

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2022

Teemu Niiniviita

JAUHEKOSTUTIN

– Kemikaalien sekoitusprosessin esikostutin



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2022 | 37 sivua

Teemu Niiniviita

JAUHEKOSTUTIN

- Kemikaalien sekoitusprosessin esikostutin

Opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa tiettyjen kemikaalien sekoitusprosesseja. Työn tilanneella yrityksellä on mallistossa ejektorisekoitin, jonka toiminta on samankaltainen, kuin opinnäytetyössä valmistettavalla jauhekostuttimella, mutta rajoittuu tiettyihin kemikaaleihin ja pitoisuuksiin. Jauhekostutin suunniteltiin toimimaan niille kemikaaleille, joiden sekoitusprosessissa ei pystytä ejektorisekoitinta käyttämään kapasiteetin täyttymisen vuoksi.

Prosessien parantamiselle on teollisuudessa ollut pitkään jo tarvetta, koska liukenemattomat kemikaalit aiheuttavat prosessille ongelmia, kuten pitoisuusvaihteluja ja tukkeutumisia. Lisäksi niistä koituu lisäkustannuksia, koska riittävään pitoisuuteen tarvitaan suurempi määrä jauhetta.

Jauhekostutin suunniteltiin siten, että mahdollisimman suuri osa käytettävistä materiaaleista saatiin yrityksen varastosta, ja laite on suurimmaksi osaksi mahdollista valmistaa yrityksen omassa tuotannossa. Jauhekostuttimesta luotiin 3D-malli ja työpiirustukset, joiden perusteella laitteesta valmistettiin prototyyppi testausta ja analysointia varten.

Lopuksi jauhekostuttimen toiminta testattiin ja todennettiin. Lopputuloksena luotiin toimiva ratkaisu CMC-laitteen sekoitusprosessiin, jatkokehitys jauhekostuttimesta jää yritykselle.

Asiasanat: jauheet, liuotus, laitteet

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Degree programme in Mechanical Engineering

2022 | number of pages 37

Teemu Niiniviita

Powder Humidifier

- Pre humidifier for a chemical mixing process

The purpose of this thesis was to improve the mixing process of specific chemicals. The company behind this project, already has an ejector mixer that is designed for certain chemicals and concentrations. The powder humidifier is a solution for applications where the capacity of the ejector mixer is not sufficient.

There is already a need for a powder humidifier in process industry, where undissolved chemicals cause multiple problems. The biggest concerns that undissolved chemicals cause is the accumulation on the surface of the liquid as a plate, differences in concentration and increased expenses.

The powder humidifier was designed so that as much as possible of used material is from company's own storage and the manufacturing also is mainly in own production. The 3D-model and work drawings were made for prototype manufacturing.

At the end of the project, the powder humidifier was tested and confirmed as the results were satisfying. Further development is left to the company.

Keywords: equipment, dissolved materials, powders

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 Johdanto	7
2 Taustatiedot	8
2.1 Turun Asennusteam Oy	8
2.2 Jauhekostutin	9
3 Suunnittelu	11
3.1 Toimintaperiaate	11
3.2 Prototyyppi	11
3.3 Tulostettu malli	12
3.4 Jigin valmistus	14
4 Patentoitavuus	15
4.1 Ennakkouutuustutkimus	15
4.2 Tutkimuksen tilaus	15
4.3 Tutkimuksen lisäselvitys	16
4.4 Tutkimuksen tulos	17
5 Valmistus	19
5.1 Tilattavat osat	19
5.2 Kokoonpano	21
5.3 Lopputulos	22
6 Prosessin kokonaiskuva	24
6.1 Karboksimeetyliselluloosa (CMC)	24
6.2 Sekoitus	25
6.3 Laitteisto	25
6.3.1 Jauhesiilo	26
6.3.2 Sekoitussäiliö ja siirtopumppuasema	27
6.3.3 Varastosäiliö ja annosteluasema	28

7 Testaus ja tulokset	29
7.1 Testaus	29
7.2 Tulokset	32
8 Yhteenveto	34
Lähteet	36

Liitteet

Liite 1. Suunnittelulaskuri

Kuvat

Kuva 1. Maskun toimipiste (Turun Asennusteam Oy).	9
Kuva 2. Tulostettu malli.	13
Kuva 3. Nestekartion muodostuminen.	13
Kuva 4. Kolmileukaistukka kiinnitettynä jyrsinpöytään.	14
Kuva 5. Jauhekostuttimen graafinen toimintakuvaus.	16
Kuva 6. Yksi leikkauskuvannoista lisäselvitykseen.	17
Kuva 7. Laipat koneistettuna.	20
Kuva 8. Jauhekostuttimen yläosa hitsattuna ja peitattuna.	21
Kuva 9. Jauhekostutin kokoonpano.	23
Kuva 10. CMC laitteiston PI-kaavio (Turun Asennusteam).	26
Kuva 11. Korvaava testipumppu.	30
Kuva 12. Vasemmalla 50 l/min ja oikealla 100 l/min.	31
Kuva 13. Pysäytyskuva fluidisointivideosta.	32
Kuva 14. Jauhekostutin asennettuna ja pinnoitettuna.	34

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
Dispersio	Prosessi, jossa liuoksen eri osat erkanevat toisistaan.
Fluidisointi	Jauheen partikkeleiden erotteluun käytetty tekniikka, jossa jauhetta leijutetaan kaasun avulla.
Homogeeninen	Liuos on sekoittunut täysin kaikkien sekoitettavien materiaalien osalta ja liuos on tasalaatuista.
Konsentraatio	Liuoksen pitoisuuden mittaamiseen käytetty suure. Yksikkönä moolia per tilavuusyksikkö.
Stabilointi	Prosessin vakauttaminen.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää eräiden kemikaalijauheiden liuotus- tai sekoitusprosesseja, luomalla jauheen annostelun ja sekoituksen väliin jauhekostutin, joka fluidisoi jauheen ja kostuttaa jokaisen partikkelin erikseen.

Työn ensimmäisessä osiossa tutustutaan työn tilanneeseen yritykseen ja yrityksen osaamisalueeseen. Osiossa tuodaan esille seikat, joiden perusteella jauhekostuttimen kehitystyötä on aloitettu, ja miksi sen kehitykseen kannattaa panostaa.

Suunnitteluosuudessa tarkastellaan laitteen suunnitteluprosessia valmistuksellisista ja kustannuksellisista näkökulmista, sekä pohditaan ja lasketaan laitteen toiminnallisia ominaisuuksia. Suunnitteluosiossa tarkastellaan myös patentoinnin mahdollisuus ja jauhekostuttimelle teetetään ennakkouutuustutkimus.

Valmistuksellisessa osuudessa esitellään jauhekostuttimen valmistusprosessi ja tuodaan esille prosessin onnistuneet osiot, sekä pohditaan tulevia kehityskohteita.

Opinnäytetyön lopussa esitellään yksi jauhekostuttimen käyttösovelluksista, esitellään jauhekostutin osana CMC-laitteistoa ja tutkitaan laitteen toimintaa käytännön kokeilla. Laitetta testataan useilla virtauksilla ja, laitteen omilla säätöominaisuuksilla.

2 Taustatiedot

Prosessiteollisuudessa suoritetaan erilaisia fysikaalisia tai kemikaalisia tapahtumia tai tapahtumasarjoja. Eri kemikaaleja käytetään erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten valkaisuun, sakeuttamiseen, stabilointiin ja niin edelleen. Suuri osa käytettävistä kemikaaleista on kiinteässä muodossa (jauhe, rae, granulaatti jne.) johtuen pääosin logistisista syistä.

Työn tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa jauheen liuotus- ja sekoitusprosessiin esikostuttaja, jonka tehtävänä on hajottaa kaikki annostelu- ja kuljetuslaitteistolta saapuvat jauhepaakut ja kostuttaa jokainen partikkeli erikseen ennen varsinaista sekoitusprosessia. Mikäli jauhe annosteltaisiin suoraan prosessiin kuljettimelta, aiheuttaisi suuremmat jauhepaakut ongelmia putkistoissa, pumpuissa, sekä liuoksen pitoisuusvaihtelussa. Esikostutuksella ja jauheen erottelemisellä pieniksi partikkeleiksi on suuri merkitys prosessin kannalta, koska parhaimmillaan toimiessaan kiintoaineen ja nesteen yhdistelmä on jo täysin homogeeninen.

2.1 Turun Asennusteam Oy

Turun Asennusteam Oy:llä on pitkä kokemus kemikaalien käsittelyyn, sekoittamiseen ja annosteluun soveltuvien laitteistojen valmistuksesta. Yrityksen pääasialliset asiakkaat edustavat paperi-, sellu-, kaivos- ja prosessiteollisuutta sekä vesien käsittelyyn erikoistunutta teollisuutta. Asiakkaita ovat esimerkiksi Metso Outotec Oy, Kemira Oy, Flootech Oy ja Valmet Oy.

Yritys valmistaa laitteita MIXO™ tuotemerkillä ja tuoteperheeseen kuuluu muun muassa polymeerilaitteistoja, suodattimia, staattisia sekoittimia ja pumppuasemia. Polymeerien liuotuslaitteistoihin yritys on kehittänyt ja patentoinut ejektorisekoittimen, jonka toimintaperiaate on samankaltainen, kuin työssä valmistettavan jauhekostuttimen. Ejektorisekoitin on yrityksen lippulaiva, ja sekoittimella varustettuja laitteistoja on myyty kansainvälisesti satoja.

Yrityksellä on tuotantotiloja Maskussa (Kuva 1) ja Vehmaalla. Vehmaan toimipisteessä valmistetaan suurempia teräsrakenteita, kuten säiliöitä, silloja sekä runkoja. Lopullinen kokoonpano, sähköistys ja testaus suoritetaan yleensä Maskun tuotantotiloissa. Maskun toimipisteellä pääpaino on putkistoasennuksissa, pienempien asemien valmistuksessa, sähkö- ja automaatioasennuksissa, sekä laitetestauksissa.



Kuva 1. Maskun toimipiste (Turun Asennusteam Oy).

Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli 9 320 000 euroa ja liikevoitto noin 10 %. Työntekijöitä yrityksessä on noin 40, joista toimihenkilöitä 9. (Turun Asennusteam Oy, 2022.)

2.2 Jauhekostutin

Jauhekostuttimen käyttötarkoitus ja toimintaperiaate eroaa hieman ejektorisekoittimesta. MIXO™ ejektorisekoittimen maksimikapasiteetti on 1 kg jauhetta minuutissa ja sekoitettavan liuoksen pitoisuus 0.1–0.5 %. Sekoitin on suunniteltu pääasiassa polymeerien liuotukseen. Jauhekostuttimen maksimi kapasiteetti on 10 kg jauhetta minuutissa ja liuoksen pitoisuus huomattavasti

suurempi. Jauhekostutin tuodaan mukaan MIXO™-tuoteperheeseen tehostamaan niiden jauheiden sekoittamista, joissa määrät ja pitoisuudet yleisesti prosesseissa ovat suurempia, kuten tärkkelys, CMC ja kuparisulfaatti.

3 Suunnittelu

Yrityksen hallituksen puheenjohtaja, eläköitynyt toimitusjohtaja Heikki Tammelin, joka on suunnitellut ja patentoinut ejektorisekoittimen, oli ideoinut jo valmiiksi jauhekostutinta millimetripaperille. Opinnäytetyön osuudeksi muodostui suunnitteluosuudesta virtausten laskeminen, toiminnan varmistaminen standardiosilla, valmistusteknillinen ideointi, osien tilaaminen, työn valvonta, sekä valmistettavan prototyypin mallintaminen ja työpiirustukset. Lisäksi testausten ja toiminnan todentamisen jälkeen malliston luominen eri kokoluokille.

3.1 Toimintaperiaate

Jauhekostutin koostuu viidestä toisiinsa liitettävästä osasta. Kostuttimeen tulee kaksi yhdettä, joista toiseen tulee laippaliitos nesteelle, ja toiseen liitin kaasulle. Kostuttimen runkolaippa kiinnitetään säiliöön ja sen tehtävä on antaa nestekartiolle alusta ja kulma.

Jauhekostuttimen ylempi laippa asennetaan runkolaipan päälle säädettävällä välyksellä ja tuo vastakappaleen vesikartiota varten. Lisäksi ylemmässä laipassa on kanavat nestesuihkua varten. Jauheputkeen pudotetaan kemikaalijauhe, joka fluidisoituu käytettävän kaasun virtauksen vaikutuksesta. Lisäksi kostuttimeen kuuluu säiliöt nesteelle ja kaasulle. Raportissa tarkastellaan myöhemmin laitteen toimintaa vedellä ja paineilmalla.

3.2 Prototyyppi

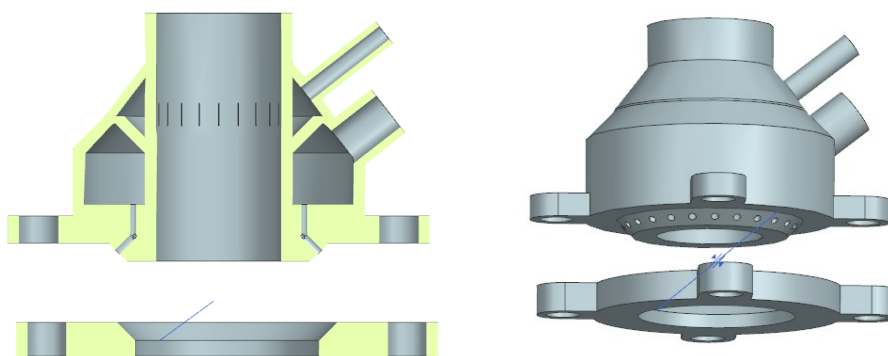
Prototyypin valmistus suoritettiin pääosin yrityksen omassa tuotannossa, mutta laippojen koneistus tilattiin Dosmix Oy:stä, joka toimii samoissa tiloissa Turun Asennusteam Oy:n kanssa. Jauheputken laserleikkaus tilattiin Suomen Vesileikkaus Oy:stä, koska yrityksellä ei ole mahdollisuutta valmistaa riittävän pieniä uria jauheen fluidisointia varten.

Ensimmäisen prototyypin valmistusta varten pidettiin useita palavereja, sekä luotiin muutamia revisioita valmistettavasta kostuttimesta. Enimmäkseen muutoksia tehtiin välyksen säätöä ja tiivistystä koskeviin seikkoihin.

Ensimmäisessä mallissa välyksen säätö toteutettiin eri paksuisilla tasotiivisteillä, suunnitelman mukaiset välykset vesikartiota varten olivat 1 mm, 1,5 mm ja 2 mm. Viimeisessä revisiossa päädyttiin kuitenkin o-rengas tiivistykseen, sekä erilliseen vällyslevyyn, välyksen vaihdon helpottamiseksi ja tarvittavien lisäosien yksinkertaistamiseksi. Uusi tiivistysmuoto toi mukanaan lisää koneistustyötä, koska o-renkaalle tarvitaan ura ja laipassa olevassa tiivistetasossa ei ollut riittävästi tilaa tiivisteelle, sekä vällyslevylle, joten laippa jouduttiin koneistamaan tasaiseksi.

3.3 Tulostettu malli

Jauhekostuttimesta luotiin myös malli (Kuva 2), joka oli mahdollista tulostaa helposti 3D-tulostimella. Tulostetulla prototyypillä oli tarkoitus tarkastella ilman ja vesikartion toimintaa. Malliin luotiin samankaltaiset olosuhteet, kuin varsinaisessa laitteessa tulisi olemaan, rajoittavana tekijänä kuitenkin käytetyssä tulostimessa oleva tulostusalue. Koska tulosteen tarkoitus oli vain jäljitellä varsinaisen laitteen toimintaa, sen suunnitteluun ja tuottamiseen ei käytetty merkittävästi resursseja. Suunnittelussa huomioitiin vain tärkeimmät seikat, vesikartion muodostavat osat, jauheen fluidisointiin tarkoitetut viillot, liitännät ja tulostettavuus.



Kuva 2. Tulostettu malli.

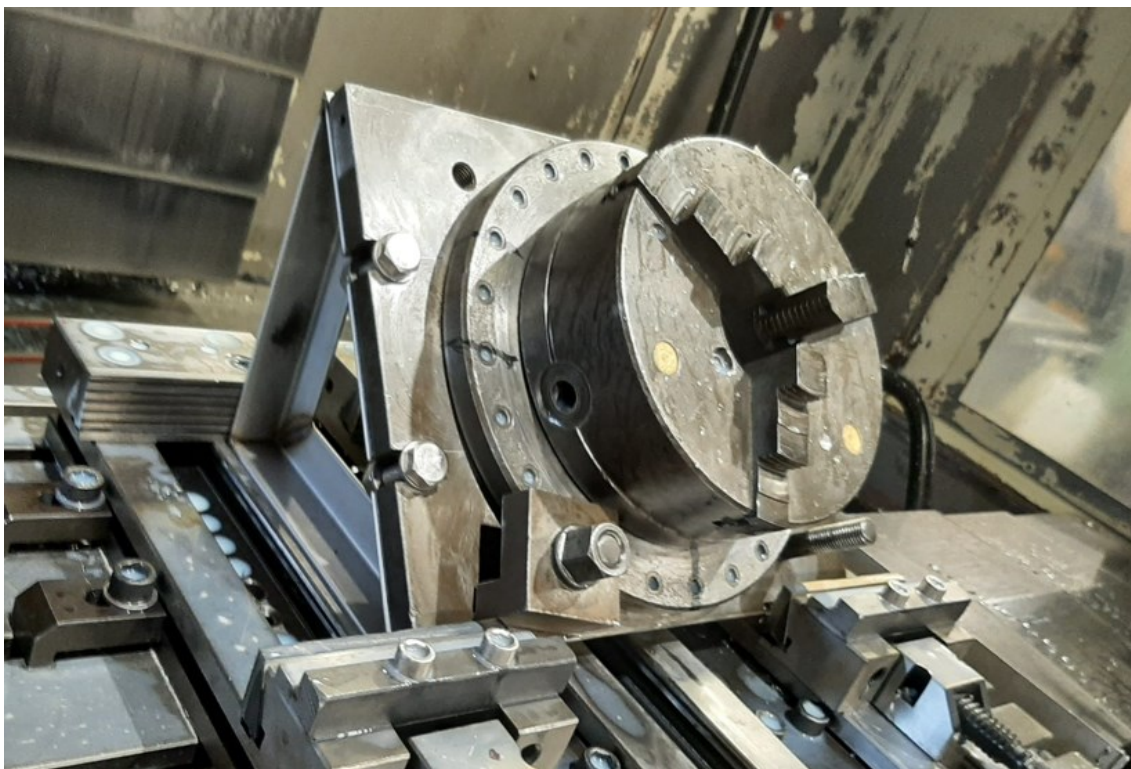
Tulosteen testaus ei onnistunut täysin odotetulla tavalla, osittain johtuen edellä mainituista suunnitteluseikoista ja osittain työntekijän kokemattomuudesta laitetestauksissa. Tulostuksessa käytettiin PLA-muovia, jolla on hyvät tulostusominaisuudet, mutta ei kovin hyvät lämpö- ja kestävyysominaisuudet. Tuloste liitettiin epähuomiossa kuumavesilinjaan koeajohallissa ja materiaali ei kestänyt lämpörasitusta, toiminnasta saatiin kuitenkin jonkin verran informaatiota ennen laitteen rakenteiden murtumista (Kuva 3).



Kuva 3. Nestekartion muodostuminen.

3.4 Jigin valmistus

Dosmix Oy:n kanssa valmistuksen suunnittelu ja toteutus oli joustavaa, koska yritykset toimivat samoissa tiloissa. Koneistamon henkilökunnan kanssa käytiin palaveri laippojen valmistuksesta, ja koska yrityksellä on käytössä 3-akselinen jyrsin, eikä jyrsimen pöydän kulma ole muutettavissa, todettiin ylälaipassa olevien kanavien poraaminen hankalaksi. Koneistamolla oli kuitenkin käytössä jakopöytä, joka soveltuu reikien poraamiseen suunnitellun 15 asteen välein. Palaverissa päätettiin, että Turun Asennusteam suunnittelee ja valmistaa jigin, jolla jakopöytä ja siihen kiinnitetty istukka saadaan prototyypin vesikanavien vaatimaan 45 asteen kulmaan (Kuva 4).



Kuva 4. Kolmileukaistukka kiinnitettynä jyrsinpöytään.

Työssä käytettävän jigin oli tarkoitus olla säädettävällä kulmalla, kuitenkin kulman muutoksen vaikutus kostuttimen toimintaan uskottiin olevan vähäinen kemikaaleilla, joiden liuotusprosessiin laitetta tällä hetkellä on suunniteltu. Tämän takia jigistä tehtiin käytännössä yksinkertainen teline kolmileukaistukalle.

4 Patentoitavuus

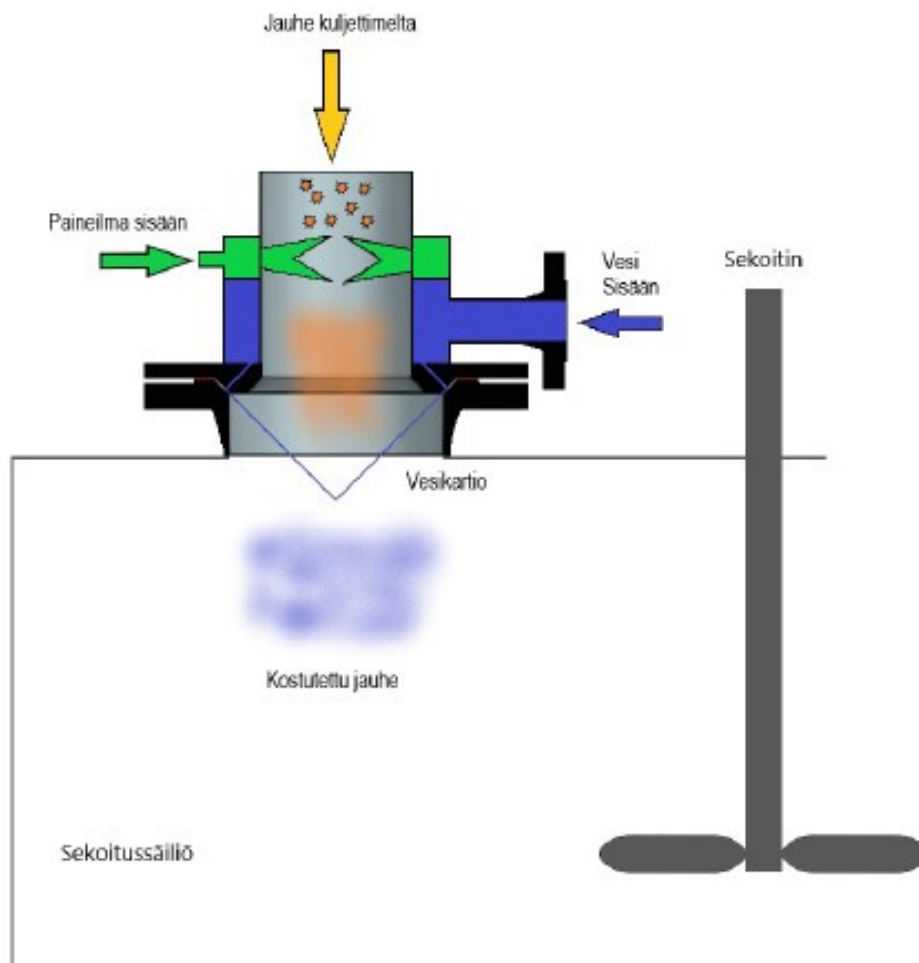
Työn aloituspalaverissa otettiin esille laitteen mahdollinen patentointi, jonka vuoksi työtä tehtiin aluksi salaisesti, jottei mahdollinen patentointiprosessi vaarannu. Ennen patentin hakemista on mahdollista suorittaa keksinnölle ennakkouutuustutkimus. Tutkimuksia suorittaa useampikin toimija, kuten Patentti- ja Rekisterihallitus, Kolster, Wilmark, jne. Koska yrityksellä on aikaisempia hyviä kokemuksia Kolster Oy:stä, valikoitui se uutuustutkimuksen suorittajaksi.

4.1 Ennakkouutuustutkimus

Ennakkouutuustutkimuksen tarkoitus on selvittää, onko tutkittavassa keksinnössä samanlaisia ratkaisuja, kuin jo olemassa olevissa patenttijulkaisuissa. Lisäksi tutkimuksessa tuodaan esille muita mahdollisia esteitä keksinnön suojaamiselle. Tutkimuksessa luodaan raportti aikaisemmista suojauksista tai suojausyrityksistä, jota asiakas voi mahdollisesti hyödyntää omassa tuotekehityksessä. Selvityksen laajuus on asiakkaan itse määriteltävissä. (Kolster Oy 2021)

4.2 Tutkimuksen tilaus

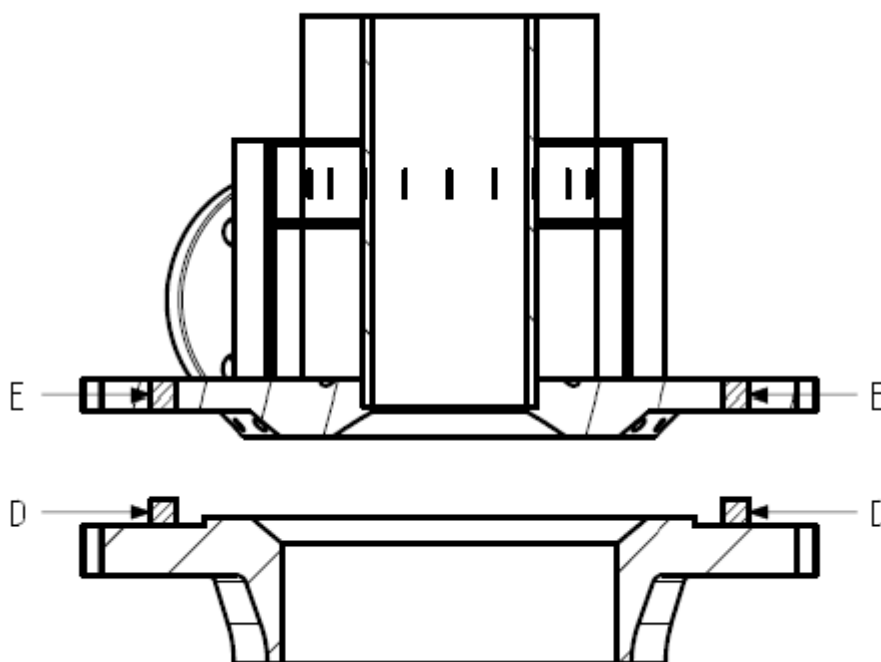
Tilausta varten jauhekostuttimesta luotiin piirustuksia, joilla pyrittiin kuvaamaan mahdollisimman yksiselitteisesti ja tarkasti ne laitteen toiminnalliset osat, joita tutkimuksessa tarkasteltaisiin. Piirustukset eivät sisältäneet mittatietoja tai muita valmistuksellisia seikkoja. Piirustukset liitettiin vapaamuotoiseen raporttiin, johon selvitettiin kehitystyön kohde ja käyttötarkoitus, toimintaperiaate ja toiminnot, sekä laitteen tekniset ratkaisut. Teknisiin ratkaisuihin sisältyy laitteen toimintakuvaus (Kuva 5), jossa käydään läpi syötöt fluideille ja jauheelle, tai muulle kiintoaineelle, sekä laitteen rakenne, johon kuuluu käytettävät liitokset ja kaikki säädettävät ominaisuudet.



Kuva 5. Jauhekostuttimen graafinen toimintakuvaus.

4.3 Tutkimuksen lisäselvitys

Kolster Oy pyysi laitteen toiminnasta ja rakenteesta lisäselvityksiä, jotta uutuustutkimus pystytään suorittamaan mahdollisimman luotettavasti. Selvitykseen haluttiin tarkempia piirustuksia laitteesta, sekä yksityiskohtaisempaa kuvausta laitteen toiminnasta. Selvitystä varten tehtiin uusia leikkauksia piirustusten kuvantoihin (Kuva 6), sekä kuvattiin jokainen toiminnallinen osa erikseen.



Kuva 6. Yksi leikkauskuvannoista lisäselvitykseen.

Aluksi selvityksessä tarkennettiin yleisesti laitteen säätömahdollisuuksia ja säätöjen tarkoitusta. Seuraavaksi selvitysraportissa listattiin toiminnalliset osat ja niiden osuus kussakin prosessin toiminnossa. Tarkennetut toiminnot ja osat olivat: jauheputki ja fluidisointi, nestekartion muodostuminen ja virtaus, laitteen ylä- ja alalaipan keskitys (Kuva 6) ja sen vaikutus nestekartioon, viistekulmat ja niiden vaikutus nestekartioon, välyksen säätö ja sen vaikutus nesteen virtaukseen, sekä laippojen kiinnitys.

4.4 Tutkimuksen tulos

Kolster Oy raportoi kehitystyön uutuutta seuraavanlaisella tiivistelmällä:

Uutuustutkimus suoritettiin käyttämällä kaupallisia patenttitietokantoja ja hakemalla erilaisilla hakutermeillä ja hakusanayhdistelmillä sekä käyttämällä kansainvälistä patenttiluokitusta (IPC) hakutulosten kaventamiseksi. Analyysin

aikana tehdyt tietokantahaut tuottivat yhteensä 5 hakutulosta, joista kolmea katsottiin jonkin verran relevantiksi analysoitavan keksinnön kannalta. Patenttihakemusta laadittaessa tulee kiinnittää huomiota analysoitavan keksinnön mekanismin yksityiskohtiin ja suunnitteluun. (Kolster Oy 2022)

Patentit joihin viitauksia löytyi, US20050111298A1, EP0396038A2, US4186772A, US3298669A ja DE2650631A1.

Tuloksen johtopäätöksenä, kehitystyö olisi osittain patentoitavissa, kunhan mahdollisessa patenttihakemuksessa keskitytään tuomaan perusteellisesti esille tunnusomaiset yksityiskohdat, olennaisten ominaisuuksien toteuttaminen, ja mihin tekniseen ongelmaan nämä piirteet tuovat ratkaisun. Yritys päätti, että patenttihakemusta ei lähetetä, mutta uutuustutkimuksesta hyödyllisenä tietona tuli kuitenkin se, että kehitystyö ei loukkaa voimassa olevia patenteja.

5 Valmistus

Kaikki alustava työ oli tehty ja jauhekostuttimen työpiirustukset hyväksytyt yrityksen johdolla. Työlle avattiin yrityksessä työnnumero, ja tilausprosessin laitteen osille sai käynnistää. Jo suunnitteluvaiheessa otettiin huomioon, että mahdollisuuksien mukaan käytetään osia ja materiaaleja, joita löytyy yrityksen varastosta. Koneistusta, jauheputkea, vällyslevyjä ja o-rengastiivistettä lukuun ottamatta, kaikki muu kuuluu yrityksen perusvarastoon.

5.1 Tilattavat osat

Laitteen valmistus aloitettiin laippojen koneistuksella. Koneistus tilattiin Dosmix Oy:ltä, johon toimitettiin työpiirustukset ja koneistettavat laipat. Yrityksellä oli kiireinen kevät, ja toimitusaikaa ei pystytty heti vahvistamaan, laipat luvattiin kuitenkin valmistaa muutaman viikon kuluessa.

Laippojen koneistus onnistui kokonaisuudessaan hyvin (Kuva 7), ja keskitystappien H7-toleranssin sovite sai laipat liukumaan paikalleen lähes täydellisesti, mikä on laitteen toiminnan kannalta todella tärkeää. Dosmix Oy valmisti myös vedelle ja ilmalle suunniteltujen onkaloiden kannet sorvaamalla, jotta kannet sopivat hyvin jauheputken ja ulomman putken kanssa. Tarkalla soviteella helpotetaan hitsausta ja vähennetään hitsauksessa syntyvää lämpöä ja sitä kautta lämmöstä johtuvia muodonmuutoksia, joille ruostumaton teräs on herkkä.



Kuva 7. Laipat koneistettuna.

Jauheputken tilaus osoittautui luultua hankalammaksi, koska kyseistä osaa tilattiin vain yksi kappale prototyyppiä varten. Turun Koneteknologiakeskuksella on käytössä laserleikkuri Bodor i7 ja sieltä on mahdollista tilata opiskelijatöihin osia, mutta putken leikkaaminen pöytälaserialla on hankalaa, ellei jopa mahdotonta. Putken valmistaminen itse levystä ei myöskään tullut kysymykseen, koska putken pyöreys ja sisäpinnan sileys ovat avainasemassa jauheen fluidisoinnin ja esteettömän kulkeutumisen kannalta. Lopulta putki saatiin tilattua Suomen Vesileikkaus Oy:ltä ja tilaus toimitettiin nopeasti. Ymmärrettävistä syistä, kun yhden kappaleen valmistus hidastaa muuta tuotantoa, putki oli melko kallis.

Laippojen väliin tarvittavat vällyslevyt ja o-rengastiiviste tilattiin Kumipaja Oy:stä. Vällyslevyiksi Kumipaja ehdotti heiltä hyllystä löytyvää tiivistelevyä Gambit af-oil, joka ominaisuuksiltaan ylitti reilusti jauhekostuttimen vaatimukset, mutta koska hinta ei ollut merkittävän korkea ja toimitusaika lyhyt, valittiin se vällyslevyksi. O-rengastiiviste valinnassa päädyttiin NBR nitrilikumiin, joka soveltuu erinomaisesti staattisiin sovelluksiin.

5.2 Kokoonpano

Kokoonpano aloitettiin, kun kaikki tarvittavat osat olivat saapuneet Turun Asennusteam Oy:lle. Työn onnistumisen kannalta oli tärkeää huomioida työjärjestys, mikäli yläosan (Kuva 8) kokoonpano suoritettaisiin väärässä järjestyksessä, olisi lähes mahdotonta hitsata kaikkia osia kiinni toisiinsa.



Kuva 8. Jauhekostuttimen yläosa hitsattuna ja peitattuna.

Kriittisimmät vaiheet järjestyksen kannalta olivat vesiyhteen laipan liittäminen ennen kuin vesiyhte hitsataan ulomman putken kylkeen, sekä onkaloiden välilevyn liitos ulompaan putkeen ennen osan kiinnihitsausta jauheputkeen. Vesiyhte oli myös helpompi liittää kokonaisuudessaan ennen ulomman putken liittämistä laippaan/jauheputkeen. Tämän jälkeen jäi vielä kaksi haastavaa hitsiä, koska putkien halkaisijassa ei ole eroa kuin 64 mm, jää hitsauskolville tilaa vain 32 mm. Toinen ahdas paikka oli vesiyhteen alapuolella, josta onkaloiden ulkoseinä hitsataan runkolaippaan kiinni.

5.3 Lopputulos

Laitteen valmistuksessa ilmeni muutama asia, jotka tulee ottaa huomioon lopullisen mallin suunnittelussa. Laippojen koneistuksesta Dosmix Oy antoi palautetta, että vastaisuudessa ylälaippa kannattaa valmistaa umpitavarasta valmiin laipan sijaan, teräpalojen säästämiseksi. Laipassa valmiina olevat reiät pulttikiinnitykselle aiheuttavat iskuja sorvin teräpalaan, ja vähentävät teräpalan käyttöikä. Lisäksi kohdennustappien paikotus on helpompaa, kun reikäjako tehdään kaikille rei'ille kerralla. Huomioitava asia oli myös vesiyhteen pituus. Jauhekostuttimesta suunniteltiin koon puolesta mahdollisimman kompaktia pakettia (Kuva 9), joten vesiyhteen mitta määritettiin siten, että pulttikiinnitykselle on juuri riittävästi tilaa. Pulttien kiinnittäminen oli kuitenkin hieman hankalaa, ja yhteelle päätettiin lisätä pituutta seuraavaan revisioon. Hitsaukset aiheuttivat myös pientä muodonmuutosta ylälaippaan, mikä tulee ottaa huomioon seuraavien versioiden suunnittelussa. Lisäksi osa hitseistä suli jauheputken läpi aiheuttaen epämuodostumia putken sisäpinnalle. Edellä mainittu ongelma voi poistua jo sillä, että lämmöntuontia hitsaustapahtumaan rajoitetaan, mikä vähentää myös muodonmuutoksia.



Kuva 9. Jauhekostutin kokoonpano.

Ylempi laippa suoristui, kun se pultattiin runkolaippaan kiinni, eikä näin vaarantanut laitteen toimintaa. Kokoonpanosta puuttuu vielä kaulus, jolla laite saadaan nostettua sopivalle korkeudelle säiliön kanteen kiinnittämiseksi. Sopivaa korkeutta kaulukselle tarkasteltiin testauksen yhteydessä.

6 Prosessin kokonaiskuva

Tässä osiossa tarkastellaan Karboksimeetyyliselluloosan (CMC) liuotus ja sekoitusprosessia. Jauhekostutin on pieni, mutta tärkeä osa kemikaalien liuotus ja sekoitusprosessia. Käyttämällä esikostutinta pystytään laskemaan huomattavasti sekoittimelta vaadittavia tehoja, sekä vältetään liukenemattomien kemikaalilauttojen muodostuminen. Sekoitusprosessissa pyritään pitämään tarvittava teho mahdollisimman pienenä. Syyt tehon pitämiselle minimissä ovat energian kustannukset, kaapelointi ja ympäristövaikutukset. Sekoitusprosessiin vaikuttaa muun muassa vortex ilmiö, joka kasvaessaan liian suureksi aiheuttaa ongelmia prosessissa. Aksiaalisessa virtausmallissa sekoittimen potkuri työntää nestettä alas säiliön pohjaa kohti, josta virtaus nousee säiliön seiniä pitkin pintaan ja imeytyy vortexin kautta takaisin kierto. Mikäli vortex kasvaa liian suureksi, potkurin ja nesteen väliin pääsee ilmaa, aiheuttaen paineiskuja potkuriin.

6.1 Karboksimeetyyliselluloosa (CMC)

Karboksimeetyyliselluloosa eli CMC on kemialliselta koostumukseltaan selluloosan ja glykolihapon natriumsuolan muodostama eetteri, CMC:n ominaisuuksiin vaikuttavat sen polymeroitumisaste, substituutioaste, sekä substituenttinen jakauma CMC-molekyyliketjussa. Kaupallisen CMC:n polymeroitumisaste on 150...1200 ja substituutioaste 0,4...1,5. CMC liukenee kylmään ja lämpimään veteen.

CMC:n käyttö useilla teollisuuden aloilla perustuu sen kykyyn stabiloida erilaisia dispersioita, pidättää vettä, sakeuttaa liuoksia ja toimia kalvon muodostajana. CMC:n tärkeimmät käyttöalat ovat paperi-, pesuaine, tekstiili- ja elintarviketeollisuus, sekä öljynpora. Muita käyttökohteita ovat mm. malmien rikastus, liimat, lääkevalmisteet ja hitsauspuikot. (Riistama ym. 2005, 129.)

6.2 Sekoitus

Sekoituksen tarkoituksena on saada aikaan sekoitettavien aineiden välinen homogointi eliminoimalla sekoituslaitteistossa joko väkevyys- tai konsentraatioeroja tai molempia samanaikaisesti. Sekoituksen tavoitteena voi olla esimerkiksi lämpötilaerojen tai konsentraatioerojen tasaaminen aineessa. (Pihkala 2011, 80.)

Pihkalan prosessitekniikka kirjan mukaan sekoittuminen voidaan jakaa kolmeen eriasteiseen tapaukseen; Täydellinen sekoitus, jolloin seoksesta voidaan ottaa mistä tahansa näytteitä ja otetuilla näytteillä olisi sama koostumus ja lämpötila. Tulppavirtaus, jolla kuvataan tilannetta, jossa on täydellinen sekoittumattomuus, eli sekoitettavat aineet eivät ole reagoineet keskenään lainkaan. Kuolleiden alueiden syntyminen, tämä kuvastaa kahden edellisen tapauksen välimaastoa, jolloin materiaalit reagoivat keskenään, mutta osa jää sekoittumatta mahdollisesti sekoitustilassa oleviin nurkkiin tai syvennyksiin. (Pihkala 2011, 81.)

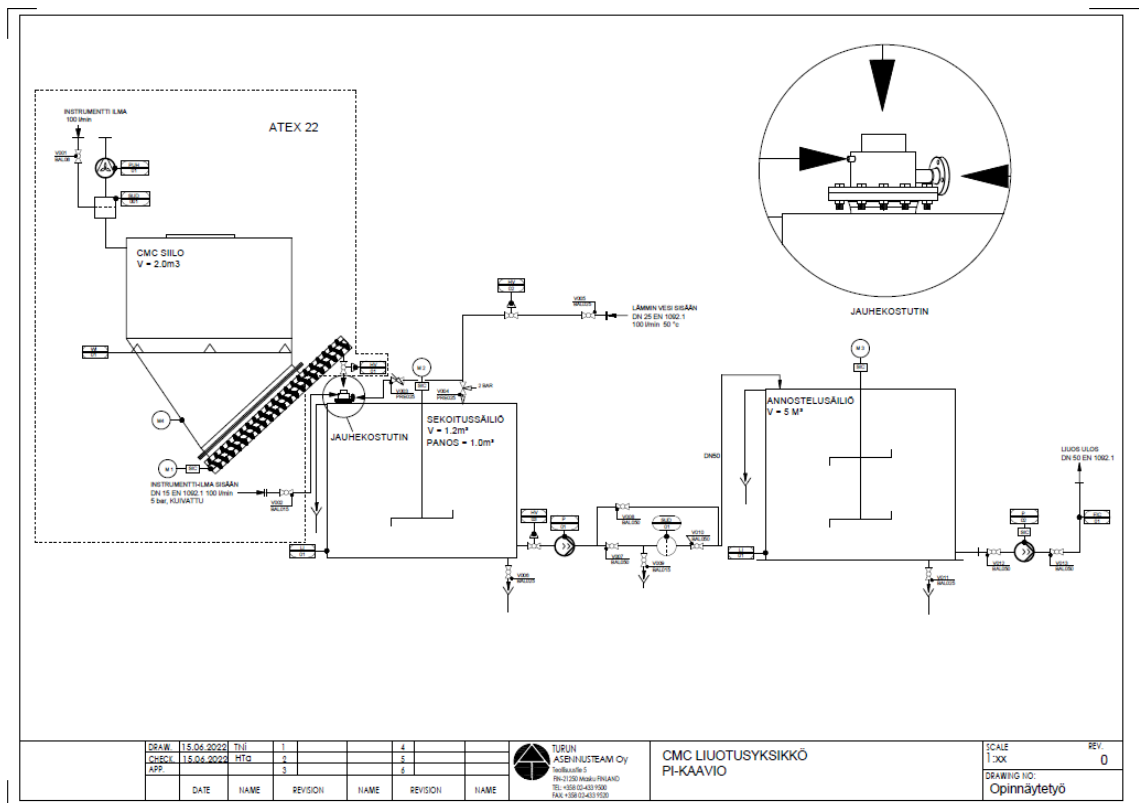
CMC:n tapauksessa kemikaali liukenee hyvin lämpimään veteen ja välttävästi kylmään veteen, mutta ongelmaksi usein muodostuu kiintoaineen (jauheen) ominaisuudet. Oikeissa olosuhteissa olisi mahdollista olettaa, että sekoittaessa CMC:tä saadaan kohtalaisen helposti täydellinen sekoitus. Huomioiden kuitenkin kuljettimelta saapuvien jauhepaakkujen muodostuminen, voidaan puhua kuolleiden alueiden syntymisestä, jolloin kemikaalista alkaa muodostua kiinteää lauttaa sekoitussäiliön pinnalle aiheuttaen vähintäänkin konsentraatioeroja. Tämä ongelma pyritään jauhekostuttimella eliminoimaan.

6.3 Laitteisto

Turun Asennusteam on viime vuosina valmistanut asiakkaille useita CMC-laitteistoja, ja kasvanut kysyntä on saanut yrityksen pohtimaan menetelmiä, joilla asiakkaan tarpeisiin pystytään vastaamaan vieläkin paremmin. Yrityksen standardilaitteistoon jauhekostutin ei tässä vaiheessa tuo muita muutoksia kuin

että jauhekostutin asennetaan säiliön ja ruuvikuljettimen väliin parantamaan sekoitusprosessia. Myöhemmässä testauksessa tarkastellaan, voidaanko sekoitustehoja tai mahdollisesti kypsymisaikaa pienentää.

Laitteiston pääkomponentit PI-kaaviossa (Kuva 10) vasemmalta luettuna jauhesiilo, sekoitussäiliö, siirtopumppuasema ja suodatin, annostelusäiliö ja annostelupumppuasema.



Kuva 10. CMC laitteiston PI-kaavio (Turun Asennusteam).

6.3.1 Jauhesiilo

Kyseisessä laitteessa jauhesiilon ympäristö on määritelty ATEX 22 luokituksella. ATEX (atmosphères explosibles) tarkoittaa räjähdysvaarallista tilaa, ja TUKESin määritelmän mukaan ”Räjähdysvaarallinen tila on tila, jossa voi esiintyä räjähdysvaarallinen ilmaseos. Palava kaasu, sumu, höyry tai pöly yhdessä normaalipaineisen ilman kanssa voi aiheuttaa räjähdysvaarallisen ilmaseoksen”. Direktiivi määrittää tilassa käytettävien laitteiden

suojausjärjestelmien tason. Suojausluokka 22:en ensimmäinen numero määräytyy sen mukaan, käytetäänkö laitetta kaivoksissa ja sen maanpäällisissä osissa vai onko räjähdysvaarallinen tila, jossain muualla, koska laite ei ole menossa kaivostoimintaan, tulee sille ensimmäiseksi numeroksi 2. Toinen numero ilmaisee suojelun tason, 1 erittäin korkea, 2 korkea ja 3 tavanomainen. (tukes.fi.)

Jauhesiilon ympäristössä olevilta mekaanisilta ja sähköisiltä laitteilta, joissa on syttymisen lähde, vaaditaan siis suojaa ennakoitavissa olevilta toistuvilta häiriöiltä ja toimintavioilta. Jauhesiilo on myös varustettu pölynpoistolla, joka pienentää syttymisherkkyyttä.

Siilon toiminnalliset laitteet ja instrumentit ovat pölynpoistosuodatin ja kanavapuhallin, siirtoruuvi jauheen annosteluun, tärymoottori jauheen pakkautumisen varalle ja paineanturi jauheen määrän punnitsemiseksi.

6.3.2 Sekoitussäiliö ja siirtopumppuasema

Tarkastelussa oleva laitteisto on panostoiminen (batch), jossa liuosta valmistetaan panos kerrallaan ja siirretään varastosäiliöön. Laitteisto voi olla myös jatkuvatoiminen (Online), jolloin sekoitettu liuos uitetaan väliseinän yli seuraavaan altaaseen samassa säiliössä, kunnes se päättyy annosteltavaksi. Kyseisellä liuotuslaitteistolla panosta sekoitetaan 15–20 minuuttia, jonka jälkeen siirtopumppu kuljettaa liuksen varastosäiliöön. Joissain tapauksissa säiliöt ovat päällekkäin, jolloin kuljetus suoritetaan avaamalla siirtoventtiili.

Automaattiohjauksella toimiessaan laitteisto aloittaa siirron jälkeen uuden panoksen valmistamisen, mikäli varastosäiliölle asetettu pinnantaso on riittävän matalalla.

Sekoitussäiliön komponentit ovat jauhekostutin, jolla esivalmistellaan jauhe sekoitukseen, vesiyhde pikatäytölle ja jauhekostuttimelle, sekoitin, painelähetin pinnan mittaukseen, ylivuotoputki, tyhjennysventtiili, siirtoventtiili ja siirtopumppuasema. Pikatäyttöä käytetään, kun oikea määrä jauhetta on annosteltu säiliöön. Ylivuoto ohjataan kemikaalista ja prosessista riippuen joko

viemäriin, erilliseen astiaan, tai takaisin prosessiin. Siirtopumppu on yleensä suuritehoinen ja liuoksen siirto tapahtuu nopeasti. Tässä tapauksessa siirtopumppuasema on varustettu suodattimella, joka poistaa liuksesta epäpuhtaudet.

6.3.3 Varastosäiliö ja annosteluasema

Varasto- tai annostelusäiliössä pidetään käyttötarkoituksen mukaista määrää liuosta varastossa, lisäksi liuosta sekoitetaan rauhallisesti, jolloin liuos säilyy tasalaatuisena. Tässä laitteistossa CMC-liuosta annostellaan yhdestä pisteestä, mutta annostelupisteitä voi olla useampiakin. Varastosäiliön komponentteihin kuuluvat sekoitin, ylivuotoputki, painelähetin, tyhjennysventtiili sekä annosteluasema.

7 Testaus ja tulokset

Jauhekostuttimen testaus suoritettiin yrityksen koeajohallissa, josta on helposti saatavilla kaikki mitä testaukseen tarvitaan, kuten säiliö, vesipiste, paineilma, tarvittavat liittimet sekä testipumppu. Testauksen suunnittelussa päätettiin, että tarvittava virtausmäärä kattavaan tulokseen on $9 \text{ m}^3/\text{h}$, mikäli laitetta halutaan testata kaikilla välyksillä. Yrityksen varastosta löytyi tarkoitukseen sopiva testipumppu, jonka imupuoli liitettiin säiliön tyhjennysventtiiliin R 2” kamlock liittimellä ja painepuoli jauhekostuttimen vesilaippaan DN25 laipalla. Tuotekehityksen tässä vaiheessa laitetta testattiin lähinnä CMC:lle sopivilla parametreilla.

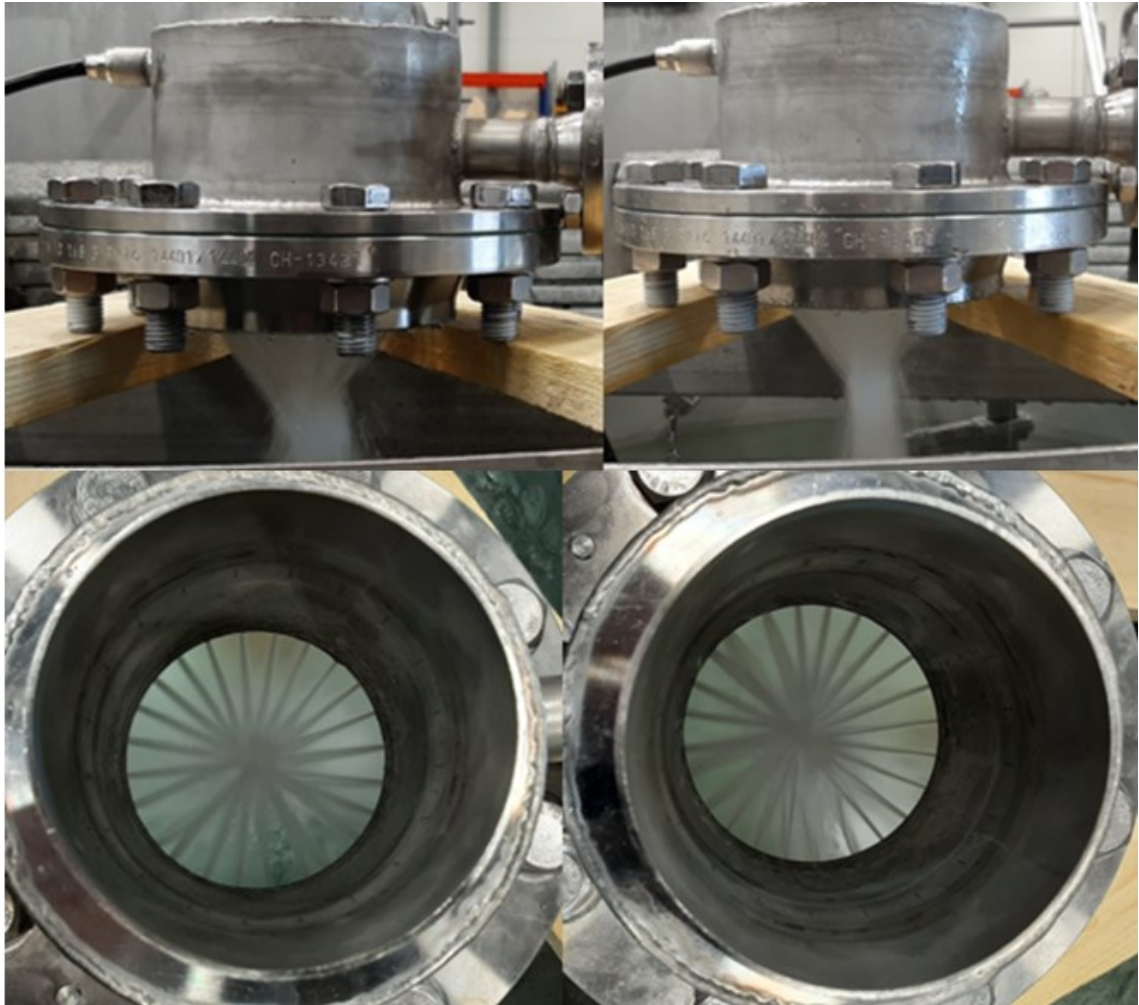
7.1 Testaus

Ensimmäinen tarkasteltava välys oli 1 mm, ja virtaus 30 litraa minuutissa. Testipumppuun tuli kuitenkin vika, ja testaukset keskeytyivät. Pumppua ei saatu enää korjattua, ja testausta yritettiin jatkaa seinästä löytyvän palopostin avulla. Palopostin virtauksesta tiedettiin, että se on noin 50 l/min, joka on laskennallisesti jauhekostuttimen toiminnan alarajoilla. Jauhekostutin toimi palopostin avulla, mutta tarkempaan analyysiin oli hankittava uusi testipumppu (Kuva 11).



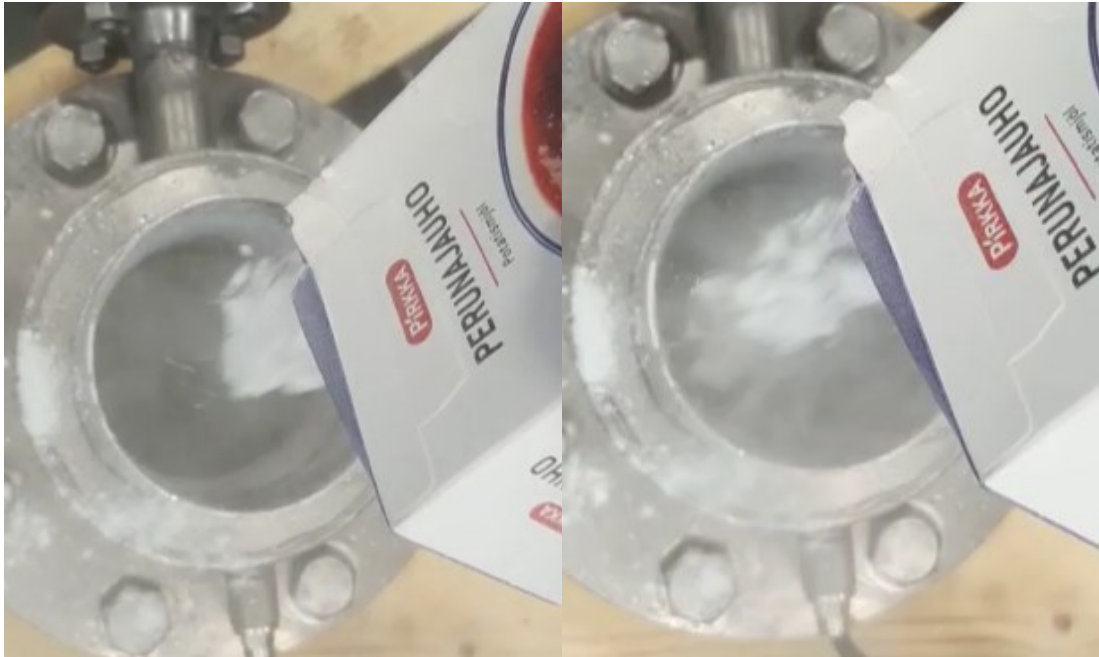
Kuva 11. Korvaava testipumppu.

Yrityksen koeajo-osastolta löytyi toinen pumppu, jolla testejä päästiin jatkamaan. Pumpun kapasiteetti tosin oli hieman alkuperäistä pienempi, mutta CMC-laitteen toiminnan testaustarkoitukseen riittävä. CMC:n sekoitusprosessin kannalta parhaisiin tuloksiin päästiin, kun virtaukset olivat 80–100 l/min (Kuva 12).



Kuva 12. Vasemmalla 50 l/min ja oikealla 100 l/min.

Tilavuusvirran noustessa yli 100 l/min, alkaa vesikartion muoto häviämään ja virtaus muuttuu sumuksi. Testausvaiheessa käytössä ei ollut CMC:tä, mutta jauheen fuidisointia simuloitiin perunajauholla (Kuva 13), jota kaadettiin suoraan purkista jäljentäen annosteluruuvien toimintaa.



Kuva 13. Pysäytyskuva fluidisointivideosta.

Fluidisointi perunajauholla onnistui odotusten mukaisesti, eikä vesikartion läpi silmämääräisesti katsottuna kulkeutunut jauhepaakkuja, vaan vesi tuli sakeana nesteenä jauhekostuttimen läpi säiliöön. Myöskään säiliössä ei havaittu kerrostumia, joita oletettavasti olisi näkynyt tällä testausmäärällä. Kuvassa (Kuva 13) on havaittavissa pientä pölyä, joka nousee paineilman voimasta ylöspäin kostuttimelta. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma laitteen käytössä, koska jauhekostutin liitetään haitariletkulla annosteluruuvien putkeen. Ilman virtaus ylöspäin ei ole niin voimakas, että se aiheuttaisi ongelmia annosteluruuville. Lisäksi jauhekostuttimen jauheputken sisäpuoli pinnoitetaan teflon-pinnoitteella, mikä eliminoi jauheen kerrostumisen sisäseinille.

7.2 Tulokset

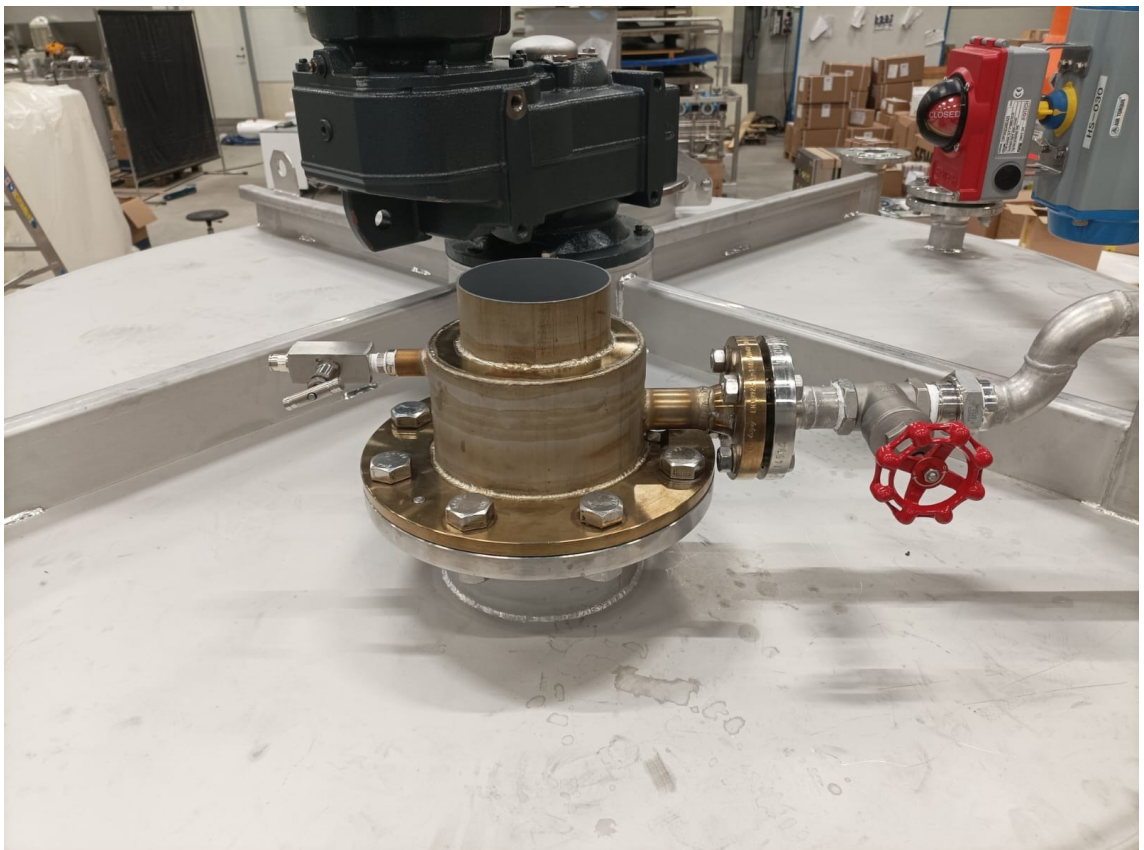
Raportissa aikaisemmin esitelty CMC-laite on tarkoitettu tuottamaan pitoisuudeltaan 2 % vahvuista liuosta tehtaan tai kaivoksen prosessiin. Testausten perusteella jauhekostutin toimii käyttötarkoituksen mukaisesti. Testauksessa huomioitiin, että mikäli laitetta käytetään 50 l/min virtauksella,

täytyy laitteen läpi ajaa kilo jauhetta minuutissa. Tämä kuitenkin tarkoittaisi 1 m³ panoksessa 20 minuutin annosteluaikaa, ja kun sekoitusaika on 15–20 minuuttia, panoksen valmistusaika lähes kaksinkertaistuisi. Järkevässä suhteessa täyttöaika olisi 10 minuuttia, mikä tarkoittaa 50 l/m virtauksella kahden kilon minuuttivauhtia ja tuoda pikatäytöllä puuttuva 500 litraa vettä prosessiin, tai ajaa jauhekostutinta 100 l/min virtauksella kahden kilon jauhemäärällä per minuutti. Lopulliset parametrit tarkistetaan myöhemmässä testauksessa.

8 Yhteenveto

Yrityksen ajatushautomossa jo jonkin aikaa ollut suunnitelma eräiden prosessilaitteiden suorituksen parantamiseksi saatiin toteutettua, ja ensimmäinen jauhekostutin valmistettua ja testattua. Kyseiselle laitteelle oli olemassa jo kysyntää, mikä ilmeni prosessin aikana sillä, että ensimmäinen kappale myydään osana CMC-sekoitus-/annostelulaitteistoa (Kuva 14).

Testausten perusteella on turvallista sanoa jauhekostuttimen tuovan parannusta sekoitusprosessiin.



Kuva 14. Jauhekostutin asennettuna ja pinnoitettuna.

Raportin kirjoitushetkellä laitteiston runko- ja säiliöitä oli jo aloitettu, ja jauhekostuttimen runkolaippa oli hitsattu kiinni laitteen sekoitussäiliöön.

Koska projektin luonne muuttui työn aikana, uutta mallistoa ei ehditty luomaan. Työssä keskityttiin tähän yhteen kokoon, mutta tulevaisuudessa on tarkoitus

valmistaa myös muita kokoluokkia. Suunnittelua varten luotiin Exceliin laskuri, joka helpottaa uusien kokoluokkien valmistuskuvien luomista (liite1).

Lähteet

Kolster Oy 2021. Verkkosivut. Viitattu 10.07.2022.

<https://www.kolster.fi/palvelut/ennakkouutuustutkimukset-patentoitavuuden-arviointi>

Kolster Oy 2022. Ennakkouutuustutkimus raportti. Viitattu 01.06.2022.

Kumipaja Oy. Luettu 03.06.2022. Sähköpostikeskustelu

Pihkala, Juhani. 2011. Prosessitekniikka, prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Tampere: Juvenes Print.

Riistama, K.; Laitinen, J. & Vuori, M. 2005. Suomen kemianteollisuus. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Turun AsennusTeam Oy. Verkkosivut. Viitattu 02.07.2022. <https://www.turun-at.fi/>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, TUKES. Verkkosivut. Viitattu 10.07.2022
<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex>

Suunnittelulaskuri

Jauhekostutin, suunnittelulaskuri					
Jauheputken koko (DN)	100				
Tarvittava muutos					
Vesilaiippa (DN)					
Ilma-/vesiputken koko (DN)					
Vesikartion reikä Ø					
Runkolaiippa DN					
Vesilaiippa DN	25				
Vesikartion reikä Ø	6				
Runkolaiippa DN	150				
Ilma-/vesiputken koko (DN)	150				
Vesilaiippa (pinta-ala)	692,79				
Vesikartion reikä 24 kpl (pinta-ala)	678,58				
Tiiviste	1 mm	1,5 mm	2 mm		
Vesikartio (pinta-ala)	516,16	774,25	1032,33		
Vesisäiliö korkeus (mm)	60				
Paineilmasäiliö korkeus (mm)	30				
Tilavuus	mm ³	dl			
Vesionkalo	656435,78	6,56			
Paineilmaonkalo	328217,89	3,28			
Tilavuusvirta l/min	100				
Veden virtausnopeus bernoullin yhtälön mukaan					
	Yhde	Laipan kanavat	Vesikartio 1 mm vällys	Vesikartio 1,5 mm vällys	Vesikartio 2 mm vällys
Virtausnopeus m/s	2,41	2,46	3,23	2,15	1,61

1. Syötä jauheputken koko. Laskuriin on esiasetettu säännöt, joiden mukaan muut osat saavat arvot.
 2. Mikäli joku tai jotkut arvot eivät sovi, tee muutos "tarvittava muutos" taulukkoon HUOM! Täytä vain vihreitä soluja
 3. Tilavuusvirta rivillä, voit asettaa jauhekosuttimelle halutun veden virtausmäärän, jolloin vesikartion laskennallinen virtausnopeus näkyy alarivillä.
- Laskuri ei huomioi onko geometria mahdollinen!

