



SIDEAINEEN VAAHDONESTOSYSTEEMIN KEHITYS JA LAITSELVITYS

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Kemiantekniikan kandidaatintyö

2022

Eveliina Kempas

Tarkastaja: Apulaisprofessori Kristian Melin

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Kemiantekniikka

Eveliina Kempas

Sideaineen vaahdonestosteemin kehitys ja laiteselvitys

Kemiantekniikan kandidaatintyö

33 sivua, 8 kuvaa ja 6 taulukkoa

Tarkastaja: Apulaisprofessori Kristian Melin

Avainsanat: vaahdonestoaine, pinta-aktiivinen aine, hydrofobisuus

Tässä kandidaatintyössä keskitytään sideaineen vaahdonestosarjan kehitykseen ja vaahdonestolaitteen selvitykseen yhteistyössä Ahlstrom-Munksjön Karhulan tehtaan kanssa. Työn tavoitteena on tehdä johtopäätöksiä tutkittavasta vaahdonestosarjasta nojaten teoriaan ja hyödyntää tietoa vaahdonestolaitteen vaadittavien ominaisuuksien katsauksessa. Tarkoituksena on myös löytää vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyiselle vaahdonestolaitteelle.

Työ on toteutettu kahdessa osassa: kokeellisessa ja teoreettisessa. Kokeellisessa osuudessa suoritetaan tutkittavalla koesarjalle tarvittava määrä vaahdonestotestejä kahdella eri laitteella. Teorian avulla käydään läpi vaahdonestojen toimintaperiaatetta ja ominaisuuksia, joita verrataan tutkittavaan koesarjaan. Laiteselvitys on toteutettu kirjallisesti ja sen pääpaino on nykyisen laitteen kehittämisessä paremmaksi.

Tutkielmassa tutkitusta koesarjasta saatiin monipuolisia tuloksia, joiden avulla voitiin osoittaa vaahdonestoaineiden toimivuus ja vaahdonestolaitteen vaatimuksia. Koetuloksista ilmeni lisäksi, että vaahdonestoaineiden tehokuutta voitiin ennustaa teorian avulla. Löydettiin myös kaksi potentiaalista laitetta nykyisen vaahdonestolaitteen tilalle.

KIITOKSET

Haluan kiittää Ahlstrom-Munksjöä mahdollisuudesta mielenkiintoiseen kandidaatintyön aiheeseen. Kiitän Karhulan tuotekehitystiimiä heidän ohjeistuksestaan niin töissä kuin kandidaatintyössä. Erityiskiitos Hanna Rahialalle, jolla on ollut suurin vastuu työn ohjaamisessa. Lisäksi kiitän Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston apulaisprofessoria Kristian Meliniä rakentavasta ja ohjaavasta palautteesta.

Lyhenteet

KAP Kuiva-ainepitoisuus

PTFE Polytetrafluorieteeni

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Kiitokset

Lyhenneluettelo

Kuvaluettelo

1	Johdanto.....	7
2	Vaahdonestoaineet	9
2.1	Vaahdonestoaineet teollisuudessa.....	9
2.2	Vaahdonestoaineiden toimintaperiaate.....	10
2.3	Vaahdonestoaineiden ominaisuudet.....	11
3	Koejärjestelyt	13
3.1	Tutkittava koesarja	13
3.2	Vaahdonestolaite	15
3.3	Laboratorion verholevitin	17
4	Tulokset	21
4.1	Vaahdonestolaitteella saadut tulokset	21
4.2	Laboratorion verholevittimellä saadut tulokset	23
5	Uusi vaahdonestolaite.....	26
6	Yhteenveto.....	30
	Lähteet.....	32

Kuvaluettelo

Kuva 1: Tutkittavan koesarjan vaahdonestonaineiden kemialliset ryhmät (Ahlstrom-Munksjön sisäisistä tietokannoista, 2021)

Kuva 2: Nykyinen vaahdonestolaite

Kuva 3: Laboratorion verholevitin

Kuva 4: Verholevittimen ala- ja yläallas sekä kalteva levitysosa

Kuva 5: Häränsilmiä astian reunalla

Kuva 6: Kokeiden suorittamisen periaatekaavio

Kuva 7: Precision Zero Air 1.5 – ilmageraattori (Peak Scientific)

Kuva 8: Eheim- ilmapumppu (Eheim Digital)

1 Johdanto

Tämä kandidaatintyö on tehty yhteistyössä Ahlström-Munksjön (A-M) kanssa. A-M on kuitupohjaisia materiaaleja valmistava yritys, jonka tuotteita ovat muun muassa suodatinmateriaalit, erikoispaperit ja lasikuituhuopa (Ahlstrom-Munksjö). Työn kokeellinen osuus suoritettiin A-M:n Karhulan tehtaalla, joka on erikoistunut lasihuovan tuotantoon.

Lasihuopa on kuitukangasmateriaali, jota käytetään raaka-aineena monilla eri teollisuuden aloilla, esimerkiksi lattiamateriaaleissa, seinäpäällysteissä ja kipsilevyissä. Lasikuituhuovan valmistuksessa satunnaisesti suuntautuneet lasikuidut sidotaan yhteen sideaineella. (Ahlstrom-Munksjö). Ne koostuvat monista erilaisista kemikaaleista, joista tässä työssä tarkastellaan lisäaineena käytäviä vaahdonestoaineita.

Tämä kandidaatintyö keskittyy Karhulan tehtaan tuotekehityslaboratorion sideaineen vaahdoneston kehittämiseen ja laitteen selvitykseen. Laboratorion nykyisen laitteen osia ei välttämättä ole jatkossa saatavilla ja nykyisen laitteen pumpun osa kuluu ajan myötä, joten laboratorioon suunnitellaan uutta laitetta. Laitteiston avulla analysoidaan vaahdonestoaineiden vaikutusta sideaineiden vaahtoamisen estämiseen. Analysoinnissa otetaan huomioon muun muassa muodostuvan vaahdon määrä, lian tyyppi ja määrä sekä vaahtokuplien koko. Suoritettavaa analyysia kutsutaan vaahdonestotestiksi.

Tämä työ koostuu teoreettisesta ja kokeellisesta osuudesta. Teoriaosuudessa käsitellään vaahdonestoaineita kemiallisesta näkökulmasta. Lisäksi käydään läpi koesarjalla testattavien vaahdonestoaineiden ominaisuudet ja laitteet, joilla kokeet suoritetaan. Kokeellisessa osuudessa suoritetaan tarvittava määrä analyysijä vaahdonestoaineiden koesarjana. Työn lopussa käsitellään kirjallisuuden avulla sekä nykyisen että potentiaalisen uuden laitteen ominaisuuksia ja soveltuvuutta vaahdonestoaineiden testaamisen tutkimiseen.

Työn tavoitteena on testata koesarja vaahdonestoja yhdellä sideaineella sekä pohtia, sopiiko potentiaalinen uusi laite nykyisen laitteen tilalle. Nykyisen laitteen antamien

tuloksien toistettavuutta halutaan parantaa. Halutaan myös kehittää laitetta ja etsiä uudentyyppisiä ratkaisuja vaahdonestoaineiden testaamiseksi, ja siksi selvitetään nykyisen laitteen pumpulle ja akvaariokivelle vaihtoehtoisia ratkaisuja. Lisäksi työssä suoritettavasta vaahdonestoaineiden koesarjasta tehdään johtopäätöksiä, joita yritys voi halutessaan käyttää tulevaisuudessa.

2 Vaahdonestoaineet

Vaahdonestoaineet ovat suuri joukko kemikaaleja, jotka sisältävät monia eri ainesosia. Ne ovat välttämättömiä monessa eri teollisuuden käyttökohteessa, vaikka niiden käytössä on haittojakin, kuten esimerkiksi lian muodostuminen ja ominaisuuksien heikkeneminen lopputuotteessa. Ne voidaan jakaa esimerkiksi ominaisuuksien tai käytön mukaan. Tässä luvussa käsitellään vaahdonestoaineiden merkitystä teollisuudessa, niiden toimintaperiaatetta ja ominaisuuksia.

2.1 Vaahdonestoaineet teollisuudessa

Vahto on kaasun ja nesteen tai kaasun ja kiinteän aineen seos (Flinkenberg). Vaahdonestoaineita käytetään hyvin laajasti eri teollisuudenaloilla, kuten pesuaineissa, fermentoinnissa ja paperin valmistuksessa (Joshi et al. 2009, s. 446). Teollisuudessa vaahtoaminen on yleensä ei-toivottu ilmiö, joten sitä voidaan hillitä tai estää kokonaan lisäämällä prosessiin vaahdonestoaineita. Vaahtoamisen mekaanisia haittoja teollisuudessa voivat olla esimerkiksi vaahtojätteen syntyminen ja siitä eroon pääseminen, työturvallisuuteen liittyvät ongelmat, kuten vaahton aiheuttama liukastumisvaara, ja laitteiden mahdollinen vaurioituminen, jos vaahto leviää yli sille tarkoitettuun säiliöön. Vaahtoaminen voi myös haitata prosessin toimintaa siten, että haihdutus tai kaasun ja nesteen erotus ei onnistu. Vaahdonestoaineita käytetään hillitsemään vaahton aiheuttamia haittoja, vaikka niillä on itsessään kemiallisia haittoja, joita ovat esimerkiksi lasihuovan tuotannossa epäjatkuvuuskohtien syntyminen sideaineeseen, vaahton vaikutus sideaineen ominaisuuksiin, kuten adheesioon ja kastuvuuteen, ja rasvan kertymiseen, joka voi aiheuttaa esimerkiksi uuniviirojen likaantumiseen. Kaikilla kemiallisilla haitoilla voi olla huono vaikutus lopputuotteen laatuun.

Teollisissa prosesseissa vaahtot käyvät läpi kaksi tärkeää vaihetta: veden tyhjentymisen prosessista ja kuplien repeytyminen tai yhdistyminen. Veden tyhjentymisen prosessista tarkoitetaan, että vesi virtaa vaahtofaasin läpi painovoiman ja kaareutuvien painegradienttien vaikutuksesta. (Pelton & Flaherty 2003, s.480). Kuplien repeytymisestä ja yhdistymisestä

käsitellään kohdassa 2.2 Vaahdonestoaineiden toimintaperiaate. Teollisuudessa vaahtoja käsitellessä tulee ottaa huomioon ja ymmärtää vaahtojen vaiheet, jotta niitä voidaan käsitellä.

Vaahdonestoaineen määrän optimointi on tärkeää teollisuudessa, sillä sekä liiallisella että liian pienellä määrällä on prosessille haittoja. Vaahdonestoaineiden optimoinnissa on otettava huomioon vaahdoneston ja sideaineen muiden komponenttien yhteensopivuus. Koska vaahdonestoaineiden tehokkuuteen vaikuttavat monet tekijät, voi optimointi viedä aikaa ja muita resursseja. Vaahdonestoaineen optimointia voi häiritä myös, että yleensä sideaineen joissakin komponenteissa käytetään jo vaahdonestoaineita, joiden koostumuksesta toimittajat eivät välttämättä kerro. Vaahdonestoaineita lisätään muihin kemikaaleihin yleensä siksi, että niitä pumpatessa säiliöihin halutaan minimoida vaahtoaminen. Esimerkiksi sideainekierrossa muodostuu pumppauksen vaikutuksesta herkästi vaahtoa. Vaahdonestoaineiden monimutkainen ja yksityiskohtainen sisältö luo haasteita yhteensopivuustestien kannalta, sillä se lisää vaihtoehtoja kemikaalien käyttäytymiselle niitä yhdistäessä. Lisäksi teollisuudessa vaahdonestoaineilla on yleensä lisävaatimuksia, kuten sekoitustapa, lisäysjärjestyksen huomioiminen ja kyky liueta viileään tai kylmään veteen. Tämä on tärkeä ominaisuus, koska lämpimän veden saatavuus ja kustannukset voivat tuottaa omanlaisiaan haasteita.

2.2 Vaahdonestoaineiden toimintaperiaate

Vaahdonestoaineet muuttavat aktivoituessaan vaahdon pintaominaisuuksia. Pintajännityksen alentaminen on vaahdoneston tärkein ominaisuus. (Fink 2021, s. 942). Kun vaahdonestoa sisältävää liuosta sekoitetaan, aiheuttaa sekoittaminen kuplien törmäämisen. Jos törmäyksen aikana kahta kuplaa erottava kalvo tai lamelli repeää, ne yhdistyvät yhdeksi. Kupla voi puolestaan repeytyä, kun kahta kuplaa erottava lamelli tai yksi kupla ja sen ylätila repeävät. Repeytymiset johtavat kuplien vähentymiseen, mutta kuplien koon suurenemiseen. Vaahdon määrä siis pienenee, mikäli kuplien repeytymisnopeus on suurempi kuin ilman lisääminen liuokseen. Vastaavasti vaahdon määrä kasvaa, jos ilmaa lisätään nopeammin kuin kuplia repeytyy ja yhdistyy. (Pelton &

Flaherty 2003, s. 480). Vaahdonestoaineiden toiminta perustuu siis kuplien yhdistymisen ja repeytymisen lisääntymiseen.

Vaahdonestoaineet voidaan jakaa kahteen kategoriaan riippuen niiden vaikutuksesta vaahtoamiseen. Tähän kategoriaan kuuluvat vaahtoa rikkovat aineet, defoamerit eli vaahtontappajat, ja vaahton syntymistä estävät aineet, antifoamerit. Rikkovat vaahtonestot poistavat jo syntyneitä vaahtoa ja estävät vaahtonestot estävät sen muodostumista (Collier 2005, s. 40). Monesti vaahdonestojen jaottelua estäviin ja tappaviin vaahdonestoaineisiin ei mainita, koska molempien tarkoitus on hillitä vaahtoamista. Vaahdonestolla voi olla sekä vaahtoa estäviä ja että tappavia ominaisuuksia.

Vaahdonestoaineiden toimintaan voi vaikuttaa myös muut lisäaineet, kuten pigmentit. Prosessilla on myös suuri merkitys vaahtoneston toimintaan. Esimerkiksi prosessin kierto voi muodostaa pieniä ilmakuplia pumppauksen vaikutuksesta, joista on hankala päästä eroon vaahtonestoista huolimatta. Täten vaahdonestoaineiden testaaminen ja optimointi on tärkeää, sillä ne voivat käyttäytyä arvaamattomasti olosuhteiden vähänkin muuttuessa.

2.3 Vaahdonestoaineiden ominaisuudet

Vaahdonestoaineet eroavat vaahtoista siten, että ne ovat nesteitä, kiinteitä aineita tai emulsioita toisin kuin vaahtot (Flinkenberg). Vaahdonestoaineet koostuvat monista eri aineista, jotka voivat olla vesiliukoisia tai – liukenemattomia. Veteen liukenemattomat ovat yleensä öljypohjaisia, jotka ovat monesti vesiliukoisia tehokkaampia, mutta hankalampia puhdistaa käytön jälkeen. Vaahdonestojen aktiiviset ainesosat voivat olla kiinteässä tai nestemäisessä olomuodossa. Lisäksi ne voivat sisältää apuaineita, kuten säilöntäaineita, liuottimia ja emulgointiaineita. Fink (2021, s. 944) esittää, että vaahdonestoaineet voidaan luokitella fyysisen muodon, kemiallisen tyypin tai käyttökohteen mukaan.

Vaahdonestoaineet voivat sisältää monia eri kemiallisia ryhmiä, joilla on erilainen vaikutus vaahtoneston ominaisuuksiin. Tästä syystä tieto siitä, mitä kemiallisia ryhmiä vaahtonesto sisältää, voi nopeuttaa sopivan vaahtoneston löytymistä. Tässä työssä tutkittavan koesarjan vaahdonestoaineet sisältävät silikonia, mineraalisia öljyjä, piioksidia, hiilivetyjä, vahaa ja

polymeerejä eri yhdistelminä. Kyseisiä aineita voidaan tarkastella muun muassa vesiliukoisuuden, hydrofobisuuden tai rasvan muodostumisen näkökulmasta. Joshi et al. (2009, s.446) mukaan vaahdonestoaineiden aktiiviset aineet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: polaarittomiin öljyihin, kiinteisiin hydrofobisiin partikkeleihin ja ionittomiin pinta-aktiivisiin aineisiin. Polaarittomiin öljyihin kuuluvat mineraali- ja silikoniöljyt, jotka ovat usein hyvin tehokkaita, mutta hankalia puhdistaa. Hydrofobisiin partikkeleihin kuuluvat muun muassa vaha ja piioksidi. Ionittomat pinta-aktiiviset aineet ovat yleensä vähemmän likaavia, mutta eivät niin tehokkaita kuin edellä mainitut vaahdonestoaineet.

Hiilivedyt ja silikoni ovat vesiliukoisia ja alentavat pintajännitystä (Fink 2021, s. 944). Silikonin on todettu myös lisäävän kuplien yhdistymistä (Karakashev & Grozdanova 2012, s. 3). Piioksidin ja vahan toiminta perustuu hydrofobisuuteen (Joshi et al. 2009, s. 446). On todettu, että hydrofobiset partikkelit ovat tehokkaampia, kun ne suspendoidaan mineraali- tai silikoniöljyyn (Pelton & Flaherty 2003, s.482). Pelkät hydrofobiset partikkelit eivät siis ole yleensä yhtä tehokkaita kuin niiden ja polaarittomien öljyjen yhdistelmät. Piioksidin etuna on, ettei sen pitäisi muodostaa rasvaa vaahdon pinnalle toisin kuin vahan. Vaikka öljypohjaisten komponenttien ja silikonin on todettu olevan tehokkaita vaahdonestoissa, on niiden rinnalle kehittynyt silikonittomia polymeerisiä vaahdonestoja teollisuuden vaatimusten seurauksena. Vesipohjaisille liuoksille tarkoitetut polymeerivaahdonestot ovat yleensä veteen liukenemattomia, ja niihin voidaan myös lisätä hydrofobisia partikkeleja (BYK).

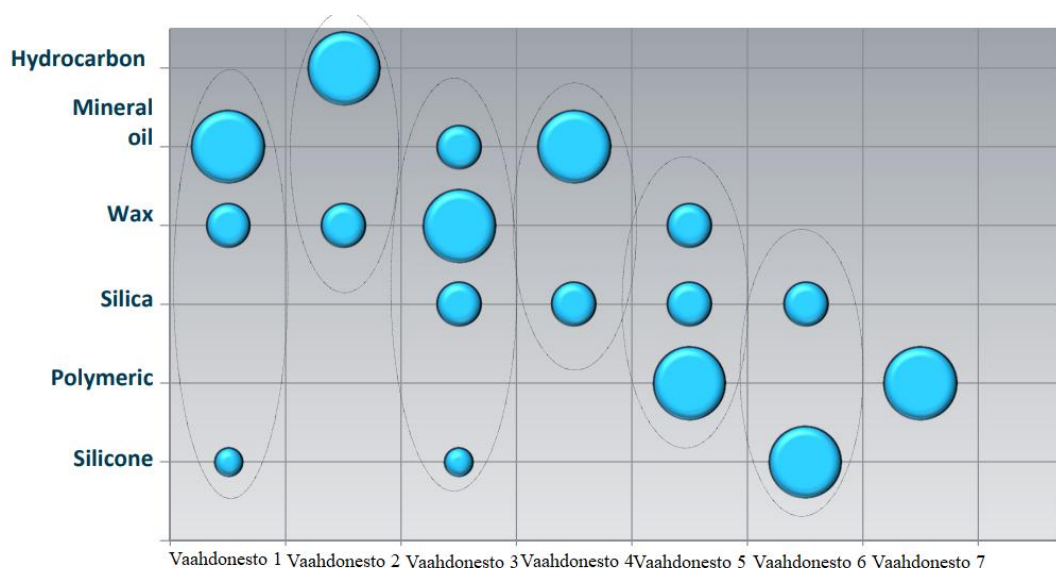
Yksi vaahdonestojen käyttöä monimutkaistava tekijä on pinta-aktiiviset aineet, joilla on erilaisia vaikutuksia vaahdonestojen ja vaahtojen ominaisuuksiin. Pinta-aktiivisia aineita lisätään vaahdonestoihin hydrofobisten hiukkasten dispersion ja levittymisen edistämiseksi öljyvesipinnalle (Wang et al. 1999, s. 2208.) Joshi et al. (2009, s. 449) esittävät kuinka pinta-aktiivista ainetta sisältäneen näytteen kontaktikulmat pienenevät verrattuna näytteeseen, joka ei sisältänyt pinta-aktiivista ainetta. Vaikka pinta-aktiivisten aineiden vaikutuksista tiedetään paljon, on pinta-aktiivisten vaahdonestojen toiminta vielä osittain tuntematon. Koska vaahdonestoaineiden kemia on monimutkainen ja niiden koostumus ei usein ole tiedossa, koska valmistajat eivät paljasta kaikkea niiden sisällöstä. Tästä syystä on vaahdonestojen testaaminen tärkeää hyödyllisen tiedon saamiseksi.

3 Koejärjestelyt

Tässä työssä suoritettiin koesarja, johon kuului seitsemän vaahdonestoainetta samalta valmistajalta. Koesarjaa varten käytettiin samaa sideainereseptiä jokaiselle vaahdonestoaineelle siten, että vaahdonestoaine oli ainoa muuttuva komponentti reseptissä. Kokeen ensimmäisessä vaiheessa tutkittavan koesarjan jokaiselle vaahdonestoaineelle suoritettiin vaahdonestokoe vaahdonestolaitteella, ja näistä ominaisuuksiltaan parhaimmat valittiin jatkoon. Toisessa vaiheessa jatkoon valituille aineille suoritettiin vaahdonestokoe laboratorion verholevittimellä.

3.1 Tutkittava koesarja

Tutkittava koesarja koostui seitsemästä kemiallisesti erilaisesta vaahdonestoaineesta. Kaikissa käytettiin samaa sideainereseptiä. Alla olevassa kuvassa on esitetty, mitä kemiallisia ryhmiä kukin tutkittava aine sisältää (Kuva 1). Pallon koko kuvaa sisältävän komponentin määrää. Koesarjan vaahdonestojen tuotenimet on korvattu sanoilla Vaahdonesto 1, Vaahdonesto 2 jne.



Kuva 1. Tutkittavan koesarjan vaahdonestonaineiden kemialliset ryhmät.

Kuvasta 1 nähdään, että koesarjan vaahdonestoaineiden komponentit on jaoteltu kuuteen erilaiseen kemialliseen ryhmään: hiilivetyihin, mineraalisiin öljyihin, vahoihin, piioksideihin, polymeereihin ja silikoneihin. Kuvasta huomataan, että Vaahdonesto 7 on ainoa, joka koostuu vain yhdestä kemiallisesta yhdisteestä toisin kuin muut vaahdonestoaineet, jotka sisältävät 2–4 eri yhdistettä. Lisäksi nähdään, että suurin osa koesarjan aineista sisältää piioksidia ja vaha. Muita yhdisteitä esiintyy useammassa tutkittavassa aineessa, mutta hiilivetyjä esiintyy vain yhdessä tutkittavassa aineessa, Vaahdonesto 2:ssa.

Tutkittavien aineiden pääkomponentteja voidaan verrata kappaleessa 2 käytettyyn teoriaan. Taulukkoon I on koottu tutkittavien vaahdonestojen sisältämät kemialliset komponentit, ja tehty ennuste niiden mahdollisista ominaisuuksista ja tehokkuudesta käytetyn teorian pohjalta.

Taulukko I. Koesarjan ominaisuuksia

Näyte	Kemialliset ryhmät	Ennuste ominaisuuksista
Vaahdonesto 1	Mineraaliöljy, vaha, silikoni	Tehokas: silikoni tappaa vaahtoa, hydrofobisen partikkelin ja mineraaliöljyn yhdistelmä
Vaahdonesto 2	Hiilivety, vaha	Ei tehokas: vesiliukoinen partikkeli ja hydrofobinen partikkeli ilman öljyä
Vaahdonesto 3	Mineraaliöljy, vaha, piioksidi, silikoni	Erittäin tehokas: kahden hydrofobisen partikkelin ja mineraaliöljyn yhdistelmä sekä silikoni
Vaahdonesto 4	Mineraaliöljy, piioksidi	Tehokas: hydrofobinen partikkeli ja mineraaliöljy
Vaahdonesto 5	Vaha, piioksidi, polymeeri	Ei tehokas: hydrofobiset partikkelit ilman öljyä,
Vaahdonesto 6	Piioksidi, silikoni	Tehokas: hydrofobisen partikkelin ja ison silikoni määrän yhdistelmä
Vaahdonesto 7	Polymeeri	Ei tehokas: ei öljyä tai silikonia eikä hydrofobisia partikkeleita

Taulukon I perusteella nähdään, että vähintään kolme vaahdonestoa sisältää tehokkaaksi todetun mineraaliöljyn ja hydrofobisen partikkelin yhdistelmän. Lisäksi Vaahdonesto 6 sisältää hydrofobisen partikkelin ja silikonin yhdistelmän. Toimittajan tietojen perusteella ei voida kuitenkaan sanoa, missä muodossa silikoni on, joten sen tehokkuus jää teorian perusteella ratkaisematta. Taulukosta nähdään, että kaksi vaahdonestoa sisältää hydrofobisia partikkeleita ilman mineraali- tai silikoniöljyä, joten niiden voidaan ennustaa olevan vähemmän tehokkaita. Vain polymeeriä sisältävän Vaahdonesto 7 voidaan ennustaa olevan tehokkuudeltaan erittäin huono, sillä se ei sisällä hydrofobisia partikkeleita eikä silikoni- tai mineraaliöljyä.

3.2 Vaahdonestolaite

Vaahdonestolaitetta käytetään sideaineen vaahdonestoaineiden tehokkuuden tutkimiseen laboratoriomittakaavassa. Laite ei estä vaahtoamista, vaan sillä tutkitaan käytettäviä vaahdonestoaineita ja niiden ominaisuuksia. Laite antaa hyviä ennusteita, kuinka vaahdonestot käyttäytyisivät tuotannossa, vaikka prosessin laitteissa monet parametrit ovat paremmin säädettävissä. Skaalaus laboratorion laitteista tuotantoon ei vaikuta vain laitteen kokoon, vaan prosessissa muun muassa lämpötila, sideainekierto ja -imut sekä massavirtaukset ovat erilaisia ja säädettävissä. Laitteella suoritettavaa analyysiä kutsutaan vaahdonestotestiksi, jonka avulla tarkastellaan vaahtoutumisesta aiheutuvia tekijöitä, joita ovat vaahdon määrä ja tiiveys, kuplien koko sekä lian tyyppi ja määrä. Vaahdonestolaitetta käytetään sekä tutkittavien vaahdonestoaineiden valitsemiseen että niiden optimoimiseen. Ennen varsinaista vaahdonestotestiä valmistetaan liuos sellaisella sideainereseptillä, jota halutaan kehittää ominaisuuksiltaan paremmaksi.

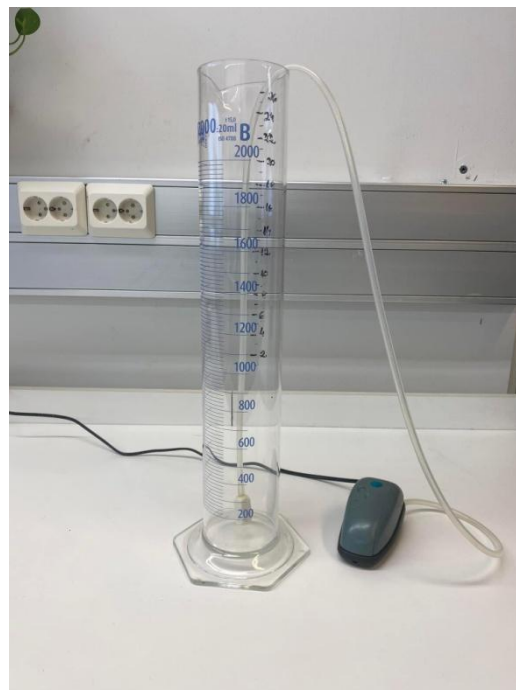
Koesarjan tutkimista varten valittiin yksi sideaineresepti, jossa vaahdonestoaine oli ainoa muuttuva komponentti. Näin saatiin tuotettua mahdollisimman vertailukelpoisia tuloksia. Liuosta valmistetaan yhtä koetta varten noin 1000 ml. Jos liuosta jää yli, sitä voidaan käyttää silmämääräiseen tarkasteluun. Liuokseen sekoitetaan käytettävän sideaineen kaikki komponentit, joista vaahdonestoainetta on vain hyvin pieni määrä. Tätä määrää on tarkoitus kokeen aikana optimoida. Ideaalinen tavoite on vähentää vaahdoneston määrää, mikäli se on mahdollista. Tuloksia analysoidessa huomioidaan myös liuoksen valmistusvaihe, sillä jo sekoittaessa on mahdollista, että astiaan muodostuu likaa tai vaahtoa. Vaahdon muodostuminen sekoittaessa on yleensä merkki vaahdonestoaineen huonosta tehokkuudesta, ja lian syntyminen aikaisessa vaiheessa voi ennakoida ongelmia tuotannossa.

Koesarja on suoritettu yrityksen nykyisellä vaahdonestolaitteella, joka on esitetty kuvassa 2. Vaahdonestolaitteen toiminta perustuu sideaineen vaahtoamiseen kapeassa mittalasissa pumpun letkuun yhdistetyn akvaariokiven avulla. Vaahdonestolaite koostuu noin 2000 millilitran kokoisesta mittalasista ja pumpusta, joka yhdistyy kapealla letkulla akvaariokiveen. Ilma pumpataan nesteeseen tietyllä pumpun teholla. Pumpun tekniset tiedot on taulukoitu alla (Taulukko II). Liuoksen rajapinta on mittapullon 1000 millilitran

kohdalla, jonka jälkeen mittapulloon on merkitty senttimetrin välein korkeus 26 senttimetriin asti. Mikäli vaahdon korkeus ylittää 26 senttimetrin rajan, kirjataan se tuloksiin siten, että vaahto ylitti astian, ja koe keskeytetään, sillä silloin vaahtoa katsotaan syntyneeksi liikaa. Vaahdon korkeuden mittaaminen alkaa nesterajapinnasta eli astian 1000 millilitran kohdalta. Ajanotto käynnistyy vasta, kun pumppuun kytketään virta, mikä tapahtuu nesteen lisäyksen ja akvaariokiven asettamisen jälkeen.

Taulukko II. Vaahdonestolaitteen pumpun tekniset tiedot.

Laitteen nimi	Air 200 Aquarium Pump
Maksimitilavuus (l)	120
Akvaariokiven koko (cm)	1 x 1 x 3



Kuva 2. Nykyinen vaahdonestolaite.

Vaahdonestotesti vaahdonestolaitteella voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa sideaine on laimentamaton, ja sen kuiva-ainepitoisuus valitaan sopivaksi. Ensimmäisen tavoite aika on yksi tunti. Mikäli optimoimalla löydetään sellainen määrä vaahdonestoaainetta, jolla saadaan vähintään tyydyttäviä tuloksia testin ensimmäisessä vaiheessa, voidaan siirtyä toiseen vaiheeseen, jossa liuosta laimennetaan.

Laimennetussa testissä liuosta valmistetaan muuten samalla reseptillä, mutta vaahdoneston määrä on mahdollisesti optimoitu paremmaksi. Tämä tarkoittaa tarkasteltavan koesarjan

kannalta, että kuiva-ainepitoisuus laskee puoleen alkuperäisestä. Toisen vaiheen tavoiteaika on minimissään neljä tuntia. Tämä aika on valittu, jotta nähdään, miten vaahdonesto toimii tuotannossa pidemmässä ajossa. Vaahdonestolaitteella saatuja tuloksia tarkastellaan kappaleessa 4.

3.3 Laboratorion verholevitin

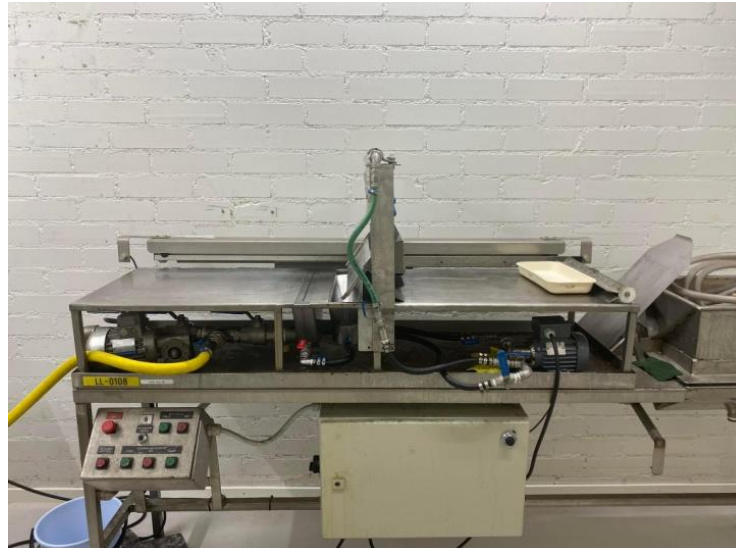
Laboratorion verholevitin on pienempi ja yksinkertaisempi versio tuotannon lasihuopakoneen sideaineen applikointilaitteesta. Verholevittimen tarkoitus on siis matkia sideaineen applikointia siten, että mahdolliset prosessiin vaikuttavat tekijät nähdään jo laboratoriossa. Tuotannossa sideaineen valmistukselle on oma säiliö osana huopakonetta ja automaattinen raaka-aineiden syöttö. Laboratoriomittakaavassa sideaineen valmistus tapahtuu manuaalisesti mittaamalla ja sekoittamalla lasiastiassa. Verholevittimen ja lasihuopakoneen kokoa on vertailtu alla (Taulukko III).

Taulukko III. Verholevittimen ja lasihuopakoneen vertailu.

Verrattava ominaisuus	Verholevitin	Lasihuopakone
Leveys (cm)	50	400
Kaltevan levitysosien pituus (cm)	12	13
Tilavuus (dm ³)	4	1000

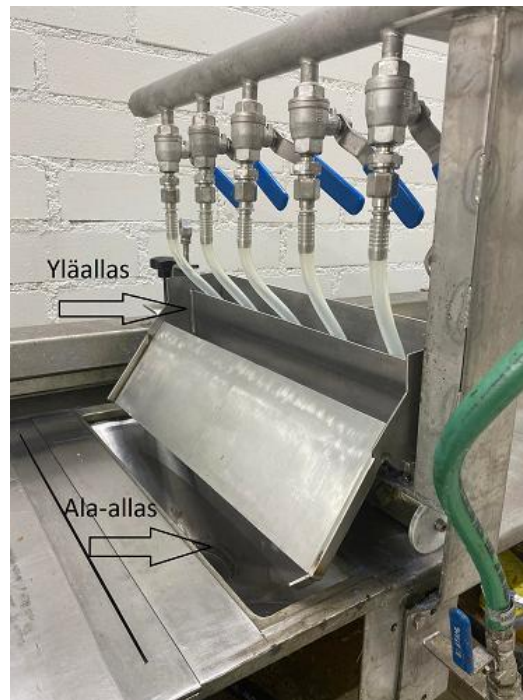
Verholevitin sisältää levitinosan ja kaksi allasta, joista sideaine levitetään. Sideaine syötetään yläaltaaseen viiden letkun avulla. Sideaine levittyy levitinosalla ja kierrätetään ala-altaan kautta. Levitysosalla seurataan mahdollisten häränsilmien muodostumista. Häränsilmät ovat epäjatkuvuuskohtia, joissa liuos ei pysy tasaisena vaan muodostaa ohuempia filmejä tai aukkoja. Ne johtuvat yleensä liasta tai rasvaisuudesta liuoksessa tai yhteensopimattomuudesta. Ne ovat yleensä haitallisia tuotannossa, koska ne voivat aiheuttaa sideainereian eli kohdan, jossa ei ole sideainetta.

Levitysosa on verholevittimen tärkein osa sideaineen toimivuuden ja mahdollisen vaahtoamisen ja vaahdon ominaisuuksien seuraamisen kannalta. Taulukosta III nähdään, että levitysosien pituus on lähes sama laboratorio- ja tuotantomittakaavassa. Yläaltaalla ja etenkin ala-altaalla seurataan vaahdon ja mahdollisen lian muodostumista. Laboratorion verholevitin on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Laboratorion verholevitin

Tutkittava liuos valuu tasaisena virtana ala-altaaseen. Ala-allas on yläallasta suurempi ja siksi analysoimisen kannalta suurin osa huomioista tehdään ala-altaan perusteella. Kuvassa 4 on esitetty tarkempi kuva ylä- ja ala-altaasta. Laitteeseen yhdistyy vesikierto ja pumppu. Sekä laitteen huuhteluun käytettävä vesi että tutkittava liuos kaadetaan koneeseen manuaalisesti. Ennen vaahdonestotestin aloitusta pumppu kytketään päälle ja kiertoon kaadetaan vettä, joka puhdistaa laitteen. Tämän jälkeen vesi päästetään pois ja tilalle kaadetaan tutkittava liuos. Kun liuos alkaa kiertyä laitteessa, aloitetaan ajanotto vaahdonestotestiä varten.



Kuva 4. Verholevittimen ala- ja yläallas sekä kalteva levitysosa.

Verholevittimen vaahdonestotestiä varten muodostetaan muuten sama, mutta suurempi määrä liuosta, 4000 ml, vaahdonestolaitteella optimoidusta liuoksesta. Verholevittimellä suoritettavaa vaahdonestotestiä varten käytetään vain laimentamatonta liuosta, joten testissä on vain yksi vaihe toisin kuin vaahdonestolaitteella. Vaahdonestotestiä seurataan noin neljän tunnin ajan tai vähemmän, mikäli vaahdon määrä lisääntyy liikaa.

Verholevittimen vaahdonestotestissä seurataan altaaseen muodostuvaa vaahtoa ja mahdollisesti muodostuvaa likaa sekä sitä, että pysyykö virtaus tasaisena vai syntykö siihen häränsilmiä. Vaahdon korkeutta ei tässä tarkastella kuten vaahdonestolaitteella kapeassa mittalasissa, sillä nyt vaahtoa voi muodostua sekä ala- että yläaltaaseen. Tärkeämpää on huomioida, syntykö häränsilmiä ja samalla nähdään muodostuvan vaahdon määrä vaahdonestotestin aikana. Samankaltaisia huomioita tehdään tuotannossa tarkkojen mittojen sijaan. Alla on esitetty kuva häränsilmistä astian reunalla (Kuva 5).



Kuva 5. Häränsilmiä astian reunalla.

4 Tulokset

Koesarjan jokaisesta seitsemästä vaahdonestoaineesta valmistettiin liuokset vaahdonestolaitteen vaahdonestotestin ensimmäistä vaihetta varten. Näistä osa jouduttiin hylkäämään jo ensimmäisen testin jälkeen, mutta lopuista tehtiin laimennetut liuokset testin toista vaihetta varten. Puolestaan näistä valikoitui kolme parasta vaahdonestoa, jolle suoritettiin lisäksi vaahdonestotesti verholevittimellä. Kappaleessa 4.1 on tarkasteltu vaahdonestolaitteella saatuja tuloksia ja kappaleessa 4.2 on tarkasteltu verholevittimellä saatuja tuloksia.

4.1 Vaahdonestolaitteella saadut tulokset

Vaahdonestolaitteella tutkittiin liuoksia sekä laimentamattomina että laimennettuina. Laimentamattomalla liuksella viitataan perussideaineeseen. Laimennetulla viitataan tuotantoon, jossa sideaine laimenee prosessissa kiertäessään. Jokaisesta vaahdonestosta tehtiin laimentamaton sideaineliuos samalla kuiva-ainepitoisuudella. Vaahdoneston määrä laimentamattomassa liuksessa on hyvin pieni osa liuksen kokonaismäärästä. Mikäli vaahtoamista havaitaan paljon hyvin nopeasti, lisätään vaahdonestoa esimerkiksi tuplamäärä niin kauan, kunnes muodostuvan vaahdon määrä pienenee. Toisinaan vaahdoneston määrän lisäys ei auta vaahtoamiseen, jolloin testaaminen lopetetaan. Taulukossa IV on tarkasteltu laimentamattomilla liuksilla saatuja tuloksia vaahdon määrästä ja laadusta sekä todettu, että jatkuuko testaaminen kyseisellä aineella.

Taulukko IV. Vaahdonestotestin tulokset laimentamattomille liuoksille.

Liuoksen nimi	Aika (min)	Vaahdon korkeus (cm)	Muut huomiot (mm. lika, vaahdon laatu)	Jatkuuko testaaminen
Vaahdonesto 1	60	< 0,5	Vähän rasvaisuutta	Kyllä
Vaahdonesto 2	8	yli	Lika oli liimamaista	Ei
Vaahdonesto 3	60	1	Rasvaisuutta	Kyllä
Vaahdonesto 4	60	10	Vaahdot erittäin tiivistä	Kyllä
Vaahdonesto 5	30	yli	Vaahdotosi jo kaataessa astiaan, likaa sekoittaessa ja vaahdotessa	Ei
Vaahdonesto 6	15	25	Pysyvä vaahdotosi jo kaataessa, kuivunutta likaa	Ei
Vaahdonesto 7	1	24	Pysyvä vaahdotosi jo kaataessa, sekoittaessa pieniä likahippuja	Ei

Taulukosta IV nähdään, kuinka erilaisia tuloksia saadaan jo vaahdonestotestin ensimmäisessä vaiheessa. Suurin ero on vaahdon määrässä suhteessa aikaan. Taulukosta nähdään, että Vaahdoneston 7 kohdalla ajanotto on lopetettu jo yhden minuutin kohdalla, jolloin vaahdotosta on ollut niin paljon, että vaahdoneston on voitu todeta olevan huono kyseisellä liuosreseptillä pelkästään tämän huomion perusteella. Vaahdonestoilla 1 ja 3 vaahdotosta on puolestaan muodostunut vain yksi senttimetri tai vähemmän tunnin aikana.

Kun tarkastellaan taulukon saraketta muista huomioista, nähdään, että ongelmat sekoitus- tai kaatamisvaiheessa ovat viitanneet huonoihin tuloksiin, kuten on Vaahdoneston 5, 6 ja 7 kohdalla. Vaahdoneston 2 huonoa toimivuutta ei ole voitu ennustaa ennen testin alkamista, mutta on huomioitu liimamainen lika, jota olisi erittäin hankala käsitellä varsinaisessa tuotannon prosessissa.

Kun taulukon IV tuloksia verrataan kappaleen 3.1 koesarjan ominaisuuksien ennusteeseen, nähdään, että tehokkaaksi tai erittäin tehokkaaksi arvioituista neljästä vaahdonestosta kolme näyttää pitävän paikkaansa. Tämä tarkoittaa vaahdonestolaitteen antamien tuloksien perusteella, että hydrofobisen partikkelin ja mineraaliöljyn yhdistelmä oli koesarjan vaihtoehtoista tehokkain.

Ensimmäisen vaahdonestotestin perusteella testaaminen jatkuu vain kolmella vaahdonestoaineella, Vaahdonestoilla 1, 3 ja 4. Näille kolmelle tehtiin laimennetut liuokset

pidempään vaahdonestotestiin, jonka maksimiaika on neljä tuntia. Alla on vertailtu laimennettujen vaahdonestojen tuloksia (Taulukko V).

Taulukko V. Vaahdonestotestin tulokset laimennetuille liuksille.

Liuksen nimi	Aika (h)	Vaahdon korkeus (cm)	Muut huomiot (mm. lika, vaahdon laatu)	Jatkuuko testaaminen
Vaahdonesto 1	4	2	Tiivis vahto reunoilla, keskellä purkautumista	Kyllä
Vaahdonesto 3	3,5	3	Rasvaa sekoittaessa ja vaahdotessa	Kyllä
Vaahdonesto 4	3,5	8	Kuivunutta likaa vaahdon pinnalla, tiivis vahto,	Ei

Taulukosta V huomataan, että kaikki kolme vaahdonestoa niin sanotusti läpäisevät vaahdonestotestin toisen vaiheen, sillä vaahtoa ei muodostunut liikaa, ja niitä ehdittiin seurata maksimiaika tai melkein maksimiaika. Jokaisen vaahdoneston kohdalla vaahdon määrä on lisääntynyt verrattuna ensimmäiseen vaahdonestotestiin, mikä todennäköisesti johtuu siitä, että laimennetuissa liuksissa vaahdonestoa on puolet vähemmän. A-M:llä on tuotantokoneelta kokemusta, että laimeammat liukset vaahtoavat yleensä enemmän. Taulukosta nähdään myös, että Vaahdonestot 1 ja 3 ovat edelleen tehokkaampia kuin Vaahdonesto 4, ja tämä on ainoa vaahdonesto, jossa lika oli ongelma. Täten verholevittimellä testattavaksi valittiin vain Vaahdonestot 1 ja 3.

Vaahdonestoilta 1 ja 3 kokeiltiin myös laimennettua vaahdonestotestiä optimoiduilla määrillä vaahdonestoaainetta, missä vaahdoneston määrä laskettiin melkein puoleen alkuperäisestä. Näiden kahden määrän tuloksissa oli kuitenkin huomattava ero, joten taulukossa on vertailtu selkeyden vuoksi tulokset vain ei-optimoiduilla määrillä. Vaahdonestolla 4 määrää ei laskettu, koska vaahtoa syntyi jo ensimmäisessä kokeessa moninkertainen määrä verrattuna Vaahdonestoihin 1 ja 3.

4.2 Laboratorion verholevittimellä saadut tulokset

Laboratorion verholevittimellä tutkitaan sellaisia vaahdonestoaaineita, jotka ovat potentiaalisia tuotannon käyttöön. Siksi verholevittimellä ei testata jokaista vaahdonestoa kuten vaahdonestolaitteella. Verholevittimellä sideaineliuksen resepti on laimentamaton, ja sen kuiva-ainepitoisuutta yleensä nostetaan muutama prosentti vaahdonestolaitteella

testattuun liukseen verrattuna. Koesarjan vaahdonestoista vain kaksi valittiin testattavaksi verholevittimelle: Vaahdonestot 1 ja 3. Vaahdonestolle 1 suoritettiin vaahdonestokoe verholevittimellä kahdella eri kuiva-ainepitoisuudella, sillä haluttiin nähdä, miten se muuttaa sideaineen käyttäytymistä. Tulokset on esitelty seuraavassa taulukossa (Taulukko VI).

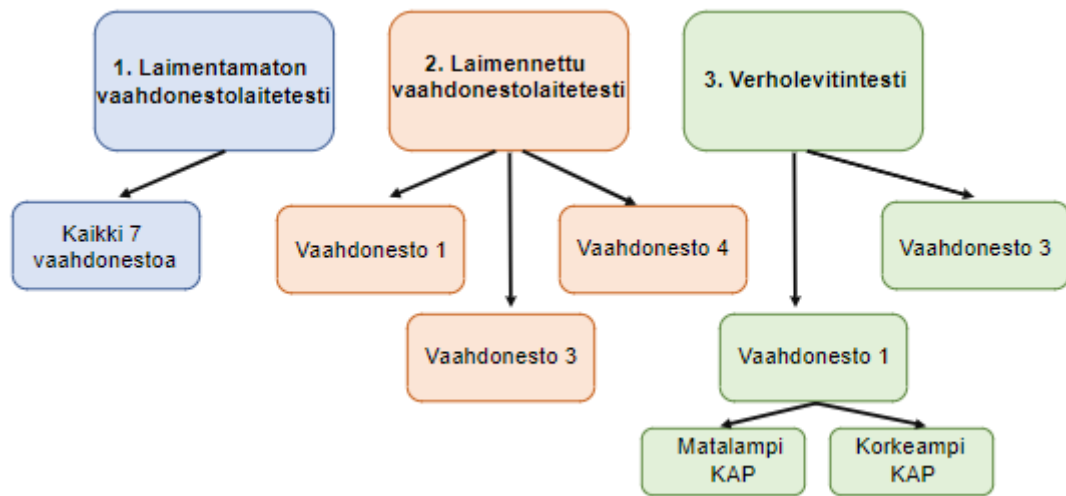
Taulukko VI. Vaahdonestotestin tulokset verholevittimellä.

Liuksen nimi	Aika (h)	Vaahoaminen	Muut huomiot (mm. häränsilmät, vaahdon laatu)
Vaahdonesto 1, korkeampi KAP	4	Ensimmäisen tunnin aikana vähän, lisääntyy edessä	Ei häränsilmä, kuivaa liimamaista likaa, tiivis vaahto
Vaahdonesto 1, matalampi KAP	2,5	Heti vaahtoa, lisääntyy asteittain	Ei häränsilmä, rasvaisuutta, erittäin tiivis vaahto
Vaahdonesto 3	4,5	Vaahto tiivistyy (& lisääntyy) vähitellen	Häränsilmä, tiivis vaahto

Tuloksista nähdään, että vain Vaahdonesto 3 muodostaa häränsilmä, mikä on kaikista epätoivotuin ominaisuus. Jokainen vaahdonestoa sisältävä liuos tuottaa suhteellisen paljon vaahtoa. Vaikka vaahtoa syntyy, on tärkeää huomioida myös kauanko sen syntymisessä ja lisääntymisessä menee ja syntykö muita haittoja, kuten likaa. Verholevittimellä saadut tulokset eivät kerro täysin, kuinka paljon vaahtoa syntyy itse prosessissa, joten monesti muut huomiot ovat verholevittimellä tärkeämpiä. Tuotannossa vaahtoa voidaan esimerkiksi poistaa manuaalisesti, mutta häränsilmille on hankala kesken prosessin tehdä mitään.

Taulukon VI avulla voidaan verrata Vaahdoneston 1 käyttäytymistä verholevittimellä eri kuiva-ainepitoisuuksilla. Suuremmalla kuiva-ainepitoisuudella, vaahtoa syntyy vähemmän kuin pienemmällä kuiva-ainepitoisuudella, mutta pienemmällä määrällä lika ei ole ongelma. Tämä näyttää hyvin, kuinka liuosta optimoimalla voidaan muokata tiettyjä ominaisuuksia, mutta kaikkia haluttuja ominaisuuksia ei voida yleensä saada vain yhden vaahdoneston määrän ja suhteen avulla. Vaahdoneston 3 tuloksista huomataan, että sen ongelmana oli sekä häränsilmät että tiivis vaahto.

Kokeet suoritettiin kolmessa eri vaiheessa, jossa ensimmäisessä vaiheessa testattiin kaikki seitsemän koesarjan vaahdonestoainetta ja seuraavissa aina parhaiten menestyneet. Kuvassa 6 on kuvattu kokeiden suoritusjärjestys ja kussakin vaiheessa testatut vaahdonestoaineet.



Kuva 6. Kokeiden suorittamisen periaatekaavio.

Koesarjan kaikkien tulosten perusteella ei löydetty yhtään erittäin hyvää vaahdonestoa, mutta löydettiin vaihtoehtoja, joilla oli hyviä ominaisuuksia. Parhaat tulokset saatiin Vaahdonestolla 1 ja toiseksi parhaat Vaahdonestolla 3. Koesarjasta löytyi myös hyvin eri tavalla käyttäytyviä vaahdonestoa, joilla saatiin erilaisia tuloksia. Jatko-optimointi ja -testaaminen ovat mahdollisia. Vaahdonestoa 1 voisi harkita jopa testattavaksi tuotannon koeajoon.

5 Uusi vaahdonestolaite

A-M:n Karhulan tehtaalle suunnitellaan hankittavaksi uutta vaahdonestolaitetta, koska nykyisen laitteen akvaariokiven teho huononee käytössä. Lisäksi nykyisen laitteen osien toimituksessa on todennäköisesti jatkossa ongelmia. Uuden vaahdonestolaitteen selvityksessä pääpaino on laitteen kehittämisessä. Tavoitteena on löytää nykyistä tarkempi laite tai uusi nykyisen rinnalle. Uuden laitteen tulisi antaa tuloksia, joiden avulla vaahdoneston tehokkuus on ennustettavissa ja lisätoiveena, että mahdollisen pumpun tehoa pystyy säätämään.

Sopivaa vaahdonestolaitetta etsiessä on huomioitava, että kaikissa vaahdonmuodostusprosesseissa kaasua tulee lisätä liuokseen. Kaasun lisäämiseen on kaksi päätapaa: kaasukuplien vangitseminen ympäröivästä ilmasta nestemäisellä turbulenssilla tai kaasukuplien keinotekoinen lisääminen joko kemiallisesti tai fyysisesti. Jälkimmäisen tavan on todettu olevan tehokkaampi, ja tehokkuuden riippuvan lisättyjen kuplien määrästä aikayksikköä kohden. (Karakashev & Grozdanova 2012, s. 2). Tässä merkityksessä sopivan laitteen tulee siis pystyä lisäämään ilmaa liuokseen eli sideaineeseen. Kun huomioidaan edellä mainittu kriteeri kaasun lisäämisestä yrityksen nykyisessä laitteessa, voidaan todeta, että kaasua eli ilmaa lisätään akvaariokivestä pumpun välityksellä. Toisena kriteerinä uudelle laitteelle on vaahdon nouseminen liuoksen pintaan, jotta vaahto ei jää liuokseen, ja tällöin vaahdon ominaisuuksia on helpompi tarkkailla.

Yllä esitettyjen kriteerien ja yrityksen toiveiden perusteella potentiaalisiksi laitteeksi voisi sopia Peak Scientific Zero Air Generator -vaihtoehdot. Kyseisellä valmistajalla on yhteensä 14 kappaletta ilmageneraattoreita, jotka ovat pääasiallisesti suunniteltu kaasukromatografia-, orgaanista kokonaishiili- ja hiilidioksidianalyysiä varten. Laitteista karsimalla ilmankosteutta poistavat, hiilidioksidia sisältämättömät ja kompressorit, jäljelle jää neljä potentiaalista ilmageneraattoria. Ilmankosteuden ja hiilidioksidin poistominisuuksia ei tarvita, sillä vaahdonestolaitteen on tarkoitus toimia mahdollisimman normaaleissa olosuhteissa. Potentiaalisten ilmageneraattoreiden keskeisin ero on vain niiden kapasiteetti, joka on välillä 1,5–30 l/min. Muuten niiden toimintaperiaate on sama. Kyseiset ilmageneraattorit on suunniteltu toimimaan liekintukikaasuna kaasukromatografiassa. (Peak Scientific).



Kuva 7. Precision Zero Air 1.5 -ilmageneraattori.

Ottaen huomioon laboratorion nykyisen vaahdonestolaitteen pumpun kapasiteetin, ilmageneraattoreista 1,5 tai 3,5 l/min voisi olla sopiva. Ilmageneraattoriin saa tarvittaessa liitettyä kompressorin samalta valmistajalta, minkä avulla voi nostaa painetta. Tämä ominaisuus on tuskin tarpeellinen, sillä vaahdonestolaitteen tärkein ominaisuus on ilmansyöttö, jossa on tärkeämpää ottaa huomioon ilmanvirtausnopeus kuin paineen nostaminen. Ilmageneraattorin hyviä puolia on, että sillä saatavat tulokset olisivat varmasti tasaisempia kuin nykyisellä laitteella, ja sen toimitus olisi taattavissa. Ilmageneraattorit eivät tarvitse suuria huoltotoimenpiteitä vuosittaisia hiukkassuodattimien vaihtoja lukuun ottamatta (Peak Scientific). Laitteeseen kuulu PTFE:stä (polytetrafluorieteenistä) valmistettu letku, joka toimisi ilmanvälittäjänä tutkittavaan liuokseen.

Generaattorin huonoja puolia ovat sen koko suhteessa nykyiseen laitteeseen, todennäköisesti sen hinta, käynnistymisaika ja vaadittavat testaukset ennen käyttöönottoa. Esimerkiksi Precision Zero Air 1.5 -ilmageneraattorin koko on 20 x 40 x 50 cm, paino 16 kg ja käynnistymisaika 60 minuuttia (Peak Scientific). Sen koko- ja paino-ominaisuudet eivät tuota suuria ongelmia, sillä laitteelle on mahdollista asettaa pysyvä paikka laboratoriossa. Käynnistymisaikakaan ei ole iso ongelma, sillä se tarkoittaa vain käytön ajoittamista. Suurin haaste on, että ilman käytännön testausta ei sen sopivuutta voi täysin taata vaahdonestolaitteeksi. Tämä aiheuttaisi ylimääräisiä kustannuksia, mikäli laite ei olisikaan sopiva.

Muita vaihtoehtoja uudeksi vaahdonestolaitteeksi voisivat olla toisten valmistajien akvaariopumput. Täten toimitusongelma saataisiin ratkaistua, ja laitteen hinta ei olisi

ongelma. Akvaariokiven kulumisesta ei päästäisi eroon, ja tulosten epätasaisuus olisi ajan myötä edelleen ongelma. Tästä syystä toisten valmistajien akvaariopumput olisivat käytännössä väliaikainen ratkaisu. Uudeksi laitteeksi voisi sopia Eheim-ilmapumppu, jonka kapasiteetti on säädettävissä (Eheim Digital, 2022). Kapasiteetin säätämismahdollisuus olisi hyvä uusi ominaisuus pumppuun, ja sillä nähtäisiin, onko pumpun teholla vaikutusta vaahdon muodostumiseen. Mikäli on, voitaisiin tehon avulla optimoida tuloksia paremmaksi. Pumppua on saatavilla muun muassa kapasiteeteilla 100 ja 200 l/h, jotka vastaisivat todennäköisesti nykyisen laitteen kapasiteettia.



Kuva 8. Eheim- ilmapumppu.

Esitetyistä vaihtoehtoisista laitteista tehon näkökulmasta vertailukelpoisia olisivat Peak Scientificin ilmageneraattori 1,5 l/min ja Eheim-ilmapumppu 100 l/h kapasiteeilla sekä ilmageneraattori 3,5 l/min ja ilmapumppu 200 l/h kapasiteetilla. Vertailua nykyiseen laitteeseen hankaloittaa, ettei sen varsinaisesta kapasiteetista ole tarkkaa tietoa. Tiedetään vain, että sen maksimitilavuus on 120 l. Jos uuden laitteen ka nousee liikaa, eivät nykyisen laitteen tulokset ole vertailukelpoisia ilmageneraattorin kanssa, mikä tarkoittaisi kokonaan uuden datan luomista. Tämä ei ole toivottavaa. Jos uudessa laitteessa tehon voi säätää sopivaksi, voisi olla mahdollista, että esimerkiksi pienemmällä teholla laite antaa samoja tuloksia kuin nykyinen laite ja korkeammilla tehoilla voidaan luoda uutta dataa. On myös mahdollista, että uusi laite otettaisiin nykyisen laitteen rinnalle, jolloin uutta laitetta käytettäisiin vain silloin, kun esimerkiksi haluttaisiin testata jotain tiettyä sideainetta korkeammalla kapasiteetilla. Mahdollisena jatkotoimenpiteenä voisi olla lisäksi nykyisen

laitteen tehon selvittäminen sille luodulla testausmenetelmällä, jonka perusteella voitaisiin valita mahdollisimman vertailukelpoinen laite.

6 Yhteenveto

Tässä kappaleessa kerrataan koesarjasta saatuja tuloksia sekä vaahdonestolaitteella että laboratorion verholevittimellä suhteutettuna teoriaan ja mietitään potentiaalisen uuden vaahdonestolaitteen hankinnan jatkotoimenpiteitä.

Tutkittavaan koesarjaan kuului seitsemän vaahdonestoainetta, jotka sisälsivät kuutta eri pääkomponenttia erilaisissa suhteissa. Jokaiselle koesarjan vaahdonestolle suoritettiin laimentamattomalla sideaineella vaahdonestokoe A-M:n Karhulan tehtaan nykyisellä vaahdonestolaitteella. Kolmella vaahdonestolla saatiin niin hyviä tuloksia, että niille voitiin suorittaa sama koe laimennetulla sideaineliuoksella. Näistä valikoitui kaksi parasta, Vaahdonesto1 ja Vaahdonesto 3, joille suoritettiin lisäksi laboratorion verholevittimellä vaahdonestokoe. Vaahdonestolle 1 suoritettiin koe verholevittimellä kahdella eri kuiva-ainepitoisuudella ja Vaahdonesto 3 yhdellä pitoisuudella.

Teorian avulla tehokkaaksi ennustetuista vaahdonestoista kolme neljästä piti paikkaansa vaahdonestolaitteella testatessa. Kaikki kolme sisälsivät vähintään mineraaliöljyn ja hydrofobisen partikkelin kombinaation. Vaahdonesto 3 ennustettiin kaikista tehokkaimmaksi, mutta kaikkien kokeiden perusteella Vaahdonesto 1 oli paras ja 3 toiseksi paras. Vaahdonestoa 1 voitaisiin harkita koeajettavaksi tuotantoon lisätestausten jälkeen. Kokeiden perusteella ei löydetty täydellisesti toimivaa vaahdonestoa, mutta sarjan tuloksista nähtiin, kuinka monipuolisia ominaisuuksia vaahdonestolaitteella ja laboratorion verholevittimellä voidaan tutkia. Nähtiin myös, että mikäli vaahdoneston komponenteista on ennalta tietoa, voi teoria auttaa sopivan vaahdoneston löytämisessä.

Potentiaalisesti uudeksi vaahdonestolaitteeksi valikoitui kaksi eri laitetta, jotka ovat saatavilla eri tehoilla. Vaahdonestolaitteen kapasiteetin tarpeeksi arvioitiin 100–200 l/h, kun sitä verrataan nykyisen akvaariokiven pumpun tietoihin, joka on tarkoitettu maksimissaan 120 litran säiliöille. Tarkan tehon selvittämiseksi tulisi nykyistä laitetta testata jollakin koemenetelmällä, jolla esimerkiksi sen akvaariokiven ilmanvirtausta voitaisiin mitata ja verrata uusiin laitteisiin. Potentiaalisesti uudeksi laitteeksi voitaisiin

harkita Peak Scientificin ilmageneraattoria 1,5–3,5 l/min kapasiteetilla tai Eheim-ilmapumppua 100–200 l/h kapasiteetilla.

Ilmageneraattorin käyttöönotto vaatisi ensin jatkotestausta: Mikäli se toimisi, ratkaisisi se molemmat ongelmat liittyen nykyiseen laitteeseen: toimituksen ja akvaariokiven kulumisen. Ilman testaamista sen soveltuvuutta vaahdonestolaitteeksi ei voi taata. Ilmapumpun soveltuvuus vaahdonestolaitteeksi on lähes varmaa, sillä se on hyvin samankaltainen nykyisen ratkaisun kanssa. Lisäksi ilmapumpun toimitus on nykyistä laitetta varmempaa, ja sen teho on säädettävissä. Sen ongelmana on akvaariokiven tehon heikkeneminen ajan myötä, mutta ratkaisuna voisi toimia pumpun tehon nostaminen akvaariokiven kuluessa. Näin teho pysyisi mahdollisesti samana.

Tämä kandidaatintyö osoitti, että vaahdonestojen kemian tuntemisen avulla voidaan arvioida tehokkuutta ja täten varautua niistä saataviin tuloksiin, vaikka tuloksissa oli myös yllättäviä huomiota. Koesarjan vaahdonestoista saatiin tärkeää dataa, ja löytyi jopa potentiaalinen vaahdonestoaine koeajoon tulevaisuudessa. Uuden laitteen kohdalla löytyi kaksi uutta vaihtoehtoa, joista ilmageneraattori tarvitsisi jatkotestausta ennen kuin sen soveltuvuus vaahdonestolaitteeksi voitaisiin taata. Ilmapumpun todettiin hyvin todennäköisesti soveltuvan vaahdonestolaitteeksi ainakin nykyisen rinnalle.

Lähteet

Ahlstrom-Munksjö. Glass Fiber Tissue. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.1.2022]. Saatavissa: <https://www.ahlstrom-munksjo.com/products/construction-surface-and-furniture-materials/glass-fiber-tissue/>

Ahlstrom-Munksjö.. Tuotteet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.1.2022]. Saatavissa: <https://www.ahlstrom-munksjo.com/fi/Tuotteet/>

BYK.. Silicone-free Polymer Defoamers. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.3.2022]. Saatavissa: <https://ebooks.byk.com/en/defoamer-and-air-release-agents/silicone-free-polymer-defoamers/>

Collier, H. L. 2005. Defoam and antifoam differences. Industrial Paint and Powder. Vol. 81, s. 40

Egeim Difital. Air. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.3.2022]. Saatavissa: https://eheim.com/en_GB/aquatics/technology/air-pumps/air/air200

Fink, J. 2021. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. 3rd ed. Cambridge, Massachusetts; Oxford, England: Elsevier. 1080 s. ISBN : 0-323-85813-9.

Flinkenberg. Vaahdonestoaineet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.1.2022]. Saatavissa: <https://www.flinkenberg.fi/chemicals/teollisuuden-raaka-aineet/vedenkasittely/vaahdonestoaineet/>

Joshi, K.S., et al. 2009. Mechanism of bubble coalescence induced by surfactant covered antifoam. Journal of colloid and interface science. Vol 339, s. 446–458.

Karakashev, S. I. & Grozdanova, M. V. 2012–08. Foams and Antifoams. Advances in colloid interface science, Vol. 176.177, s. 1-17.

Peak Scientific. N.d. Zero Air Generators. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.3.2022]. Saatavissa: <https://www.peakscientific.com/products/air/>

Pelton, R. & Flaherty, T. 2003-04. Defoamers: linking fundamentals to formulations. *Polymer international*, Vol.52, s.479–485.

Wang, G. et al. 1999. On the Role of Hydrophobic Particles and Surfactants in Defoaming. *Langmuir*, Vol. 15, s. 2202–2208.