaminen sekä elimistön sokeriaineenvaihdunnan tehostaminen. Yleisimmät monitydyttymättömät rasvahapot ovat linolihappo C18:2, alfa-linoleenihappo C18:3, arakidonihappo C20:4, eikosapentaeenihappo C20:5 ja dokosaheksaanihappo C22:6. (Heikkinen & Kortelampi, 1997, s. 136)

Lyhytketjuisempia omega-3- ja -6-rasvahappoja kutsutaan välttämättömiksi, koska ne on saatava ravinnosta. Alfa-linoleenihappo (omega-3) ja linolihappo (omega-6) ovat välttämättömiä rasvahappoja. Niitä ei synny itsestään elimistössä. Elimistö kykenee kuitenkin muokkaamaan niistä muita pitempiä omega-sarjan rasvahappoja. Esimerkiksi kalan rasvassa on paljon pitempiketjuisia omega-3-rasvahappoja (eikosapentaeni- ja dokosaheksaanihappo) joita elimistö kykenee tuottamaan alfa-linoleenihaposta. (Terveyskirjasto, 2020) Linoli- ja alfa-linoleenihappo ovat rakennusosia solussa. Linoli- ja alfa-linoleenihappo alentavat veren kolesterolin määrää. Tärkeimpinä välttämättömien rasvahappojen lähteitä voidaan pitää kasviöljyjä, kasvimargariineja ja kasvikunnan tuotteita. (Heikkinen & Kortelampi, 1997, s. 137)

### **3.2 Omega-rasvahappojen terveysvaikutukset lemmikkieläimillä**

Useat kaupalliset eläinrehutuotteet sisältävät enemmän omega-6-rasvahappoja kuin omega-3-rasvahappoja. On olemassa näyttöä siitä, että korkeammalla omega-3-pitoisuudella päivittäisessä ruokavaliossa saadaan lemmikkieläimille enemmän terveysvaikutteita. Syitä terveysvaikutteisiin on useita, mutta pääasiassa niihin vaikuttaa raaka-aineiden alkuperä. Riittoisa määrä välttämättömiä rasvahappoja oikealla suhteella omega-3- ja omega-6-rasvahappoja auttaa useassa yleisesti esiintyvässä vaivassa. Riittoisa saanti auttaa kuivan, herkän ja kutiavan ihon sekä turkin hoitoon, tulehduksiin, allergiaan, immuunijärjestelmän toimintahäiriöihin, hiivatulehdusten kontrollointiin, sydänongelmiin, kolesterolitason madaltamiseen ja painonhallintaan. (Kidd, 2014)

Välttämättömien rasvahappojen optimointiin ruokavaliossa vaikuttaa riittävän määrän lisäksi oikea annossuhde omega-3- ja omega-6-rasvahappojen välillä. Tiedetään, että liian runsas omega-6-rasvahapon, esimerkiksi linolihapon, saanti ruokavaliossa voi aiheuttaa tai edistää tulehduksia. (Kidd, 2014) Omega-rasvahapot eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan, mutta

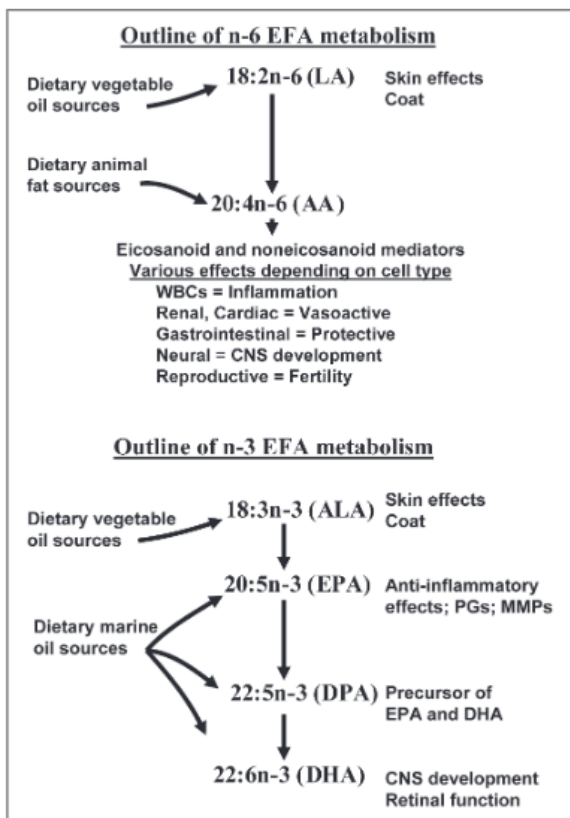
ne imeytyvät silti elimistössä samoista reseptoreista. Omega-6-rasvahapon saannin ollessa huomattavissa määrin suurempaa omega-3-rasvahappoihin verrattuna, omega-6-rasvahapot voivat estää omega-3-rasvahappojen imeytymistä. (Möller, 2017) Oikean suhteen annostelu on kuitenkin haastavaa jatkuvasta tutkimustyöstä huolimatta, koska suhde on lajiriippuvaista. Välttämättömät rasvahapot ovat kuitenkin tärkeässä roolissa lemmikin terveydessä sekä iho- ja turkkiongelmien hoidossa joko luonnollisena osana ruokavaliota tai lisärehuna. (Kidd, 2014)

Eikosapentaeeni- ja dokosaheksaanihappoa (omega-3) on teoreettisesti mahdollista muodostaa elimistössä kasviöljyistä saatavasta alfa-linoleenihaposta desaturaatiolla ja elongaatiolla. Tällöin kaksoissidosten määrä lisääntyy ja ketjurakenne pitenee rasvahapossa entsyymien avulla. Nisäkkäiden elimistössä alfa-linoleenihappo ei kuitenkaan muunnu tehokkaasti eikosapentaeenihapoksi ja dokosaheksaanihapoksi. Elimistön luontaisella syntetisoinnilla tapahtuvan muuntumisen arvioidaan olevan alle 10 % ihmisissä. Koirissa ja kissoissa tapahtuva luontainen muuntuminen on myös vähäistä. Omega-3-rasvahappojen saanti ruokavaliosta on siten tehokkaampaa kalaöljyn avulla, jossa on eikosapentaeeni- ja dokosaheksaanihappoa, kun verrataan esimerkiksi suuren alfa-linoleenihappopitoisuuden omaaviin kasviöljytuotteisiin. Alfa-linoleenihapon osuudella ravinnossa on omat hyvät puolensa esimerkiksi ihotautien hoidossa, mutta eri omega-3-rasvahapoilla on kuitenkin vaihtelevia vaikutuksia elimistöön ja eläinten vaivoihin. (Lenox & Bauer, 2013) Ruokavaliota ei ole suunniteltu täydellisesti, jos ainoa omega-3-rasvahappojen lähde ruokavaliosta on alfa-linoleenihappo. Syy löytyy tehottomasta alfa-linoleenihapon muuntumisesta eikosapentaeenihapoksi elimistössä. (Bauer, 2007, s. 1658)

Kalaöljypohjaisia omega-3-rasvahappoja käytetään sen tulehduksia rauhoittavien ominaisuuksien vuoksi (kuva 2). Tulehdustila ei ole kuitenkaan aina ongelmana. Esimerkiksi sydän- ja verisuonitautien hoidossa omega-3-rasvahappojen uskotaan tuovan parantavia vaikutuksia tulehdusta rauhoittavien ominaisuuksien lisäksi. Kalaöljypohjaisia omega-3-rasvahappoja voidaan antaa lisäravinteena lemmikin ruokavalioon nesteinä tai kapselina. Annoskokoa voidaan määrittellä rasvahappojen kokonaismääränä, milligrammana kilogrammaa kohti tai omegarasvahappojen välisenä suhteena. (Lenox & Bauer, 2013)

Omega-6- ja omega-3-rasvahapon suhdetta käytetään, koska linolihappo ja alfa-linoleenihappo kilpailevat elimistössä entsyymeistä, jotka aiheuttavat rasvahappojen elongaatiota ja desaturaatiota. Suhdelukua tulee kuitenkin käyttää varoen, koska se usein lasketaan pelkästään alfa-linoleeni-, eikosapentaeni- ja dokosaheksaanihaposta. Omega-3-pitoisuuden terminologinen käyttäminen ei ole verrattavissa eikosapentaeni- ja dokosaheksaanipitoisuuteen alfa-linoleenihapon heikosta muuntumisesta ja heikoista biologisista vaikutuksista verrattaessa pitkäketjuisempiin välttämättömiin rasvahappoihin. Aiheeseen perehtyvät tutkijat päätyvät usein lopputulokseen, että suurempi merkitys on yksittäisten omega-6- ja omega-3-rasvahappojen saannilla kuin rasvahappojen suhteella toisiinsa. (Lenox & Bauer, 2013) Harris (2006, s. 458) toteaa omega-6/omega-3-suhteen ja verenkiertoelimistön sairauksien riskien tutkimuksessa johtopäätöksenä, että suhdeluvusta puuttuu tekijöitä, jotka tekisivät suhdeluvusta hyvän rasvahappojen annostelun mittarin. Suhdelukua optimoidessa saattaa unohtua omega-3-rasvahappojen lisäämisen merkityksellisyys lemmikin ruokavalioon. Juuri omega-3-rasvahappojen lisäämisellä on positiivisia vaikutuksia eläimen verenkiertoelimistöön.

Kuva 2. Omega-3- ja omega-6-rasvahappojen aineenvaihdunta ja vaikutuksia koirassa (Bauer, 2007, s. 1658).



### 3.3 Täydennysrehut

Lemmikkieläimille syötettyä ravintoa kutsutaan rehuksi. Rehujen käyttöä säädellään Suomessa rehulainsäädännöllä. Rehujen käyttö on kohdennettu eläinten ruokkimiseen ja tarvittavan ravinnon saamisen turvaamiseksi. Rehujen tyyppejä ovat eri rehuaineet, rehulisäaineet ja eri rehuseokset, kuten täys- ja täydennysrehut. Rehun lisäaineita voivat olla esimerkiksi aromi-, säilöntä- ja hivenaineet sekä maitohappobakteerit, entsyymit ja vitamiinit. Rehuihin luokitelluista tuotteista ei saa esittää lääkinnällisiä väitteitä.

Rehulainsäädäntö ei kata ravintolisiä, terveysvaikutteisia rehuja tai lisäravinteita. Niistä rehuista, joista on tehty hyväksytyjä tutkimuksia EU:ssa, voi esittää terveyteen liittyviä vaikutuksia kuten esimerkiksi koirien ylipainon vähentäminen ja nivelten aineenvaihdunnan tukeminen nivelrikossa erityisessä ravitsemuksellisessa toiminnassa. Valmistettujen rehuotteiden laatu tulee olla korkea ja rehujen käyttö turvallista. Rehun tulee olla myös lajinmukaiseen ravitsemukseen sopivia. Oikeilla toimintamalleilla estetään tautien leviäminen ja eläinten yleinen hyvinvointi. Rehun sopivuus tehdään lajikohtaisesti. (Ruokavirasto, 2021)

Lemmikkieläimille tarkoitetut lisäravinteet ovat yleisimmin mineraali-, vitamiini- tai rasvapohjaisia tuotteita. Täydennysrehujen käyttö tulee olla harkittua ja niillä tulee olla toiminnallinen merkitys. Jos koiran tai kissan ruokavalio ja ravinto on moitteettomassa kunnossa, lisäravinteille ei aina ole välitöntä tarvetta, koska täydennysrehuja käyttämällä voidaan ylittää tiettyjen ravintoaineiden päivittäinen saantisuositus. Esimerkiksi seleeni ja D-vitamiini voivat olla ylisuurella annostuksella myrkyllisiä lemmikeille, etenkin koirille. Rasvapohjaiset lisäravinteet eivät sisällä yhtä suuria riskitekijöitä. Liiallisissa määrin rasvapohjaiset tuotteet voivat kuitenkin aiheuttaa painonnousua korkean energiapitoisuuden vuoksi. Täydennysrehujen käytön edellytyksenä pitää olla tietoinen päivittäisen ravinnon ja lisättyjen lisäravinteiden ravintoaineista sekä käyttösuosituksista. (Association of American Feed Control Officials, 2012)

Lemmikkinä pidettäviä lampaista, kanoja, possuista tai hevosia ei rehulainsäädännön mukaan luokitella lemmikkieläimiin. Luetellut lemmikkinä pidettävät eläimet luokitellaan sen sijaan tuotantoeläimiin. Suomessa tuotantoeläimien rehujen käyttöä, laatua ja merkintöjä säätelee tuotantoeläimien rehuja koskevat vaatimukset. (Ruokavirasto, 2021)

Käytettävien rehuaineiden tulee täyttää vaaditut laatukriteerit ja niiden tulee olla ominaisuuksiltaan ja koostumukseltaan eläinten ruokintaan sopivia. Erityisravinnoksi kohdennettujen rehujen tulee täyttää rehulain pykälän seitsemän mukaiset ominaisuudet. Ainoastaan sellaisia erityisravinnoksi kategorioituja rehuja saa tuoda markkinoille, joiden ravitsemukselliset ominaisuudet ja käyttö vastaavat erityisravinnoksi kategorioitun rehun käyttötarkoitukseluetteloon pohjautuvaa tarkoitusta. Rehuja pakattaessa tulee ottaa huomioon tuotteen ominaisuudet ja yleinen turvallisuus. (Rehulaki 1263/2020 7 §, 8 §, 15 §)

Rehualan toimijoita ja rehuja valvotaan lain mukaan. Valvontatoimenpiteet määritellään tarkoituksenmukaisiksi ja toimenpiteet kohdistetaan kaikkiin tuotannon vaiheisiin alkutuotannosta valmistetun tuotteen markkinointiin sekä käyttöön. Jos on epäiltävissä vaatimuksia rikkovaa toimintaa, esimerkiksi rehulaissa säädettyjä vaatimuksia vastaan esiintyviä rikkeitä, valvontaa tehostetaan. (Rehulaki 1263/2020 38 §) Ruokavirasto on Suomessa toimivallassa oleva valvontaa suorittava viranomainen, joka toimii rehulain mukaan. Lemmikkieläinten rehujen tuottajat ovat niitä alan toimijoita, jotka rekisteröidään. Rekisteröintiprosessi ei kuulu ainoastaan rehuja tarjoaville vähittäiskaupoille. Alan toimijoita valvotaan rehulainsäädännön lisäksi eläimistä saatavia sivuvirtoja koskevan lainsäädännön mukaan. Suomessa tarjotuista lemmikkieläinruoista suurin osa valmistetaan Euroopan unionin sisällä. Valmistettavia toimijoita valvoo aina kyseisen maan viranomaiset yhteistyössä Euroopan unionin kanssa. Eläinlääkinnälliset rajatarkastukset ovat yksi ruokaviraston työkaluista tuontirehujen valvonnassa. Markkinavalvonnassa vähittäiskaupoissa sijaitsevista rehuista tehdään laboratoriokokeet laadunvarmistuksen takaamiseksi. Rehuja valmistava toimija vastaa lähtökohtaisesti omien tuotteidensa turvallisuudesta ja siitä, että tuotteet täyttävät viranomaisten asettamat vaatimukset. (Ruokavirasto, 2021)

#### **4 Puolikiinteän öljypohjan prosessointi**

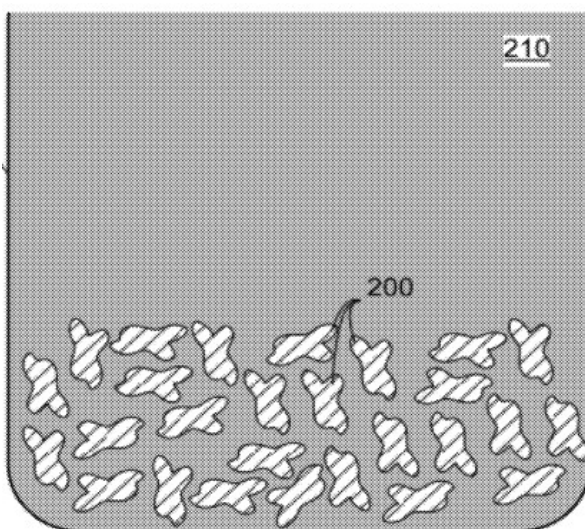
Yhdysvaltalaisessa patenttihakemuksessa US20120076914A1, joka on jo rauennut, käsitellään puolikiinteän täydennysrehun valmistusprosessia. Viskoosisen ravintolisän (viscous liquid dietary supplement) patentissa kuvataan kalaöljyn sakeuttamista kasvipohjaisella sakeuttamisaineella ja piidioksidilla, jotka dispergoidaan tuotepohjan öljyyn. Puolikiinteä olomuoto helpottaa annostelua lemmikkieläimelle. Kalaöljy ja sakeuttamisaine



muodostavat viskoosisen nesteseoksen, joka toimii kalaöljyssä esiintyvien luontaisten ravintoaineiden kuljettimena. Käsiteltävä sakeuttamisaine ei reagoi eläimen kehossa eikä kalaöljyssä, joten luonnollisesti esiintyvät ravintoaineet eivät kärsi sakeuttamisaineen lisäämisestä. Valmistettua viskoosista nesteseosta voidaan käyttää hyväksi kuljetinliuoksena lisätylle ravintolisälle. (Langford, 2012)

Kalaöljy tarjoaa monia terveydellisiä hyötyjä eläimille kalaöljyssä luonnollisesti sisältyvillä ravintoaineilla, vaikka öljyyn ei olisi lisätty muita ravintoaineita. Toisin sanoen kalaöljy itsessään on lisäravinne. Kalaöljy toimii hyvin kuljettimena siihen lisättäville ravintoaineille ja se helpottaa eläimen ruokkimista lisättyjen ravintoaineiden suhteen. Kalaöljyllä on usein juoksevaa ja sen viskositeetti on 30–60 senttipoisin välillä, joten öljyn käsittely on usein sotkuista. Juoksevaan öljyyn suspendoitut ravintoaineet, kuten esimerkiksi entsyymit, vitamiinit ja mineraalit laskeutuvat öljyn kantokyvyn puutteesta johtuen tuotepakkauksen pohjalle ajan saatossa (kuva 3). Jos lisätyt kiintoaineet ovat laskeutuneet, tuotetta tulee ravistaa riittävästi ennen käyttöä tasaisen ravintoaineiden sekoittuvuuden vuoksi. Ravistamisen tarve saattaa vähentää kuluttajien suosiota valmisteen käyttämiseen ja ravintoaineiden tasainen jakaantumisen riippuvuus ravistamisesta on riskitekijä tarkan annostelun suhteen. (Langford, 2012, s. 4)

Kuva 3. Öljyyn lisätyt kiintoainepartikkelit vajonneena tuotepakkauksen pohjalle (Langford, 2012).

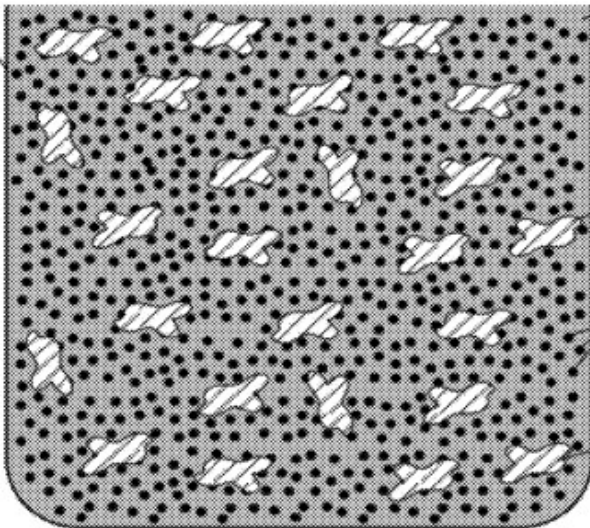


Kuljetinliuoksen, esimerkiksi kalaöljyn, viskositeettia kasvatetaan sakeuttamisaineella. Sakeuttamisaineena voi toimia esimerkiksi piidioksidi, vaha-aine tai kasvipohjainen

sakeuttamisaine. Sakeuttamisaineella ei ole vaikutusta eläimen elimistössä eikä sillä ole kemiallista yhteisvaikutusta kalaöljyn tai lisättyjen ravintoaineiden kanssa, milloin öljyn luontaisten ja lisättyjen ravintoaineiden laatu ei kärsi, kun sakeuttamisaine dispergoidaan kuljettimeen. Tällainen on mm. sakeuttamisaine, joka sisältää amorfista ja hienojakoista piidioksidia, kuten esimerkiksi saostettua tai höyrytettyä piidioksidia tai niiden sekoitusta. Lisäksi piidioksidi voi olla hydrofiilista. Sopiva piidioksidi on esimerkiksi Evonikin valmistama AEROSIL® 200 -piidioksidi. (Langford, 2012, s. 4)

Kun tuotepohjan viskositeettia on kasvatettu sakeuttamisaineella, suurempi viskositeetti vähentää tuotteen valumista ja juoksevuuutta, helpottaa valmistusprosessia sekä mahdollistaa käyttäjätavallisempaa tuotteen. Viskositeetin kasvattamisella parannetaan suspension homogeenisuutta eli lisättyjen ravintoaineen tai -aineiden tasaisempaa jakautuvuutta ja estetään partikkeleiden vajoaminen tuotepakkauksen pohjalle (kuva 4). Puolikiinteä olomuoto helpottaa ravinnelisan annostelun tarkkuutta ja kontrolloitavuutta, kun lisäravinnetta syötetään lemmikkieläimelle. (Langford, 2012, s. 4)

Kuva 4. Sakeutusaineen vaikutus kiintoainepartikkeleiden vajoamiseen (Langford, 2012).



Eri määrä eri sakeuttamisaineita voidaan lisätä kalaöljyyn, jotta saavutetaan tavoiteltu viskositeetti. Sakeuttamisaineen määrä on suoraan verrannollinen aistinvaraisesti havaittavaan rakenteeseen, pienellä määrällä sakeuttamisainetta lopputulos voi muistuttaa rakenteeltaan nestemäistä käsisaippuaa ja suurella määrällä rakenne muistuttaa paksun rasvaseoksen rakennetta. Tavoiteltava lopputuotteen viskositeetti on osa tuotteen helppokäyttöisyyttä, esimerkiksi annosteltaessa ilman öljyn valumista ja ylimääräistä sotkua.

Viskositeetin optimoinnissa tulee huomioida, että öljy ei muodosta tukoksia annosteltaessa. Sakeuttamisainetta lisätään prosessista riippuen 0,5–30 % nesteseoksen painosta. Tavoitteena pitoisuus on usein 5–25 % painosta. (Langford, 2012, s. 5)

Sakeuttamisaine saattaa koostua yhdestä aineesta tai eri sakeuttamisaineiden seoksesta. Esimerkiksi piidioksidia voidaan käyttää kalaöljyn sakeuttamiseen, jolloin piidioksidia lisätään 0,5–20 %, mieluiten 5–15 % kokonaispainosta. Piidioksidi taas voi olla tiettyä laatua tai yhdistelmä eri piidioksidilaaduista, kuten esimerkiksi saostetun ja höyrytetyn piidioksidin seos. Tuotepohjan koostumus voi muodostua esimerkiksi kalaöljystä, piidioksidista ja ravintolisästä. Tällöin piidioksidin osuus voisi olla esimerkiksi 17 % kokonaispainosta, ravintolisä 14 % kokonaispainosta ja öljy muodostaisi loput 69 % painosta. (Langford, 2012, s. 5)

Kun halutaan kasvattaa viskositeettia, eri menetelmiä voidaan käyttää piidioksidin dispergoinnissa. Yksinkertainen tapa on sekoittaa öljy valitussa lämpötilassa ja lisätä piidioksidi vähitellen mekaanista sekoittamista jatkaen. Sekoittamista jatketaan, kunnes haluttu viskositeetti on saavutettu. Toisena esimerkkinä sekoittamisen osaprosessi voi olla muuten samanlainen, mutta muodostettu dispersio kierrätetään erillisen korkean kierrosnopeuden omaavan sekoittajan läpi. Lisäksi alipaineella voidaan kontrolloida hapelle altistumista. (Langford, 2012, s. 5)

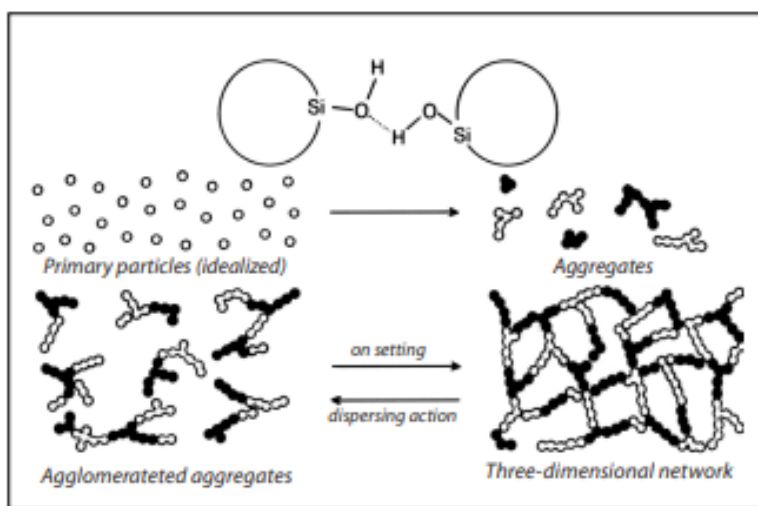
Eräissä esimerkissä saostettua piidioksidia lisätään ja sekoitetaan noin 5 % painosta kalaöljyyn käsin, jolloin kasvatetaan viskositeetti 3740 senttipoiisiin lämpötilan ollessa 19°C. Toisessa esimerkissä piidioksidia lisätään saman verran ja sekoittaminen suoritetaan matalalla kierrosnopeudella mekaanisella sekoittimella, jolloin saavutetaan 4860 senttipoisin viskositeetti lämpötilan ollessa 19°C. Kuvatuilla kalaöljyn sakeuttamisen menetelmillä yhdistetään öljy ja piidioksidi tavalla, jolloin piidioksidipartikkelit absorboivat öljyn mahdollistaen viskositeetin kasvun, jolloin mukaan voidaan lisätä toteutettavalla tavalla muita kiinteitä ravintoaineita ilman kiinteiden partikkeleiden laskeutumista tuotepakkauksen pohjalle. Kalaöljyn viskositeetin kasvattamisella tuotepohjan olomuoto saadaan muistuttamaan muita puolikiinteitä tuotteita, kuten esimerkiksi siirappia tai käsivoidetta. (Langford, 2012, s. 6)

#### 4.1 Piidioksidin kostuttaminen

Höyrytetyn piidioksidin lisääminen ja lisäämisen järjestys kohdeseokseen ovat kriittisiä vaiheita piidioksidia hyödyntävissä prosesseissa. Tutkimukset osoittavat, että höyrytetty piidioksidin tulee olla ensimmäisiä lisättäviä komponentteja heti tuotepohjaan käytetyn öljyn jälkeen. Piidioksidia ei kannata dispergoida liuottimeen, vaan se kannattaa dispergoida kalvoa muodostaviin nestekomponentteihin ja kostuttamisen tulisi tapahtua tällöin mahdollisimman korkeassa viskositeettitilassa ja niin pienen nesteen määrän kanssa kuin mahdollista (kuva 5). Joillakin hartseilla tai öljyillä on näyttöä höyrytetyn piidioksidin kostuttamisesta. Näissä tapauksissa paras tapa on dispergoida piidioksidi, esimerkiksi AEROSIL®-piidioksidilaatu, tämäntyyppisiin kuljettimena toimiviin kostutusliuoksiin. Dispersio toimii tällöin esisekoitteena, jota voidaan käyttää jatkoprosesseissa, joissa kostuttaminen ei onnistu yhtä tehokkaasti.

Vesipohjaisissa prosesseissa piidioksidin lisäämisjärjestys on erityisen kriittinen vaihe hydrofobisille piidioksidilaaduille. Hydrofobisten eli vettä hylkivien laatuja käytettäessä höyrytetty piidioksidi AEROSIL® tulee lisätä kuljetinliuokseen ensimmäiseksi ja ilman veteen mukauttamista. Jos vesi kapseloi kostuttamattoman hydrofobisen höyrytetyn piidioksidin, myöhempi dispergointi muuttuu erittäin vaikeaksi. (Degussa, 2006, s. 9)

Kuva 5. AEROSIL® piidioksidin partikkeleiden reaktio nesteessä (Degussa, 2006, s. 3).



Kun höyrytetty piidioksidi on onnistuneesti saatu kostutettua, voidaan aloittaa halutessa muiden lisäaineiden, pigmenttien tai täyteaineiden lisääminen. On suositeltavaa tehdä

dispergoidusta piidioksidista, pigmentistä ja muista täyteaineista konsentroituja esisekoitteita, koska näillä on osoitettu parempaa rakenteen pysyvyyttä, pitkäaikaista säilyvyyttä, stabiilisuutta sekä lepojähmeyttä kuin suoraan lisäämisellä. (Degussa, 2006, s. 10)

## 4.2 Fluidin pumppaaminen

Pumppu on laite, joka käyttää energiaa lisätäkseen virtaavan aineen kokonaispainetta. Pumpun avulla korvataan kitkasta aiheutuvat painehäviöt ja tarvittaessa nostetaan nestettä. Virtaavaan nesteeseen pumpun avulla välitettyä painetta kutsutaan kokonaispaineksi. (Holland & Bragg, 1995, s. 140) Pumpuiksi luokitellaan kaasukompressorit, vakuumpumput, puhaltimet ja erilaiset tuulettimet. Yksi merkittävä pumpun ominaisuus on tilavuudellisen virtausnopeuden (kapasiteetti) ja paineen kasvun suhde. Graafinen esittämistapa tästä suhteesta on nimeltään ominaiskäyrä. Ominaiskäyrät antavat tietoa muista pumppuun liittyvistä ominaisuuksista kuten tehosta, pumpun hyötysuhteesta ja nettoimupaineesta. (Berk, 2009, s. 46)

Oikeanlaisella pumpun valinnalla on mahdollista säästää huomattava määrä energiaa, säästö voi olla jopa 15 % (Thinkflow, n.d.). Pumpputyyppejä valittaessa tulee ottaa huomioon prosessin kannalta eri näkökulmia ja tekijöitä. Prosessin vaatimukset, prosessiolosuhteet, energian tarve, taloudellisuus ja muut mahdolliset prosessiin vaikuttavat tekijät ohjaavat pumpun valintaa. Vaatimuksia voi olla esimerkiksi tilavuudellinen kapasiteetti ja sen kontrollointi, fluidin siirtyminen ja paine. (Berk, 2009, s. 53) Fluidi on aine, joka ei vastusta muodonmuutosta pysyvästi (MyCourses, 2019, s. 6). Prosessin olosuhteisiin vaikuttaa lämpötila, viskositeetti sekä fluidin korroosio- ja eroosiokyky. Yhteensopivuus terveysvaatimusten kanssa on tärkeää ja välttämätöntä ruoka-aineita pumpattaessa. Pumpun valintaa tehdessä tulee ottaa huomioon pesun suorittaminen, seisovien alueiden minimointi, materiaalien yhteensopivuus ruoka-aineiden kanssa, voiteluaineiden laatu ja tiivisteiden kestävyys. (Berk, 2009, s. 53)

### 4.2.1 Pumpputyypit

Mekaaninen energia välittyy käsiteltävään aineeseen pumpun avulla. Pumppuja on tarjolla teollisuuden tarpeisiin useita, mutta pumput voidaan jakaa kahteen pääryhmään.

Nimellisesti jako tapahtuu kineettisiin pumppuihin ja positiivisiin syrjäytyspumppuihin, joita on useita eri vaihtoehtoja. Kineettiset pumput välittävät nesteeseen nopeutta, joka konvertoidaan paineeksi Bernoullin lain mukaan. (Berk, 2009, s. 46; Singh & Heldman, 2013, s. 68) Bernoullin laki kuvaa nopeuden ja paineen vaihtokelpoisuutta keskenään energiamuotoina. Bernoullin lakia on mahdollista käyttää hyväksi alipainepumppuissa ja nostovoiman syntyä perusteltaessa. Bernoullin lain mukaan tehdään johtopäätöksiä vallitsevasta paineesta ja virtausnopeudesta. (Aerodynamiikka, n.d.)

Teollisuudessa useimmiten käytetty kineettinen pumppu on keskipakopumppu.

Pumpattavaan aineeseen välittyy pumpun keskeltä nopeasti pyörivän roottorin avulla pyörivä liike. Nesteen pumppaaminen mahdollistuu, kun neste siirtyy kammion keskeltä ulkoreunalle sentrifugisilla voimilla. Nopeus hidastuu välikammiossa, kun neste pumpataan ulostuloon. Suurin osa dynaamisesta paineesta konvertoituu staattiseksi paineeksi. Roottori koostuu kaarevista siivekkeistä, jotka voivat olla aukinaisia, puoliaukinaisia tai peitettyjä. (Berk, 2009, ss. 46–47; MyCourses, 2019, s. 24) Keskipakovoiman hyödyntäminen paineen kasvattamisessa nesteessä on keskipakopumpun käyttöperiaatteen ydin (Singh & Heldman, 2013, s. 68).

Keskipakopumppuja käytetään yleisesti prosesseille ja erityisesti nesteille, joilla on suhteellisen pieni viskositeetti ja suuri tilavuus. Päinvastaisesti positiivisia syrjäytyspumppuja käytetään olosuhteissa, joissa on suuri paine, pieni kapasiteetti ja fluideissa on suuri viskositeetti. Yleinen oletus on, että keskipakopumput ovat yksinkertaisia, kestäviä, pitkäikäisiä ja edullisia. Keskipakopumput eivät kuitenkaan sovellu suuriviskoosisten aineiden käsittelyyn. Elintarviketeollisuuden käyttötarpeisiin pumppuja löytyy molemmista määritellyistä kategorioista. (Berk, 2009, s. 53; Holland & Bragg, 1995, s. 162)

Positiivisissa syrjäytyspumppuissa osa fluidista on suljettuna kammiossa ja sitä liikutetaan mekaanisesti eteenpäin. Edestakaisin toimivat kalvo- ja mäntäpumput, kiertopumput (lohko- ja hammaspyöräpumput), ruuvipumput ja peristalttiset pumput ovat positiivisia

syrjäytyspumppuja. (Berk, 2009, s. 49) Useimmissa tapauksissa positiiviset syrjäytyspumput luokitellaan roottoritoimisiin tai kaksitoimisiin edestakaisin liikkuviin pumppuihin. Joissakin pumpuissa on kuitenkin molempia ominaispiirteitä. Roottorin toimintaan perustuvat pumput siirtävät nestettä pyörivien vaihteiden, lohkojen, ruuvien ja ohjaussiivekkeiden avulla. Roottoriperiaatteella toimivat pumput eivät vaadi venttiilejä toimiakseen ja pumpattavuutta säädellään pumpun tahdin ja iskun pituuden avulla. Edestakaiseen liikkeeseen perustuvat pumput siirtävät ainetta muuttamalla pumpun tilavuutta. Venttiilit ovat välttämättömiä, mutta säätötoimenpiteet ovat samat kuin roottoriperiaatteella toimivilla pumpuilla. (Holland & Bragg, 1995, s. 159; Singh & Heldman, 2013, s. 71)

Mäntäpumpun rakenne koostuu sylinterimäisestä kammioista, joka sisältää edestakaisin liikkuvan männän. Kaksi yksisuuntaista takaiskuventtiiliä on sijoitettuna sylinterin pätyyn. Sisääntuloaukon venttiili voi aueta ainoastaan sisäänpäin ja ulostuloventtiili ulospäin. Männän palautuessa sisääntuloventtiili avautuu ja vetää fluidia laajenevaan kammioon. Kun mäntä nousee, sisääntuloventtiili sulkeutuu ja ulostuloventtiili avautuu samanaikaisesti ja fluidi etenee purkautuvan paineen avulla. Mäntäpumppu toimii hyvin esimerkiksi suuripaineisissa homogenaattoreissa, kun fluideja pakotetaan homogeenin läpi paineen ollessa 10–70 MPas. Vaihteleva eli tällöin hyvin kontrolloitavissa oleva virtausnopeus on yleensä yksi prosessin vaatimus. (Berk, 2009, ss. 49, 53–55)

Kalvopumppu on toinen esimerkki positiivisesta syrjäytyspumppusta, joka hyödyntää edestakaista liikettä. Mäntä on korvattu joustavalla kumista tai muusta elastomeeristä valmistetusta kalvolla. Kalvo sulkee kammion toisen puolen ja kalvoa mekaanisesti taivutetaan edestakaisin, jolloin vähennetään ja lisätään kammion vapaata tilaa samalla toimintaperiaatteella kuin mäntäpumppussa. Pumpun kammiossa sijaitsevat takaiskuventtiilit fluidin sisään- ja ulostuloa varten. Kalvon käyttö männän sijaan minimoi pintojen kulumisen, koska liikkuva mäntä ei ole luomassa kitkaa kammion seinämiin. Samasta syystä kalvopumppuja voidaan hyvin käyttää eroosiota aiheuttavien partikkeleiden sisältäviin fluideihin. Kalvojen käyttö kulutusosina on taloudellisesti edullista ja ne on helppo vaihtaa uusiin. (Berk, 2009, s. 50)

Kiertopumput ovat positiivisia syrjäytyspumppuja, joissa liikkuva kammio muodostetaan kahden tai yhden liikkuvan elementin ja pumpun kammion väliin. Elementteinä toimivat

roottorit. Fluidi etenee muodostetussa kammiossa imusta poistoon. Lohkopumppu on yksi esimerkki kiertopumpusta. (Berk, 2009, s. 50)

Ruuvipumpuista erikoisemman tekee pyörivä spiraalimainen akseli kierteisessä staattorissa. Kammion ja akselin väliin muodostuva tila kuljettaa fluidia akselin pyöriessä. Fluidi liikkuu eteenpäin tilavuuden ollessa vakio vähäisellä leikkautuvuudella. Ruuvipumput ovat vaihtoehto suuriviskoosisille fluideille, joissa on seassa kiintoainetta. Staattori on yleensä valmistettu kumista tai vaihtoehtoisesti toisesta sopivasta polymeerista. Roottori on ruostumatonta terästä. Uudessa pumpussa staattorin ja roottorin istuvuus on vielä tiukka, mutta kuljetettava neste toimii hyvin prosessissa voiteluaineena. Pumppua käytettäessä istuvuus löystyy, joten staattorin vaihtaminen on suositeltavaa tasaisin väliajoin. (Berk, 2009, ss. 51–52)

Peristalttisia pumppuja käytetään pieniin tuotantomääriin ja mataliin paineisiin. Peristalttinen pumppu rakentuu joustavasta putkesta, jota esimerkiksi puristetaan pyörivällä rullalla. Pumpattava neste on kontaktissa vain putken pintamateriaalin kanssa. Menetelmä ei vaadi venttiileitä, akseleita tai laakereita. Käytössä oleva joustava putki on kulutusosa. Peristalttisia pumppuja käytetään yleensä lääketeollisuudessa ja laboratorio-olosuhteissa. Menetelmä on sopiva joissain teollisissa operaatioissa, joissa fluidi tulee annostella hitaasti ja tarkoin hallittavissa olevalla virtausnopeudella. (Berk, 2009, s. 52)

Ylimääräinen rasitus, iskut ja leikkausvoimat eivät ole aina soveliaita prosesseissa, joissa käsiteltävässä fluidissa on tietynlainen rakenne, potentiaali muodostaa reilusti ilmakuplia ja jos seassa on herkästi hajoavaa kiintoainesta. Keskipakopumput toimivat yleisimmin tietyllä vakiokierrosnopeudella, joka on samalla moottorin nopeus. Positiiviset syrjäytyspumput käyvät alhaisemmilla kierrosnopeuksilla ja pumppujen akseli on kiinni moottorissa nopeutta hidastavan vaihdelaatikon välityksellä. Positiivisissa syrjäytyspumpeissa säädeltävissä oleva virtausnopeus saavutetaan käyttämällä moottoria, jossa on ominaisuutena vaihdettavissa oleva nopeusasetus tai hyödyntämällä eri nopeusasetuksia sisältävää voimansiirtoa. Joissakin mäntäpumpeissa löytyy erillinen systeemi männän liikerataa hienosäätöön. (Berk, 2009, ss. 53–55)



#### 4.2.2 Putkikoon määrittäminen

Optimaalinen putkikoko on yksinkertaistettuna prosessiin sopivin koko putken halkaisijan mukaan. Optimi putkikoko on pienin putken halkaisija, jolla fluidin siirto onnistuu tehokkaasti. Todellisuudessa optimikoko riippuu käyttötarkoituksesta. Optimikoolla voidaan tarkoittaa taloudellisesta tehokkuutta systeemin eliniän ajan tai kykyä hallita tiettyjen fluidien nopeutta putkessa minimoiden putken pinnan eroosiota. Optimilla putkikoolla voidaan myös tarkoittaa halkaisijaa, jolla voidaan tuottaa ennalta määrätty virtausnopeus, joka ylläpitää suspensioon sekoitetut kiintoaineet koossa. Liian usein optimi putkikoko sekoitetaan ja yhdistetään taloudellisesti optimiin kokoon. Lisäksi tyydyttävän ja taloudellisemman vaihtoehdon nojalla optimilla putkikoolla voidaan tarkoittaa putken halkaisijaa, jolla päästään haluttuun lopputulokseen mahdollisimman vähällä jätemäärällä ja kustannuksilla. (Randall & Whitesides, 2012, ss. 3–4)

Putken halkaisijan selvittäminen on yksi keskeisimpiä virtausteknisiä tehtäviä. Kaupalliset putkikoot on standardoitu käytännöllisistä syistä, joten mahdollisista vaihtoehdoista on valittava sopivin kohdeprosessiin. Putkikoko voidaan selvittää suositellun virtausnopeuden mukaan, optimoimalla tai käytettävissä olevan paine-eron perusteella. (MyCourses, 2019, s. 22)

Putken halkaisija on mahdollista selvittää keskimääräisen virtausnopeuden avulla, kun otetaan huomioon virtauksen poikkileikkaus, joka on ympyrä (kaava 1).

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

(1)

D = halkaisija

Q = tilavuusvirta

v = suositeltu virtausnopeus (MyCourses, 2019, s. 22)

Suosittelut virtausnopeudet ovat kehittyneet käytännön kokeilujen kautta. Suositellut virtausnopeudet huomioivat eri tekijöitä kuten esimerkiksi eroosiota, likaavuutta ja

kustannuksia. Putkikoko valitaan laskettua arvoa lähinnä oleva standardikoko. Ylikapasiteetti on hyvä huomioida pyöristämällä ylöspäin. (MyCourses, 2019, s. 23)

Materiaalin siirtämisessä voidaan hyödyntää myös paine-eroa. Prosessin putkisto voidaan suunnitella tavalla, jossa paine-eroa hyödynnetään, jolloin pumpulle ei ole aina tarvetta. Jos paine-eron hyödyntäminen johtaa epäkäytännölliseen putken halkaisijaan, pumppu ja pienempi putkikoko voi olla tällöin parempi vaihtoehto. Paine-eroa hyödynnettäessä virtausta halutaan usein kontrolloida säätöventtiilillä, mikä aiheuttaa suuren paikallisvastuksen. Säätöventtiilin hyödyntäminen painehäviössä parantaa virtauksen säädettävyyttä, mutta nostaa energiantarvetta. (MyCourses, 2019, s. 23)

Kun putken halkaisijaa kasvatetaan, putkiston virtausvastukset pienenevät kääntäen verrannollisesti. Käyttökustannukset myös laskevat. Suurempi putken halkaisija merkitsee kuitenkin suurempia investointikustannuksia. Prosessiin sopivin koko on silloin, kun käyttökustannukset ja investointikustannukset ovat pienimmillään. (MyCourses, 2019, s. 23)

Tyypillinen putkisto nestemäisen ruoka-aineen kuljetukseen koostuu useasta komponentista. Putkiston pituuden lisäksi käänkökohdat ja eri haarat ovat osana fluidin siirtämisen kontrolloinnissa. Putken halkaisija on yleensä 2 ja 10 senttimetrin välillä. Komponentit on yhdistetty osana kokonaisuutta ja putkistoa voidaan mahdollisesti käyttää eri tavoin käyttötarkoituksesta ja asetelmasta riippuen. Venttiili on komponentti, jolla säädetään virtausnopeutta. (Singh & Heldman, 2013, s. 68)

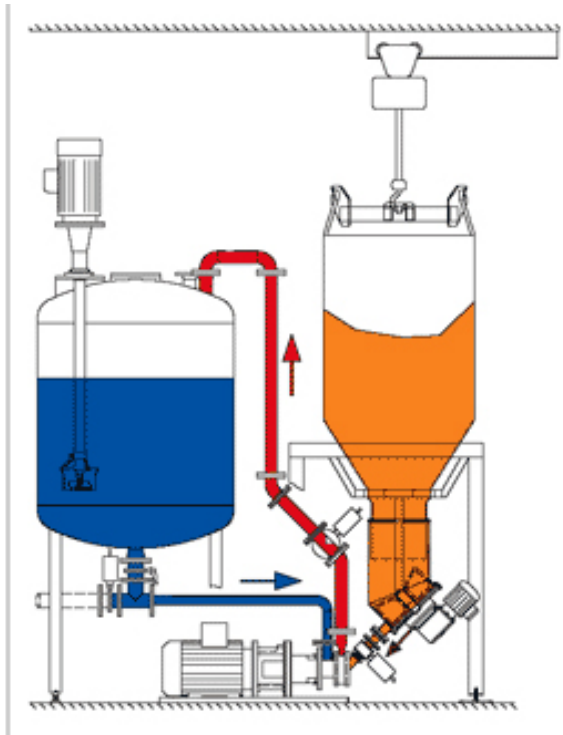
Putkisto tulee asentaa prosessiin siten, että kuljetettava materiaali ei vahingoitu virtauksessa. Suunnittelussa minimoidaan painehäviötä esimerkiksi poistamalla ylimääräiset käänkökohdat ja haaraumat putkistossa. Putkisto ei saa sisältää seisovia alueita, jotka on vaikea puhdistaa valituin menetelmin. Venttiilit tulee asentaa seisovat alueet huomioon ottaen. Optimoitu putkisto tarkoittaa, että prosessi on mahdollisimman hellävarainen valmistettavalle tuotteelle sisältäen helpon puhdistettavuuden ja matalan energiankulutuksen. Ylimääräisen ilman tunkeutuminen tulee minimoida, jotta vältetään ilmataskujen syntymisestä. (Folkmar Andersen ym., 2006, ss. 24–25)

### 4.2.3 Conti-TDS -pumppusekoitin

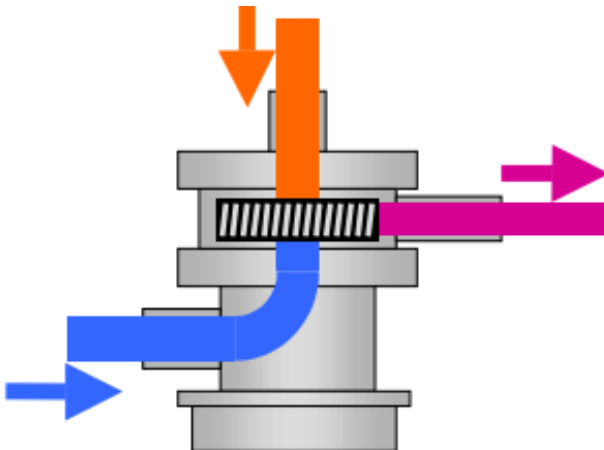
Ystralin Conti-TDS on potentiaalinen laitekomponentti prosessille, kun tarkoituksena on fluidin siirtäminen, kostuttaminen ja jauheiden dispergointi nesteeseen. Conti-TDS on suunniteltu roottori-staattori-periaatteen mukaan eli laite luo tarvittavan tyhjiön, jotta jauhe voidaan itsestään johdattaa leikkaaville voimille, jotka kiihtynyt nestevirtaus on luonut. Laitejärjestelmä on sertifioitu. Kuten muutkin Ystral TDS -laitteet, Conti-TDS tarjoaa useita etuja yhdessä laitejärjestelmässä. Pölyttömyys, pakokaasuttomuus, ylimääräisiltä astioilta ja suodattimilta välttyminen, suoratoiminen imu ja kostutus nestevirtaukseen sekä suuri dispersiosaanto ja pesuvaiheen helppo toteuttaminen ovat laitteen eduksi luettavia ominaisuuksia. (Powder Technologies Incorporated, n.d.)

Muista Ystral TDS -laitteista poiketen mallia ei asenneta sisäisesti prosessiin, vaan järjestelmän voi sijoittaa prosessin ulkopuolelle. Oikein asennettuna kaikki energia kohdistuu dispergointiin ja kostuttamiseen. Neste ja jauhe liittyvät sekoituskammioon eri puolilta. Neste ja jauhe muodostavat dispersion roottori-staattori-systeemissä ja poistuvat kostutettuna seoksena poistoputkesta (kuvat 6 ja 7). Ystral Conti-TDS voidaan asentaa poikittain tai pystyyn helpottaen järjestelmän istuvuutta prosessiin. Laitejärjestelmää on suositeltavaa hyödyntää avoimena systeeminä, joka on liitetty säiliöön. Laite vaatii staattista painetta sekoituskammion läpiviennissä. Staattinen paine on mahdollista luoda pumpulla. Tehokkain jauheen siirtäminen onnistuu asentamalla järjestelmä mahdollisimman lähelle sekoitussäiliötä. Asentamisen helppoutta olemassa oleviin prosesseihin lisää myös tulo- ja poistumisaukon mukautettavuus. (Powder Technologies Incorporated, n.d.)

Kuva 6. Ystral Conti-TDS prosessissa. Sininen väri kuvaa nestettä, oranssi väri jauhetta ja punainen väri dispersiota. (Powder Technologies Incorporated, n.d.)



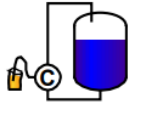
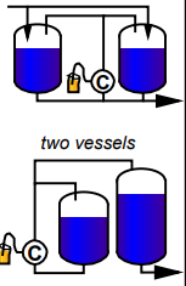
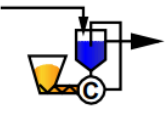
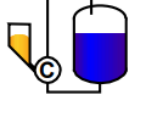
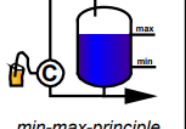
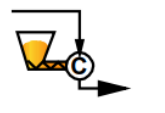
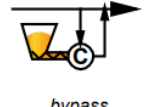
Kuva 7. Conti-TDS toimintaperiaate. Sininen väri kuvaa nestettä, oranssi väri jauhetta ja punainen väri dispersiota. (Ystral, n.d.)



Suuriviskoosisia aineita käsiteltäessä pumppujärjestelmä asennetaan nesteen virtausnopeuden kasvattamista ja jauheen siirtymisen tehostamista varten. Tuotteen siirtyminen on järjestelmässä pumpun varassa. Conti-TDS imee ja dispergoi jauheen nestevirtaukseen. Toimintaperiaatteen (kuva 8) mukaan Conti-TDS järjestelmää voidaan käyttää jauheen dispergointiin mihin tahansa pumpattavaan ja virtaavaan tuotteeseen. Jos valmistettavassa tuotteessa on suuria eroja viskositeetissa, on mahdollista tarvita

automaattista nestevirtauksen kontrollointia. Dispergointia voidaan jatkaa haluttuun partikkelikokoon asti. Käsiteltävää jauhetta kuljetetaan erillisellä putkistolla suoraan säiliöstä tai vaihtoehtoisesti irrallisesta säkistä. Suurempien käsiteltävien määrien kanssa on suositeltavaa käyttää erillistä säiliötä. (Ystral, n.d.) Teknisten ominaisuuksien mukaan järjestelmää voidaan käyttää viskositeetin ollessa alle 200 000 mPa·s (taulukko 1) (Jarlas, n.d.).

Kuva 8. Conti-TDS toimintaperiaate erä- ja jatkuvatoimiselle prosessille (Ystral, n.d.).

| <i>product supply</i>            | <b>discontinuous</b>  |   | <b>continuous</b>  |
|----------------------------------|---|---|--|
| <i>further treatment</i>         |   |   |  |
| <i>principles</i>                |   |   |  |
|                                  | <br><i>directly from bag</i>                     | <br><i>two vessels</i><br><i>working- / buffertank</i> | <br><i>inline, with deaeration</i> |
|                                  | <br><i>from hopper, BigBag container or Silo</i> | <br><i>min-max-principle</i>                         | <br><i>directly inline</i>         |
|                                  |   |   | <br><i>bypass</i>                |
| <i>dosing</i>                    | <i>no problem, weighing is sufficient</i>   |   | <i>each component gravimetric</i>  |
| <i>more than only one powder</i> | <i>no problem, together or one after another in optimum sequence, swelling times, mixing times, cooling etc. no problem</i>       |   | <i>powderpremix or dosing of all powders together swelling times impossible</i>                                      |
| <i>What about air?</i>           | <i>escapes in the vessel</i>  |   | <i>deaeration required</i>   |
| <i>dispersing</i>                | <i>with the same machine after powderinduction</i>  |   | <i>separate machine required</i>   |
| <i>pumping</i>                   | <i>with the same machine</i>  |   | <i>separate pompe</i>  |
| <i>product change</i>            | <i>low expense</i>  |   | <i>very complicate</i>   |

Taulukko 1. Conti-TDS tekniset tiedot (Jarlas, n.d.).

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Teho                    | 5,5–250 kW  |
| Jännite                 | 230/400/500 V, 50 Hz                                  |
| Nopeus                  | 1500/3000 min <sup>-1</sup> -> 3600 min <sup>-1</sup> |
| Kammio                  | ruostumaton teräs                                     |
| Virtausnopeus nesteille | 10–200 m <sup>3</sup> /h                              |
| Jauheen siirto          | jopa 24 t/h   |
| Viskositeetti           | 200 000 mPa·s   |
| Sulkeminen              | prosessiolosuhteiden mukaan                           |
| Muuta                   | korkea paineensietokyky                               |

### 4.3 Sekoittaminen

Sekoittamisen tavoite on seoksen homogenisointi. Homogenointi tapahtuu eliminoimalla sekoituslaitteistossa joko konsentraatio- tai väkevyyseroja tai molempia samanaikaisesti. Prosessiteknologiassa seoksen sekoittaminen ja käsitteleminen voivat olla myös keinoja saavuttaa muita tavoitteita. Sekoittamisella voidaan lisätä lämpötilaa ja tehostaa käsiteltävän massan siirtymistä, nopeuttaa kemiallisia reaktioita ja esimerkiksi muuttaa aineen rakennetta. Usein sekoittaminen tapahtuu samanaikaisesti kokonaistilavuuden vähentämisen kanssa, esimerkiksi emulgoinnissa tai homogenisoinnissa. Sekoituksen mekanismi perustuu materiaalin liikkuvien rakenneosasten suhteeseen toisiinsa. Sekoittamisen periaatteet selkenevät, kuten kategorisoidaan nestemäisten ja kiinteiden aineiden sekoitusprosessi. Sekoittamista käytetään yksikköoperaationa seosten tuottamiseen, joita ovat esimerkiksi neste-nesteseokset, kiintoaineiden seokset sekä kiintoaineen ja nesteen seokset. Neste-neste- ja nesteen sekä kaasun sekoittamisessa keskenään sekoittuvien aineiden sekoittumisen lopputuloksena on liikemäärän ja kineettisen energian vaihtokauppa. Nesteiden sekoittamisen tärkein tieteellinen periaate on virtausmekaniikka. Varsinainen sekoittaminen suoritetaan joko mekaanisesti tai pneumaattisesti. (Berk, 2009, s. 175; Pihkala, 2011, s. 80)

Vesi ja vedenkaltaiset nesteet ovat Newtonmaisia nesteitä. Newtonmaisten nesteiden viskositeetti ei muutu sekoittamisessa. Aineita, joiden viskositeetti ei pysy vakiona niitä sekoittaessa kutsutaan tiksotrooppisiksi aineiksi. Tiksotrooppisia aineita ovat esimerkiksi maito ja savi. Reopektisten aineiden viskositeetti kasvaa sekoittamisessa. (Pihkala, 2011, s. 80)

Sekoittamiseen kuluvaa energiamäärää voidaan pitää sekoittamisen tehokkuuden mittarina. Tehontarve on riippuvainen sekoittimen ja sekoitettavan aineen ominaisuuksista. Tehokkuuden perusteella sekoittuminen voidaan jakaa täydelliseen sekoittamiseen ja tulppasekoittamiseen sekä kuolleiden alueiden syntymiseen. Täydellisestä sekoittamisesta on kyse, jos seoksesta voidaan ottaa sattumanvaraisesti näyte ja näytteellä on aina esimerkiksi sama lämpötila ja koostumus. Tulppavirtauksessa ilmenee täydellinen sekoittumattomuus. Sekoitettava materiaali virtaa tulppavirtauksessa sekoittajan läpi reagoimatta tai sekoittumatta aikaisemmin tai sen jälkeen lisätyn aineen kesken. Kuolleista

alueista on kyse silloin, kun osa aineesta jää prosessin sisälle esimerkiksi prosessilaitteiston nurkkiin ja syvennyksiin. (Pihkala, 2011, s. 81)

Hiukkasten ikäjakaumalla pystytään tutkimaan aineen sekoittumisen tehokkuutta prosessissa. Hiukkasten ikäjakauma ilmaisee eri-ikäisten hiukkasten osuuden poistovirtauksessa. Ikäjakauma on mahdollista määrittää askel- tai impulssivasteella. Määriteltäessä impulssivastetta prosessiin syötetään merkkiaineimpulssi. Merkkiaineimpulssi voi olla esimerkiksi väriaine. Mittaamalla merkkiaineen konsentraatio poistokanavassa ajan funktiona mahdollistaa vasteen mittaamisen. Määriteltäessä askelvastetta prosessiin sisääntuloon syötetään tietyistä hetkestä lähtien sopivaksi todettua merkkiainetta, jonka konsentraatio on vakio. (Pihkala, 2011, s. 81)

Sekoittamisessa voi ilmetä kolmea erilaista virtausta, joita ovat tangentiaalinen, radiaalinen ja aksiaalinen virtaus. Tangentiaalisessa virtauksessa virtaus etenee säiliössä sekoittimen tangentin suunnassa sekoittimen pyörimisliikkeen nopeudella. Tangentiaalinen virtaus ei ole tavoiteltavaa ja sitä pyritään estämään esimerkiksi asettamalla virtausesteitä sekoitussäiliön seinämiin. Radiaalinen virtaus ilmenee sekoittimen säteen suuntaisena virtauksena. Tangentiaalinen virtaus voidaan muuttaa radiaaliseksi nostamalla kierrosnopeutta. Aksiaalisessa virtauksessa sekoitussäiliössä virtaus liikkuu akselin suuntaisesti. (Pihkala, 2011, s. 81)

Osa sekoittamisen suunnittelua on tehdä päätös siitä, toteutetaanko sekoittaminen jatkuvatoimisesti vai erätoimisesti. Sopivasta sekoitusmenetelmästä tulee olla suunnitelma jo tuotannosuunnittelun alkuvaiheessa, koska menetelmät vaativat toisistaan poikkeavat laitteistot ja toimintamallit, joiden periaatteet poikkeavat toisistaan radikaalisti (taulukko 2). Kun tuotetta valmistetaan erissä, prosessi rakentuu jatkumattomista peräkkäisen järjestyksketjun valmistelutoimenpiteistä, raaka-aineiden annostelusta, sekoitussäiliön täytöstä, sekoittamisesta ja säiliön tyhjennyksestä. Uutta tuotantoerää varten toimenpiteet tehdään uudestaan samassa järjestyksessä. Jatkuvatoimisessa sekoituksessa kaikki tapahtuu samanaikaisesti prosessille suunnitellun ja sopivan laitteiston avulla. Laitteiston kyky käsitellä sekoitettavaa massaa eri tavoin mahdollistaa samanaikaiset operaatiot. (Powderprocess, n.d.)

Taulukko 2. Jatkuvatoimisen ja erätoimisen sekoittamisen muuttujien vertailu (Powderprocess, n.d.).

| Prosessin muuttuja     | Jatkuvatoiminen     | Erätoiminen           |
|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Kapasiteetti           | 10 kg/h ja suurempi | tosi pienestä suureen |
| Sekoittajan koko       | pienempi            | suurempi              |
| Segregaation riski     | pienempi            | suurempi              |
| Prosessin tilavaatimus | pienempi            | suurempi              |
| Joustavuus             | pienempi            | suurempi              |
| Reseptin haastavuus    | pienempi            | suurempi              |
| Automaatio             | haasteellinen       | yksinkertainen        |
| Henkilöstön koulutus   | suurempi            | pienempi              |
| Tuotantotilan koko     | pienempi            | suurempi              |

Jatkuvatoimisessa sekoittamisessa prosessiin annostellaan jatkuvasti spesifisillä Loss-In-Weight-syöttimillä. Jatkuvatoimiset annostelujärjestelmät voivat perustua myös hihnasyöttimiin. Erä- ja panosprosessien järjestelmät toteutetaan eri tavoin esimerkiksi annostuslaitteilla tai säilövaaoilla. Järjestelmien sähköistys, ohjauslogiikka ja käyttöliittymä sisältyy yleensä automaation säätöihin. (Lahtiprecision, n.d.)

Jauhemaisten aineiden sekoittaminen keskenään on huomattavasti vaikeampi prosessi, kuin nesteiden sekoittaminen johtuen jauheen segregaatiosta eli hiukkasten tavasta pysyä erillään toisistaan. Jauheseokset koostuvat toisistaan eri kokoisista, muotoisista ja tiheyksiltään poikkeavista partikkeleista. Partikkelit liikkuvat sekoitusprosessissa poikkeavuuksistaan johtuen eri tavoin, minkä takia liike saattaa edistää samaan aikaan sekoitusta ja segregaatiota käsiteltävässä jauheessa. Segregaatio on yleisempää vapaasti virtaavissa jauheissa kuin enemmän koossa pysyvissä jauheissa. (Berk, 2009, s. 184)

Dispergoitujen systeemien homogenisointi, kuten suspensioiden ja emulsioiden, sisältää dispersion eri rakenneosien koon pienentämistä. Partikkelikoon pienennysprosessi onnistuu leikkaavien voimien avulla. Leikkausvoima voidaan kohdistaa fluidiin mekaanisesti sekoittamalla, pakottamalla fluidi suurella nopeudella kapean tilan läpi, leikkauttamalla fluidi kahden eri käsittelypinnan avulla tai ultraäänisen värähtelyn avulla. Homogenisaatiota käytetään monissa elintarviketeollisuuden prosesseissa. Tunnetuin esimerkki



homogenisoinnista on maidon prosessointi, kun tavoitteena on estää rasvaisen kerman separaatio muusta maitomassasta painovoiman vaikutuksesta. Muut käyttökohteet voivat olla kastikkeiden emulgointi ja eri konsentraattien stabilointi. Koska lopullinen tavoite on saavuttaa tietyn tasoinen partikkeleiden keskiarvollinen koon pienennys, on tärkeää tutkia partikkelien kokoon vaikuttavia tekijöitä. (Berk, 2009, s. 190)

Sekoittamisessa alileikkautuminen on yleisempää kuin ylileikkautuminen johtuen puutteellisesta energiasyötteestä dispergoinnin aikana. Kuitenkin ylileikkautuvuutta voi esiintyä tapauksissa, joissa dispergointi toteutetaan pitkällä aikavälillä tai tapauksissa, joissa prosessin aikana lämpötila pääsee nousemaan. Näissä tapauksissa esimerkiksi piidioksidi saattaa olla hyvinkin satunnaisesti dispergoitunut. Ylileikkautuvuus voi ilmetä sekä viskositeetin kasvun että lepojähmeyden puuttumisena. Alileikkautuvuus ilmenee huonona sekoittuvuutena, matalampana viskositeettina ja huonompana pidemmän aikavälin säilyvyytenä. (Degussa, 2006. s. 10)

Yksinkertaisin fluidien mekaaninen sekoittamistapa on lapasekoitin (taulukko 3). Lapasekoittimessa on yleensä yksi pari tai kaksi paria suorakaiteen muotoista levyä, jotka on asennettu pyörivään akseliin kohtisuorasti tai vinosti. Lavat voivat sijoittua eri korkeuksille akselissa. Myös itse akseli voi olla eri kulmiin asennettuna. Ripojen asentaminen säiliön seinämiin tehostaa sekoittamista ja vähentää pyörteitä. Suuriviskoosisten nesteiden sekoittamiseen sopii käytettäväksi ankkurisekoittajat, jotka ovat puolipallomaisia säiliöitä sisältäen säiliön pohjanmukaiset sekoituslavat. Ankkuri- ja lapasekoittimia käytetään usein hyvin hitaalla kierrosnopeudella (10–90 rpm). Ankkurisekoittimia hyödynnetään päällystetyissä keittosäiliöissä ja sekoittimissa on usein lastat, jotka keräävät tuotetta kuumalta pinnalta, jolloin vältetään käsiteltävän aineen palaminen kiinni sekoitussäiliön pintaan. (Berk, 2009, s. 175; Pihkala, 2011, s. 83)

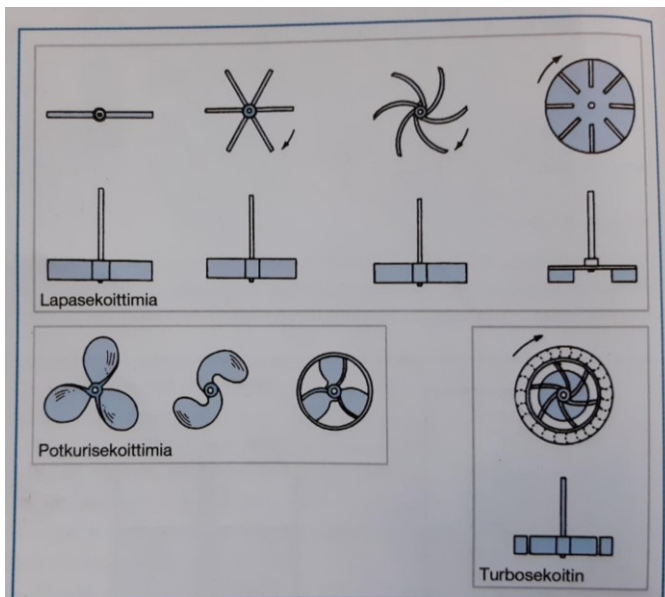
Taulukko 3. Lapasekoittimen prosessiominaisuuksia (Powderprocess, n.d.).

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| Sekoitusväline | lavat                       |
| Frouden luku   | > 1                         |
| Sekoitusnopeus | noin 50 rpm (1000 l säiliö) |
| Koko           | 100 l – 5000 l              |
| Sekoitusaika   | muutama minuutti            |
| Vaikutus       | hellävarainen               |

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| Laakerien lkm. | 1–2                |
| Kansi          | pultattu, tiiviste |
| Ulostulo       | 1–2 kpl            |
| Puhtaanapito   | helppo             |
| Sisäänpääsy    | luukut             |

Turbosekoittimissa (kuva 9) siipipyörä koostuu akseliin kiinnitetyistä kaarevista levyistä. Rakenne ja sekoittimen toimintaperiaate muistuttaa huomattavasti keskipakopumppua. Turbosekoittimia käytetään suurissa kierrosnopeuksissa suuriviskoosille nesteille ja ne tuottavat huomattavia leikkausvoimia fluidiin, joten ne soveltuvat esimerkiksi emulgointiin tai homogenisaatioon. Potkurisekoittimia käytetään pienen viskositeetin omaaviin fluideihin. Akseli on usein kiinnitetty suoraan moottoriin. Kuten turbosekoittimissa, potkurisekoittimissa käytetään kierrosnopeuksia sadoista aina tuhansiin asti. Siipipyörän halkaisija on kuitenkin huomattavasti turbosekoittimen vastaavaa pienempi. Potkurisekoittimen käyttö edellyttää, että sekoitussäiliön pohja on suppilomainen (Berk, 2009, s. 177; Pihkala, 2011, s. 84)

Kuva 9. Nesteisiin käytettäviä sekoittimia (Pihkala, 2011, s. 84).



#### 4.4 Prosessilaitteiston pesu

Puhtaan ja puhtaana pidettävän prosessilaitteiston ylläpitoa ei voi laiminlyödä eikä sitä voi korostaa liikaa. Työntekijöiden hygienia on keskeinen tekijä tuotantoprosessissa. Hygieniaan liittyvät tekijät vaikuttavatkin kaikkiin elintarvikkeen valmistuksen vaiheisiin prosessisuunnittelussa, laitteiston valinnassa, prosessiympäristössä, raaka-aineiden käsittelyssä, pakkaamisessa, henkilöstön koulutuksessa ja ylipäätään kaikissa prosessin eri vaiheissa. Pesuvaiheen tärkeys korostuu, kun kyseessä on laitteisto, jolla käsitellään öljypohjaisia tuotteita. Piiloon jäävät kontaminaatiota aiheuttavat mikrobit voivat helposti pilata kontaktissa olevan käsiteltävän elintarvikkeen. Järjestelmällisesti suoritettua puhtaanapitotoimenpiteet ovat tärkeässä roolissa korkealaatuisten tuotteiden valmistuksessa. Hygieniaan liittyvän tärkeyden merkitys elintarviketuotteen valmistajalle ilmenee tuoteturvallisuudessa ja -laadussa. Jos suunnitellun puhtaanapitojärjestelmän kanssa tapahtuu laiminlyöntejä, lopputuloksena voi olla kaupallinen takaisku. Oikeaoppisesti toteutettu puhtaanapito takaa myös sen, että tuotantolaitos täyttää niille asetetut vaatimukset. (Berk, 2009, s. 561; Della Porta, 2006, s. 57)

Puhdistamisen määritelmä on lian poistaminen. Tamimen (2008, s. 58) mukaan lika voidaan määritellä aineeksi, joka on paikassa, missä sitä ei toivota olevan. Kunnollinen metallipintojen puhdistus vähentää mikro-organismien määrää ja luo ympäristön, jossa ne eivät menesty. Puhdistaminen eliminoi myös muita kontaminantteja, pidentää laitteiston käyttöikä ja puhdas ympäristö on myös esteettisempi. Yksinkertaistettuna puhdistaminen on prosessi, joka poistaa likaa ja estää ruokajäämien kerääntymistä. Pahimmissa tapauksissa ruokajäämät voisivat alkaa mädäntyä ja näin mahdollistaa patogeenien kasvua ja toksiinien muodostumista prosessiin ja valmistettavaan tuotteeseen. (Berk, 2009, s. 561; Della Porta, 2006, s. 57)

Puhdistamisen vaiheet voidaan jakaa viiteen osaan: karkean lian mekaaniseen poistoon liottamalla tai huuhtelulla, pesuaineella pesuun, mahdolliseen desinfektioon, huuhteluun ja kuivaukseen. Mekaanisessa poistossa pesu- tai pyyhintämenetelmällä vähennetään huomattavasti mikrobien määrää. Mekaaninen vaihe on merkityksellinen vaihe pesun ja desinfektion vaikutuksen näkökulmasta. Lika on huuhdeltava pois tarkasti pinnoilta. Pesuaineen kanssa peseminen on puhdistuksen tärkein vaihe, jopa desinfektiota tärkeämpi.

Desinfektio voi tosin tapahtua samanaikaisesti pesuaineiden sisältäessä desinfektioaineita. Varsinainen desinfektio tuhoaa lähes kaikki loput mikrobit, jos prosessi vaatii erillisen toimenpiteen. Huolellisen huuhtelun avulla pyyhitään pinnoilta pesuainejäämät. Kunnollista kuivauksen merkitystä ei saa myöskään unohtaa. (Ympäristökustannus Oy, 2021, s. 44)

Vesi on tärkeä elementti kaikissa pesuliuoksissa, joilla puhdistetaan elintarvikkeita valmistavia prosessilaitteita. Vedessä ei saa olla patogeeneja, toksisia metalli-ioneja ja epämiellyttäviä makuhaittoja. Pesussa käytettävien yhdisteiden tulee olla sopivia käytettävään veteen ja käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi suspendoituneen kiintoaineen pitoisuus tulisi pitää minimissä, jotta vältetään ainejäämistä puhtailla laitepinnoilla. Värikkäitä läiskiä voi ilmetä pinnoille, jos liuenneen raudan ja mangaanin pitoisuus ylittää 0,3 ppm. (Della Porta, 2006, ss. 57–58) Veden kovuus, joka johtuu kalsium- ja magnesiumsuolista, aiheuttaa myös pintajäämiä laitteisiin. Jäämät vähentävät puhdistusaineiden tehoa. Karbonaattikovuus johtuu kalsium- ja magnesiumkarbonaateista ja bikarbonaateista. Karbonaattikovuus on mahdollista poistaa keittämällä. (Della Porta, 2006, s. 58; ks. myös Tieteen termipankki, 2021)

Puhdistusoperaatioon vaikuttaa useat tekijät riippumatta siitä, toteutetaanko pesu käsin vai automaattisella pesujärjestelmällä. Pesuaineen valinta vaikuttaa merkittävästi. Lisäksi vaikuttaa lämpötilan hallinta. Lisäämällä lämpötilaa vähennetään lian ja puhdistettavan pinnan tarttumaa, viskositeettia sekä lisätään liukoisten aineiden liukoisuutta ja kemiallisia reaktioita. Myös käytetyllä paineella on vaikutusta. Käsipesussa fyysinen paine parantaa lian irtoamista. Pesua toteuttaessa automaattisella pesujärjestelmällä nopeammasta syöttönopeudesta johtuva turbulenssin kasvu auttaa lian irrottamisessa. Jos kaikki muut tekijä ovat vakioituja, lisäämällä käsittelyaikaa on mahdollista saada parempi pesutulos. Lopuksi voidaan optimoida pesuaineen konsentraatiota. Nostettu konsentraatio nopeuttaa kemiallisia reaktioita, mutta muihin tekijöihin verrattuna konsentraation lisääminen on tekijänä tehottomin, jos muut osa-alueet ovat kunnossa. (Della Porta, 2006, ss. 61–62)

Kostuttamisen, penetraation, dispergoinnin, suspendoinnin ja huuhtelun periaatteita käytetään puhdistamisessa. Emulgoinnissa tapahtuu yhden tai useamman nesteiden hienojakoisten partikkeleiden dispergointia tai suspendointia toisessa nesteessä. Kostuttamisessa vähennetään väliaineena toimivan veden pintajännitystä, jotta se voi

helpommin penetroitua likaan. Penetraatiossa on taas nesteen etenemistä lian huokoisiin kanaviin. Penetraatio on osa kostuttamista. Dispergointi on isompien rakenneosien hajoamista yksittäisiin partikkeleihin, joita on helppo suspendoida ja huuhdella pois. Suspendoinnissa liukenemattomat partikkelit saadaan kerättyä liuokseen. Peptisaatiossa liukenematon proteiini hajoaa pienemmiksi molekyyleiksi, jotka muuttuvat liukeneviksi. Huuhdeltavuus kuvaa lian irtoavuuden helppoutta, kun pintaa huuhdellaan vedellä. Saippuoitumisessa emäksellä saadaan aikaan hydrolyysi, jolloin rasvat hajoavat glyseroliksi ja rasvahapoiksi. (Della Porta, 2006, s. 59; Tamime, 2008, ss. 61–62)

Normaalit puhdistustoimenpiteet tuhoavat ainoastaan suurimman osan mikro-organismeista. Prosessin ja laitteiston sanitointi on välttämätöntä, jotta mahdolliset patogeenit saadaan tuhottua. Pahimmassa tapauksessa tautia aiheuttava mikro-organismi voi päätyä kuluttajalle. Jopa vaarattomiksi luokitellut mikrobit voivat olla haitaksi, jos olosuhteet ovat mikrobien kasvulle ihanteelliset. Desinfektioaineiksi kutsutaan kemikaaleja, jotka vähentävät patogeeneja ja mikro-organismeja elintarvikehygieenisesti hyväksytylle tasolle. Sanitointiaineella vähennetään mikrobikontaminanttien taso turvalliseksi, mikä on määritelty julkisten terveydenhuollon vaatimusten mukaan. Sanitoinnilla tarkoitetaan toimivia menetelmiä ja pesuaineiden hyödyntämistä, joilla puhdistetaan käsiteltävä pinta tuhoten patogeeneja ja muita ei-haluttuja organismeja. Sanitointi ei saa vaikuttaa laitteiden toimintakuntoon, valmistettavaan tuotteeseen tai käyttäjän terveydentilaan. Sanitointiaineet voivat toimia korkean lämpötilan ja kemikaalien kanssa. (Della Porta, 2006, ss. 64–65; Ympäristökustannus Oy, 2021, s. 41)

Vaadittavan hygieenisen tason ylläpito vaatii puhtaanapidon tulosten ja puhdistustoimenpiteiden riittävyden seuranta. Valvontaan on hyvä asettaa vastuuhenkilö. Prosessiin on hyvä järjestää puhtauden tarkkailusuunnitelma, joka liitetään olemassa olevaan omavalvontasuunnitelmaan. Puhdistustoimenpiteiden laatua on mahdollista valvoa aistinvaraisesti ja mikrobiologisten määritysten avulla. Mikrobiologisia määrittäjiä ovat esimerkiksi elintarvikkeen mikrobiologiset tutkimukset ja prosessin pintapuhtauden tarkkailu. (Ympäristökustannus Oy, 2021, ss. 43–44)

## 5 Tuotepohjan laatu ja viskositeetti

Prosessin raaka-aineiden ja valmiiden kaupallisten lopputuotteiden laatua indikoivien sovellutuksien, menetelmien ja tekniikoiden kehittämistyö on välttämätöntä, jotta käytettävät raaka-aineet on mahdollista käyttää tehokkaasti tuottaen turvallisia ja laadukkaita lopputuotteita. Tärkeitä kehittämiskohteita ovat myös tuoteturvallisuutta ja puhtautta ilmentävät menetelmät. Elintarviketeollisuudessa erilaisia laboratoriomääryityksiä tehdään runsaasti, mutta pitkät suoritusajat vaikeuttavat prosessin optimointia. Mittausten suorittaminen jatkuvatoimisesti prosessin lähellä helpottaa prosessin optimoinnin haasteita. Hygieniamittauksia olisi myös hyvä kehittää nopeampiin ja helposti toteutettaviin pikamääryityksiin. Usein tilanne prosessissa onkin niin, että mittauksia haluttaisiin tehdä enemmän, mutta tekniikat ja menetelmät eivät tue tavoitetta. Sopivien menetelmien avulla tuottavuutta on mahdollista myös tehostaa. Uudet mittausmenetelmät mahdollistavat informaation saamisen prosessista ja prosessin jatkuvan kehittämisen. (Känsäkoski, Suutarinen & Hietala, 1997, ss. 52–53)

Suuressa osassa teollisissa elintarvikeprosesseissa on jonkinasteista fluidin siirtymistä. Esimerkiksi nestemäiset ruoat kuten maito ja mehu tulee pumpata prosessilaitteiston läpi. Tärkeimpiä prosessien hyödynnettäviä aineita, kuten vettä, höyryä ja eri kaasuja siirrellään ja käsitellään ympäri tuotantolaitosta niille suunnitelluissa putkiverkostoissa. Tuotannolle tärkeät yksikköoperaatiot ovat keskeisessä roolissa fluidin virtauksessa. Yksikköoperaatioita ovat esimerkiksi suodatus, sekoittaminen ja puristaminen. Energian määrä, massan siirto ja prosessimekanismi ovat riippuvaisia virtauksen ominaisuuksista. Monien nestemäisten ja puolikiinteiden ruoka-aineiden aistinvarainen laatu onkin suurilta osin riippuvainen ruoka-aineen virtausominaisuuksista. (Berk, 2009, s. 27)

Sopivaa mittausmenetelmää valittaessa on päätettävä, käytetäänkö menetelmänä mittalaitetta vai aistinvaraista arviointia. Mittalaitteen käyttöä yleensä suositaan ajankäytön, toistettavuuden ja työmäärän vuoksi. Aistinvarainen arviointi saattaa joissain tapauksissa olla kuitenkin ainoa tapa saada tarkoituksenmukaista informaatiota. Sopivan menetelmän valintaan vaikuttaa ensinnäkin mitattavan aineen ominaisuudet. Mitattava kohde saattaa olla nestemäistä, kiinteää, homogeenista, haurasta tai heterogeenista. Mittauksen tarkoitus on myös tekijänä merkittävä. Tarkoituksena voi olla esimerkiksi laadunvalvonta tai

tutkimustiedon kerääminen. Vaadittava mittaustarkkuus ja mittausten menetelmän vaikutus on myös otettava huomioon. Tulee huomioida, tuhoako menetelmä näytteen rakenteen tai vaihtoehtoisesti voiko mittausta toistaa, jolloin myös mittaustuloksen arvo pysyy samana. Luonnollisesti mittausten menetelmän kustannukselle ja ajalle on hyvä antaa painoarvoa menetelmää valittaessa. Viimeisenä vaikuttavana tekijänä on menetelmän sijainti, koska esimerkiksi kuuma höyry, värähtely, pöly ja muut haittatekijät saattavat olla läsnä mittausta suorittaessa. (Bourne, 2002, ss. 326–328)

Kuvitellaan tilanne, jossa tietty määrä nestettä on kahden tasaisen levyn välissä. Alla oleva levy pidetään paikallaan. Ylempi levy liikkuu suuntaan  $x$  jatkuvalla nopeudella  $v_x$ . Oletetaan, että nestekerros on jatkuvassa kontaktissa molempien levyjen kanssa ja se liikkuu samalla nopeudella ylemmän levyn kanssa. Kuvailtu tilanne on nesteen leikkautumista. Newtonin lain mukaan ylemmän levyn liikkeen ylläpitoon tarvittava leikkautuvuusvoima  $F_x$  on verrannollinen levyn pinta-alaan  $A$  ja nopeusgradienttiin  $-(dv_x/dz)$ . Oletetaan, että liikettä ei ole muualle kuin sovittuun suuntaan  $x$  (kaava 2).

$$F_x = -\mu A \frac{dv_x}{dz}$$

(2)

(Berk, 2009, ss. 27–28)

Suhdeluku  $\mu$  on viskositeetti. Viskositeetti on nesteen ominaisuus ja se edustaa nesteen kykyä pyrkiä estämään leikkautuvuutta. Viskositeetin SI-yksikkö ovat Pascal-sekunti (Pa·s). Perinteinen cgs-järjestelmän yksikkö on poisi. Poisin yksikkö on nimetty ranskalaisen fyysikon Poiseuille (1781–1842) mukaan. Yksiköiden suhteellisuus:

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ poisia} = 1000 \text{ cP}$$

(Berk, 2009, s. 28)

Nesteiden viskositeetti on vahvasti riippuvainen lämpötilasta ja päinvastaisesti riippumaton paineesta. Kaasujen viskositeetti kasvaa paineen mukana ja laskee hieman lämpötilan noustessa. Leikkausvoima yksikköpinta-alaa kohden on nimeltään leikkausrasitus, jota

kuvataan symbolilla  $\tau$ . Nopeusgradienttia  $-(dv_x/dz)$  kutsutaan leikkausnopeudeksi ja sitä edustaa symboli  $\gamma$  (kaava 3). Yhtälö muuttuu tällöin:

$$\tau = \mu\gamma \quad (3)$$

(Berk, 2009, s. 28)

Monille nesteille viskositeetti on riippumaton leikkausnopeudesta ja jälkimmäinen yhtälö on lineaarinen. Edellä mainitut ominaisuudet omaavia nesteitä kutsutaan newtonilaisiksi fluideiksi. Vesi, kaasut, maito ja alhaisen molekulaarisen painon omaavat laimennusliuokset ovat käytännössä newtonilaisia. Ei-newtonilaisia nesteitä ovat esimerkiksi eri polymeerien liuokset ja konsentroidut suspensiot. Ei-newtonilaisten nesteiden viskositeetti on riippuvainen leikkausnopeudesta. Jälkimmäinen yhtälö on ei-newtonilaisille nesteillä epälineaarinen. (Berk, 2009, s. 28)

Virtaus on laminaaria, jos fluidielementit liikkuvat suoraviivaisesti fluidissa. Virtaus on turbulenttia, mikäli virtaus omaa pyörteen. Virtauksen olosuhteita ja luonnetta kuvataan dimensiottomalla luvulla, jota kutsutaan Reynoldsin luvuksi (kaava 4).

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} \quad (4)$$

$\rho$  = tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$D$  = putken halkaisija [m]

$v$  = lineaarivirtausnopeuden keskiarvo

$\mu$  = dynaaminen viskositeetti [ $\text{kg}/\text{ms}$ ] (MyCourses, 2019, s. 11)

Arvoja välillä 2100–2300 kutsutaan Reynoldsin luvun kriittisiksi arvoiksi. Alueväliä pienemmillä luvuilla virtaus on laminaaria ja arvon ollessa suurempaa fluidin virtaus on turbulenttia. Siirtymäalueella virtaus on olosuhteista riippuvainen. Määritelmästä voi päätellä, että laminaarivirtausta suosii pieni halkaisija, suuri viskositeetti ja pieni



virtausnopeus. Virtausjärjestelmän malli voi myös vaikuttaa virtaustyyppiin tarkastelukohdassa. Luku ei kerro suoraan pyörteilyn voimakkuutta. Luku sen sijaan kertoo pyörteiden koosta, jolloin suurempi putken halkaisija mahdollistaa helpomman pyörteiden muodostumisen. Kahdessa samankokoisessa putkessa pyörteet ovat kuitenkin voimakkaampia Reynoldsin luvun ollessa suurempi. Tällöin virtaus on enemmän pyörtelevää ja pienimmät pyörteet ovat alemman luvun putkessa olevia pyörteitä pienempiä. (MyCourses, 2019, s. 11)

Yksinkertaisesti viskositeetti kuvaa nesteiden virtausnopeutta, fluidin vastustuskykyä estää virtausta sekä vastustuskykyä fluidia läpäisevän objektin liikettä kohti (Engineer Student, 2019). Tarkasteltavan aineen viskositeetti voidaan ilmaista kinemaattisena tai dynaamisena viskositeettina, joissa molempia arvoja yhdistää aineen tiheys. Esimerkiksi kasviöljyn viskositeetti on riippuvainen öljyn kemiallisesta rakenteesta ja mittauslämpötilasta. Yhtälöt, jotka sallivat viskositeetin laskemisen on johdettu muiden tiedossa olevien parametrien ymmärtämisestä. Laskuyhtälöt ovat kehittyneet empiirisesti, kun on tarkasteltu laajasti eri kasviperäisten öljyjen käyttäytymistä vaihtelevissa lämpötiloissa. Öljyn viskositeettiä on korreloitu esimerkiksi tiheyden, valon taittumisen, pintajännityksen ja muiden fyysisten ominaisuuksien mukaan. (Gunstone, 2008, ss. 67–68)

## 6 Kokeellisen osion laitetestaukset, koeajot ja mittaukset

Tuotteen valmistusprosessia ja sekoittamisen osaprosessia päästiin tutkimaan Hämeenlinnan Sairiossa sijaitsevaan koemeijeriin, jonka tilat ja osa prosessilaitteistosta oli varattu opinnäytteen aiheen sisältämän osaprosessin käyttöön. Opinnäytteen kokeellista osiota oli konsultoimassa ja auttamassa koemeijerin asiantunteva henkilökunta. Koemeijerin laitteisto ja putkisto oli optimoitu hapanmaitotuotteiden valmistukseen, mutta niitä oli mahdollista koekäyttää puolikiinteän öljyn valmistukseen sekä aistinvaraiseen ja analyttiseen arviointiin. Opinnäyteprojektin käytössä oli myös koemeijerin laboratoriotilat, jotka mahdollistivat käsiteltävän öljyn viskositeetin mittaamisen ja ilmakuplien kontrolloinnin alipaineella.

Ensimmäisenä laitetestauspäivän tavoitteena oli selvittää toimintamallit, joilla puolikiinteää öljyä oli mahdollista valmistaa skaalatussa tuotantomittakaavassa. Ennen tuotepohjan

valmistamista valmistusprosessia testattiin pienoiskoossa koemeijerin laboratoriossa. Testi sisälsi kaikki tuotteen valmistuksen osaprosessit. Ennen testausta oli tiedossa, että tuotteen valmistaminen oli teoriassa ja pienoiskoossa mahdollista, mutta kokeen avulla havainnollistettiin käytännössä ja aistinvaraisesti, miten öljyn viskositeetti ja rakenne muuttuu valmistusprosessin eri vaiheiden aikana. Pienen mittakaavan tuotteen valmistuksen testauksessa käytettiin yleiskonesekoitinta, jolla oli helppo simuloida teollisen mittakaavan prosessia.

Pienen mittakaavan valmistusprosessin jälkeen siirryttiin teolliseen mittakaavaan koemeijerin tiloihin. Tuotantoprosessissa työn toimeksiantajan tarjoama kylmäpuristettu rypsiöljy siirrettiin sopivaan sekoitussäiliöön, jossa piidioksidin sekoittamista tarkasteltiin. Tuotteen valmistuksen osaprosesseja jatkettiin siihen asti, kunnes olisi ollut tarkoitus lisätä sekoitettava kiintoaines. Tuotteeseen tarkoitettua kiintoaineen korvikkeena toimiva kidesokeria ei ollut saatavilla ensimmäisenä laitetestauspäivänä, joten tuotantoprosessin tarkkailua suoritettiin ainoastaan aikaisemmissa osaprosesseissa. Havainnollistavan valmistusprosessin jälkeen valmistettu tuotepohja siirrettiin sekoitussäiliöstä pois ja suoritettiin laitteiston pesu. Valmistettu tuotepohja siirrettiin koemeijerin kylmätilaan seuraavia tutkimustoimenpiteitä varten.

Sekoittamiseen liittyvät tutkimukset jatkuivat Sairion koemeijerin laboratoriossa ja työn tilaajan tuotantotiloissa. Koemeijerin laboratoriossa testattiin sekoittamisessa syntyvien ilmakuplien poistamista vakuumpumpulla. Työn tilaajan tuotantotiloissa aloitettiin sekoittamisen osaprosessin koeajot, optimointi ja tuotteen valmistusprosessin kartoittaminen kokonaisuudessaan, kun hankitut laitekomponentit olivat toimitettuina ja toimintakunnossa.

## **6.1 Sekoittamis- ja valmistusprosessin simulointi pienoiskoossa**

Laitetestaus koemeijerin tiloissa alkoi valmistusprosessin havainnollistamisella pienoiskoossa. Prosessia simuloitiin pienikokoisella yleissekoittajalla (kuva 10), jonka avulla oli mahdollista demonstroida, mitä valmistusprosessin eri osaprosessien vaiheissa tapahtuu tuotepohjalle. Tavoitteena oli havaita aistinvaraisesti viskositeetin muutos ja ylipäättään

saada selville hypoteesi siitä mitä voidaan odottaa prosessilta, kun siirrytään valmistamaan puolikiinteää tuotepohjaa koemeijerin tuotantotilojen sekoitussäiliöihin.

Simuloinnissa käytettiin työn toimeksiantajan tarjoamaa nestemäistä kylmäpuristettua rypsiöljyä. Rypsiöljyä annosteltiin sekoituskuhoon 800 grammaa. AEROSIL® 200 F piidioksidia (E-551b) annosteltiin 6 % öljyn kokonaispainosta, eli noin 48 grammaa. Ainesosien suhteet oli todettu toimivaksi ennakkoon. Piidioksidi oli valmiiksi punnittu ja pussitettu muovitaskuun, josta se syötettiin sekoittimeen. Sekoittimen kierrosnopeus oli alkuun matala, kunnes suurin osa piidioksidista oli sekoittunut öljyyn. Piidioksidin osittaisen uppoamisen jälkeen kierrosnopeutta nostettiin hieman. Kierrosnopeutta ei ollut numeerisesti ilmoitettu. Seuraavan osaprosessin jälkeen lisättiin mukaan suunniteltua kiintoainetta simuloivaa sokeria. Tomusokerin partikkelikoko erosi suunnitellusta lisättävästä kiintoaineesta, mutta se oli kemialliselta ja fysikaaliselta laadultaan tyydyttävää valmistusprosessin simulointiin pienoiskoossa yleiskoneella. Sokeria lisättiin 20 % öljyn painosta, joten sokeria annosteltiin mukaan 160 grammaa. Sekoittamisen aikana oli havaittavissa erikokoisten paakkujen muodostumista, mutta viskositeetin kasvaessa sekoittumisen teho kasvoi ja paakkujen lukumäärä ja koko pieneni samassa suhteessa.

Pienen mittakaavan (noin 2 litraa) simuloinnin jälkeen siirryttiin testaamaan puolikiinteisiin öljyihin perustuvien tuotteiden valmistusprosessia suurempaan mittakaavaan. Teollisen mittakaavan simulointi tuotteen valmistuksessa ja piidioksidin sekoittamisessa toteutettiin koemeijerin 1000 litran sekoitussäiliössä. Simulointi pienessä ja teollisessa mittakaavassa sisälsi osaprosessin, joka kasvatti tuotepohjan viskositeettia entisestään. Tätä osaprosessia ei opinnäytteessä käydä luottamuksellisista ja salassapitovelvollisista tekijöistä sen enempää läpi.

Kuva 10. Valmistusprosessin simulointi pienoiskoossa.



## 6.2 Teollisen mittakaavan laitetestaus ja piidioksidin sekoittaminen

Kun valmistusprosessista kokonaisuudessaan ja piidioksidin dispergoitumisesta öljyyn oli saatu havainnollistava kuva pienoiskoon simulaatiosta, siirryttiin tuotepohjaa valmistamaan suurennettuun mittakaavaan. Laitetestauksiin oli käytössä toimeksiantajan tuoma kylmäpuristettu rypsiöljy, jota oli tuotu koemeijeriin noin 700 litraa (kuva 11). Öljymäärästä käytettiin lopuksi vain tarvittava osuus, jolla prosessia demonstroititiin ja saatiin kuva, miten piidioksidia saadaan sekoitettua ja tuotteen osaprosessit ovat mahdollista toteuttaa suuremmassa mittakaavassa, tässä tapauksessa 1000 litran sekoitussäiliössä. Sopiva määrä kylmäpuristettua öljyä oli lopuksi 173 kilogrammaa sekoittamisen osaprosessin simuloinnissa. Käsiteltävä öljymäärä siirrettiin sekoitussäiliöön pumpaamalla öljy metalliämpäreihin keskipakopumpulla ja kaatamalla öljy sekoitussäiliöön käsin. Menetelmä oli tilanteeseen nähden helpoin ja yksinkertainen tapa. Optimoidussa työvaiheessa öljy siirtyisi säiliöön suoraan pumpulla. 173 kilogrammaa oli sopiva käsiteltävä öljymäärä, koska sillä saatiin sekoituslavat upotettua sopivasti öljyyn. Osaprosessia simuloidessa ei ollut tarvetta täyttää koko 1000 litran sekoitussäiliötä.

Koemeijerillä oli varattu laitetestauksia varten kaksi sekoitussäiliötä, joiden molempien tilavuus oli 1000 litraa (kuva 12). Sekoitussäiliöt olivat molemmat lapasekoittimella varustettuja, mutta lapojen mallit erosivat toisistaan (kuva 13). Sekoittimien mallien tarkastelun jälkeen päädyttiin valitsemaan säiliö A, jonka lavat mahdollistivat myös tuotepohjan kaapimisen säiliön reunoilta ja säiliön pohjalta.

Kun sekoitussäiliöön oli siirretty haluttu ja sopiva öljymäärä, oli vuorossa opinnäytteen kohteena oleva valmistusprosessin osaprosessi, jossa piidioksidia AEROSIL® 200 F lisättiin ja sekoitettiin öljyyn. Työn toimeksiantaja oli tuonut koemeijerille valmistettavassa tuotteessa

käytettävää piidioksidia, joka oli pakattu 10 kilogramman säkkeihin (kuva 14). Koemeijerin tiloissa ei ollut laitetestauspäivänä resursseja käyttää suunniteltua laitekomponenttia öljyn ja piidioksidin dispergointiin, joten käytetty piidioksidimäärä kaadettiin käsin säiliöön. Haluttu piidioksidimäärä oli suunnitellusti 6 % käytetyn öljyn painosta, eli öljyn sekaan lisättiin  $0,06 \cdot 173 \text{ kg} = 10,38 \text{ kg}$  piidioksidia. Saatu tulos oli niin lähellä yhden piidioksidisäkin kokoa (10 kg), joten oli helppoa päätyä ratkaisuun, että öljyyn lisättiin säiliössä yhden säkillisen verran piidioksidia.

Kuva 11. Kylmäpuristettu rypsiöljy koemeijerin laitetestauksia varten.



Kuva 12. Laitetestauksiin varatut sekoitussäiliöt A ja B.



Kuva 13. Sekoitussäiliöiden A ja B sekoituslavat.



Kuva 14. Piidioksidi AEROSIL® 200 F ja piidioksidin annostelu sekoitussäiliöön A.



AEROSIL® 200 F piidioksidin sekoittumista seurattiin sekoitussäiliön luukusta (kuva 15). Ensimmäisten 5 minuutin jälkeen piidioksidi upposi rypsiöljyyn ja sekoittamista jatkettiin. Sekoittajan moottorin teho oli 0,55 kW, jonka voimin tuotepohjaa oli mahdollista sekoittaa kahdella eri nopeudella (pieni ja suuri nopeus). Öljyä sekoitettiin suurimman osan ajasta isolla nopeudella, joka oli kuitenkin suhteellisen hidas verrattuna pienen mittakaavan simuloinnissa käytetyn yleiskoneen kierrosnopeuteen. Piidioksidin lisäämisen jälkeen öljyä sekoitettiin hieman yli 120 minuutin ajan ja viskositeetin kasvua seurattiin ottamalla tuotepohjasta näyte 40, 80 ja 120 minuutin kohdalla (kuva 16). Näytteiden avulla tavoite oli saada karkea käsitys siitä, miten viskositeetti kasvaa lasketulla määrällä piidioksidia tietyllä

kierrosnopeudella ja sekoitusajalla. Koemeijerille varatun päivän laitetestauksien, koeajon ja mittausten avulla tavoite ei ollut täysin optimoida osaprosessia, vaan hahmottaa kokonaiskuva piidioksidin käyttäytymisestä ja valmistusprosessista sekä kartoittaa mahdolliset haasteet sekoittamisessa.

Kuva 15. Piidioksidin sekoittuminen kylmäpuristettuun rypsiöljyyn.



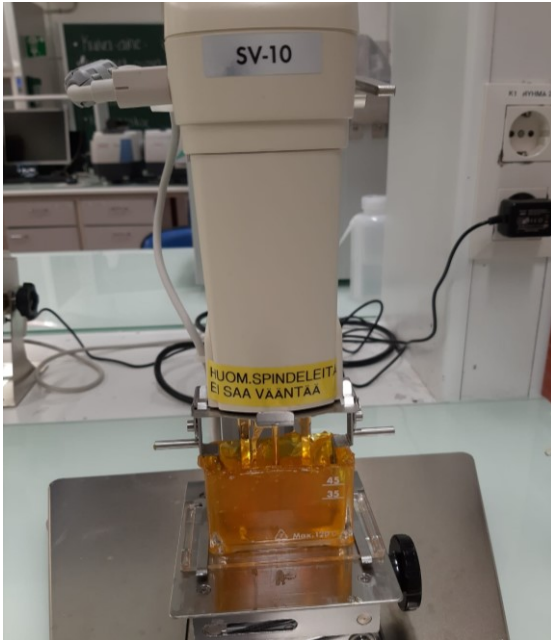
Kuva 16. Viskositeetin kasvu aistinvaraisesti arvioitavissa sekoittamisen jälkeen.



Piidioksidin sekoittumista seurattiin aistinvaraisesti ja sopivin aikavälin suoritetut näytteiden viskositeetin mittaukset suoritettiin koemeijerin laboratoriossa värähtelyviskometrillä (kuva 17). Mitattujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että valittujen parametrien mukaan suoritetun koeajolla saavutettu viskositeetti sijoittuu toisen ja kolmannen mittauspisteen väliin, jolloin piidioksidilla sakeutetun öljyn viskositeetti ei ole huomattavasti enää kasvanut

huoneenlämmössä (taulukko 4). Kun piidioksidin lisäämisen ja sekoittamisen vaikutusta oli kartoitettu riittävästi, siirryttiin seuraavaan valmistusprosessin osaprosessiin, jota ei tässä opinnäytteessä käsitellä.

Kuva 17. Viskositeetin kasvun tarkkailu värähtelyviskometrillä.



Taulukko 4. Viskositeetin kasvu ajan suhteen.

| Sekoitusaika (min) | Viskositeetti (mPa·s) | Lämpötila (°C) |
|--------------------|-----------------------|----------------|
| 40                 | 1690                  | 20             |
| 80                 | 3220                  | 20             |
| 120                | 3100                  | 20             |

Laitetestauspäivän viimeisenä vaiheena prosessoitu tuotepohja oli tarkoitus siirtää sekoitussäiliöstä pois pumpaamalla. Kasvaneen viskositeetin, liian pienen putken halkaisijan ja pumpun tehon vaikutuksesta suuriviskoosista puolikiinteää öljyä ei ollut mahdollista siirtää tukoksen muodostumisen jälkeen, joten lopuksi oli pakko varautua tuotepohjan kaapimiseen säiliöstä käsin (kuva 18). Tuotepohjaa siirrettiin säilöön jatkotutkimuksia varten. Valmistettu tuotepohja siirrettiin säilytykseen koemeijerin kylmäkaappiin. Prosessilaitteiston pesu suoritettiin kiertopesujärjestelmällä, jota oli mahdollista ohjata koemeijerin valvomotilasta tietokoneelta käsin. Kiertopesussa käytettiin vähän vaahtoavaa, vahvasti emäksistä pesuainetta (F 54 Facip). Emäksinen pesuaine emulgoi rasvan. Korkea lämpötila ja pesuaine puhdistivat öljyjäämät tehokkaasti sekoitussäiliön reunoilta (kuva 19).



Kuva 18. Tuotepohjan siirtäminen sekoitussäiliöstä.



Kuva 19. Sekoitussäiliön pesu kiertopesujärjestelmällä.



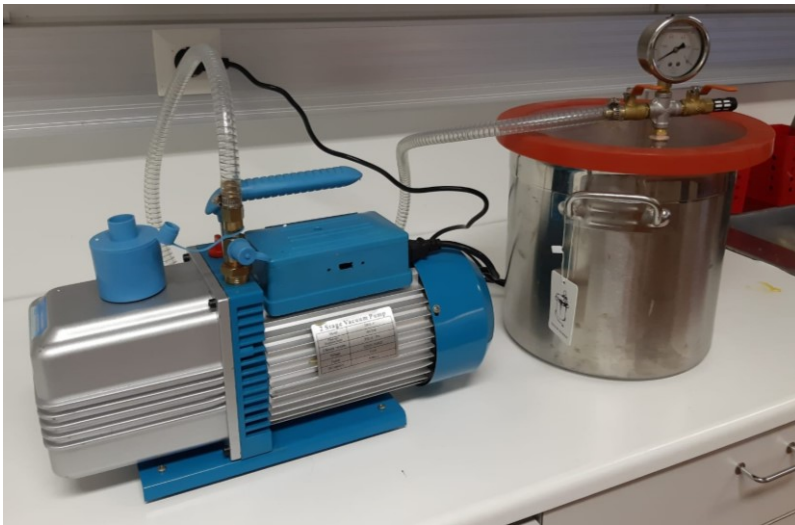
### 6.3 Ilmakuplien kontrollointi alipaineella

Tutkimukset jatkuivat laitetestauksien jälkeen Sairion koemeijerin tiloissa puolikiinteään öljyyn sekoittuneiden ilmakuplien poistamisella. Ilmakuplien kontrollointi ja kuplien poistamisen tutkiminen pohjautui mahdollisuuteen käyttää alipaineistettavaa varastosäiliötä, jossa valmista tuotepohjaa voidaan väliaikaisesti säilyttää. Myös sekoituksen kierrosnopeuden ja ilmakuplien määrän muodostumisen suhdetta voitiin pohtia. Esimerkiksi

voidaanko piidioksidia ja tuotepohjaa sekoittaa suuremmalla kierrosnopeudella, jolloin on mahdollista valmistaa päivässä useampi 200 litran tuotantoerä tuotepohjaa verrattaessa hitaampaan sekoittamiseen ja vähäisempään ilmakuplien muodostumiseen. Paine ja aika ovat prosessissa toisistaan riippuvaisia muuttujia, joten käsittelyssä vastakkain oli pieni alipaine ja pitkä käsittelyaika sekä suuri alipaine ja lyhyempi käsittelyaika. Muodostuneiden ilmakuplien lukumäärän vähentäminen varastosäiliössä parantaisi laatua entisestään. Ilmakuplien poiston ei kuitenkaan tarvitsisi olla kuitenkaan yhteydessä nopeampaan sekoittamiseen, vaan sitä voisi tehdä valmiille tuotepohjalle muutenkin.

Laboratoriossa simulointiin käytettiin vakuumpumppua ja painekattilaa (kuva 20), joka täytettiin puoliväliin koemeijerin laitetestauksissa valmistetulla tuotepohjalla. Tuotepohjaan ei ollut lisätty suunniteltua kiintoainetta. Ensimmäisessä testissä alipaine oli reilumpi, noin -1 baaria ja toisessa testissä -0,2 baaria.

Kuva 20. Vakuumpumppu ja painekattila ilmakuplien poistamiseen.



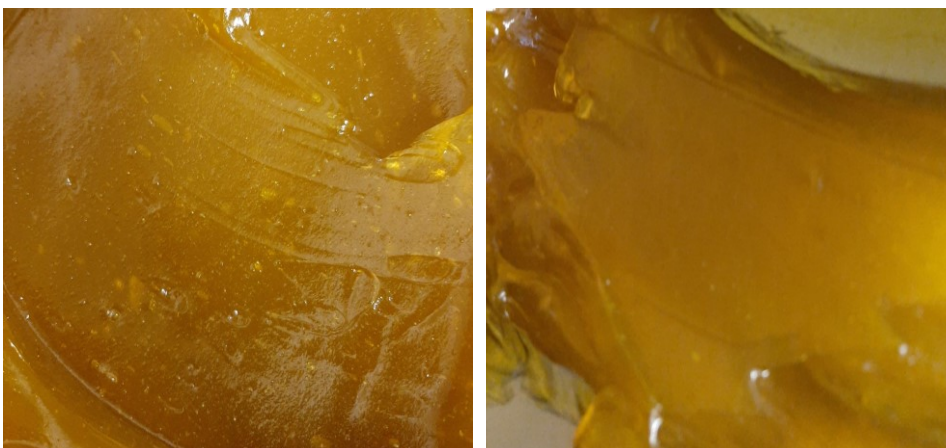
Ensimmäinen testi alkoi asentamalla pumppu toimintakuntoon ja kaapimalla valmistettua puolikiinteää öljypohjaa noin puoleen väliin painekattilaa. Vakuumpumpulla luotiin kattilaan alipaine. Painealuetta pidettiin kokeen ajan -0,8 ja -1 baarin välillä. Ensimmäistä koetta suorittaessa oli tiedossa, että työn tilaajalla oli käytössä säiliö, johon oli mahdollista luoda alipaine ainoastaan -0,2 baariin. Laboratoriossa suoritettu koe suoritettiin ensin alhaisemmalla painealueella, jotta saatiin selkeä kuva ilmakuplien poistamisen mahdollisuudesta suuriviskoosisesta puolikiinteästä öljystä.

Ilmakuplia poistettiin öljystä noin viiden tunnin koeaikana samalla seuraten esiintyvien ilmakuplien määrää tarkemmin 30 minuutin välein. Kokeen aikana seurattiin alipaineen vaikutusta pumpun ollessa sekä pois päältä, että pumpun ollessa käynnissä. Pumpun käynnissä oleminen aktiivisesti poisti öljyn seassa olevaa ilmaa ja nostatti pohjalla sekä öljyn keskellä olevaa ilmaa pinnalle. Pumpun ollessa pois päältä ilmaa poistui vain enimmäkseen öljyn pintaan nousseista kuplista.

Kokeen alussa pumppua pidettiin päällä ainoastaan alipaineen saavuttamiseksi ja seurattiin noin tunnin ajan, miten puolikiinteään öljyyn sekoittuneet ilmakuplat reagoivat alipaineeseen. Alipainetta jouduttiin lisäämään tasaisin väliajoin, koska kattilan kannen tiiviste ei ollut täysin pitävä. Ensimmäisen tunnin jälkeen oli havaittavissa ilmakuplien koon pientyminen ja lukumäärän vähentyminen. Koetta jatkettiin ensimmäisen tunnin jälkeen loppuun asti siten, että pumppua pidettiin aktiivisemmin päällä, noin 10 minuutin välein, jolloin ilmakuplien vähentyminen oli tehokkaampaa. Pumppua ei kuitenkaan voinut pitää jatkuvasti käynnissä. Selittävänä tekijänä esimerkiksi pumpun ylikuumentuminen.

Ilmakuplien määrä oli vähentynyt huomattavasti alkuperäiseen verrattuna noin kolmen tunnin kohdalla. Neljän tunnin jälkeen ilmakuplia nousi esiin vielä vähän pumpun ollessa käynnissä. Viiden tunnin jälkeen oli saavutettu jo lähes täysin ilmakuplaton tuotepohja, vain erittäin pieniä kuplia oli vielä puolikiinteän öljyn seassa (kuva 21).

Kuva 21. Ilmakuplien määrän vähentyminen korkealla alipainekäsittelyllä.



Toisessa kokeessa alipainetta pidettiin -0,2 baarin ja -0,15 baarin välissä. Kokeella simuloitiin työn tilaajalle toimitetun varastosäiliön potentiaalia vähentää valmistetun puolikiinteän öljyn ilmakuplien määrää. Viiden tunnin mittaisessa kokeessa alipainepumppua pidettiin

käynnissä vain halutun alipainetason ylläpitoon, joten ilman poistumisen tiedettiin olevan huomattavasti vähäisempää jo ennen kokeen aloittamista. Haluttiin kuitenkin saada selville, tapahtuuko suhteellisen lyhyellä aikavälillä muutosta suhteellisen matalalla alipaineella. Pientä alipainetta voitaisiin hyödyntää pitemmällä aikavälillä esimerkiksi yön yli tuotepohjan levätessä varastosäiliössä ennen siirtämistä tuotepakkauksiin.

Viiden tunnin alipainesäilönnällä saatiin aikaan hyvin vähäinen ilman poistuminen. Jos kuitenkin on mahdollisuus käyttää alipainetta tuotepohjaa varastoidessa, pienelläkin alipaineella voidaan saada vaikutusta. Tulee huomioida, että käsittelyaikaa voi aina pidentää ja että varastosäiliön pinta-ala on suurempi kuin painekattilan, jolloin voidaan olettaa ilmaa poistuvan enemmän. Lämpötilan pienellä nostamisella voisi olla myös positiivista vaikutusta, kunhan tuotepohja ei vahingoitu, mutta se toisi omat haasteensa tavoiteltuun mahdollisimman yksinkertaiseen prosessiin.

#### **6.4 Piidioksidin sekoittaminen ja tuoteajo työn tilaajan tuotantotiloissa**

Koeajo tuotepohjan valmistukseen ja piidioksidin sekoittamiseen perehtyminen työn tilaajan tuotantotiloissa voitiin aloittaa, kun työn tilaaja oli tehnyt hankinnat lopullisille laitekomponenteille ja ne olivat saapuneet ja toimintakuntoon asennettuina. Ennen hankintoja opinnäytetyön tilaaja teki sen hetkisten hankittujen tietojen mukaan päätökset sopivasta sekoittajasta ja säiliöstä. Päättyminen työssä käytettyihin laitekomponentteihin varmistui osittain Sairion koemeijerissä tehdyillä laitetestauksilla ja koeajoilla.

Tuotantotilassa suoritettuna koeajon tavoitteena oli tarkastella tuotepohjan valmistusta ja piidioksidin kostuttamista sekä sekoittamista tarkoituksenmukaisella laitteistolla. Tavoitteena oli myös testata kestäkö sekoitin jäykimmillään olevaa massaa kiintoaineen lisäyksen jälkeen. Hankitun lapasekoittimen (kuva 22) kokonaistilavuus oli 260 litraa ja sekoittajan moottorin teho 0,75 kW. Koeajoon käytettiin koemeijerissä käytetyn kylmäpuristetun rypsiöljyn sijaan raffinoitua, korkean öljyhappopitoisuuden omaavaa auringonkukkaöljyä (kuva 23), jonka ominaisuuksien todettiin olevan samankaltaisia kylmäpuristetun rypsiöljyn kanssa. Suunniteltu erä koko tuotepohjalle oli noin 200 litraa ja sitä noudatettiin myös koeajossa.

Kuva 22. Työn tilaajan hankkima sekoitussäiliö lapasekoittimella.



Kuva 23. Tuotepohjaan käytetty auringonkukkaöljy.



Ennen sekoittamisen ja tuotepohjan valmistuksen aloittamista oli pohdinnassa järkevin tapa lisätä piidioksidi sekoittimeen ottaen huomioon piidioksidin pölyäminen työympäristöön. Tässä vaiheessa potentiaalista laitekomenttia piidioksidin sekoittamiseen ei ollut järkevää tilata taloudellisista sekä käytännöllisistä syistä. Pölyttyminen oli otettu jo huomioon siirtämällä sekoitin sellaiseen tilaan, jossa syntynyt mahdollinen irtopöly ei

aiheuttaisi ongelmia. Piidioksidi päätettiin lisätä öljyn sekaan ensin osissa, jotta pölyttyminen minimoitaisiin ja tuotepohjan äkilliseltä jäykistymiseltä välttyttäisiin. Piidioksidin lisäämisen pilkkominen ei kuitenkaan lisännyt haluttua tehokkuutta johtuen sekoittajan lapojen mallista, joka poikkesi Sairion koemeijerin laitetestauksista.

Ensin sekoitussäiliöön pumpattiin puolet kokonaisöljymäärästä, joka oli noin 92 kilogrammaa. Öljypohjaan lisättiin seuraavaksi puolet piidioksidista. Piidioksidin kokonaismäärän pidettiin samana kuin laitetestauksissa, jolloin kokonaismäärä tuotepohjan painosta oli 6 % (10 kg). Piidioksidia lisättiin vähitellen seuraten pölyämistä ja piidioksidin kostumista öljyn sekaan. Sekoittimen lapoja oli vaaka- ja pystyasennossa enemmän kuin laitetestauksessa. Sekoittimen lapojen mallista (kuva 24) johtuen piidioksidi alkoi muodostaa paakkuja lapoihin ja ilman riittäviä leikkaavia voimia piidioksidin sekoittuminen ei ollut yhtä tehokasta kuin koemeijerissä. Seokseen lisättiin loput öljystä ja piidioksidista edellä mainitussa järjestyksessä ja seurattiin, tehostuuko paakkujen vähentyminen viskositeetin kasvaessa. Piidioksidipaakut hävisivät ja pienentyivät osittain leikkaavien voimien kasvaessa, mutta lapoihin ja öljyn pinnan tuntumaan jäi silti havaittavia piidioksidipaakkuja (kuva 25) sekoitusajan ollessa sama kuin koemeijerin laitetestauksissa (noin 120 minuuttia).

Kuva 24. Hankitun lapasekoittimen malli.



Kuva 25. Piidioksidin muodostamia kasautumia.



Ongelmaksi muodostui öljyn ja piidioksidipaakkujen liikkuminen sekoituslapojen mukana ilman riittävää leikkautumista ja piidioksidin sekoittumista. Koska auringonkukkaöljyn uskottiin ominaisuuksiltaan olevan lähes täysin samankaltaista kuin kylmäpuristettu rypsiöljy, voitiin päätellä sekoituslapojen mallin olevan syy tehottomampaan sekoittumiseen ja viskositeetin kasvuun. Paakkujen muodostumisesta johtuen tuotepohjaa tuli myös sekoittaa manuaalisesti käsin ja sitä tuli kohdentaa lähinnä lapoihin tarrautuneiden kasautumien irrottamiseen. Piidioksidikasautumat vähitellen liukenivat sekoitusta jatkettaessa. Jotta päästäisiin yhtä hyvään lopputulokseen, kuin koemeijerin laitetestauksissa, sekoituslapojen mallia tulisi muokata esimerkiksi poistamalla sisemmät lavat kokonaan tai osittain, jotta öljy pääsee leikkautumaan ja piidioksidi ei kasaudu lapojen kohdalle. Sekoitusmenetelmän muokkaaminen sopivaksi kuitenkin venyttäisi kehityshanketta liiaksi, joten siihen korjaaviin toimenpiteisiin ei ryhdytty.

Olemassa olevan sekoittajan muokkaamisen sijaan työn tilaaja suunnitteli prosessin optimointiin Metos Karhu -sekoittajaa (kuva 26), joka hyödyntää planetaarista sekoittamista, jolla voidaan sekoittaa piidioksidi ja muut lisättävät aineet tehokkaasti hyödyntäen suurempaa kierrosnopeutta ja suurempaa moottorin tehoa (>1 kW). Jälkikäteen tarkasteltuna perinteiseen lapasekoittimeen ja sekoitussäiliöön päätyminen ei ollut sekoittamisen kannalta optimimaalinen, joten työn tilaajan kanssa päädyttiin vaihtamaan

sekoittajaa, jolla myöhempi valmistusprosessin optimointi toteutetaan. Työn tilaaja optimoi tuotteen valmistuksen Metos Karhu -sekoittajalla, jolloin prosessi on mahdollista skaalata helposti suuremaan eräkokoon tarvittaessa kasvattamalla sekoituslaitteen kokoa. Metos tarjoaa esimerkiksi 120 litran Karhu-yleiskonetta ja teollisen mittakaavan laitteet voivat olla hyvinkin suuria.

Kuva 26. Yleiskone Metos Karhu 40 (Metos, n.d.).



## 7 Tulokset, johtopäätökset ja kehityshankkeen jatkuminen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, minkälaisella laitteistolla on mahdollista valmistaa ja prosessoida puolikiinteää ja suurviskoosista tuotepohjaa lemmikkieläinten täydennysrehun valmistusprosessissa. Työlle asetetuilla tutkimuskysymyksillä ohjattiin työtä sekä valituilla menetelmillä pyrittiin saamaan mahdollisimman yksiselitteisiä vastauksia yhdessä työn kirjallisuuskatsauksen kanssa. Osittain se, että lähdemateriaalissa ei esiintynyt ristiriitoja empiiristen kokeiden havainnoille tukee saatujen vastauksien luotettavuutta. Havainnoitavia tuloksia ja johtopäätöksiä saatiin kokeellisen osion jokaisessa kolmessa osaluokassa, joita olivat koemeijerin laitetestaukset, työn tilaajan tuotantotilan koeajot ja koemeijerin laboratoriossa suoritettavat ilmakuplien kontrolloinnin kokeet. Opinnäytteelle asetettuihin tavoitteisiin ja tuloksiin päästiin osittain käsiksi jo alustavissa laitetestauksissa Sairion koemeijerissä.



Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä haettiin vastausta sopivalle laitteistolle. Ennen opinnäytettä työn tilaajalla oli teoreettinen käsitys siitä minkälainen laitteisto voisi sopia suunnitellulle tuotteelle. Haasteena työssä oli se, että vastaavanlaisia tuotteita ei ollut markkinoilla. Käytännön tasolla tuotekokeiluja oli kuitenkin ollut, esimerkiksi samankaltaiselle puolikiinteälle täydennysrehun valmistukselle oli haettu patenttia Yhdysvalloissa. Suomen markkinoilla vastaavaa verrattavissa olevaa tuotetta ei siis ollut, joten työn tilaajalla oli mahdollisuus luoda omaa markkinarakoa uutuustuotteen avulla. Puolikiinteään öljypohjaan perustuvalle täydennysrehulle oli jo valmiiksi taustalla tukena työn tilaajan ammattitaito ja -tietämys koirille, kissoille ja hevosille suunnattujen nestemäisiin öljyihin perustuvista täydennysrehuista.

Työn tilaaja oli tehnyt alustavasti pienessä mittakaavassa käytännön kokeiluja valmistusprosessiin ja piidioksidin sekoittumiseen liittyen esimerkiksi käsin sekoittamalla ja yleiskoneita hyödyntämällä. Nämä testit olivat osoittaneet, että piidioksidi saadaan sekoittumaan öljyyn tarvittaessa varsin nopeasti muutamassa minuutissa. Teollisen mittakaavan testaukset tosin puuttuivat. Tuotannon käynnistäminen edellyttää sekoitusmäärien kasvattamista ja siksi opinnäytteessä lähdettiin tarkastelemaan piidioksidin sekoittamista öljyyn sekoitussäiliöissä. Sairion koemeijerissä simuloitiin valmistusprosessin lisäksi sopivan laitteiston käyttöä. Suoritettujen koeajojen perusteella selvisi, että piidioksidin sekoittaminen onnistui ja puolikiinteää massaa oli mahdollista prosessoida suuressa sekoitussäiliössä, joka on varustettu lapasekoittimilla, mutta vaadittu sekoitus aika venyi pitkäksi, noin kahteen tuntiin. Sekoittimen moottorin tehon ei tarvitse olla suuri, sillä suuria leikkaavia voimia halutaan välttää, jotta lopullinen puolikiinteä olomuoto ei vahingoitu. Lisäämällä moottorin tehoa kohtuullisesti olisi kuitenkin mahdollistaa lyhentää vaadittavaa sekoitusaikaa kierrosnopeutta lisäämällä. Koemeijerissä moottorin teho oli 0,55 kWh, joka sopi hyvin valmistusprosessille ja piidioksidin kostuttamiseen sekoitusajan ollessa pitkä (noin 120 minuuttia). Kierrosnopeus oli sekoittajalle koeajossa suurin mahdollinen. Vaihtoehtoina oli ajaa sekoittajaa pienellä tai suurella nopeudella. Voidaan kuitenkin päätellä, että optimoidussa prosessissa moottorin teho voisi olla suurempi, jos sekoitusaikaa halutaan lyhentää.

Tuotepohjan siirtäminen sekoitussäiliöstä ulos tuotti ongelmia koemeijerin laitteistolla, koska tuotepohja oli suuriviskoosista. Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että

koemeijerin laitteisto oli suunniteltu juoksevien hapanmaitotuotteiden valmistukseen. Käytetyn pumpun teho yhdistettynä pieneen putken halkaisijaan ei soveltunut suuriviskoosisen massan siirtämiseen. Lisäksi on huomioitava se, että koemeijerin laitetestauksissa ei lisätty suunniteltua kiintoainetta öljyn sekaan, mikä olisi kasvattanut viskositeettia entisestään. Kirjallisuuden perusteella suuriviskoosista ja lisättyä kiintoainetta sisältävää tuotepohjaa voitaisiin siirtää ruuvipumpulla vähäisellä leikkautuvuudella. Pumpkauksen nopeudella ei ole merkitystä kokonaistuotantomäärän pysyessä suhteellisen pienenä.

Piidioksidin sekoittaminen ja kostuttaminen olisi mahdollista optimoida tarkoitukseen sopivalla laitteistolla, mutta käytännöllistä ja kustannuksellisista syistä testaaminen olisi mahdollista ainoastaan, kun ollaan varmoja tuotteen kannattavuudesta ja optimoidusta valmistusprosessista. Ystralin Conti-TDS pumppusekoittimella saataisiin helpotettua sekoitusprosessia samalla välttämällä kokonaan piidioksidin käsin annostelu. Tällöin sekoitukseen käytettävä aika vähentyisi myös huomattavasti. Koska käytettävissä ei ollut käytössä optimaalista pumppusekoitinta, valmistusprosessin testauksen tilanteessa sopi suoritetuissa koeajoissa paras ja samalla ainoa tapa oli piidioksidin annostelu käsin. Koemeijerin laitetestauksien ja koeajojen jälkeen työn tilaaja varmistui tarvittavien laitekomponenttien hankkimisesta.

Toisessa tutkimuskysymyksessä painoarvoa siirrettiin prosessin ympärillä oleviin toimintamalleihin. Haettiin vastausta esimerkiksi siihen, kuinka kauan tuotepohjaa tulee sekoittaa, jotta piidioksidi saadaan kostumaan ja sekoittumaan tuotepohjaan, miten piidioksidi annostellaan öljyyn, minkälainen sekoitustapa sopii suuriviskoosiselle massalle ja kuinka suuri kierrosnopeus on sekoittamisen kannalta kannattavin. Toisin sanoen tarkennetaan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen saatuja johtopäätöksiä ja tuloksia kartoittamalla valmistusprosessin toimintamalleja. Työn tilaajan tuotantotiloissa suoritetussa koeajoissa sekoittajan kierrosnopeus pidettiin samana kuin koemeijerin laitetestauksissa ja öljynä toimi raffinoitu auringonkukkaöljy. Koemeijerissä öljynä käytettiin kylmäpuristettua rypsiöljyä, mutta molemmat öljyt katsottiin ominaisuuksiltaan samanlaisiksi.

Työn toiminnallisen luonteen vuoksi täysin tarkkoja tuloksia kysymykseen ei haluttu eikä voitu saavuttaa. Kuitenkin varsin pienillä koeajomäärillä voitiin todeta tiettyjen kokeellisissa

osiossa käytettyjen toimintamallien toimivuutta sekoittamisen osaprosessissa. Jälkikäteen tarkasteltuna koemeijerin laitetestaukset onnistuivat oletettua paremmin ja mahdollisiin ongelmiin prosessin osalta ei osattu varautua, mitkä ilmenivät, kun testauksia jatkettiin työn tilaajan tuotantotiloissa. Päätös tuotepohjan valmistamisesta sekoitussäiliössä saattoi myös rajata muita mahdollisia tapoja sekoituksen toteuttamiseen opinnäytteen aikana.

Kun sekoittajan kierrosnopeus pidettiin matalana, piidioksidin sekoittumiseen vaadittu aika oli noin kaksi tuntia sekä koemeijerissä että työn tilaajan tuotantotiloissa. Työn tilaajan tuotantotiloissa öljyyn ei saatu kuitenkaan sekoitettua riittävää määrää piidioksidia. Lopputuloksena seokseen jäi öljyyn liukenemattomia paakkuja, joita tuli sekoittaa manuaalisesti käsin, jotta piidioksidi saatiin liukenemaan kokonaan öljyn sekaan. Laitetestauksilla voitiin tarkastella myös tapaa, jolla piidioksidi annosteltiin öljyn sekaan. Tärkeimpänä kriteerinä piidioksidin annostelussa oli liiallisen pölyämisen estäminen ympäristöön työturvallisuuden ja puhdistamisen näkökulmat huomioon ottaminen. Piidioksidin annostelun toteutustapaan tulee kiinnittää huomiota erityisesti silloin, jos käytössä ei ole annosteluun tarkoitettua erillistä laitekomponenttia.

Työn tilaajan tuotantotiloissa parhaaksi tavaksi koettiin piidioksidin annostelu hiljalleen seuraten massan viskositeetin kasvua sen jälkeen, kun puolet suunnitellusta öljymäärästä oli lisätty säiliöön. Koko piidioksidimäärän lisääminen kerralla lisäisi pölyämistä ja piidioksidi ei sekoittuisi tasaisesti tuotepohjaan vaan jäisi pidemmäksi aikaa öljyn pinnalle, mikä vaatisi ylimääräistä mekaanista käsin sekoittamista. Suurimmaksi haasteeksi tuotantotilojen koeajoissa ilmeni hankitun sekoittajan lapojen malli. Lapasekoitin muistutti perusmalliltaan koemeijerissä käytettyä mallia, mutta poikkeuksena siinä oli pysty- ja poikkisuunnassa olevien lapojen lukumäärä. Sekoituslapojen malli esti tuotepohjan leikkautumisen ja sekaan lisätty piidioksidi paakkuuntui sekoituslapoja vasten. Koeajosta päädyttiin johtopäätökseen, että liian tiheästi asennetut lavat estävät piidioksidin tehokkaan sekoittumisen öljyyn.

Sekoituslapojen muokkaamisesta sopiviksi ja varustamalla sekoitin esimerkiksi tehokkaammalla moottorilla olisi muodostanut liian pitkän projektin opinnäytteen ja kehityshankkeen kannalta, joten työn tilaajan kanssa päädyttiin johtopäätökseen, että vaikka valituilla menetelmillä ja perinteisellä sekoitussäiliöllä suunniteltu valmistusprosessi toimi osittain, sitä ei lähdetty muokkaamaan valmistusprosessin optimointia varten. Pitää muistaa,

että Sairiossa ja työn tilaajalla ei päästy vielä tuotteen lopulliselle tasolle. Kiintoaineen lisääminen valmistusprosessin lopulla jäykistää myös massaa. Käytettyjen moottoreiden teho ( $< 1$  kW) ei välttämättä myöskään riitä, jos sekoitusnopeutta lisätään tai jos öljyn viskositeetti kasvaa entisestään.

Ratkaisuna työn tilaajan kanssa päädyttiin vaihtamaan alkuperäinen lapasekoitin planetaariseen sekoittamismenetelmään, jossa sekoittaja pyörii samanaikaisesti itsensä ja sekoitussäiliön ympäri. Ennen laitetestauksia oli tiedossa, että ankkurimainen ja kierteinen sekoitintyyppi soveltuivat suuriviskoosille aineille. Valmistusprosessin ja tuotannon optimointi jatkuu työn tilaajan kehityshankkeen jatkuessa pidemmälle alustavasti Metos Karhu -mallisella sekoittajalla, jonka tilavuus on 40 litraa. Työn tilaajalla oli suunnitelmana käyttää suurempaa sekoitinta myöhemmin. Työn tilaajan suunnittelemassa valmistusprosessin optimoinnissa on lähtökohtaisesti tavoite tarkastella esimerkiksi piidioksidin pitoisuutta, käytetyn öljyn tyyppiä, sakeuttavan lisäaineen ja kiintoaineen määrää sekä sekoittamista kierrosnopeuden ja ajan suhteen. Opinnäytteen ulkopuolelle jäävä koemarkkinointi oli tavoiteltu muutaman kuukauden päähän.

Kolmas tutkimuskysymys haki vastausta sekoittamisessa syntyvien ilmakuplien mahdolliseen poistamiseen tai vähentämiseen. Vaikka valmistusprosessissa muodostuvien ilmakuplien määrä ei ole merkittävästi haitallista lopputuotteen laadun kannalta, mahdollisuutta niiden poistamiseksi haluttiin tutkia. Työn tilaaja ilmoitti hankkivansa tuotepohjalle varastosäiliön, johon oli mahdollista muodostaa alipaine  $-0,2$  baariin asti. Käytettävän alipaineen määrä oli hyvä tiedostaa tehtyjä tutkimuksia ennen, jolloin pystyi varautumaan tekemään kaksi erillistä koetta pienellä ja suurella alipaineella. Vaikka alipainekäsittelyn kokeet tehtiin pienessä mittakaavassa alipainepumpulla ja painekattilalla, voitiin saada hypoteesi siitä, miten tuotepohja mahdollisesti käyttäytyisi, jos sitä säilytetään suuressa alipaineistetussa varastosäiliössä.

Suoritetuista kokeista saatiin selvä tulos alipaineen vaikutuksesta puolikiinteään tuotepohjaan. Ilmakuplien täydellinen poistuminen onnistui ainoastaan täydellisellä alipaineella ja lähinnä silloin, kun pumppua pidettiin aktiivisesti päällä. Pumpun ollessa pois päältä ilmakuplia poistui enimmäkseen öljyn pinnalta. Pienellä alipaineella ( $-0,2$  bar) ilmakuplien poistuminen oli erittäin vähäistä. Muodostuneiden ilmakuplien vähenemistä

seurattiin molemmissa kokeissa 5 tunnin aikavälillä. Suuren alipaineen kokeessa pumppua pidettiin aktiivisesti päällä, koska tarkoituksena oli selvittää teoreettinen mahdollisuus ilmakuplien poistamiselle puolikiinteästä tuotepohjasta. Pienen alipaineen kokeessa pumppua pidettiin päällä ainoastaan alipaineen ylläpitämiseksi. Kokeiden tuloksia analysoidessa tuli huomioida, että tuotepohjaan ei ollut lisätty kiintoainetta, koska käsitelty öljy oli koemeijerin laitetestauksissa valmistettua tuotepohjaa. Pienen alipaineen kokeen huonosta lopputuloksesta huolimatta tuli huomioida käsittelyajan ja paineen riippuvuus toisistaan. Myös suhteellisen pieni painekattilan pinta-ala tuli ottaa huomioon. Pienen alipaineen lopullinen vaikutus ja kannattavuus näkyy vasta, kun tuotepohjaa tullaan säilyttämään sille tarkoitettussa varastosäiliössä koko valmistusprosessin vaiheiden ja toimintamallien ollessa kartoitettu valmistusprosessin optimoinnin jälkeen.

Planetaarista sekoittamista käyttämällä valmistusprosessissa öljyyn sekoittuu ilmaa, jolla voisi pitkällä aikavälillä tarkasteltaessa olla tuotteen säilyvyyttä heikentävä vaikutus. Käytännön kokeilujen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että yleiskoneella valmistettu lopputuote ei hapetu herkästi. Osasyynä heikkoon hapettuvuuteen saattaa olla syynä käytettyjen raaka-aineiden rasvoja stabiloiva vaikutus. Lisäksi tulee ottaa huomioon koemarkkinoinnin aikana oleva lyhyt säilytysaika. Tuote päätyy muutamassa viikossa tuotannosta loppukäyttäjän jääkaappiin. Tällöin ei tarvitse kiinnittää liialti huomiota massaan sekoittuneisiin ilmakupliin, kun työn tilaaja pääsee liikkeelle tuotteen valmistuksen ja myynnin testaamisessa.

Jos työn tilaajan toimesta koemarkkinoinnin tulokset ovat myönteisiä ja tuote näyttää lähtevän hyvin liikkeelle niin valmistuksen kuin markkinan osalta, työn tilaaja tulee tekemään valmisteluja tuotteeseen muodostuvien ilmakuplien vähentämiseksi. Testattu suuri alipaine ei välttämättä ole käytännöllinen menetelmä suurien massojen käsittelyyn. Ilmakuplien poistoon löytyy myös muita mahdollisia menetelmiä, esimerkiksi sekoitusastia voidaan paineistaa tyypellä. Ilmakuplien muodostuminen suuriviskoosiseen massaan on tunnettu ongelma ja siihen onkin tarjolla erilaisia teknisiä ratkaisuja, joista tulisi löytää prosessille sopivin vaihtoehto.

## Lähteet

Aerodynamiikka. (n.d.). *5.2 Fysiikan lakeja*.

<https://www.aerodynamiikka.fi/index.php/lentajan-lupakirja/maaritelmat/41-5-2-fysiikan-lakeja>

Alfatestlab. (2020). *An introduction to Silicon dioxide (silica) forms and applications*.

<https://www.alfatestlab.com/en/approfondimenti/silicondioxidesilica>

Association of American Feed Control Officials. (2012). *Supplements*.

<https://talkspetfood.aafco.org/supplements>

Bauer, J. E. (2007). Responses of dogs to dietary omega-3 fatty acids. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 231(11), 1657-1661.

<https://doi.org/10.2460/javma.231.11.1657>

Berk, Z. (2009). *Food Process Engineering and Technology*. Elsevier.

Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Ebook Central -tietokanta.

Degussa. (2006). *Successful Use of AEROSIL Fumed Silica in Liquid Systems*. Technical

Information No. 1279. <https://www.scribd.com/document/433791222/TI-1279-Successful-Use-of-Aerosil-Fumed-Silica-in-Liquid-System>

Della Porta, R. A. (2006). *Edible Oils Manual*. Ebook Central -tietokanta.

Emerton, V. & Eugenia C. (2018). *Essential Guide to Food Additives: A Robust Approach*. Ebook Central -tietokanta.

Engineer Student. (2019). *What is Viscosity?*

[http://www.engineerstudent.co.uk/what\\_is\\_viscosity.php](http://www.engineerstudent.co.uk/what_is_viscosity.php)

European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety. (2017). *Register of Feed Additives pursuant to Regulation (EC) No 1831/2003 : appendix 3 e : list of modifications to the Register, versions 1-249*. Publications Office.

<https://data.europa.eu/doi/10.2875/48257>

Evonik. (n.d.). *AEROSIL® 200 F*. Haettu 4.1.2022 osoitteesta [https://www.silica-](https://www.silica-specialist.com/en/product/PR_52012963?page=1&orderBy=Name%20asc&c[id]=en-us&c[name]=en_US)

[specialist.com/en/product/PR\\_52012963?page=1&orderBy=Name%20asc&c\[id\]=en-us&c\[name\]=en\\_US](https://www.silica-specialist.com/en/product/PR_52012963?page=1&orderBy=Name%20asc&c[id]=en-us&c[name]=en_US)

Folkmar Andersen, J., Boye Busk, J., Boye-Møller, A. R., Dahl, M., Jepsen, E., Jensen, E-O., Nilsson, B., Olsen, B. & Thomsen, W. (2006). *Design of piping systems for the food processing industry – with focus on hygiene*. Teknologisk Institut.

<https://silo.tips/download/design-of-piping-systems-for-the-food-processing-industry-with-focus-on-hygiene#>

Geologia. (n.d.). *Kvartsi*. <https://www.geologia.fi/glossary/kvartsi/>

Gunstone, F. (2008). *Oils and fats in the food industry*. Wiley-Blackwell.

Harris, W. S. (2006). The omega-6/omega-3 ratio and cardiovascular disease risk: Uses and abuses. *Current Atheroscler Reports*, 8, 453–459. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1007/s11883-006-0019-7>

Heikkinen, V. & Kortelampi S. (1997). *Elintarviketieto*. WSOY.

Holland, F. & Bragg, R. (1995). *Fluid Flow for Chemical and Process Engineers*. Elsevier Science & Technology. Ebook Central-tietokanta.

Jarlas. (n.d.). *Technical Data*. [https://www.jarlas.fi/Technical\\_Data.pdf](https://www.jarlas.fi/Technical_Data.pdf)

JK Silica. (2018). *The application of silicon dioxide*. <https://www.jksilicas.com/info/the-application-of-silicon-dioxide-25359797.html>

Kidd, R. (2014). *Fatty Acids for Pet Skin and Haircoat Health*. PetMD.

<https://www.petmd.com/dog/care/fatty-acids-pet-skin-and-haircoat-health>

Känsäkoski, M., Suutarinen, J. & Hietala, E. (1997). *Elintarviketeollisuuden mittaukset*. Tekes.

Lahtiprecision. (n.d.). *Loss-In-Weight-syöttimet*. Haettu 4.1.2022 osoitteesta

<https://lahtiprecision.com/products/loss-in-weight-syottimet/>

Langford, C. J. (2012). (Keksijä patentissa US 20120076914A1). Viscous liquid dietary supplement. Trident Seafoods Corporation, USA. Tunnistetiedot: US13/245,557, 24.9.2010. Julk. 29.3.2012.

Lenox, C. E. & Bauer, J. E. (2013). Potential Adverse Effects of Omega-3 Fatty Acids in Dogs and Cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 27(2), 217–226.

<https://doi.org/10.1111/jvim.12033>

Mattila, P., Piironen, V. & Ollilainen V. (2003). *Elintarvikekemian ja -analytiikka* [kuva]. Yliopistopaino.

Metos. (n.d.) *Yleiskone Metos Karhu AR40 VL-1 manuaalisella ohjauksella* [kuva].

Yleiskoneet. Haettu 4.4.2022 osoitteesta <https://www.metos.fi/product/yleiskone-metos-karhu-ar40-vl-1-manuaalisella-ohjauksella/>

Msagati T. (2012). *The Chemistry of Food Additives and Preservatives*. Ebook Central - tietokanta.

MyCourses. (2019). *CHEM-A1120 - Virtaustekniikka ja lämmönsiirto 09.01.2019-08.04.2019*,

MyCourses. Aalto-yliopisto. <https://mycourses.aalto.fi/mod/folder/view.php?id=390168>

Möller. (2017). *Mikä on omega-3- ja omega-6-rasvahappojen ero?*

<https://www.moller.fi/mika-omega-3-ja-omega-6-rasvahappojen-ero/>

Pihkala, J. (2011). *Prosessitekniikka Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit.*

Opetushallitus.

Powder Technologies Incorporated. (n.d.). *Powder Induction & Dispersing.* Ystral. Haettu

3.1.2022 osoitteesta

[https://www.powdertechusa.com/products\\_powder\\_induction\\_dispersing.html](https://www.powdertechusa.com/products_powder_induction_dispersing.html)

Powderprocess. (n.d.). *Powder Mixing introduction.*

<https://www.powderprocess.net/Mixing.html>

Randall, W. & Whitesides, P.E. (2012) *Selecting the Optimum Pipe Size.* PDHonline.

<https://pdhonline.com/courses/m270/m270content.pdf>

Rehulaki 1263/2020.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201263#Pidm45237816957568>

Ruokavirasto. (2021). *Lemmikkieläinten ruoka.*

<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/lemmikki--ja-harraste-elaimet/lemmikkielainten-ruoka/>

Ruokavirasto. (n.d.) *E-551 - piidioksidi.*

<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/elintarvikeparanteet/lisaaineet/e-koodit/e551/>

Saarela, A-M., Hyvönen, P., Määttä, S. & von Wright A. (2010). *Elintarvikeprosessit.* 3.

painos. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Singh, R. P. & Heldman, D. R. (2013). *Introduction to Food Engineering.* Elsevier Science &

Technology. Ebook Central -tietokanta.

Tamime, A. Y. (2008). *Cleaning-in-Place: Dairy, Food and Beverage Operations.* Blackwell.

Terveyskirjasto. (2020). *Omega-rasvahapot.* <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00900#s3>

Thinkflow. (n.d.). *Pumput.* Haettu 1.1.2022 osoitteesta [https://www.thinkflow.fi/c/tuotteet-](https://www.thinkflow.fi/c/tuotteet-ja-ratkaisut/pumput)

[ja-ratkaisut/pumput](https://www.thinkflow.fi/c/tuotteet-ja-ratkaisut/pumput)

Tieteen termipankki. (n.d.) *Karbonaattikovuus.* Ympäristötieteet.

<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:karbonaattikovuus>

US 20120076914A1. (2012). Viscous liquid dietary supplement. Trident Seafoods

Corporation, USA. (Langford, C. J.) US13/245,557, 24.9.2010. Julk. 29.3.2012.

<https://patents.google.com/patent/US20120076914>



Ympäristökustannus Oy. (2021). *Hygieniaopas. Elintarvikehygienian perusteet*. 23. painos.

Ympäristökustannus Oy.

Ystral. (n.d.). *Ystral TDS-Technology*. Haettu 11.1.2022 osoitteesta

<https://www.surpluselect.nl/files/documents/1.113A2953-100.pdf>

**Liite 1: Alustava kuvaus koemeijerin laitetestauksista****Puolikiinteisiin öljyihin perustuvien tuotteiden valmistus**

Kehityshankkeen alustava kuvaus, 15.12. 2021

[REDACTED]

1. Piidioksidin lisääminen öljyyn a) pumppaamalla tai b) kaatamalla
    - testataan Sairiossa oleva jauheen lisäyspumppu
    - jos Sairion pumpulla ei saada piidioksidin lisäystä tehtyä, lisäys hoidetaan käsin kaatamalla
    - Ystral Conti TDS pumpun testaus Saksassa
  2. Piidioksidin sekoittaminen öljyyn (kostuttaminen) - tavoitteena saada koko piidioksidimäärä öljyn joukkoon
    - ei tarvitse saada aikaan täysin homogeenista seosta, koska seuraavassa vaiheessa (3) piidioksidin sekoittuminen tehostuu
    - tarkkailtava missä määrin massaan syntyy ilmakuplia
    - mahdollisuudet ilmakuplien poistoon alipaineella
- [REDACTED]
4. Kiintoaineen lisäys sakeutettuun öljyyn - tavoitteena homogeeninen seos
    - malliaineena käytetään hienokiteistä sokeria (Kide 230, Suomen Sokeri)
    - massan homogeenisuuden määrittäminen analyttisesti, NIR? kalibrointi?
  5. Massan siirto säiliöstä pumppaamalla
    - lohkoroottori, ruuvipumppu, syrjäytyspumppu (Masosine, Certa) – teoreettinen vaihtoehtojen selvittely
  6. Sekoitussäiliön, siirtopumpun ja putkien pesu

**Projektin suunnittelu osana opinnäytetyötä**

- Koeajo Sairiossa 19.1. 2022 – tarvittavien laitteiden speksaaminen
- Mahdolliset jatkotyöt [REDACTED] tuotantomittakaavan laitteilla tai simuloiden pilottilaitteilla
- Marja Allén opinnäytetyön ohjaava opettaja
- 1–2 HAMK opiskelijaa

## Liite 2: AEROSIL® 200 F tuotetiedot

Product information

**AEROSIL® 200 F****Hydrophilic fumed silica****Characteristic physico-chemical data**

| Properties and test methods                           | Unit              | Value      |
|---|-------------------|------------|
| Specific surface area (BET)                           | m <sup>2</sup> /g | 175 - 225  |
| pH value<br>in 4% dispersion                          |                   | 3.7 - 4.5  |
| Loss on drying*<br>2 hours at 105 °C                  | %                 | ≤ 1.5      |
| Tamped density*                                       | g/l               | approx. 50 |
| SiO <sub>2</sub> content<br>based on ignited material | %                 | > 99.8     |

\* ex plant

The data represents typical values (no product specification)

**Registrations (substance or product components)****AEROSIL® 200 F**

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| CAS-No.          | 112 945-52-5<br>7631-86-9 |
| REACH (Europe)   | registered                |
| TSCA (USA)       | registered                |
| AICS (Australia) | registered                |
| DSL (Canada)     | registered                |
| ENCS (Japan)     | registered                |
| IECSC (China)    | registered                |
| KECI (Korea)     | registered                |

AEROSIL® 200 F is a hydrophilic fumed silica with a specific surface area of 200 m<sup>2</sup>/g. This product is manufactured in accordance with HACCP-Guidelines following the Codex Alimentarius. In addition a Feed Safety Quality Management Systems including Good Manufacturing Practice is implemented and certified by FAMI-QS. The production and packaging of this product is in both Antwerp/Belgium and the USA and have been audited and fulfills the requirements of regulation EC No. 852/2004.

**Applications and properties****Applications**

- Food
- Feed

**Properties**

- Rheology and thixotropy control of liquid systems
- Used as anti-settling, thickening and anti-sagging agent
- Improvement of free flow and anticaking characteristics of powders
- High purity, low humidity content
- No influence on taste
- Does not alter natural colour of powder formulations

**Safety and handling**

Information concerning the safety of this product is listed in the corresponding Safety Data Sheet, which will be sent with the first delivery or upon updating. Such information is also available from Evonik Operations, Product Safety Department, E-MAIL sds-im@evonik.com We recommend to read carefully the safety data sheet prior to the use of our product.

**Packaging and storage**

AEROSIL® 200 F is supplied in multiple layer 10 kg bags. We recommend to store the product in closed containers under dry conditions and to protect the material from volatile substances. AEROSIL® 200 F should be used within 2 years after production.