

Minna Kankainen

PAAKKUJEN LIETTO

Sekoituksen tutkiminen

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2014**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

| | | |
|---|-------------------------------|--|
| Yksikkö Kokkola-Pietarsaari | Aika Maaliskuu 2014 | Tekijä/tekijät Minna Kankainen |
| Koulutusohjelma Kemiantekniikan koulutusohjelma | | |
| Työn nimi PAAKKUJEN LIETTO. Sekoituksen tutkiminen | | |
| Työn ohjaaja Laura Rahikka | | Sivumäärä 20 + 1 |
| Työelämäohjaaja Sanna Harjunpää | | |
| <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kelluvien kiintoainepaakkujen liettymistä ja liettymisen tehostamista. Työssä perehdyttiin sekoittumiseen ja sen tutkimiseen. Tutustuttiin erilaisiin sekoituselimiin ja niiden valintaan vaikuttaviin tekijöihin.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään sekoituksen teoriaa, eri sekoituselimiä sekä niiden mitoitus. Tässä työssä teoriassa tutustutaan vinolapa-, potkuri-, turbiini- sekä kiekko-sekoittimiin. Käytännön osuudessa testattiin kahden eri sekoittimen, turbiini- ja vinolapasekoittimen, toimintaa eri olosuhteissa. Käytännön osuus oli noin puolet koko työn laajuudesta.</p> <p>Jotta sekoitus saataisiin optimoituja mahdollisimman tehokkaaksi kullekin prosessille, on sekoittumista testattava koeajoin. Sekoituksen suunnittelussa on otettava huomioon sekoitineliimen kierrosnopeus, sekoitettavien aineiden sekä fysikaaliset että kemialliset ominaisuudet, tehontarve, sekoitukseen käytettävissä oleva aika sekä kiintoaineen partikkelijakauma.</p> <p>Kelluvat kiintoaineet voidaan saada liettymään paremmin esimerkiksi kontrolloidulla vortex-ilmiöllä, joka saadaan aikaan käyttämällä vain osittaisia virtausesteitä perinteisten sijaan. Vortex-ilmiön avulla kelluvat kiintoaineet imetään roottorin läheisyyteen ja dispergoidaan lietteeseen. Toinen vaihtoehto on käyttää kahta eri roottoria: asettamalla aksiaalisen virtauskuvion omaava roottori säiliön yläosaan synnyttämään vortex-ilmiötä kelluville kiintoaineille ja suuren leikkausvoiman omaava roottori säiliön pohjalle dispergoimaan kiintoainetta. Kiintoaineen dispergointi vaatii sekoitineliintä, joka antaa suuret leikkausvoimat sekoitukseen, kuten esimerkiksi turbiinisekoittimet tai kiekko-sekoittimet.</p> <p>Työstä saadut tulokset ovat salaista tietoa.</p> | | |
| Asiasanat sekoitus, sekoituselimet, lietto | | |

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

| | | |
|---|---------------------------|------------------------------------|
| Unit Kokkola-Pietarsaari | Date March 2014 | Author/s Minna Kankainen |
| Degree programme Chemical Engineering | | |
| Name of thesis ELUTRIATION OF SOLID LUMPS. Investigating the mixing | | |
| Instructor Laura Rahikka | Pages 20 + 1 | |
| Supervisor Sanna Harjunpää | | |
| <p>The aim of this thesis was to investigate the elutriation of floating solid lumps and how to enhance the elutriation with different mixing options. Various mixing impellers and factors that have an influence on the choice of impellers were examined in the study.</p> <p>Theory of mixing, different impellers and their design were discussed in the theory part of the thesis, alongside with the pitch blade, turbine and dispenser disk propellers. In the practical part two types of impellers, turbine and pitch blade impellers, were tested in different conditions. About half of the whole study consisted of the practical part.</p> <p>For the mixing to be optimized in terms of efficiency for each process, the mixing had to be tested with series of trial run tests. Different aspects had to be considered for the planning of the mixing process; rotation speed, the physical and chemical properties, power levels, available time and also the size of the solid particles.</p> <p>Floating solids can be better incorporated into liquids for example by creating a controlled vortex phenomenon, which is achieved by using partial baffles rather than traditional ones. With the vortex, floating solids are sucked close to the impeller and dispersed in the liquid. Another option is to use a mixer with two different impellers; an axial flow turbine on the top to create a vortex and a high shear impeller on the bottom for dispersing solids. Dispersion of solid materials needs to be implemented by impellers that produce a high shear for the mixing, for example turbines and dispenser disks.</p> <p>The results of the study have been classified.</p> | | |

| |
|---|
| Key words elutriation, mixing, mixing impellers |
|---|

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

| | |
|--|-----------|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 SEKOITUS | 2 |
| 2.1 Mekaaninen sekoitus | 2 |
| 2.2 Kiinteä-neste sekoitus | 3 |
| 2.3 Jauhava sekoitus | 4 |
| 2.4 Vortex-ilmio | 5 |
| 3 ERILAISET SEKOITUSELIMET | 6 |
| 3.1 Lapasekoittimet | 7 |
| 3.2 Potkurisekoittimet | 7 |
| 3.3 Turbiinisekoittimet | 8 |
| 3.4 Kiekkosekoittimet | 9 |
| 3.5 Virtausesteet | 10 |
| 4 SEKOITUKSEN TEHOKKUUS | 11 |
| 4.1 Sekoittimen ja virtausesteiden mitoitus | 11 |
| 4.2 Sekoituksen tehonkulutus | 13 |
| 5 KOKEELLINEN OSUUS | 16 |
| 5.1 Työn suunnittelu ja toteutus | 16 |
| 6 LOPPUPÄÄTELMÄT | 19 |
| LÄHTEET | 20 |
| LIITTEET | 20 |
| KUVIOT | |
| KUVIO 1. Sekoituksen päävirtaukset: a) aksiaalinen virtaus, b) radiaalinen virtaus | 3 |
| KUVIO 2. Lapasekoitin, jossa lavat 45 °n kallistuskulmassa | 7 |
| KUVIO 3. Yleisimmin käytetyssä potkurisekoittimessa on kolme lapaa | 8 |
| KUVIO 4. Turbiinisekoittimessa lavat voivat olla joko suoria tai kaarevia | 9 |
| KUVIO 5. Sahahampainen dispergoiva kiekkosekoitin | 9 |
| KUVIO 6. Standarditurbiinin mitoitus | 12 |
| KUVIO 7. Virtausesteiden mitoitus | 13 |
| KUVIO 8. Tehokäyriä eri sekoitinelin- ja virtausesteyhdistelmillä | 15 |
| KUVIO 9. Koelaitteisto 1, ~12 litran sekoitussäiliö | 17 |
| KUVIO 10. Turbiini- ja vinolapasekoitin | 17 |
| KUVIO 11. Koelaitteisto 2, ~76 litran sekoitussäiliö | 18 |

1 JOHDANTO

Tämän työn lähtökohtana oli liuotuksen ongelmat. Raaka-ainetta liettäessä ei rikastetta saatu liettymään toivotulla tavalla, jolloin osa kiintoaineesta jäi kellumaan liuoksen pintaan. Liettymättömät raaka-ainepaakut tukkivat pumppujen imulinjoja sekä sihtejä. Työn tarkoituksena oli tutkia, kuinka raaka-aine saataisiin paremmin liettymään, jotta liete olisi hyvin pumpattavaa.

Tässä työssä tutkittiin sekoituksen teoriaa sekä eri sekoituselimiä ja niiden valintaan vaikuttavia tekijöitä. Laboratoriokokeilla tutkittiin käytännössä eri sekoituselimiä toimintaa ja niiden vaikutusta työssä tutkitun raaka-aineen liettymiseen. Tutkimuksessa testattiin myös happotason, tiheyden, viiveajan, lämpötilan sekä virtausesteiden vaikutusta toivottuun tulokseen. Lisäksi testattiin, kuinka raaka-ainemäärän lisäys vaikuttaa liettoon.

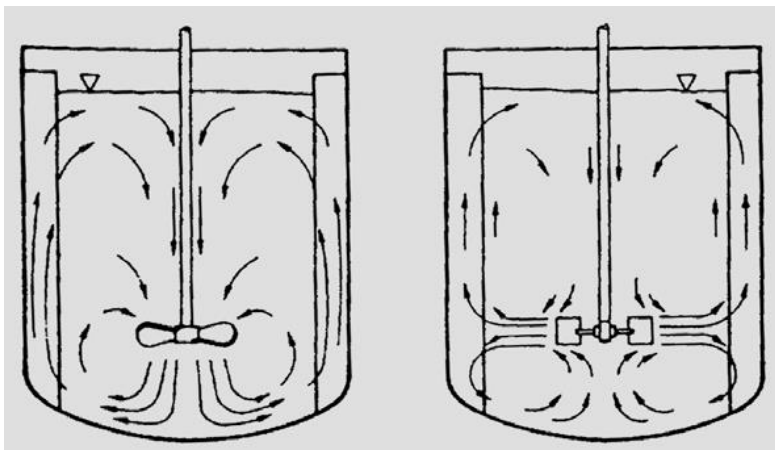
2 SEKOITUS

Sekoituksen tarkoituksena on aikaansaada sekoitettavien aineiden välinen homogointi. Sekoituksella nopeutetaan myös lämmön- ja aineensiirtoa. Sekoituksen avulla saadaan reagoivat aineet tehokkaaseen kosketukseen toistensa kanssa sekä sen avulla voidaan pitää kiinteä tai rakeinen aine lietettynä liuokseen. (Pihkala 2003, 66.)

2.1 Mekaaninen sekoitus

Mekaanista sekoitusta käytetään liuosten, nesteiden sekä dispersioiden sekoitukseen. Virtausesteet sekä sekoittimen pyörivät sekoitinlavat aiheuttavat fluidiin pyörteitä, kiertoliikettä sekä suunnan ja nopeuden muutoksia. Sekoituksen tehostamiseksi voidaan samalle akselille asentaa useampi roottori. Roottori voi pyöriä myös vinossa asennossa tai sijaita epäkeskisesti säiliössä. (Tirri 2002.)

Tangentiaalinen virtaus tapahtuu samassa suunnassa ja samalla nopeudella kuin sekoittimen pyörimisliike. Tällainen sekoittuminen on ei-toivottua ja tehotonta, ja se pyritään estämään asettamalla säiliön seinämille virtausesteitä. Tangentiaalinen virtaus voidaan muuttaa sekoituselimen pyörimisnopeutta lisäämällä radiaaliseksi virtaukseksi. Radiaalinen virtaus tapahtuu sekoittimen säteen suunnassa ja on huomattavasti tehokkaampaa kuin tangentiaalinen virtaus. Aksiaalinen virtaus taas tapahtuu sekoittimen akselin suunnassa. Sekoittimen lavat muodostavat kulman akselin suhteen, jolloin päävirtauksen suunnan määrää roottorin nousukulma. (Pihkala 2003, 67–68.) Kuviossa 1 on havainnollistettu sekoituksen päävirtaukset.



KUVIO 1. Sekoituksen päävirtaukset: a) aksiaalinen virtaus, b) radiaalinen virtaus (Tirri 2002.)

2.2 Kiinteä-nestesekoitus

Sekoituksen voimakkuus, kiintoaineen ominaispinta-ala, lämpötila sekä liuoksen ja pinnan välinen konsentraatioero määräävät kiintoaineen liuotusnopeuden. Liukenemisen saavuttaessa tasapainon, muodostuu liuotettavan kiintoaineen pinnalle kyllästyneen nesteen kerros. Liukenemisnopeutta voidaan parantaa hienontamalla kiintoainetta, jolloin sen ominaispinta-ala kasvaa, tai kohottamalla lämpötilaa, jolloin kyllästymispitoisuus sekä pitoisuuserot suurenevät. Samalla myös nesteen viskositeetti pienenee ja turbulenssi voimistuu. Sekä sekoittimen kierrosnopeutta lisäämällä saadaan liukenemisnopeus paranemaan. Taloudellisesti optimaalinen sekoitusaika sekä kierrosnopeus on määriteltävä kullekin liuotusprosessille erikseen. (Tirri 2002.)

Joissakin kiintoaineen ja nesteen sekoitusprosesseissa voi olla tarpeellista suorittaa jokin edeltävä prosessi ennen varsinaista sekoitusprosessia. Tällainen edeltävä prosessi voi olla esimerkiksi toinen sekoitusprosessi, kuten nesteiden sekoitus toisiinsa, kaasun sekoitus nesteeseen tai lämmönsiirto. On tärkeä ymmärtää sekä fysikaaliset että kemialliset ilmiöt, jotta saavutetaan haluttu sekoitustulos. On otettava huomioon kiintoaineen ja nesteen ominaisuudet, tiheys, viiveaika, tehontarve

sekä se tapahtuuko sekoituksen aikana kemiallisia reaktioita, jotka tulisi ottaa huomioon. (Paul, Atiemo-Obeng & Kresta 2004, 545–546.)

Nesteen ollessa tiheämpää kuin kiintoaine kiintoaine kelluu nesteen pinnalla. Hienokokoinen kiintoaine kelluu helposti, kun taas jotkin kiintoaineet on vaikeaa saada vettymään, jolloin voi muodostua kiintoainekasaumia, joiden sisällä on ilmataskuja. Ilmiötä on harvoin tutkittu, vaikkakin tällaisia tilanteita ilmenee usein. Tutkimuksissa on havaittu silmämääräisesti, että kelluvat kiintoaineet voidaan poistaa lisäämällä agitaatiota. (Harnby, Edwards & Nienow 1992, 365; Paul ym. 2004, 564–565.)

Turbulenssin tai vortex-ilmion avulla voidaan vaikeasti liettyvää kiintoainetta saada paremmin liettymään. Jos kiintoaine on vaikea saada liettymään tai nopeampi liettyminen on toivottua, on käytettävä korkeampia tehon tasoja. (McDonough 1992, 69.)

2.3 Jauhava sekoitus

Jauhava sekoitus eli kiintoaineen dispergointi on fyysinen prosessi, jossa kiintoainepartikkelit tai kertymät suspentoidaan ja dispergoidaan sekoittimen avulla, jolloin neste saavuttaa tasaisen suspension tai lietteen (Paul ym. 2004, 544–545). Kiintoaineen dispersio nesteeksi peittää alleen laajan valikoiman erityyppisiä sekoitusoperaatioita, lietteestä raskaaseen dispersioon, kuten erilaiset pastat, tiivistysoperaatiot yms. Näin ollen teho yksikköä kohti voi vaihdella huomattavasti. Perinteiset propellerit ja turbiinit, käytettynä tavanomaisella nopeudella, tyydyttävät sekoituksen osalle dispergointi sovelluksista. Nopeasti pyörivällä roottorilla taas aikaansaadaan korkeammat leikkausvoimat ja suuremmat intensiteetit sekoitukseen, mikä vastaa tehokkaamin dispergointivaatimuksia. Prosessin optimoimiseksi joudutaan sekoitus testaamaan pilottiajoin, jotta saataisiin hankittua kokeellista tietoa sekoituksen parantamiseen. (McDonough 1992, 135.)

Sekoituksen suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat asiat: dispersion tyyppi (karkea, keskikokoisen vai hienomurskeen dispergointi), nesteen viskosi-

teetti ja lopullinen dispersoidun tuotteen viskositeetti, käytettävät apuaineet ja se missä järjestyksessä ne prosessiin lisätään sekä se, onko materiaali helposti vai vaikeasti vettyvää kiintoainetta. Ilmava materiaali kelluu helposti nesteen pinnalla ja jotkut aglomeraatit vain vastustavat kastumista. Molemmat vaihtoehdot vaativat suuren intensiteetin omaavan agitaation, jotta dispergointi saadaan saatettua loppuun. On otettava huomioon myös kiintoaineen partikkelijakauma sekä dispergointiin käytettävissä oleva aika. Kun kiintoaineen määrä on vähäinen, on se helpompi liettää ja aglomeraatteja ei muodostu. (McDonough 1992, 135–136.)

Kiinteät aineet, jotka on vaikea saada liettymään ja jotka kelluvat helposti nesteen pinnassa tai agglomeroituvat helposti, on mahdollista liettää esimerkiksi käyttämällä kahta eri roottoria: asentamalla aksiaalisen virtauskuvion omaava turbiini säiliön yläosaan synnyttämään vortex-ilmiötä kiintoaineelle ja suuren leikkausvoiman omaava roottori säiliön pohjalle. Tällä tavoin tasapaino virtauksen ja leikkausvoimien välillä on saavutettavissa. (McDonough 1992, 137.)

2.4 Vortex-ilmiö

Vortex-ilmiöksi kutsutaan tapahtumaa, jossa keskipakovoiman vaikutuksesta neste painautuu säiliön seinämiä vasten, jolloin säiliön keskelle muodostuu syvennys. Ilmiö on pääsääntöisesti haitallinen sekoittumisen kannalta, ja sitä pyritään yleensä välttämään asettamalla sekoitin vinoon asentoon tai asentamalla säiliön seinämille virtausesteitä, jotta virtaus saataisiin muuttumaan turbulenttiseksi. (Pihkala 2003, 68.)

Joissain sovelluksissa vortex-ilmiö voi kuitenkin olla jopa suotava tapahtuma. Kiintoaineet, jotka kelluvat lietteen pinnassa tai liettyvät huonosti, voidaan saada lietettyä vortex-ilmiötä hyväksi käyttäen. Ilmiön avulla kiintoaine imetään roottorin läheisyyteen ja dispergoidaan lietteeseen. Ilmiö saadaan aikaan poistamalla säiliöstä virtausesteet tai käyttämällä vai osittaisia virtausesteitä. (McDonough 1992, 136.)

3 ERILAISET SEKOITUSELIMET

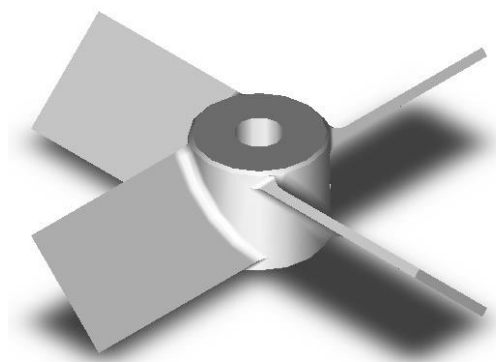
Sekoituselin valitaan sekoitusvaatimusten mukaan. Sekoittimen tärkeimmät osat ovat sekoitinelin, käyttölaite, akseli sekä tiiviste. Sekoituselintä valittaessa otetaan huomioon sekoituksen tavoitteet, sekoitettavien aineiden ominaisuudet, säiliögeometria sekä aikaisemmat käytännön kokemukset. Käyttölaitteiden, tiivisteiden ja mahdollisten pohjalaakerien valintaan vaikuttaa rakenne- ja prosessitekniisten vaatimusten lisäksi jo olemassa oleva laitekanta. (UUTECHNIC 2013.) Sekoittaminen on yksi tärkeimmistä yksikköprosesseista. Sekoituksen suunnittelussa on otettava huomioon myös kokonaiskustannukset, kuten laitteiden hinnat ja energiankulutus sekä sekoituksen tehokkuus. (McDonough 1992, 1–2.)

Sekoittimet voidaan jakaa virtauskuvion mukaan aksiaalisiin ja radiaalisiin sekoittimiin, joista jälkimmäiset nimensä mukaan muodostavat radiaalisia eli vaakasuoria virtausgradientteja ja aksiaaliset puolestaan muodostavat aksiaalisia eli akselin suuntaisia, pystysuoria virtauskuvioita. Aksiaaliset sekoittimet tuottavat enemmän virtausta tehoyksikköä kohden kuin radiaaliset sekoittimet ja ovat siksi useimmissa tapauksissa kustannustehokkaampia kuin radiaaliset sekoittimet. Prosessin vaatiessa korkeampaa tehoa yksikköä kohti ja/tai enemmän leikkausvoimia tulevat radiaaliset roottorit käytännöllisemmäksi valinnaksi. Sekoittimet eivät kuitenkaan ole puhtaasti aksiaalisia tai radiaalisia sekoittimia, vaan ne synnyttävät lähes aina sekä aksiaalisia että radiaalisia virtauskuvioita, toisen ollessa huomattavasti vallitsevampi. (McDonough 1992, 8–9.)

Sekoituselimiä on hyvin monenlaisia, ja niistä osa on hyvinkin yksilöllisiin tarpeisiin kehiteltyjä. Tyypillisimpiä sekoitinmalleja ovat erilaiset lapa-, turbiini- ja potkurisekoittimet. (Borg 2013.) Erittäin suuria leikkausvoimia tarvittaessa käytetään pienisiipisiä turbiinisekoittimia, sahashampaisia roottoreita tai homogeneraattoreita/kolloidimyllyjä. Näitä suurien leikkausvoimien roottoreita käytetään kiinteä-nestedispergointiin sekä kiinteän aineen partikkelikoon pienentämiseen. (McDonough 1992, 9.)

3.1 Lapasekoittimet

Lapasekoittimessa on suorakaiteen muotoisia lapoja joko kohtisuoraan tai vinosti akseliinsa nähden. Lاپoja voi olla useampia sekä eri korkeuksilla. (Pihkala 2003, 69.) Lapojen määrä vaihtelee kahdesta kuuteen kallistuskulman vaihdellessa 30°:stä 60°:seen. Tehon herkkyyks puolestaan vaihtelee lapojen määrän, kallistuskulman sekä lapojen jännevälin mukaan. Kallistuskulmalla varustettua lapasekoitinta käytetään paljon isoissa tankeissa, sovellutuksissa, jotka vaativat korkean tehon, kuten kiintoaineen suspentointiin. (McDonough 1992, 13.) Yleisimmin käytetyssä lapasekoittimessa on lapoja neljä kappaletta ja lavat ovat 45°:n kallistuskulmassa (KUVIO 2). Tällaisella sekoittimella saadaan aikaan sekä aksiaalisia että radiaalisia virtauskuvioita. Näitä voidaan käyttää sekä nostavina että painavina sekoittimina. (MGT 2013.)



KUVIO 2. Lapasekoitin, jossa lavat 45°:n kallistuskulmassa (Post Mixing 2013.)

3.2 Potkurisekoittimet

Potkurisekoittimen akselissa on kiinni potkuri tai useampi. Etenkin liuotuksessa on potkurisekoittimen käyttö yleistä. (Pihkala 2003, 68.) Potkurisekoitin (KUVIO 3) on nopeakäyntinen sekoitin, joka muodostaa aksiaalisen virtauskuvion. Tavallisesti sitä käytetään matalaviskoosisille nesteille, säiliössä, joka on varustettu virtausesteillä. Parhaiten potkurisekoitin soveltuu homogenointiin sekä suspentointiin. (Tirri 2002.)

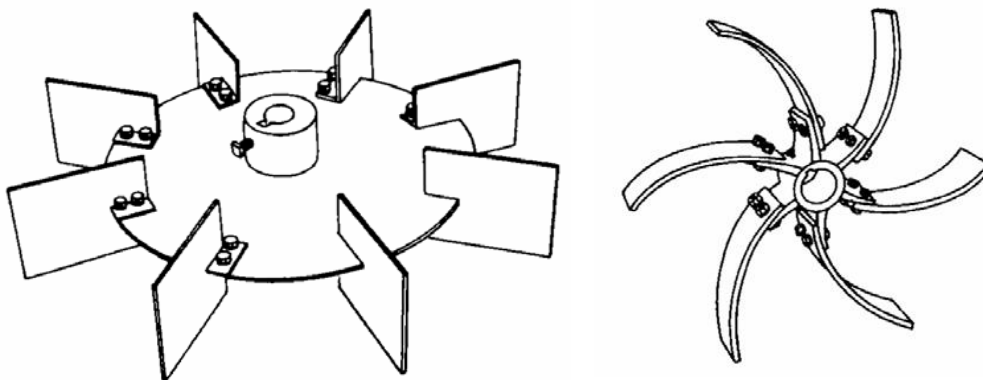


KUVIO 3. Yleisimmin käytetyssä potkurisekoittimessa on kolme lapaa (Fuusion Fluid Equipment 2013.)

3.3 Turbiinisekoittimet

Turbiinisekoitin (KUVIO 4) on nopeakäyntinen ja aiheuttaa radiaalisen virtauksen. Korkeammilla viskositeeteilla virtaus muuttuu tangentialiseksi. Parhaiten turbiinisekoittin soveltuvat sekoitettaessa pieniviskoosisia nesteitä, säiliössä, joka on varustettu virtausestein. Suurien leikkausvoimien ansiosta se soveltuu hyvin myös dispergointiin. Staattorin kanssa käytettynä saadaan pienelle tilavuusvyöhykkeelle aikaan suuria leikkausvoimia. (Rahikka 2011.)

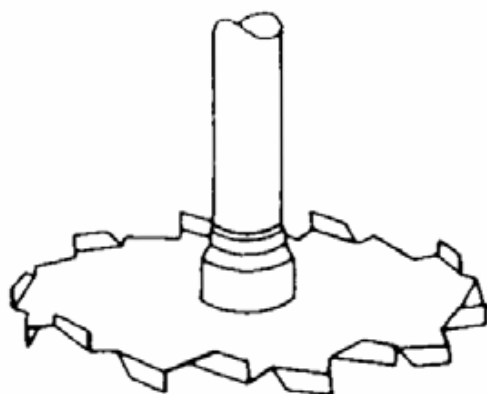
Perinteisessä turbiinisekoittimessa on kuusi lapaa, jotka on asennettu 90°:n kulmaan tukilevyyn nähden. Erittäin suuret leikkausvoimat saavutetaan käytettäessä turbiinia, jossa lavat on asennettu vuoroin ylä- ja alapuolelle tukilevyä. Turbiinisekoittimia käytetään sovelluksiin, jotka vaativat suuria leikkausvoimia sekä turbulenssin muodostusta. (McDonough 1992, 9.)



KUVIO 4. Turbiinisekoittimessa lavat voivat olla joko suoria tai kaarevia (Tirri 2002.)

3.4 Kiekkosekoittimet

Sahahampaisella kiekkosekoittimella (KUVIO 5) saavutetaan suuria leikkausvoimia ilman staattoria tai virtausesteitä. Dispergoiva kiekkosekoitin toimii laajalla viskositeettialueella ja soveltuu hyvin emulsioiden sekä suspensioiden sekoitukseen. (Tirri 2002.) Sekoitin koostuu liudasta sekä ylös- että alaspäin suunnattuja hampaita, jotka kiertävät lavan. Lapa saa aikaan vortex-ilmion, joka vetää sisällön kohti terää. Lapa repii mekaanisesti kiintoaineen hajalle ja näin pienentää partikkelien kokoa. (MGT 2013.)



KUVIO 5. Sahahampainen dispergoiva kiekkosekoitin (Tirri 2002.)

3.5 Virtausesteet

Virtausesteiden tarkoituksena on vähentää tangentialista virtausta ja näin vähentää myös vortex-ilmiötä. Virtausesteiden koko, määrä, sijainti ja asento sekoitusastias- tiassa vaihtelevat tilanteen mukaan. Liuotuksessa virtausesteiden käyttö on kuitenkin epäsuotuisaa, sillä se lisää tehonkulutusta, muttei juurikaan liukenemisnopeutta. Virtausesteet voivat lisätä tehonkulutusta jopa kymmenenkertaisesti. (Borg 2013; Tirri 2002.)

Yleisimmin säiliö on varustettu neljällä virtausesteellä. Tällainen on niin sanottu täysin varusteltu säiliö. Lisäämällä virtausesteitä lisääntyy tehokulutus huomattavasti. Korkean viskositeetin omaavat fluidit ja liemet eivät tarvitse virtausesteitä, sillä säiliön seinämä itsessään antaa tarpeeksi virtausvastusta. Viskositeetin pienentyessä tulevat virtausesteet tärkeämmiksi sekä virtausesteen leveys suurenee. (Post Mixing 2013.)

Virtausesteet ovat erittäin suositeltavia sellaisten kiintoaineiden suspendointiin, jotka ovat raskaampia kuin neste. Virtausesteet muuttavat pyörteiden kulkua ylhäältä alaspäin tai helpottaen aksiaalista liikettä ja näin kiintoaineen suspensiota. Kelluville kiintoaineilla taas olisi mietittävä käytettäväksi uppeluksissa olevia tai vain osittaisia virtausesteitä, jolloin saavutetaan kontrolloitu vortex-ilmiö, joka vetää kelluvat kiintoaineet alas pinnalta. (Paul ym. 2004, 579.)

4 SEKOITUKSEN TEHOKKUUS

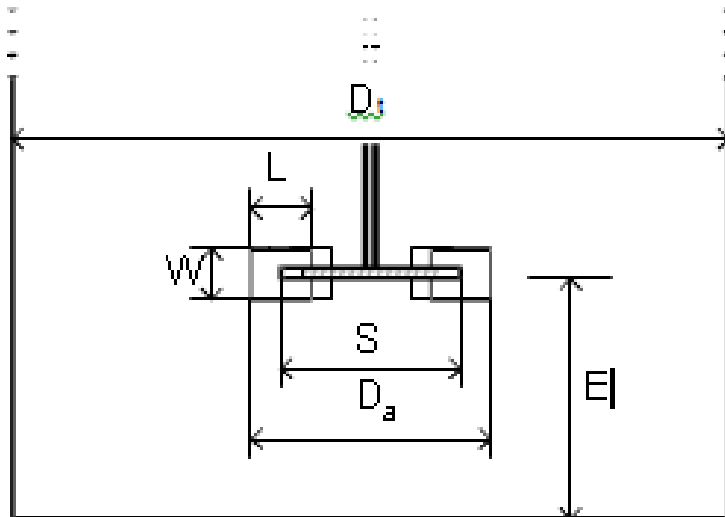
Sekoitukseen kuluva energiaa pidetään yhtenä sekoituksen tehokkuuden mittana. Sekoituksen tehontarve riippuu sekä sekoitettavista aineista että sekoitinlaitteen ominaisuuksista. Sekoituksen tehokkuus määrää oleellisesti kiintoaineen liukenemisnopeuden nesteeseen. (Pihkala 2003, 66.)

Kiinteä-nestesekoituksessa sekoitustehokkuus pitäisi optimoida siten, että sekoitus olisi tarpeeksi tehokas, jolloin sekoitus on täydellistä eli kaikki partikkelit ovat liikkeessä mahdollisimman tasaisesti. Tehon ollessa liian suuri turbulenssin määrä lisääntyy tarpeettoman suureksi ja energiankulutus kasvaa. Roottorin nopeuden suositellaan yleisesti olevan korkeampi kuin N_{JS} (= just suspended speed), mutta todellisuudessa tarvittava nopeus tulisi määrittää kokeellisesti. Kelluvien kiintoainneiden dispersio vaatii enemmän energiaa kuin laskeutuvien kiintoainepartikkelien lietto. (Paul ym. 2004, 543–580.)

Viskositeetin kasvaessa hankaloituu sekoitusprosessi, sillä kitka hidastaa virtausnopeuksia sekä rajoittaa virtauksien pääsyä sekoittimen läheisyyteen. Virtaus on suurimmillaan sekoittimen läheisyydessä ja joka pienenee siirryttäessä kauemaksi potkurista. Leikkausvoimat vaihtelevat näin ollen suuresti sekoitussäiliön eri osissa. (Paul ym. 2004, 548–559.) Kierrosluvun nostaminen tietyn arvon yläpuolelle lisää voimakkaasti tehonkulutusta, mutta säästää vain vähän sekoitusaikaa (Tirri 2002).

4.1 Sekoittimen ja virtausesteiden mitoitus

Sekoitin asennetaan reaktoriin tai sekoitussäiliöön tiettyjä periaatteita noudattaen. Karkeasti voidaan sanoa, että sekoitin tulisi asentaa siten, että nestepinnan korkeus olisi yhtä suuri kuin säiliön halkaisija, sekoittimen halkaisija olisi 1/3 säiliön halkaisijasta ja sekoittimen etäisyys pohjasta olisi 1/3 nestepinnan korkeudesta. (Rahikka 2011.) Kuviossa 6 on esitetty standarditurbiinin mitoitusperiaatteet.



KUVIO 6. Standarditurbiinin mitoitus (Borg 2013.)

Kuviossa 6 $D_a = 1/3 D_t$

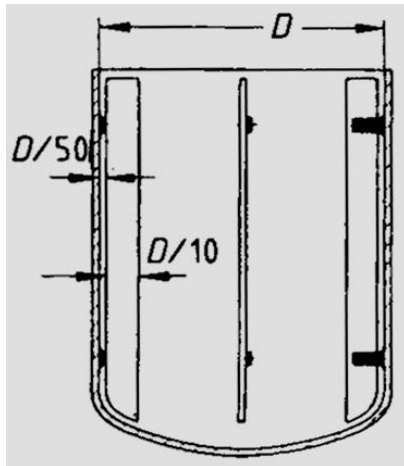
$$W = 0,2 D_a$$

$$L = 0,25 D_a$$

$$S = 0,75 D_a$$

$$E = 1/3 D_t = D_a$$

Akseli ja käyttölaite mitoitetaan ympäristöolosuhteiden sekä sekoittimeen vaikuttavien voimien mukaan. Sekoittimen tiivistystarpeen määrittelevät prosessiolosuhteet. (UUTECHNIC 2013.) Virtausesteet tulisi tavallisesti mitoittaa säiliön siten, että virtausesteiden leveys olisi noin 1/10 säiliön sisähalkaisijasta ja virtausesteiden etäisyys seinästä olisi noin 1/50 säiliön sisähalkaisijasta, näin virtausesteiden taakse ei pääse syntymään kuolleita kulmia. (Tirri 2002.) Kuviossa 7 on havainnollistettu virtausesteiden mitoitusta.



KUVIO 7. Virtausesteiden mitoitus (Tirri 2002.)

4.2 Sekoituksen tehonkulutus

Sekoituksen tehonkulutus riippuu seuraavista asioista (Tirri 2002):

- roottorin kierrosluvusta n
- roottorin halkaisijasta d
- sekoitettavan väliaineen tiheydestä ρ
- väliaineen viskositeetista η
- roottorin tyypistä

Tehonkulutuksen määrittämisen vaiheet ovat seuraavat (Tirri 2002; Rahikka 2011; Borg 2013):

- 1) Reynolds -luvun laskeminen

Newtonisille nesteille on kaava muotoa

$$\text{Re} = \frac{\rho \times n \times d^2}{\eta} \quad (1)$$

η = nesteen dynaaminen viskositeetti

n = sekoittimen pyörimisnopeus, 1/s

ρ = nesteen tiheys, kg/m³

d = sekoittimen halkaisija m.

2) teholumun määrittäminen

Teholuku voidaan laskea yhtälöstä, jossa A ja m saadaan kirjallisuudesta (LIITE 1), on seuraava

$$N_p = A \times Re^{-m} \quad (2)$$

3) tehonkulutuksen laskeminen

$$P = N_p \times \rho \times n^3 \times d^5 \quad (3)$$

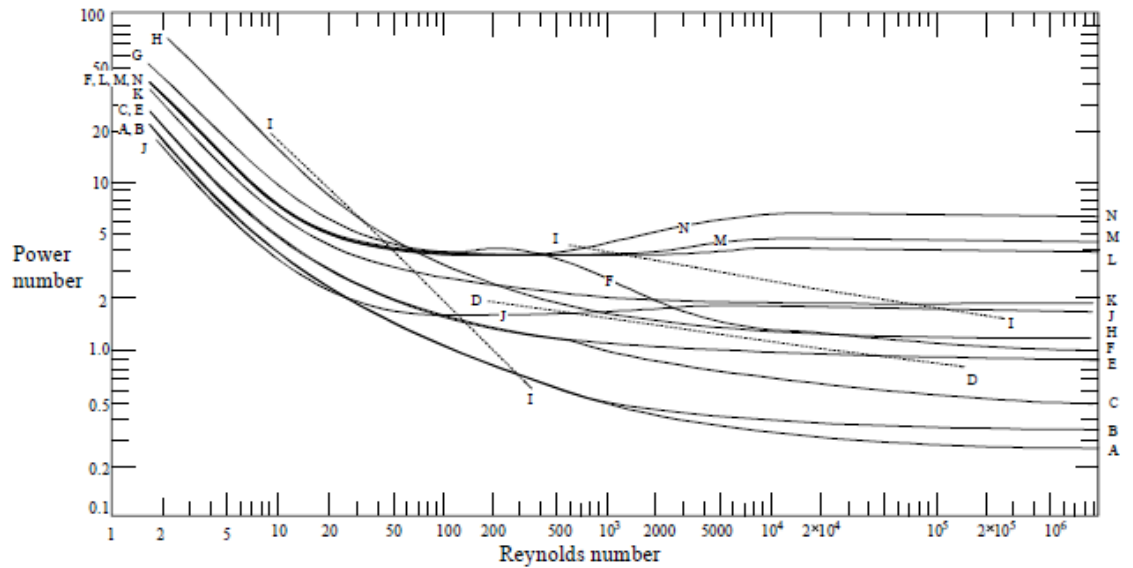
Frouden-luvun kasvaessa, kasvaa myös vortex-pyörteen syvyys samalla kun tehonkulutus vähenee, ellei pyörteen syvenemistä estetä virtausestein.

Sekoituksen Froude-luku saadaan laskettua kaavasta:

$$Fr = \frac{d \times n^2}{g} \quad (4)$$

g = gravitaatio vakio, m/s²

Yleinen tapa esittää sekoituksen tehokkuutta on graafinen esitys (KUVIO 8): $N_p = f(Re)$. Saatua käyrä riippuu sekoitinelimestä sekä virtausesteistä. (Borg 2013.)



- | | |
|--|--|
| A, propeller, pitch equal to diameter, no baffles | B, propeller, pitch equal to diameter, four baffles each 0.1 T |
| C, propeller, pitch twice the to diameter, no baffles | D, paddle, no baffles |
| E, propeller, pitch twice the to diameter, four baffles each 0.1 T | F, Flat six-blade turbine, no baffles |
| G, shrouded six-blade turbine, four baffles each 0.1 T | H, shrouded six-blade turbine, stator ring with 20 blades |
| I, paddle, no baffles | J, flat paddle, two blade, four baffles each 0.1 T |
| K, fan turbine, eight blade, four baffles each 0.1 T | L, arrowhead six-blade turbine, four baffles each 0.1 T |
| M, curved six-blade turbine, four baffles each 0.1 T | N, flat six-blade turbine, four baffles each 0.1 T |

KUVIO 8. Tehokäyriä eri sekoitinelin- ja virtausesteyhdistelmillä (Borg 2013.)

Sekoituksen energiankulutus saadaan yhtälöstä (Tirri 2002.):

$$W = P \times t \quad (5)$$

5 KOKEELLINEN OSUUS

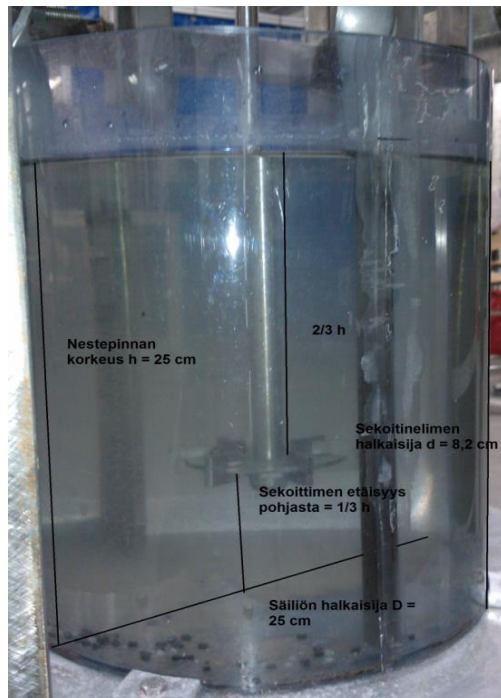
Tämä työ sisältää kokeellisen osuuden, joka oli noin puolet koko työn laajuudesta. Työstä saadut tulokset ovat salaista tietoa. Koeajot suoritettiin kahdessa eri mittakaavassa Centria-ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa. Kokeissa testattiin kahden eri sekoitineliimen toimintaa.

Raaka-ainetta lietettäessä ei kiintoaine liettynyt kunnolla vaan jäi kellumaan liuoksen pintaan hankaloittaen näin prosessin kulkua sekä lisäen työntekijöiden työkuormaa. Sekoituselimenä oli 4-lapainen vinolapasekoitin, lisäksi säiliö oli varustettu 4 virtausesteellä.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää mahdollisimman hyvä ratkaisu lieton ongelmiin. Tavoitteena oli eri sekoitineliimiä testaamalla löytää paras mahdollinen sekoitineliin, jonka avulla kelluvat kiintoainepaakut saadaan lietettyä. Lisäksi testattiin liettymistä eri happotasolla, eri lämpötiloissa, eri tiheyksillä sekä eri viiveajoilla. Testattiin myös, onko virtausesteillä vaikutusta liettoon. Lopuksi testattiin vielä sitä, kuinka raaka-ainemäärän lisäys vaikuttaa tulokseen.

5.1 Työn suunnittelu ja toteutus

Ensimmäiset ajot suoritettiin pienemmässä mittakaavassa (KUVIO 9), jolloin oli helppoiten nähtävissä parhaat mahdolliset lietto-olosuhteet. Ajot tehtiin kahdella eri sekoituselimellä, turbiini- ja vinolapasekoitin (KUVIO 10). Muuttujina tutkittiin happotason, viiveen, tiheyden, lämpötilan sekä virtausesteiden vaikutusta liettoon. Raaka-aineen sekä liuoksen määrä suhteutettiin ajoissa todellisuuteen. Näiden ajojen perusteella valittiin seuraaviin ajoihin parhaat mahdolliset ajo-olosuhteet sekä muuttujat.



KUVIO 9. Koelaitteisto 1, ~12 litran sekoitussäiliö

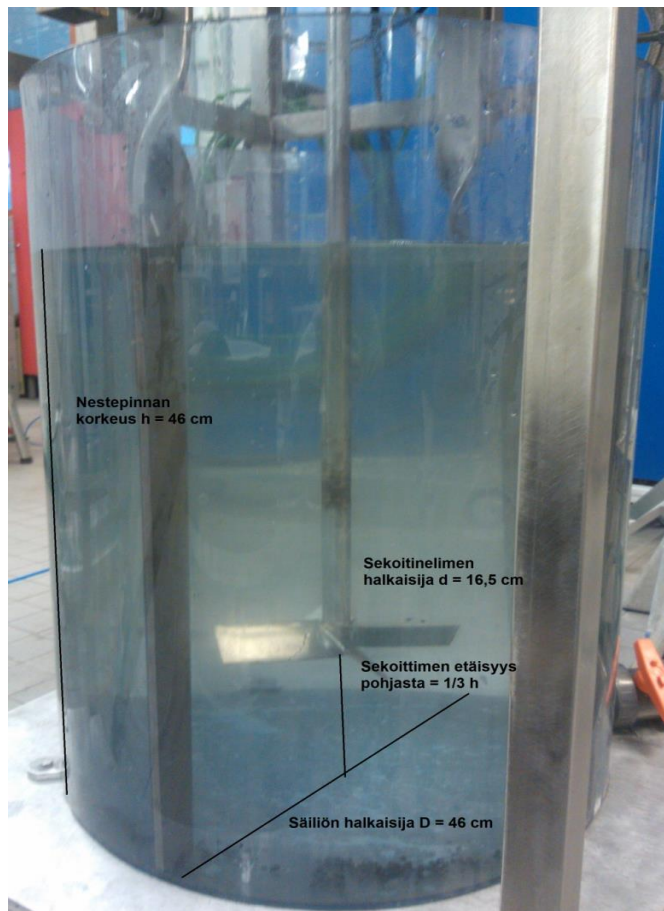


KUVIO 10. Turbiini- ja vinolapasekoitin

Viimeiset ajot toteutettiin suurimmassa laboratoriomittakaavaisessa säiliössä mikä oli saatavilla (KUVIO 11). Ajoja tehtiin sekä vinolapa- että turbiinisekoittimella. Näissä ajoissa testattiin, kuinka raaka-ainemäärän lisäys vaikuttaa liettoon.

Tulosten tarkastelu kaikkiin ajoihin tehtiin visuaalisesti havainnoiden sekä valokuvattiin liettotulokset myöhempää tarkastelua varten. Lieton päättyessä liete seulot-

tiin ja punnittiin liettymättömän raaka-aineen määrä. Tulosten perusteella tulkittiin parhaat mahdolliset lietto-olosuhteet.



KUVIO 11. Koelaitteisto 2, ~76 litran sekoitussäiliö

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Teorian pohjalta voidaan todeta, että lietto kelluville kiintoaineille kannattaa toteuttaa ilman virtausesteitä, jolloin vortex-ilmion avulla kelluvat kiintoaineet ilmetään pohjalle ja dispergoidaan lietteeseen. Tai vielä parempana vaihtoehtona voisi käyttää vain osittaisia virtausesteitä, jolloin vortex-ilmio on paremmin kontrolloitavissa. Kuitenkin muistaen turbiinisekoittimen toimivan parhaiten sekoitussäiliössä, joka on varustettu virtausestein, kun taas esimerkiksi kiekko-sekoittimen toimivan parhaiten ilman esteitä.

Teorian pohjalta voidaan todeta turbiinisekoittimen olevan hyvä sekoitinelin sekoitukseen, joka vaatii dispergointia. Toinen hyvä sekoitinelin voisi olla dispergoiva kiekko-sekoitin.

LÄHTEET

Borg, S. 2013. Prosessitekniikan harjoitustyöt. Luentomateriaali. Centria ammattikorkeakoulu. Kemianteekniikan koulutusohjelma.

Fusion Fluid Equipment. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.fusionfluid.com/FusionFluidEquipmentLLC/html/impellers_marine.html. Luettu 12.12.2013.

Harnby, N., Edwards, M. F., Nienow, A. W., 1992. Mixing in the process industries. 2. painos. Oxford: Butterworth-Heinemann.

McDonough, R. J. 1992. Mixing for the process industries. New York: Van Nostrand Reinhold.

MGT. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.mgt.co.il/MGT_mixing/mixing_default.asp. Luettu 16.12.2013.

Paul, E. L., Atiemo-Obeng, V. A., Kresta, S. M., 2004. Handbook of Industrial Mixing. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Pihkala, J. 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Post Mixing. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.postmixing.com/mixing%20forum/impellers/pbt.htm>. Luettu 12.12.2013.

Rahikka, L. 2011. Mekaaniset prosessit. Luentomateriaali. Centria ammattikorkeakoulu. Kemianteekniikan koulutusohjelma.

Tirri, T., 2002. Mekaaninen prosessitekniikka 2. Moniste 62. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.

UUTECHNIC. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.uutechnic.fi/>. Luettu 25.10.2013.

LIITTEET

LIITE 1. Taulukko 1. Sekoituksen vastuskertoimen N_p yleisen lausekkeen parametrien A ja m arvoja eri sekoitintyypeille

LIITE 1. Taulukko 1. Sekoituksen vastuskertoimen N_p yleisen lausekkeen parametrien A ja m arvoja eri sekoitintyypeille (Tirri 2002.)

| <i>Sekoitintyyppi</i> | A | m | Re_M -alue |
|---|------|--------|--------------|
| Levysekoitin | 110 | 1,0 | <30 |
| | 14,4 | 0,31 | 100-50000 |
| Levysekoitin putki- kierukoin varustetussa astiassa | 160 | 0 | <50 |
| | 7,1 | 0,13 5 | 50-50000 |
| | 1,7 | 0 | >50000 |
| Palkkisekoitin | 6,8 | 0,20 | - |
| Ankkurisekoitin | 6,2 | 0,25 | - |
| Potkuri- (2-lap.) sekoitin (3-lap.) | 0,99 | 0,15 | >3000 |
| | 230 | 1,67 | <50 |
| | 4,6 | 0,35 | 100-3000 |
| | 1,2 | 0,15 | 3000-30000 |
| | 0,68 | 0 | >30000 |
| Turbiini- (3-lap.) sekoitin (6-lap.) (12-lap.) | 3,9 | 0,20 | >3000 |
| | 6,0 | 0,15 | >3000 |
| | 10,4 | 0,15 | >3000 |