

Eetu Kollanus

Kiillotusnestesyöttöjärjestelmän päivitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

20.5.2018

Tekijä(t) Otsikko	Eetu Kollanus Kiillotusnestesyöttöjärjestelmän päivitys
Sivumäärä Aika	39 sivua + 2 liitettä 20.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Process Development Technology Specialist Aarni Härkönen Lehtori Jukka Pirinen
<p>Tämän insinööri työ tehtiin Murata Electronics Oy:lle, joka valmistaa MEMS-teknologiaan perustuvia antureita.</p> <p>Insinööri työn tarkoitus oli suunnitella ja toteuttaa kiillotusnestesyöttöjärjestelmän päivitys. Kiillotusnestesyöttöjärjestelmä valmistaa ja syöttää kiillotusnestettä CMP-laitteille. Nykyisessä järjestelmässä kiillotusneste sedimentoituu putkistoon ja tankkeihin, mikä aiheuttaa prosessiongelmia.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla nykyiseen järjestelmään ja kartoittamalla erilaisia parannusehdotuksia. Kiillotusnesteen syöttöjärjestelmä mallinnettiin FluidFlow-ohjelmistolla. Erilaisten mallien perusteella päätettiin vaihtaa kiillotusnesteen syöttöpumput, tankit ja muokata putkiston rakennetta.</p> <p>Työn konkreettinen osuus alkoi refraktometrimittareiden asentamisesta syöttölinjastoon. Refraktometrillä mitataan kiillotusnesteen konsentraatiota ja laatua. Mittarit asennettiin kiillotusnesteen syöttöputkiston alku- ja loppupäähän. Tällä on tarkoitus mitata tulevan ja lähtevän kiillotusnesteen eroja.</p> <p>Ennen päivitystä refraktometrimittaus toimi huonosti, sillä kiillotusneste sedimentoitui refraktometrin prismaan. Tämän johti nousevaan taitekertoimeen. Myös lähtevän ja tulevan kiillotusnesteen taitekertoimen ero oli huomattava. Kierrosta palautuva kiillotusneste oli eri laatuista kuin kiertoön lähtevä kiillotusneste.</p> <p>Päivitysten jälkeen tulevan ja lähtevän kiillotusnesteen taitekertoimen ero pieneni merkittävästi. Voidaan todeta, että päivitys onnistui ja nyt kiillotusneste pysyy homogeenisenä, eikä sedimentoitumista tapahdu.</p>	
Avainsanat	Kiillotusneste, CMP, MEMS

Author(s) Title	Eetu Kollanus Slurry supply Upgrade
Number of Pages Date	39 pages + 2 appendices 20 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Aarni Härkönen, Process Development Technology Specialist Jukka Pirinen, Senior lecturer
<p>This study was made for Murata Electronics Oy. Murata manufactures MEMS based sensors.</p> <p>The purpose of this study was to design and implement Slurry supply upgrade. Slurry supply produces and delivers slurry to CMP-tools. Current system is incapable to produce homogenous slurry. Solid particles of slurry mix sediments to pipes and process tanks. This causes process problems.</p> <p>Thesis work started by gathering knowledge of the system by interviewing people of interest. After this thesis worker started mapping improvement ideas. Slurry supply system was modeled with Fluid Flow software. On the basis of different models modifications to slurry supply system were decided on. Outcome was to change slurry pumps, slurry tanks and modify structure of slurry supply loop.</p> <p>Project's concrete phase started with implementing refractometer measurement systems to the slurry supply loop. Refractometer monitors consecration and quality of slurry. Sensors were installed to input and output side of the slurry supply loop. Purpose of this was to measure difference between incoming and outgoing slurry.</p> <p>Before modifications refractometer measurement system worked poorly because of inhomogeneous slurry distracted measurement. There was also significant difference between incoming and outgoing slurry.</p> <p>After modifications there was significant improvement in slurry quality and concertation between incoming and outgoing slurry. It can be said that upgrade was successful and now slurry does not sediment.</p>	
Keywords	Slurry, CMP, MEMS

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Insinööriyön tausta ja motivaatio	1
1.2	Insinööriyön tavoitteet	1
1.3	Työn vaiheet	2
2	Chemical Mechanical Polishing	2
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	CMP-laite	3
2.3	Kiillotusneste	4
3	Kiillotusnesteen syöttöjärjestelmän esittely	5
3.1	Tynnyriasema	6
3.2	Sekoitusasema	6
3.3	Kiillotusnesteen annostelu CMP-laitteille	7
3.4	Kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän käyttöliittymän toiminnot	8
4	Konsentraation seuranta refraktometrillä	8
4.1	K-patentin pr-33 refraktometrin toimintaperiaate	8
4.2	Taitekertoimen mitta	9
4.3	Lämpötilan kompensointi	12
4.4	Quality Factor	13
4.5	Kalibrointi	14
4.5.1	Kalibroinnin valmistelu	14
4.5.2	Kalibrointi: ± 10 %:n kiillotusnestetiivisten muutos	15
4.5.3	Kalibrointi: ± 40 %:n kiillotusnestetiivisten muutos	16
4.5.4	Kalibrointi 2: ± 40 %:n kiillotusnestetiivisten muutos	18
4.5.5	Päätelmät	19
4.6	Refraktometrin sijoitus	20
4.6.1	Refraktometrimittaus CMP-laitteen kiillotusmoduulista	20
4.6.2	Mittaustulokset CMP-laitteen kiillotusmoduulista	22
4.6.3	Komponentteihin perustuva konsentraation mitta	23
4.6.4	Refraktometrimittaus kiillotusnesteen syöttölinjastosta	23
5	Järjestelmän ongelmakohdat	24

5.1	Kiillotusnesteen sedimentoituminen	25
5.2	Kiillotusnesteen syöttöputkisto	26
5.3	Kiillotusnestetiivisteiden virtausnopeus ja virtausmittarin toiminta	27
6	Kiillotusnestesyöttöjärjestelmän muutostyöt	28
6.1	Pumppujen ja tankkien päivitys	28
6.2	Kiillotusnesteen syöttöputkiston muutostyöt	31
6.3	Ohjelmistopäivitys	32
7	Muutostöiden toteutus	34
8	Tulosten arviointi	35
8.1	Refraktometrimittaukset	35
8.2	Visuaaliset havainnot	37
8.3	Kiillotusnesteen syöttöputkiston Virtausmittaukset	37
8.4	Kiillotusnestetiivisteiden virtausmittarin toiminta ja kiillotusnestetiivisteiden pumppausnopeus	37
9	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

Liitteet

Liite 1. Kuvia PTM-600-pumpun laipasta

Liite 2. Manual refill -kaukosäädin, kytkentäpiirustus

Lyhenteet

CMP	Chemical Mechanical Polishing. Puolijohdeteollisuudessa käytettävä kiillotusprosessi.
DIW	de ionized water. Deionisoitu vesi.
CCD	Charge-Coupled Device. Valoherkkä kenno, jota käytetään kameroissa.
QF	Quality Factor. PR-33-refraktometrin parametri.
PTM	Pump Tank Mixer. Sekoittava pumppu.
LLDPE	Lineaarinen Polyeteeni. Muovi laatu.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
PFA	Perfluoro alkoxy alkaline. Muovi laatu.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään Murata Electronics Oy:lle (jatkossa Murata). Murata on osa japanilaista Murata Manufacturing -konsernia. Murata Manufacturing valmistaa ja suunnittelee elektroniikassa käytettäviä komponentteja. Tyypillisiä tuotteita ovat kondensaattorit, sensorit, virtalähteet, erilaiset langattomat moduulit ja käämit. Yritys työllistää kansainvälisesti yli 54 000 työntekijää vuonna 2016 ja on maailman johtava keraamipohjaisten elektroniikkakomponenttien valmistaja. [1.]

1.1 Insinööriyön tausta ja motivaatio

Insinööriyön tarve syntyi tarpeesta kehittää kiekkojen kiillotusprosessia. Kiillotusprosessin onnistuminen on monen muuttujan summa ja yrityksellä on jatkuva tarve kehittää ja parantaa nykyistä prosessia. Yksi oleellinen ja tärkeä osa kiillotusprosessin onnistumisen kannalta on tasalaatuinen kiillotusneste.

Nykyisessä prosessissa kiillotusnesteen syöttöjärjestelmä ei pysty tuottamaan ja toimittamaan tasalaatuista kiillotusnestettä. Kiillotusnesteen seossuhde vaikuttaa voimakkaasti kiillotustulokseen. Yleisimmässä skenaariossa kiillotusnesteen kiintoaine alkaa sedimentoitua ajan myötä, minkä epäillään johtavan epätasalaatuihin kiillotusnopeuteen. Muuttuvan kiillotusnopeuden takia kiekkoja joudutaan kiillottamaan uudelleen.

Ennen insinööriyön aloittamista ongelmaa oli jo yrityksessä selvitetty. Empiirisesti huomattiin, että kiillotusnestesyöttöjärjestelmä ei pysty pitämään kiillotusnestettä homogeenisenä, vaan kiillotusnesteen kiintopartikkelit sedimentoituvat tankkeihin ja putkistoon.

1.2 Insinööriyön tavoitteet

Insinööriyön ensisijainen tavoite on kehittää kiillotusnestesyöttöaseman toimintaa niin, että se pystyy toimittamaan tasalaatuista kiillotusnestettä CMP-laitteille. Toinen työn tavoite on selvittää, onko kiillotusnesteen laatua mahdollista seurata refraktometrillä.

Refraktometrimittaukset ovat iso osa työtä. Refraktometrillä seurataan työssä tehtävien muutoksien vaikutusta kiillotusnesteen laatuun.

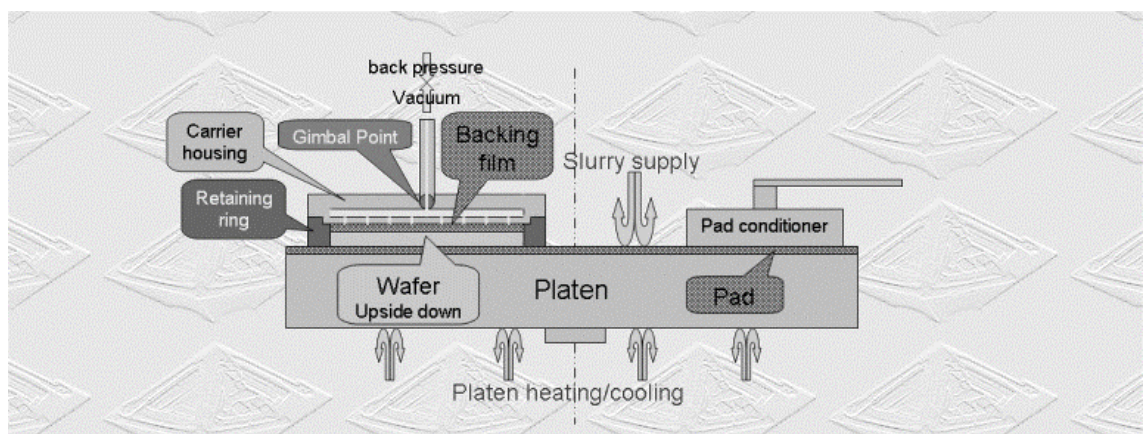
1.3 Työn vaiheet

Työn ensimmäisessä vaiheessa tutustutaan pikaisesti kiillotusprosessiin ja tarkemmin kiillotusnestesyöttöjärjestelmän toimintaan. Tässä vaiheessa käydään läpi myös yksityiskohtaisemmin nykyisen järjestelmän ongelmia. Työ jatkuu suunnittelevalla osalla, jossa suunnitellaan ja esitellään toteutettavat muutokset. Tämän jälkeen toteutetaan suunnitellut muutokset. Lopuksi raportoidaan tulokset ja arvioidaan työn onnistumista niiden pohjalta.

2 Chemical Mechanical Polishing

2.1 Toimintaperiaate

Chemical Mechanical Polishing (CMP) on teknologia, jota käytetään puolijohdeteollisuudessa pintojen tasoittamiseen ja kiillottamiseen. CMP on tekniikka, jossa pinta tasoitetaan mekaanisella voimalla käyttäen apuna kemiallista väliainetta, kiillotusnestettä, joka sisältää pieniä kiintopartikkeleita.



Kuva 1. CMP:n toimintaperiaate [2.]

Kuvan 1 mukaisesti CMP-prosessissa kiillotuspää pitää kiekkoa kiinni samalla pyörien oman akselinsa ympäri. Samanaikaisesti kiillotuspäätä painetaan kiillotusmattoa vasten. Kiillotusmatto on huokoinen, yleensä polymeerilevy, joka on kiinnitetty pyörivään pöytään. Kiillotusmaton tarkoitus on levittää kiillotusneste kiekon alle. Kiillotuksen aikana kiillotusmatolle syötetään kiillotusnestettä. Kiillotuksen jälkeen kiekko pestään ja kuivataan erillisessä pesurissa, jotta kiekolle ei jää kiillotusnestettä tai muita epäpuhtauksia.

Kiillotuspään toiminta perustuu vastapaineeseen. Kun kiekko kuljetetaan kiillotusmatolle, niin kiillotuspää pitää kiekon kiinni vakuumilla. Tämän jälkeen, kun kiillotuspää on asetettu kiillotusmattoa vasten, niin kiekkoa painetaan vastapaineen avulla kiillotusmattoa vasten. Kiillotuksen aikana pidätysrengas pitää kiekon paikallaan. Nivelliitoksen ansiosta kiillotuspää myötäilee kiillotuspöytää ja pysyy tasossa kiillotusmattoa vasten. [2.]

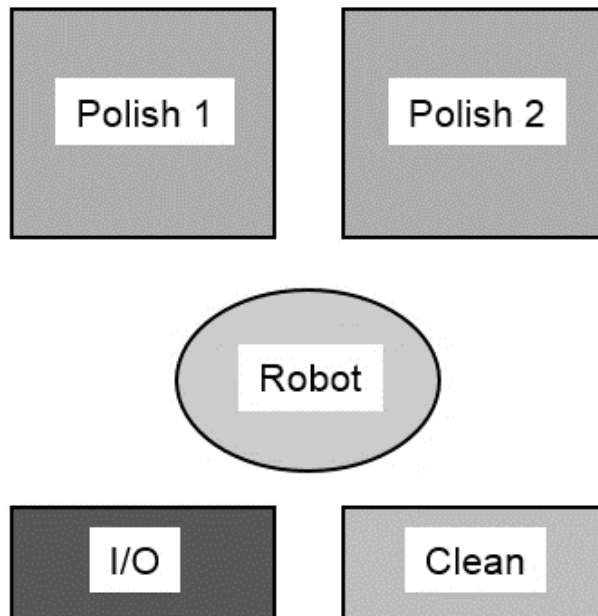
2.2 CMP-laite

Puolijohdeteollisuudessa kiillotusprosessi toteutetaan CMP-laitteilla.



Kuva 2. AMAT Mirra Mesa CMP -laite [3.]

Laitteet ovat nykyään pitkälle automatisoituja. Kuvassa 2 on CMP-laite. Tyypillisesti laitteeseen ladataan kasetti, joka sisältää kiillotettavat kiekot. Automatisoitu laite kiillottaa, pesee ja kuivaa kiekot, jonka jälkeen se palauttaa ne kasettiin. Laitteen sisällä kiekkoja siirrellään erilaisilla tarpeeseen räätälöidyillä roboteilla.



Kuva 3. CMP-laitteen havainnekuva [4, s. 17]

Kuvassa 3 on tyypillisen CMP-laitteen pohjapiirros. Laite sisältää kaksi kiillotusmoduulia, pesuaseman, robotin ja lataus- ja purkuaseman.

2.3 Kiillotusneste

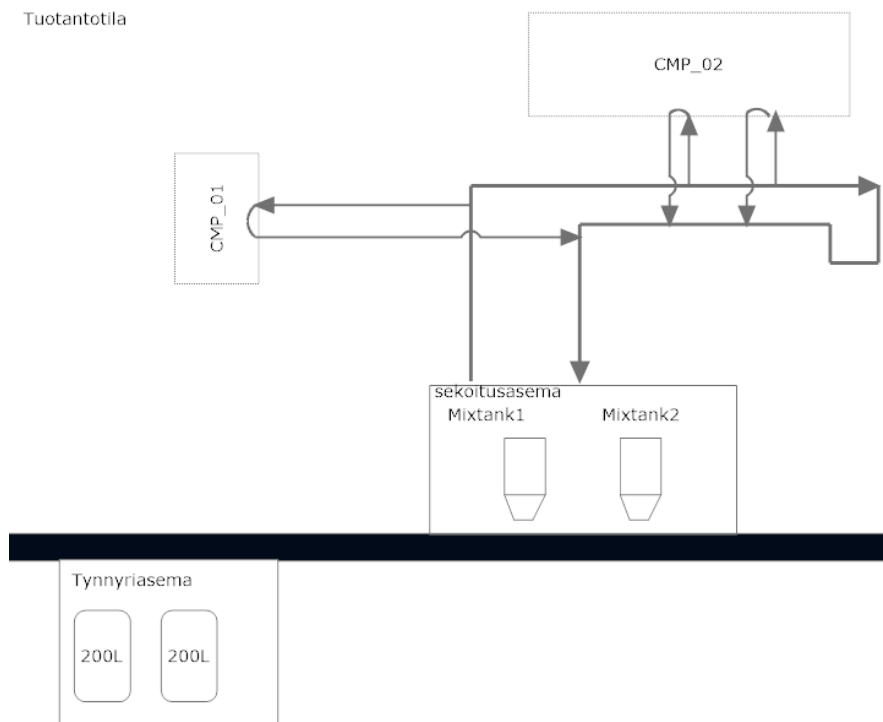
Kiillotusneste koostuu liuksesta ja hiovasta kiinteästä aineesta. Hiova komponentti tuottaa prosessin mekaanisen osan. Seoksen kiinteät pienet partikkelit kiillottavat kiekon pintaa.

Kiillotusnesteitä on monia erilaisia. Kiillotusneste pitää aina valita käyttötarkoituksen mukaan. Yleisesti käytettäviä kiinteitä aineita ovat muun muassa alumiinioksidi, piioksidi ja ceriumoksidi. Erilaisia fyysisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat

kiillotusnesteen toimintaa ovat muun muassa seoksen tiheys, partikkelikoko, happamuus ja kiillotusnesteen kiehumispiste. [5.]

3 Kiillotusnesteen syöttöjärjestelmän esittely

Kuvan 4 mukaisesti kiillotusnesteen syöttöjärjestelmä koostuu tynnyriasemasta ja sekoitusasemasta. Tynnyriasemassa säilytetään kiillotusnesteeseen tarvittavat kemikaalit ja se sijaitsee tuotantotilan ulkopuolella. Sekoitusaseman tehtävä on valmistaa, sekoittaa valmista kiillotusnestettä ja syöttää sitä CMP-laitteille. Kiillotusnestesyöttöjärjestelmä syöttää kiillotusnestettä kahdelle CMP-laitteelle.



Kuva 4. Kiillotusnestejärjestelmän hahmotelma Muratan tiloissa.

Kiillotusaseman toimilaitteiden ohjaus on toteutettu Siemensin S-700-logiikalla. Järjestelmän eri funktioita ja tiloja ohjataan ProFace-käyttöliittymäpaneelilla, joka on

integroitu sekoitusasemaan. Sekoitusasema sisältää myös elektroniikkakabinetin ja pneumaattikkaventtiilit. [6, s. 8]

3.1 Tynnyriasema

Tynnyriasema sisältää kaksi 200-litran kemikaalisäiliötä [6, s.8], joissa säilytetään kiillotusnesteen valmistukseen tarvittavat komponentit (pois lukien DI-vesi).

Ensimmäisessä tynnyrissä säilytetään seos, jonka komponentit ovat DI-vesi ja kiintoaine (jatkossa kiillotusnestetiiviste). Toisessa tynnyrissä säilytetään seos, jonka komponentit ovat DI-vesi ja emäs (jatkossa lisäaine).

Kummallakin kemikaalisäiliöllä on omat pumput, jotka pumpaavat kemikaalin sekoitusaseman käyttöön [6, s. 8]. Kiillotusnestetiivisten on oltava koko ajan liikkeessä, muuten sen kiintopartikkelit alkavat sedimentoitumaan. Tämän takia on päädytty ratkaisuun, missä kiillotusnestettä kierrätetään jatkuvasti tynnyriaseman ja sekoitusaseman välillä. Lisäainetta kierrätetään pelkästään tynnyriaseman sisällä.

3.2 Sekoitusasema

Sekoitusasema koostuu kahdesta erillisestä sekoitustankista [6, s.8]. Sekoitustankeissa sekoitetaan valmista kiillotusnestettä. Kahdella tankilla taataan jatkuva kiillotusnesteen syöttö laitteille. Toinen tankeista on valmiustilassa ja toinen syöttää kiillotusnestettä laitteille. Tankkien tiloja ohjataan optisella pinnankorkeusanturilla. Kun syöttötankin pinnankorkeus laskee asetetulle tasolle, niin sen tila muuttuu syöttötilasta täyttötilaan, jonka jälkeen se palautuu odottamaan valmiustilaan toisen tankin tyhjenemistä. Syöttötilassa olevan tankin kiillotusnestettä kierrätetään jatkuvasti syöttöputkistossa sen sedimentoitumisen estämiseksi.

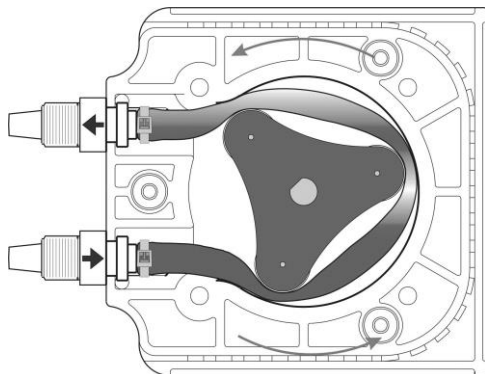
Sekoitustankki on LLDPE-muovista muotoon valettu 100-litrainen säiliö. Tankkiin on integroitu GT 3/235 -mallinen sekoitin. Sekoittimen pyörimisnopeus on 350rpm.

Sekoituksen parantamiseksi sekoitustankissa on kiillotusnesteen kierrätys silmukka, jossa kiillotusnestettä kierrätetään tankin alaosasta tankin yläosaan. [6, s.8]

Uusi kiillotusneste erä valmistetaan DI-vedestä, kiillotusnestetiivisteestä ja emäksisestä lisäaineesta. Oikean seossuhteen annostelu tapahtuu Levitronix LFS-sarjan virtausmittareilla ja pneumaattisesti ohjatuilla GEMU C60 -kalvoventtiileillä. Virtausmittareiden lähettimet on kytketty PLC:n digitaalituloon. Virtausanturi ja logiikka ovat konfiguroitu niin, että virtamittarin muunnin lähettää aina digitaalisen pulssin, kun 100 ml väliainetta on mitattu. Kun riittävä määrä pulsseja on mitattu, niin kalvoventtiili suljetaan. Ensin annostellaan kiillotusnestetiiviste, sitten DI-vesi ja lopuksi lisäaine.

3.3 Kiillotusnesteen annostelu CMP-laitteille

Sekoitusasema ja CMP-laitteet eivät kommunikoi keskenään, vaan kiillotusneste kiertää vapaasti sekoitustankin ja CMP-laitteiden välillä. CMP-laitteet annostelevat kiillotusnesteen kiillotusmatolle letkupumppua käyttäen. Letkupumppu on pumppu, jolla voidaan annostella tarkasti haluttu määrä kiillotusnestettä kiillotusmatolle.



Kuva 5. Letkupumppu

Letkupumpun (Kuva 5) toiminta perustuu peristalttiseen efektiin, jossa pumpun roottori puristaa letkun kokonaan kasaan niin, että roottorin lavat puristavat letkun kasaan kohdasta, johon puristus syntyy. Kun letkun ja roottorin mitat tiedetään, niin on virtausnopeus suoraan verrannollinen roottorin pyörimisnopeuteen. Riippuen pumpun mallista kykenevät ne yleensä toimimaan maksimissaan 1,5-2 baarin linjapaineessa. Letkupumppu on yksinkertainen ja helppo tapa mitata oikea määrä kiillotusnestettä kiillotusmatolle. [7, s. 10]

3.4 Kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän käyttöliittymän toiminnot

Normaalissa tuotantotilanteessa kiillotusnesteasemaa käytetään automaattitilassa. Sekoitusaseman tankkien tilat vaihtuvat nesteen pinnankorkeuden mukaan ja täytöt tehdään automaattisesti valmiustilassa olevaan tankkiin. [6, s.20]

Kiillotusnesteasemaa voidaan myös ohjata manuaalisesti. Manuaaliohjausnäkyvässä voidaan valita, kumpaa tankkia käytetään ja missä tilassa tankki on. Tässä tilassa ei ole mahdollista tehdä tankin täyttöä. Tankin täyttö toimii vain automaattitilassa. [6, s.21]

Kiillotusnestejärjestelmän asetusvälilehti sisältää kaksi valikkoa: Settings 1 ja Settings 2. Ensimmäisessä valikossa määritellään valmistettavan kiillotusneste-erän seossuhde ja määrä. Toisessa valikossa määritellään pumppujen kierrosnopeudet eri tiloissa, mitä tankkeja automaattitilassa käytetään, käytetäänkö sekoitustoimintoa ja sallitaanko tankin toiminta valmiustilassa. [6, s. 22]

4 Konsentraation seuranta refraktometrillä

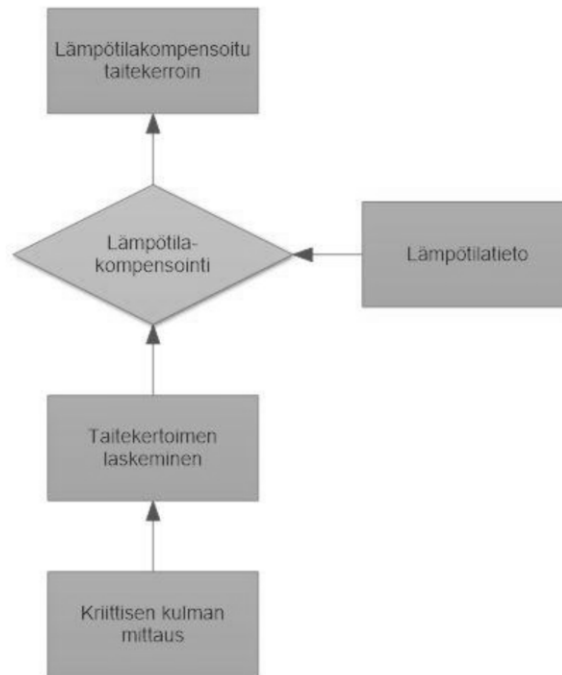
Ennen työn fyysisiä muutoksia kiillotusnesteeseen syöttölinjastoon asennettiin kaksi K-patents PR-33-refraktometriä mittaamaan kiillotusnesteeseen konsentraatiota. Tässä kappaleessa käydään läpi refraktometrin toiminta, eri käyttökohteita ja kalibrointi.

PR-33-refraktometri on suoraan linjastoon asennettava mittalaite, joka mittaa jatkuvasti seoksen taitekerrointa ja lämpötilaa. Refraktometriä käytetään tavallisesti varmistamaan oikea seossuhde erilaisissa applikaatioissa. [8, s. 1]

4.1 K-patentin pr-33 refraktometrin toimintaperiaate

Pr-33-refraktometri mittaa seoksen taitekerrointa ja lämpötilaa. Prosessin seoksen konsentraatio lasketaan lämpötilasta ja mitatusta taitekertoimesta kuvan 6 mukaisesti. [8, s.1]. Laskettu konsentraatio ja muut halutut parametrit lähetetään Ethernet-protokollan mukaisesti tietokoneelle tai K-patentin omaan kenttäkalibraattoriin. [8, s.4]

Refraktometriin voidaan myös liittää erillinen ulostulomoduli, jolla voidaan lähettää logiikalle konsentraatitieto muodossa 4-20 mA.



Kuva 6. Pr-33-refraktometrin toimintakuvaus

4.2 Taitekertoimen mittaus

PR-33-refraktometri päätelee seoksen taitekertoimen mittaamalla heijastuksen kriittistä kulmaa (kokonaisheijastuksen rajapinta). Tiheämmästä aineesta harvempaan siirryttäessä tuleva valonsäde heijastuu aaltoliikkeen taittumislain mukaan. (kaava 1)

$$\frac{\sin(a1)}{\sin(a2)} = \frac{V1}{V2} = \frac{\lambda1}{\lambda2} = \frac{n2}{n1} \text{ ,jossa} \quad (1)$$

$\sin(a1)$ = Tulevan aallon kulma

$\sin(a2)$ = taittuneen aallon kulma

$V1$ ja $V2$ = tulevan ja lähtevän aallon nopeus

$\lambda1$ ja $\lambda2$ = tulevan ja lähtevän aallon aallonpituus

n_1 = aineen 1 taitekerroin

n_2 = aineen 2 taitekerroin

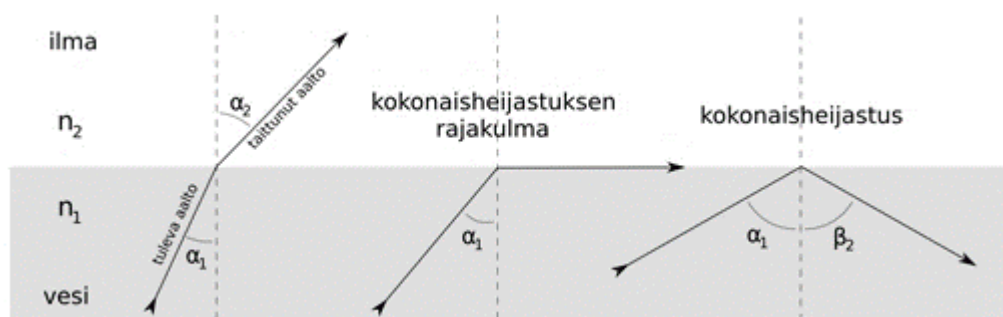
[9.]

Jos tiheämmästä aineesta tuleva valonsäde tulee harvemman aineen rajapintaan tarvittavan isolla kulmalla, niin valonsäde ei läpäise ollenkaan rajapintaa, vaan heijastuu 90-asteen kulmassa rajapintaa myöten kuvan 7 mukaisesti. Kokonaisheijastuksen rajakulma voidaan laskea kaavalla 2.

$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(90)} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \sin(\alpha_1) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

[9.]

Jos tästä vielä kasvatetaan tulevan valonsäteen kulmaa, niin valonsäde ei läpäise ollenkaan rajapintaa, vaan heijastuu takaisin tiheämpään aineeseen kuvan 7 mukaisesti. [9.]



Kuva 7. Aaltoliikkeen taittuminen [9.]

Refraktometrin valonlähde lähettää valoa 589 nanometrillä aallonpituudella prismaan. Valonsäteet heijastuvat prisman reunoista mitattavaan seokseen. Osa valon säteistä läpäisee prisman ja heijastuu tietyllä kulmalla mitattavaan seokseen. Toinen osa valon säteistä ei läpäise prismaa vaan heijastuu takaisin prisman toiseen peiliin. [9, s. 2]

Kuvan 8 mukaisesti refraktometrin CCD-kenno pystyy havaitsemaan prismasta heijastuvat valon säteet. Refraktometrin CCD-kennolle muodostuu musta ja vaalea

alue. Alueiden rajapinnasta lasketaan kokonaisheijastuksen rajakulma.

PR-33-S instruction man

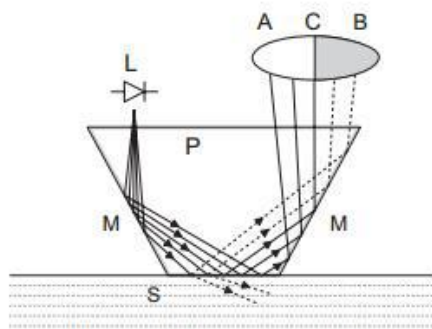


Figure 1.2 Refractometer principle

Kuva 8. Refraktometrin toimintaperiaate

L = LED / valonlähde

S = mitattava media

P = prisma

M = prisman seinät toimivat heijastavina peileinä

A = kokonaan heijastuneet valonsäteet

B = osittain heijastuneet valonsäteet

C = Kriittisen heijastumisen paikka

[8, s. 2]

Kun tiedetään prisman ja kameran paikka, niin tästä voidaan päätellä heijastumisen kriittinen kulma [10, s. 3]. Kun taas tiedetään heijastumisen kriittinen kulma, niin voidaan näytteen taitekerroin laskea kaavalla 3.

$$\sin(a_c) = \frac{n_b}{n_a} \rightarrow n_b = n_a * \sin(a_c), \text{ jossa} \quad (3)$$

$\sin(a)_c$ = refraktometrin mittaama kriittinen kulma,

n_A = prisman taitekerroin,

n_B = mitattavan aineen taitekerroin

[10, s. 4]

4.3 Lämpötilan kompensointi

Taitekerroin on lämpötilariippuvainen suure [11, s. 3]. Tämän takia on lämpötilan vaihtelu eliminoitava pois, jotta taitekerrointa voidaan käyttää konsentraation indikaattorina. Pr-33-refraktometri kompensoi lämpötilan vaikutusta taitekertoimeen kaavan 4 laskutoimituksella.

$$n^{20} = n^t + C * (T - 20), \text{jossa} \quad (4)$$

n^{20} = lämpötilakompensoitu taitekerroin

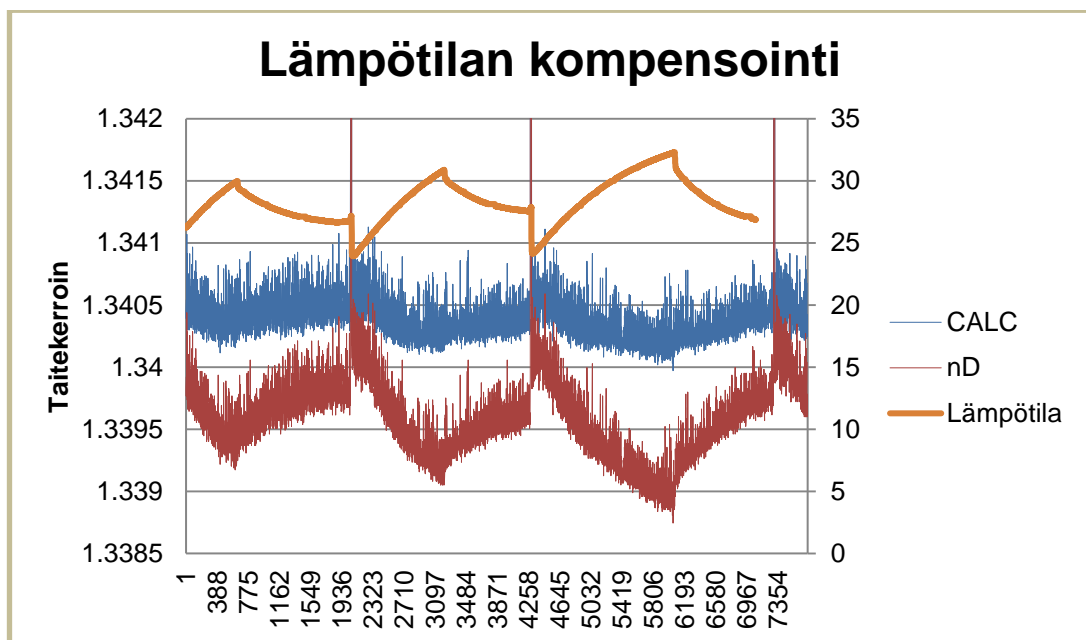
n^t = lämpötilakompensoitava taitekerroin

T = Median lämpötila n^t :n mittaushetkellä

C = kompensointikerroin

[11, s.4]

Lämpötilan kompensoinnin määrää on mahdollista muuttaa muokkaamalla kompensointi kerrointa. Kompensoinnin määrää muokattaessa on otettava huomioon, että se vaikuttaa myös taitekertoimen tasoon. Eli jos kompensoinnin määrää muutetaan, niin on myös mahdolliset kalibroinnit tehtävä uudestaan. Esiasetettu kompensointikerroin on 0,0001.



Kuva 9. Lämpötilan vaikutus taitekertoimeen

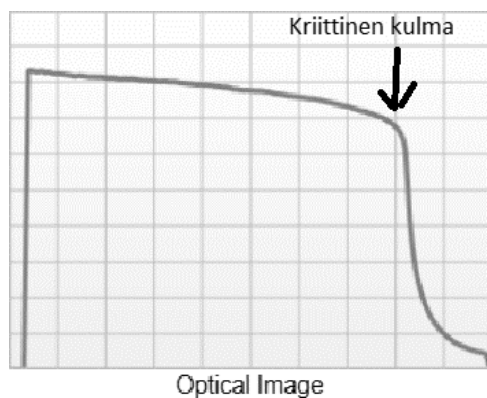
Kuvassa 9 on kerätty dataa kiillotusnesteen syöttöjärjestelmän sekoitus silmukasta. Prosessin lämpötila vaihtelee välillä 25–30 °C. n_D on refraktometrin mittaama taitekerroin ilman lämpötilankompensointia. CALC on taitekerroin, jota on muokattu kaavalla 4. Kuten kuvaajasta näkyy, taitekerroin reagoi lämpötilan muutokseen. Kun lämpötila nousee, niin taitekerroin laskee. Kuvaajan data kerätty tilanteessa, jossa vielä etsitään oikeita parametreja. Niin kuin kuvaajasta näkyy parametri 0.0001 saattaa olla liian vaimea kompensointi, koska lämpötilakorjatussa taitekertoimessa näkyy silti vähän lämpötilan vaihtelusta johtuvia taitekertoimen muutoksia.

Esimerkki:

$n_{D_{26,3}} = 1,3398$, jolloin lämpötilakompensoitu arvo esimerkiksi lämpötilassa 30 °C on $1.3398 + 0,0001 \cdot (30 - 20) = 1,3408$. Kun näitä arvoja vertaa kuvioon 1, niin näyttäisi siltä, että kompensointi toimii niin kuin sen pitää.

4.4 Quality Factor

Quality Factor on laitteen sisäinen parametri, joka kertoo, miten terävä varjo muodostuu anturin CCD-kennolle. Quality factor on siis varjon muodostaman rajan derivaatta. Mitä terävämpi varjo on, sitä isompi on derivaatta eli kulman kasvunopeus. Kun linssi alkaa likaantua, niin varjon derivaatta alkaa laskea ja kuvan terävyys häviää. Tämä on empiirisesti huomattu johtavan kasvavaan taitekertoimeen. Kun kuvan laatu laskee tarpeeksi, niin mittaus ei enää onnistu (Kuva 9, kappale 8.1).



Kuva 10. Pr-33-refraktometrin optinen kuva.

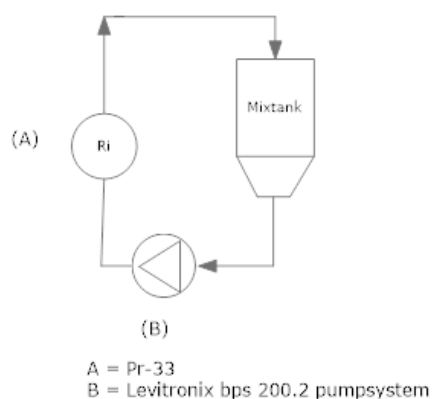
Kuvassa 10 on refraktometriltä saatu optinen kuva, kun anturi mittaa kiillotusnesteen taitekerrointa. Kuvan ottamisen hetkellä Quality factor on ollut n. 90. Tämä on hyvä kuva puhtaasta linssistä. Kun linssi alkaa likaantumaan, niin alkaa kuvassa näkyvän kriittisen kulman paikka pyöristyä, ja tarkkaa kriittisenkulman paikka on vaikea määrittää.

4.5 Kalibrointi

Valmiissa kiillotusnesteessä on kolme komponenttia: kiintoaine, emäs ja DI-vesi. Refraktometrillä mitataan siis näiden komponenttien muodostamaa taitekerrointa. Kalibrointeja tehtäessä tehtiin oletus, että emäksen ja DI-veden määrä pysyy samana ja kiintoaineen määrä vaihtelee. Tähän päädyttiin, koska nykyisessä prosessissa ongelma on kiintoaineen sedimentoituminen putkistoon ja tankkeihin. Kalibrointien tarkoitus on selvittää, miten taitekerroin käyttäytyy kiintoaineen määrän muuttuessa.

4.5.1 Kalibroinnin valmistelu

Kiintoaineen partikkelit ovat raskaita, ja ne alkavat sedimentoitua heti, jos virtaus ei ole riittävä. Tämän takia refraktometri päätettiin asentaa kalibrointia varten sekoitustankin sekoitussilmukkaan. Tämä mahdollisti riittävän virtauksen ja mahdollisuuden sekoittaa vaakaa käyttäen oikeat seossuhteet. Tankki ja sekoitusluuppi eristettiin muusta prosessista kalibroinnin ajaksi. Kalibroinnin aikana kiillotusnestettä kierrätettiin pumpulla sekoitus silmukassa kuvan 11 mukaisesti.



Kuva 11. Kalibrointiympäristö

Kalibrointi suoritettiin valmistamalla erilaisia seossuhteita, joissa muutettiin kiintoaineen määrä ja säilytettiin emäksen ja DI-veden määrä vakiona. Apuna kalibroinnissa käytettiin Toolkit-ohjelmaa. Ohjelmalla tallennettiin koko prosessi ja siirrettiin tuloksen jälkeenpäin Exceliin.

Kalibrointia varten valmisteltiin kaksi eri mittaus sarjaa. Ensimmäisessä mittaussarjassa kiillotusnestetiivisten määrää muutettiin $\pm 10\%$ tuotantoreseptistä. Toisessa sarjassa muutettiin kiillotusnestetiivisten määrää $\pm 40\%$ tuotantoreseptistä.

4.5.2 Kalibrointi: $\pm 10\%$:n kiillotusnestetiivisten muutos

Ensimmäisen $\pm 10\%$:n kalibroinnin tulokset löytyvät taulukosta 1 ja taulukota 2.

Taulukko 1. Tunnuslukuja $\pm 10\%$:n kalibrointi. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

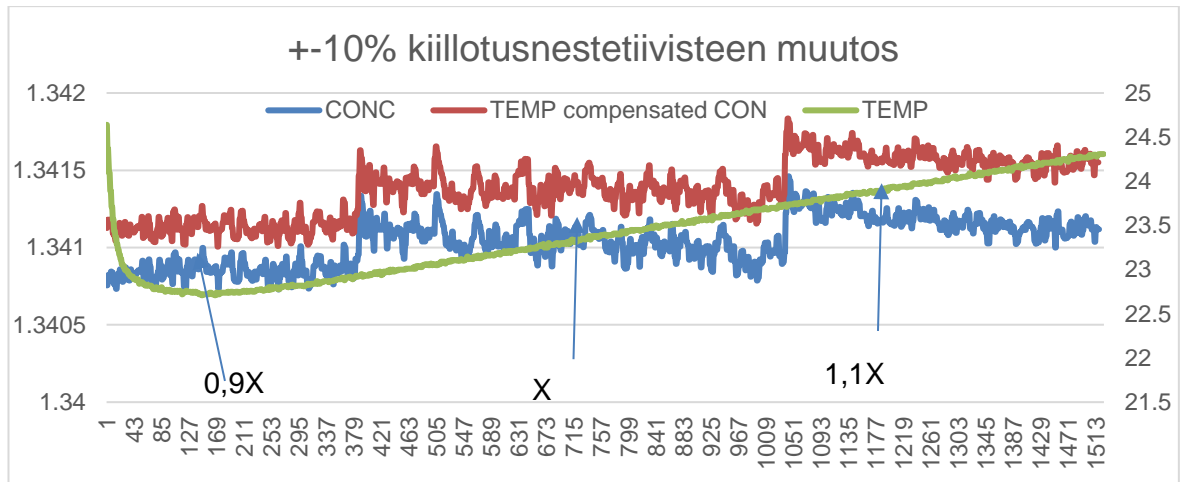
	0,9X	X	1,1X
keskiarvo	1.34112	1.34139	1.34160
mediaani	1.34112	1.34139	1.34159
keskihajonta	0.000051	0.000083	0.000047

Taulukosta 2 nähdään, että taitekerroin ei käyttäydy lineaarisesti. Välillä 0,9X – X taitekerroin muuttuu 0,00027 taitekerrointa. Kun taas välillä X – 1.1X taitekerroin muuttuu 0,00027 taitekerrointa.

Taulukko 2. Taitekertoimen muutos $\pm 10\%$:in kalibrointi. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

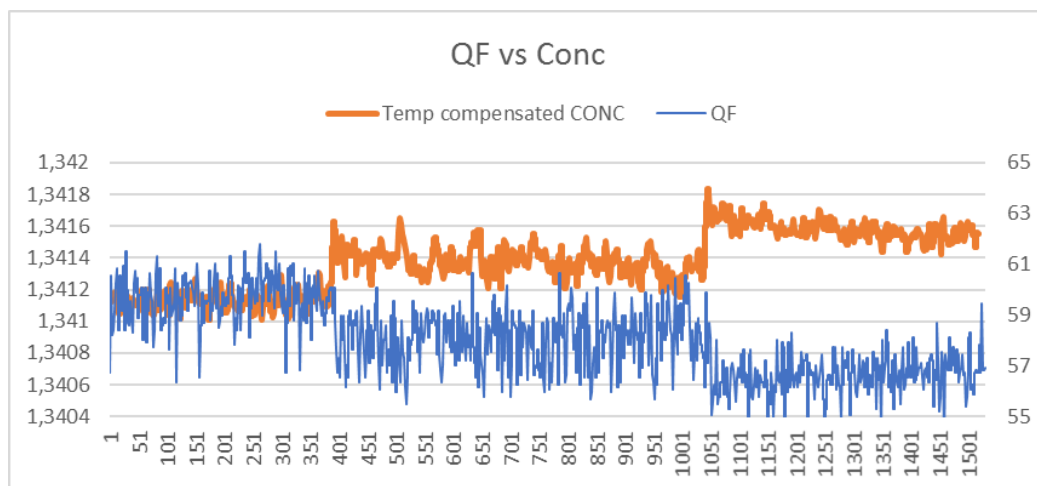
mittausväli	Δ wt%	Δ taitekerroin
0,9X - X		0.00027
X - 1,1X		0.00021
0,9X - 1,1X		0.00048

Kuvassa 12 nähdään taitekertoimen muutos kuvaajana, kun kiillotusnestetiivisten määrää lisätään. X-akselilla kuvaajassa on mittausten lukumäärä. Mittausväli on yksi sekunti. Y-akselilla on taitekerroin.



Kuva 12. ± 10 %:in kalibrointi. Kiillotusnestetiivisten muutos. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

Kuvasta 13 nähdään, miten kuvan laatu muuttuu taitekertoimen muuttuessa.



Kuva 13. ± 10 %:in kalibrointi. Quality factorin muutos.

4.5.3 Kalibrointi: ± 40 %:n kiillotusnestetiivisten muutos

Ensimmäisen ± 40 %:n kalibroinnin tulokset löytyvät taulukosta 3 ja taulukota 4.

Taulukko 3. Tunnuslukuja ± 40 %:n kalibrointi. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

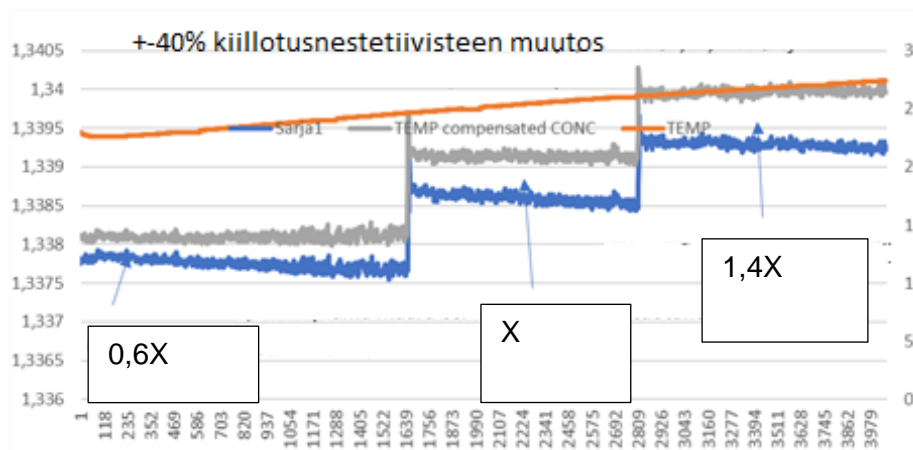
	0,6X	X	1,4X
keskiarvo	1.33809	1.33913	1.33997
mediaani	1.33809	1.33913	1.33997
keskihajonta	0.000044	0.000039	0.000039

Myöskin tässä kalibroinnissa nähdään, että taitekerroin ei käyttäydy lineaarisesti. Taulukossa 4 mittausvälillä $0,6X - X$ taitekerroin muuttuu $0,00104$, kun taas mittausvälillä $X - 1,4X$ taitekerroin muuttuu $0,00083$.

Taulukko 4. Taitekertoimen muutos $\pm 40\%$:n kalibrointi. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

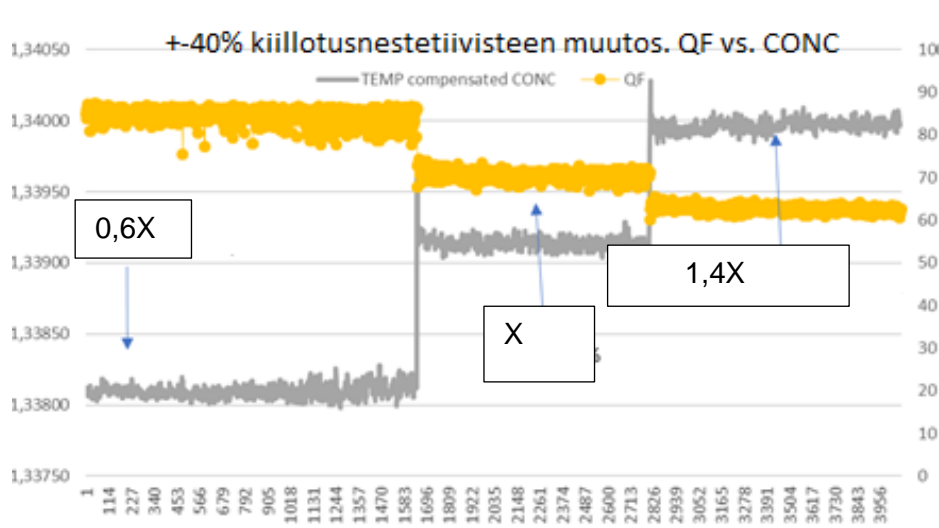
mittausväli	Δ wt%	Δ taitekerroin
$0,6X - X$		0.00104
$X - 1,4X$		0.00083
$0,4X - 1,4X$		0.00188

Kuvassa 14 nähdään, miten $0,4X$ kiillotusnestetiivisten muutos näkyy ajan funktiona. Mittausväli X-akselilla on yksi sekunti.



Kuva 14. $\pm 40\%$:n kalibrointi. Kiillotusnestetiivisten muutos. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

Kuvasta 15 nähdään kuvan laadun muutos taitekertoimeen.



Kuva 15. ± 40 %:n kalibrointi. Kiillotusnestetiivisten muutos. QF vs. CONC. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

4.5.4 Kalibrointi 2: ± 40 %:n kiillotusnestetiivisten muutos

Toisen ± 40 %:n kalibroinnin tulokset löytyvät taulukosta 3 ja taulukota 4.

Taulukko 5. 2. kalibrointi ± 40 %:n kiillotusnesteen muutos. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

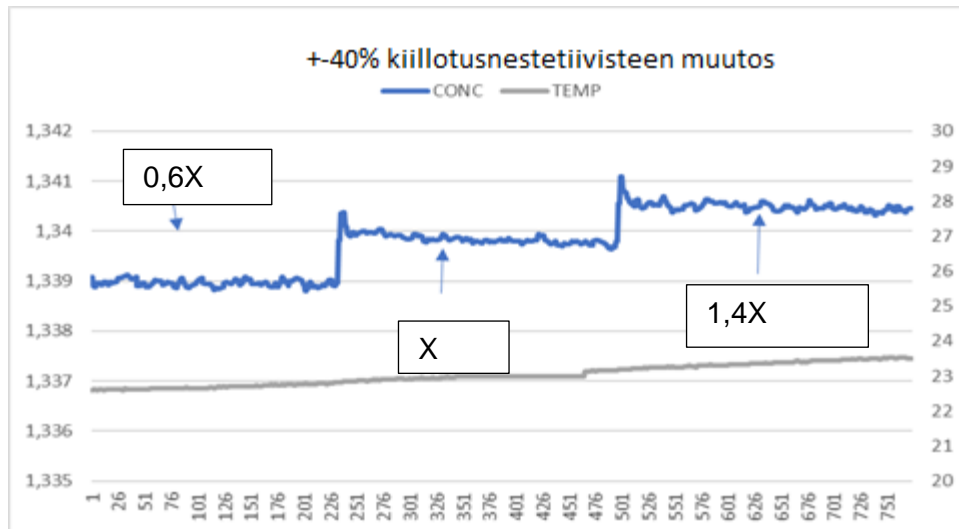
	0,6X	X	1,4X
keskiarvo	1.339	1.3400	1.3405

Myös tämän kalibroinnin tulokset tukevat väitettä, että taitekerroin ei käyttäydy lineaarisesti.

Taulukko 6. 2. kalibrointi taitekertoimen muutos ± 40 %. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

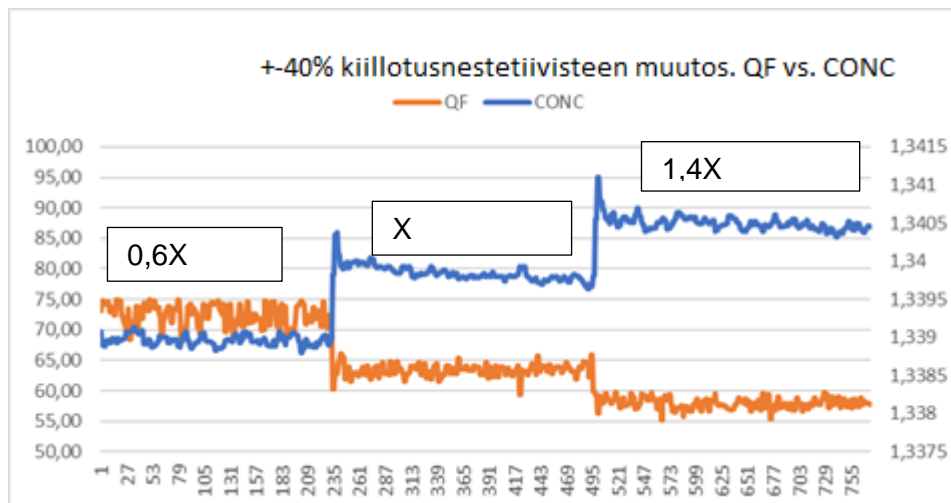
mittausväli (wt%)	Δ wt%	Δ taitekerroin
0,6X - X		0.001
X - 1,4X		0.0005
0,6X - 1,4X		0.0015

Kuavassa 16 nähdään taitekertoimen muutos ajan funktiona, kun kiillotusnestetiivisten määrää muutetaan muutetaan 0,4X stepeissä.



Kuva 16. 2. kalibrointi ± 40 %:n kiillotusnestetiivisten muutos. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

Kuvasta 17 nähdään, että kuvan laatu muuttuu taitekertoimen muuttuessa.



Kuva 17. 2. kalibrointi ± 40 %:n quality factorin muutos. X = kiillotusnestetiivisten määrä tuotantoreseptissä.

4.5.5 Päätelmät

Kalibrointien perusteella saatiin käsitys, miten kiintoaineen muutos vaikuttaa taitekertoimeen. Näitä mittauksia on hyvä käyttää myöhemmin apuna taitekertoimen tulkittamiseen. Huomioitavan arvoista on, että ± 40 % ja ± 10 % kalibroinnissa taitekerroin oli eri tasolla, vaikka seossuhde oli sama. Tähän on mitä luultavammin

vaikuttanut refraktometriltä saatava kuvan laatu. Tämän eroavaisuuden takia uusittiin ensimmäinen ± 40 % kalibrointi tulosten varmistamiseksi (2. kalibrointi ± 40 % kiillotusnestetiivisten muutos). Uusintamittauksessa kuvan laatu oli sama kuin 1. mittauksessa ja taitekerroin oli samalla tasolla. Kummassakin mittauksessa taitekertoimen muutos pysyy samalla tasolla. Voidaan todeta, että refraktometrin erottelukyky on hyvä ja kalibrointien perusteella pystytään havaitsemaan taitekertoimen muutos kiintoaineen määrän muuttuessa.

4.6 Refraktometrin sijoitus

Refraktometriä kokeiltiin CMP-laitteen kiillotusmoduulissa (luku 4.6.1 ja 4.6.2) ja kiillotusnesteensyöttölinjastossa. Ideaalitalanteessa refraktometri olisi asennettu sekoitusasemaan mittaamaan valmistettavan kiillotusnesteen seossuhdetta (luku 4.6.3). Kaksi refraktometriä päädyttiin asentamaan kiillotusnesteen syöttölinjaston tulo- ja lähtö puolelle.

4.6.1 Refraktometrimittaus CMP-laitteen kiillotusmoduulista

Idealisesti refraktometrit olisi haluttu sijoittaa CMP-laitteiden kiillotusmoduuliin CMP-laitteen sisälle tarkkailemaan kiillotusmatolle päätyvän kiillotusnesteen laatua. Yhdessä muun projektitiimin kanssa päätettiin, että kokeillaan asentaa refraktometri CMP-laitteen kiillotusmoduuliin. Kuvassa 18 refraktometri on asennettu CMP-laitteen kiillotusmoduuliin.



Kuva 18. Refraktometri asennettuna CMP-laitteen kiillotusmoduuliin.

Kiillotusmoduulissa kiillotusneste virtaa vain, kun kiillotusnestettä annostellaan letkupumpulla kiillotuksen aikana. Tämä muodostui ongelmaksi: kiillotusneste ei kierrä jatkuvasti refraktometrin läpi. Tämä johti refraktometrin prisman likaantumiseen ja mittauksen loppumiseen. Kuvassa 19 vasemmalla on refraktometrin likaantunut prisma.

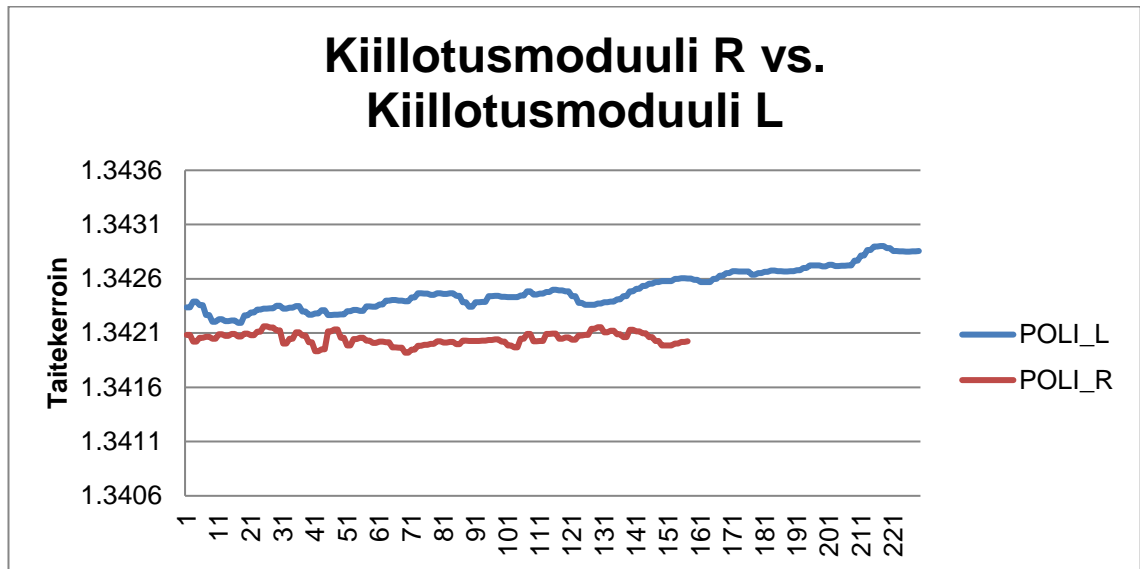


Kuva 19. Vasemmalla likaantunut prisma ja oikealla puhdas prisma.

Todettiin, että refraktometriä ei voi sijoittaa kiillotusmoduulin sisään.

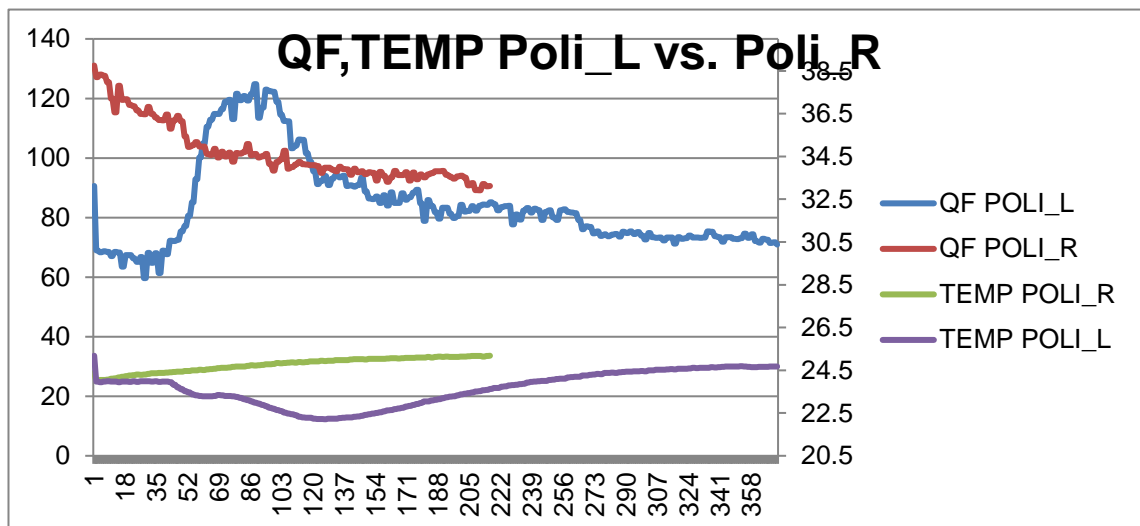
4.6.2 Mittaustulokset CMP-laitteen kiillotusmoduulista

Mittaukset suoritettiin CMP-laitteen kummassakin kiillotusmoduulissa. Kuvan 20 mukaan joitain eroja kiillotusnesteen laadussa pystyttiin havaitsemaan.



Kuva 20. Refraktometrimittaus Kiillotusmoduulit R ja L

Mittaukset suoritettiin käyttäen samaa Kiillotusneste erää, mutta itse mittaukset tehtiin eri aikaan, koska käytössä oli tällä hetkellä vain yksi refraktometri.



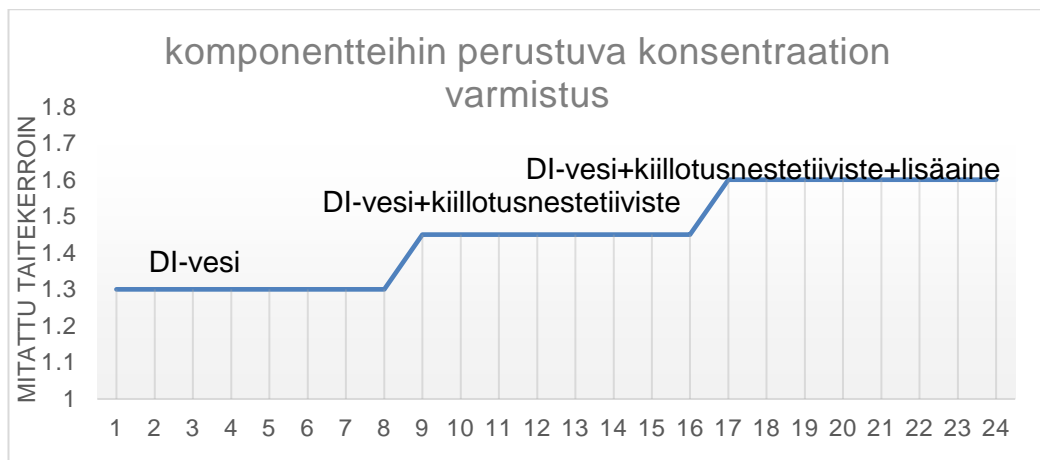
Kuva 21. Refraktometrimittaus kiillotusmoduulit R ja L. QF ja lämpötila.

Kuvasta 21 nähdään, että kuvan laatu laskee ajan kuluessa.

4.6.3 Komponentteihin perustuva konsentraation mittaus

Torstaina 2.2.2017 pidettiin palaveri refraktometrin valmistajan ja myyntiedustajan kanssa. Palaverissä esille nousi mahdollisuus käyttää refraktometriä oikean seossuhteen varmistamiseksi uutta kiillotusneste-erää tehtäessä.

Tässä mallissa asennetaan refraktometri sekoitusaseman sekoitussilmukkaan. Täyttöä tehdessä tarkastetaan erikseen jokaisen vaiheen jälkeen seoksen konsentraatio kuvan 22 mukaisesti. Tällä varmistetaan, että sekoitustankkiin tehty seos on sitä, mitä halutaan.



Kuva 22. Komponentteihin perustuva konsentraation varmistus

Tämä idea todettiin hyväksi, mutta idean toteuttaminen olisi vaatinut paljon fyysisiä ja ohjelmallisia muutoksia kiillotusnesteensyöttöjärjestelmään. Päätettiin, että tätä ideaa ei toteuteta.

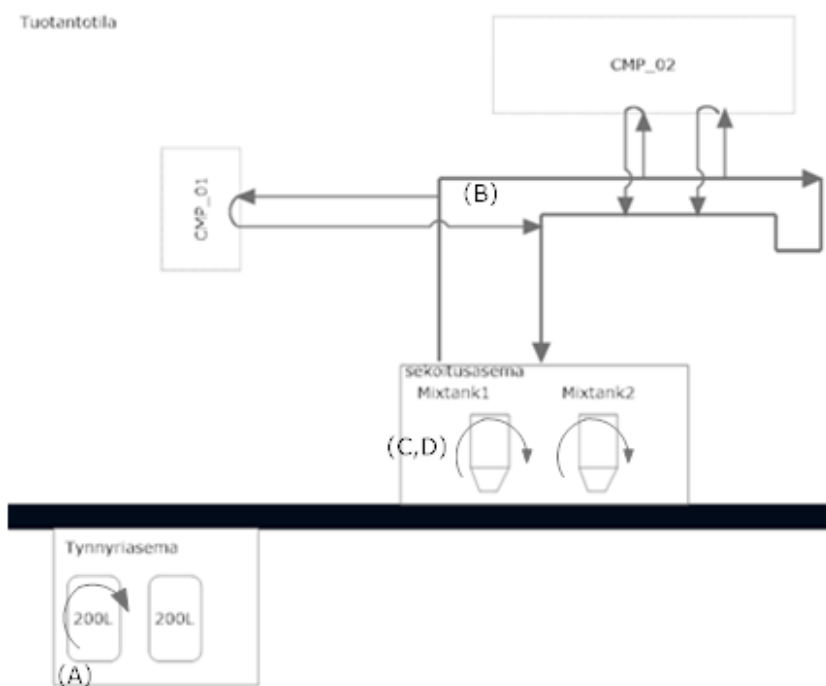
4.6.4 Refraktometrimittaus kiillotusnesteen syöttölinjastosta

Lopulta refraktometrit sijoitettiin kiillotusnesteen syöttölinjaston alku- ja loppupäähän. Tämän ideana on vertailla lähtevän ja tulevan kiillotusnesteen eroja. Tämä oli hyvä idea mittauksen stabiilisuuden kannalta, koska tässä kohtaan virtaus on jatkuvaa ja virtausnopeus kohtalainen.

5 Järjestelmän ongelmakohdat

Kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän havaitut ongelmat voidaan jakaa neljään kategoriaan: (Kuva 23) A) tynnyriasema, B) syöttöputkisto, C) sekoitustankit ja D) kiillotusneste tiivisteiden virtausmittarin toiminta. Kuvassa 13 on havainnollistettu ongelmakohtia.

Tynnyriaseman, syöttöputkiston ja sekoitustankkien ongelmien oletetaan johtuvan riittämättömästä virtausnopeudesta (luku 5.1). Kiillotusnesteitiivisten virtausmittarin tarkkuus on huono, eikä se pysty mittaamaan tarpeeksi tarkasti kiillotusnesteitiivistettä (luku 5.3). Luvussa 5.2 käsitellään kiillotusnesteensyöttöputkiston rakennetta.



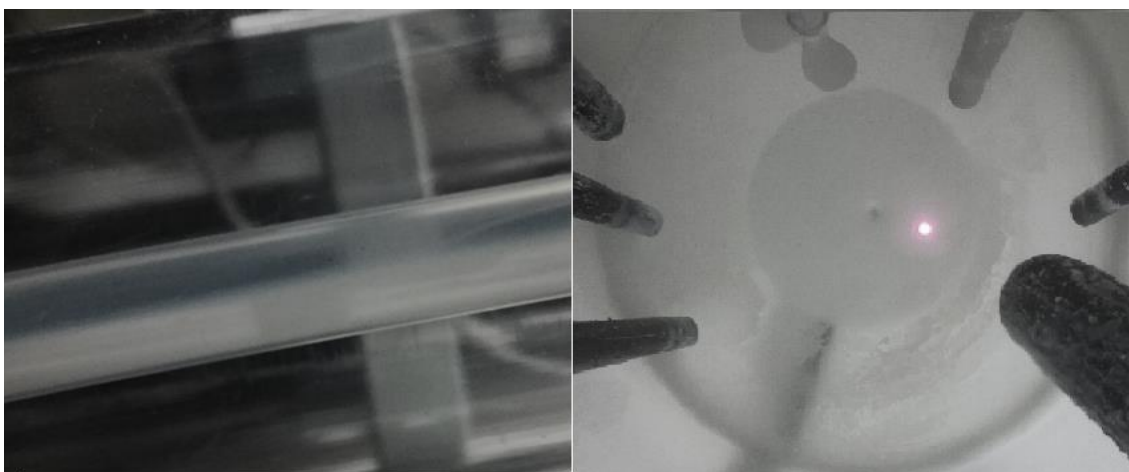
Kuva 23. Kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän ongelmakohdat

5.1 Kiillotusnesteen sedimentoituminen

Seos jossa on kiintopartikkeleita ja nestettä tarvitsee tietyn kriittisen nopeuden, että kiintopartikkelit pysyvät liikkeessä eivätkä ala sedimentoitumaan. [12.]

Tätä kriittistä nopeutta on hankala määrittellä, mutta empiirisesti on todettu, että virtausnopeus on riittämätön.

Nykyisessä kiillotusnestejärjestelmässä kiillotusneste ei pysy homogeenisenä, kiillotusnesteen kiintopartikkelit sedimentoituvat sekoitustankkeihin ja putkistoon. Kuvassa 24 näkyy vasemmalla putkistoon sedimentoitunutta kiintoainetta ja oikealla tankkiin sedimentoitunutta kiintoainetta.

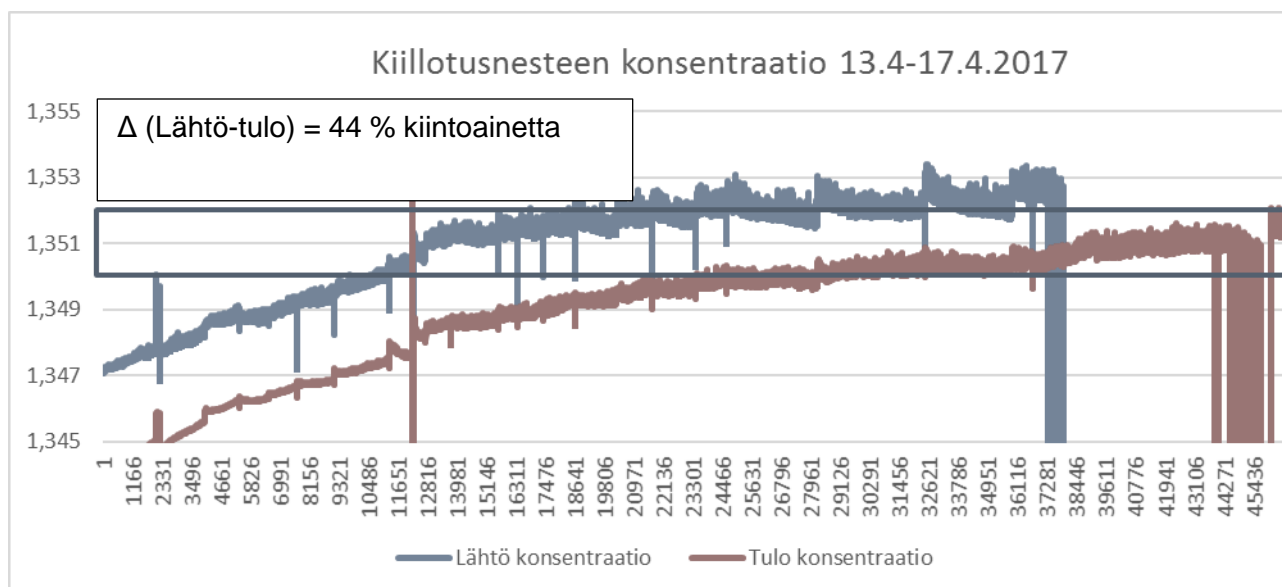


Kuva 24. Kiillotusnesteen kiintoaine partikkelit sedimentoituvat putkistoon ja tankkeihin.

Sedimentoituneet kiintopartikkelit tukkivat syöttöputkiston, jonka takia sitä joudutaan puhdistamaan DI-vedellä ja paineilmalla tasaisin väliajoin. Sedimentoitumisen takia myös todella kallista kiintoainetta jää putkistoon, vaikka tarkoitus olisi, että kaikki kiintoaine päätyy CMP-laitteiden kiillotusmatoille.

Järjestelmää tutkiessa huomattiin myös, että sekoitustankkiin asennettu sekoittajan varsi on niin matala, että se sekoittaa kiillotusnestettä vain, kun tankki on lähes täysi. Toisin sanoen yli puolet ajasta sekoittaja ei sekoita mitään. Myös sekoitustankin pinnan materiaali on karhea, jonka seurauksena kiintopartikkelit jäävät tankin reunoihin kiinni.

Ei ole tarkkaan tiedossa, miten suuri virtaus ja sekoitus tarvitaan, että kiillotusneste pysyy homogeenisenä. Voidaan silti todeta, että virtaus on riittämätön pitämään kiillotusneste homogeenisenä, koska sedimentoituminen on silmin nähtävää. Ennen päivitystä mitattiin virtausnopeus kiillotusnesteen syöttöputkistossa. Virtaus oli noin 5 l/min $\frac{3}{4}$ " standardi PFA-putkessa. Valitettavasti ei ollut mahdollista mitata virtausnopeutta putkiston eri haaroissa. Mitattu virtausnopeus oli putkistoon syötetty kokonaismäärä. Tämän jälkeen selvitettiin mahdollisuus lisätä pumppujen kierrosnopeutta, valitettavasti nykyiset Levitronix bps200.2 -pumput toimivat jo isoimmalla mahdollisella kierrosnopeudella.



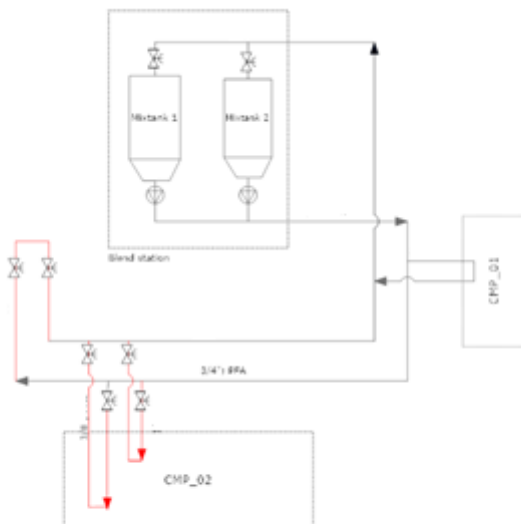
Kuva 25. Kiillotusnesteen lähtö- ja tulo konsentraatio.

Myös refraktometrimittauksilla nähdään, että tuleva ja lähtevä kiillotusneste on eri laatuista. Kuvassa 25 on verrattu lähtevän ja tulevan kiillotusnesteen taitekerrointa. Taitekertoimien ero on merkittävä ja suoritettujen kalibrointien perusteella ero vastaan noin 44 %:in vaihtelua kiillotusnesteen kiintoaineessa.

5.2 Kiillotusnesteen syöttöputkisto

Kiillotusneste sedimentoituu voimakkaasti punaisilla merkittyihin osioihin kuvassa 26. Syöttöputkiston venttiileillä pystytään vaikuttamaan virtauksen määrään putkistossa. Valitettavasti kuitenkin ei ole löydetty tasapainoa, jolla kiillotusneste ei sedimentoituisi ollenkaan syöttöputkistoon. Kiillotusnesteen syöttölinjastossa ei ole yhtään

virtausmittaria, mikä vaikeuttaa järjestelmän tasapainottamista. Empiirisesti on huomattu, että jos CMP_02-laitteen putkistohaaraan ohjataan enemmän virtausta, niin kiillotusneste sedimentoituu putkiston paluupuolelle.



Kuva 26. Kiillotusnesteen syöttöputkiston havainnekuva.

On tärkeää, että putkiston jokaisessa osassa on riittävä virtausnopeus pitämään kiillotusneste homogeenisenä.

5.3 Kiillotusnestetiivisteen virtausnopeus ja virtausmittarin toiminta

Jo järjestelmän käyttöönotossa oli ongelmia kiillotusnestetiivisteen virtausmittarin kanssa. Alun perin kiillotusnestetiivistettä mitattiin Levitronixin LFS-50 ultraääneen perustuvalla virtausmittarilla. Valitettavasti silloin mittari ei toiminut kunnolla, vaan virtauslukema seilasi paljon ja anturin tarkkuus oli huono. Virtausmittari vaihdettiin Levitronixin LFS-20-malliin. Näiden mallien erona on se, että LFS-50-malli pystyy mittaamaan virtausta 50 l/min asti, kun taas LFS-20-malli mittaa virtausta vain 20 l/min asti. Edes LFS-20-malli ei toimi kunnolla, vaan virtaus on jouduttu rajoittamaan n. 15 l/min, koska tätä isommilla virtauksilla uutta kiillotusneste erää tehdessä anturi mittaa kiillotusnestetiivisteen määrän väärin.

Ongelmaa tutkittiin yhdessä anturin valmistajan teknisen tuen kanssa. Anturivalmistaja vieraili Muratalla 2016 marraskuussa. Yhdessä teknisen tuen kanssa vaihdettiin kiillotusnestejärjestelmään LFS-50-anturi ja testattiin sen toimintaa. Todettiin, että anturilla ei pysty mittaamaan kiillotusnesteetiivistettä.

Seuraavana päivänä jatkettiin eri anturimallien testaamista (LFS-50 ja LFS-20). Kiillotusnesteensyöttöaseman ulkopuolella. Todettiin, että kiillotusnesteetiivisten kiintopartikkelit häiritsevät mittausta, joka johtaa epätavalliseen ultraäänisignaalin muotoon.

Jatkotoimenpiteinä lähetettiin näyte kiillotusnesteetiivistettä anturivalmistajalle jatkotestejä varten. Anturivalmistaja rakensi omaan laboratorioon testausympäristön, jossa testattiin eri anturimalleja. Näiden testien perusteella he esittivät suosituksen LFS-80-anturin käytöstä kiillotusnesteetiivisten mittaamiseen.

Toinen kiillotusnesteetiivisteeseen liittyvä ongelma on liian alhainen virtausnopeus kiillotusnesteetiivisten kierrätyslinjassa. Kiillotusnesteetiivisten paineilmatoimista kalvopumppua testattiin maksimipaineella. Maksimipaineella saatiin mitattua 23 l/min virtaus. valmistajan suositus virtausnopeudeksi on 30 l/min.

6 Kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän muutostyöt

6.1 Pumppujen ja tankkien päivitys

Päädyttiin uusimaan kummankin sekoitusaseman pumput ja tankit. Pumpuiksi valittiin Levitronix PTM-600 magneettisesti levitoiva keskipakovoimapumppu. PTM-600 on pumppu, jossa yhdistyy sekoitus ja pumppaus. [13, s. 1]

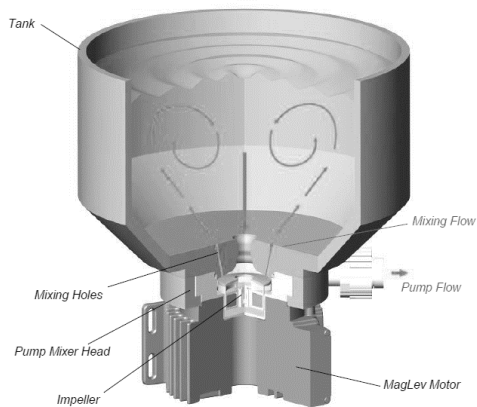


Figure 1: Concept of the MagLev pump tank mixer.

Kuva 27. Levitronix PTM-600-konsepti. [13.]

Pumppu kiinnitetään tankkiin erikseen suunnitellun laipan avulla. Kuvassa 17 on esitetty PTM -konsepti. Laipan ja tankin pohjaan tehdään sekoitus reikiä, joiden kautta pumpun juoksupyörä sekoittaa tankissa olevaa nestettä samalla, kun se pumppaa nestettä linjastoon. Sekoituksen voimakkuus määritellään laipan pohjaan tehtävien reikien määrällä kuvan 17 mukaisesti. Päädyttiin tekemään sekoituslaippaan kaksi, 2,9 mm halkaisijalta olevaa sekoitusreikää.

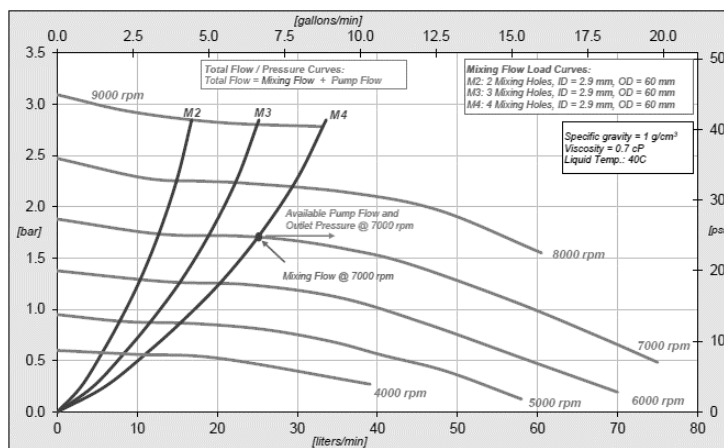


Figure 3: Pressure/flow curves of CPM-600.1 pump mixer head

Kuva 28. Pumpun P/V-piirros [13, s. 2]

PTM-konseptiin päädyttiin, koska sillä uskottiin päästävän helpoiten parhaaseen lopputulokseen: Oli joka tapauksessa päivitettävä tehokkaammat pumpput ja tankit eri materiaalista. Tässä etuna oli, että samalla päästiin eroon sekoittajista, jotka eivät edes suurimman osan ajasta sekoittaneet kiillotusnestettä. PTM-600 on huomattavasti tehokkaampi pumppu kuin vanha bps200 -pumppu. PTM-600-pumpun isoin pumppaus määrä on 75 l/min, kun taas bps200 pystyy pumppaamaan maksimissaan 22,5 l/min. Todellinen pumppausmäärä kuitenkin määrittyy pumpun ominaisuuksien ja linjaston vastapaineen määrästä.

Uudet sekoitustankit suunniteltiin yhteistyössä Levitronixin kanssa. Tankit valmistivat ulkopuolinen urakoitsija. Laippa valmistettiin Levitronix:n antamien ohjepiirustusten mukaan. Tankin materiaaliksi valittiin luonnonvalkoinen polypropeeni. Toisin kuin vanhat tankit, niin uudet tankit taivuteltiin muotoon PP-levyistä ja koottiin hitsaamalla. Näin saatiin huomattavasti sileämpi pinta, kuin vanhoilla muotoon valetuilla tankeilla. Lopuksi tankki ja Laippa hitsattiin yhteen.

Liitteestä yksi löytyy kuvia laipasta ennen sen hitsaamista kiinni sekoitustankkiin. Laippa koostuu kahdesta osasta, välisosasta ja laipasta. Sekoitustankkien vaihdon toteutti ulkopuolinen urakoitsija. Sähkötyöt ja kytkennät teki insinööriyöntekijä.

Seuraavat komponentit vaihdettiin / asennettiin:

- x2 bps200.2 pump system -> x2 PTM-600.2 Pump-Tank-Mixer
 - Motor LPM-600.2
 - Controller LPC 200.2 -> LPC-600.2(USB, PLC)
 - Pump Mixer Head CPM-600.1
- x2 Power Supply TSP 600-148-M(Traco)
- x2 LP Air cooling module, ACM-600.2

Pumppujen kytkentä onnistui suoraviivaisesti ja helposti. Uuden pumpun säätimen(LPC-600.2) lähdöt ja tulot olivat identtiset vanhan säätimen kanssa.

Kytkenöt koostuivat kahden virtalähteen, kahden säätimen ja kahden pumpun kytkennästä. Mitään muutoksia PLC-ohjelmaan ei tarvittu.

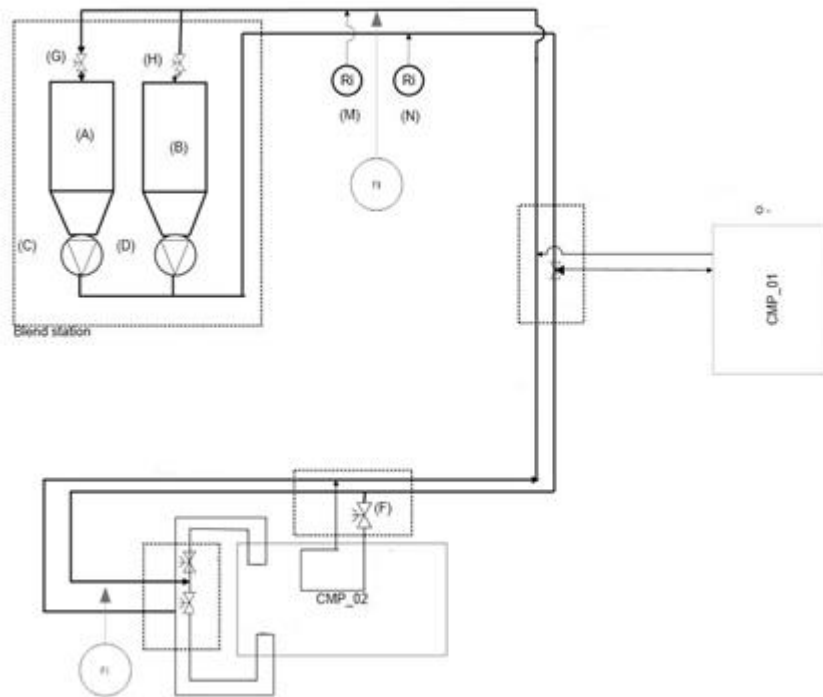
6.2 Kiillotusnesteen syöttöputkiston muutostyöt

Modifikaatioilla oli tarkoitus muokata putkistoa niin, että kiillotusneste virtaisi mahdollisimman tasaisella virtausnopeudella jokaisessa putkiston kohdassa. Nykyistä putkiston virtausta eri haaroissa oli todella vaikea säätää, koska linjastossa ei ollut yhtään virtausmittausta. Varsinkin CMP_02-laitteelle menevää kahta eri putkistohaaraa koettiin hankalaksi säätää ja varsinkin haarojen paluupuolet tukkiutuivat useasti.

Nykyinen putkisto mallinnettiin FluidFlow-ohjelmalla. Tämän mallinnuksen perusteella etsittiin ratkaisua, jolla saataisiin paras mahdollinen virtaustasaisuus eri puolille linjastoa.

Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa CMP_02-laitteelle menee vain yksi putkistohaara, joka jakaantuu myöhemmin kahteen eri osioon. Haaroista tehtiin identtiset, jolloin voidaan olettaa, että haaroissa virtausnopeus on lähes sama. Lisäksi putkistoon lisättiin yksi haara, jonka tarkoituksena on vähentää syöttölinjaston putkiston aiheuttamaa painetta linjaston loppupäässä. Putkiston loppupää koostuu CMP_02-laitteen sisällä kulkevasta kahdesta 3/8 tuuman halkaisijalta olevasta putki silmukasta. Ilman lisähaaraa linjaston aiheuttama paine olisi kasvanut niin suureksi, että hyvää virtausnopeutta linjaston alkupäässä ei olisi saavutettu. Kuvassa 29 on havainnekuva uudesta putkistosta.

Syöttöputkistoon asennettiin lisäksi päivityksen yhteydessä kaksi Levitronix LFS-sarjan virtausmittaria. LFS-20-mittari asennettiin CMP_02-laitteen putkisto haaraan ja LFS-50 mittari syöttöputkiston alkupäähän.



Kuva 29. Kiillotusnestejärjestelmän uuden syöttöputkiston havainnekuva.

Putkiston asennukset toteutti ulkopuolinen urakoitsija. Virtausmittarien kytkennät ja asettelut teki insinööriyöntekijä.

6.3 Ohjelmistopäivitys

Suunniteltiin ja toteutettiin yhteistyössä ulkopuolisen automaatioalan yrityksen kanssa ohjelmistopäivitys, joka mahdollisti kiillotusnesteensyöttöaseman käyttämisen vain yhdellä sekoitustankilla ja pumpulla. Ohjelmistoa modifioitiin niin, että nyt täyttö voidaan tehdä manuaalisesti haluttuun sekoitustankkiin. Ennen päivitystä ei pystytty itse valita mihin ja milloin täyttö tehdään, eikä manuaaltilassa pystytty tekemään täyttöä ollenkaan.

Ohjelmistopäivitys mahdollisti sen, että kiillotusnesteen syöttöasemaa voidaan ajaa manuaali tilassa vain yhdellä sekoitustankilla ja pumpulla. Näin toinen sekoitustankki ja pumppu voidaan päivittää ja validoida samalla, kun tuotantoa ajetaan vanhalla

sekoitustankilla ja pumpulla. Ilman ohjelmistopäivitystä tätä projektia ei olisi voitu toteuttaa, koska CMP-laitteet olisivat olleet pois käytöstä liian kauan.

Alkuperäinen tarkoitus oli muokata kaksi painonappia Pro-Face-käyttöliittymäpaneeliin, josta täyttö voitaisiin tehdä manuaalisesti. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, koska yhteyttä käyttöliittymäpaneeliin ei saatu. Tämä vaihtoehto olisi myös vaatinut kalliin lisenssin käyttöliittymäpaneelin ohjelmoimiseen. Laittevalmistajalta saatiin kuitenkin logiikalla pyörivän ohjelma, jota yhteistyössä automaatioalan yrityksen kanssa muokattiin niin, että manuaalinen tankin täyttö onnistuu fyysistä painonappia painamalla



Kuva 30. "Manuall Refill"-kaukosäädin.

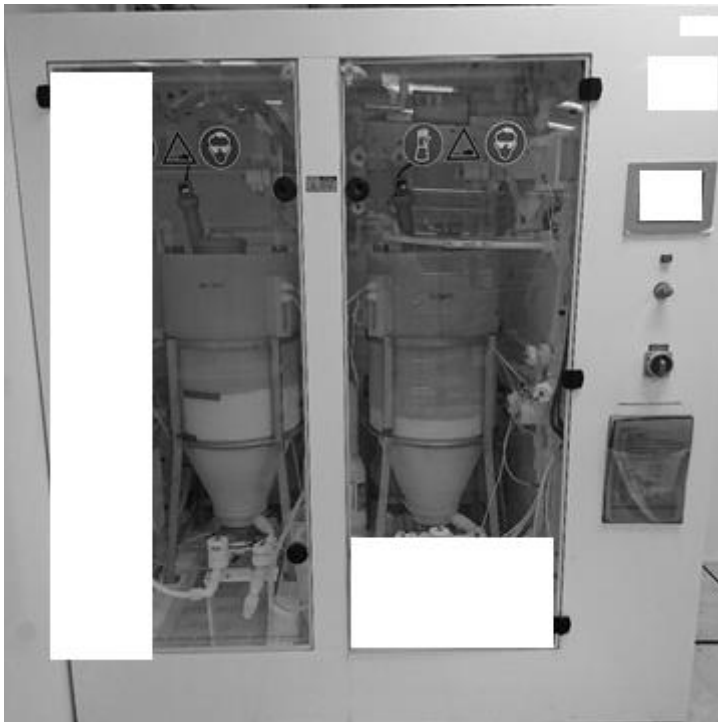
Täyttönapit ohjelmoitiin niin, että kun nappia painaa logiikka aloittaa sekoitustankin täyttösekvenssin. Samalla painonapissa oleva lamppu syttyy ja palaa niin kauan, kun täyttöprosessi on käynnissä. Tämän jälkeen valo täyttönapista sammuu ja asema on taas tuotantokäytössä. Kun kiillotusnestesemaa käytetään vain yhdellä tankilla tuotantokäytössä, operaattori joutuu ennen jokaisen erän lataamista CMP-laitteelle tarkistamaan tankin pinnankorkeuden. Pinnankorkeuden ollessa merkkiviivalla operaattori aktivoi täyttösekvenssin painonapista ja odottaa, että täyttö on valmis. Tämän jälkeen operaattori voi ladata normaalisti erän CMP-laitteeseen. CMP-laitteita ei voida käyttää samaan aikaan, kun täyttösekvenssi on aktiivinen, koska täyttösekvenssin aikana syöttölinjaston pumppu on pois päältä.

Täyttönäpät kytkettiin logiikan vapaisiin I/O-paikkoihin ja asennettiin kykentäkoteloon, josta tehtiin kaukosäädin. Kuvassa 30 on kaukosäädin. Kytkentäkaavio liitteessä 2.

7 Muutostöiden toteutus

Muutostöiden osalta edettiin yrityksen sisäisen projektihallinta käytännön mukaan. Muutostyöt jaettiin kahteen osaan: putkistomodifikaatioon ja pumppu- ja sekoitustankki päivitykseen. Ensin muokattiin putkisto. Putkiston muokkaamisen jälkeen tehtiin ennalta määritellyt laite- ja prosessitestit. Kun muutos oli hyväksytty, niin seuraavaksi suoritettiin pumppu- ja sekoitusutankkipäivitys kahdessa osassa.

Ensin päivitettiin yksi sekoitustankki ja pumppu. Asennuksen aikana tuotantoa ajettiin sekoitusaseman toisella sekoitustankilla ja pumpulla. Aikaisemmin toteutettu ohjelmistopäivitys mahdollisti tämän. Ensimmäisen päivän aikana asennettiin uusi pumppu ja sekoitustankki. Samana päivänä tehtiin myös tarvittavat laitetestit. Sekoitusasema jätettiin yön yli toimimaan vanhalla sekoitustankilla ja pumpulla. Seuraavana päivänä suoritettiin tarvittavat prosessitestit. Testien läpäisyn jälkeen tuotanto siirrettiin toimimaan uudella sekoitustankilla ja pumpulla. Tämän jälkeen otettiin työn alle toinen sekoitusutankki ja pumppu. Toisen sekoitusutankin ja pumpun asennuksen jälkeen tehtiin vielä viimeiset laitetestit ja tarvittavat kalibroinnit, jotta saatiin lupa käyttää sekoitusasemaa automaatti -tilassa. Kuvassa 31 päivitetty kiillotusnesteen säätöjärjestelmä.



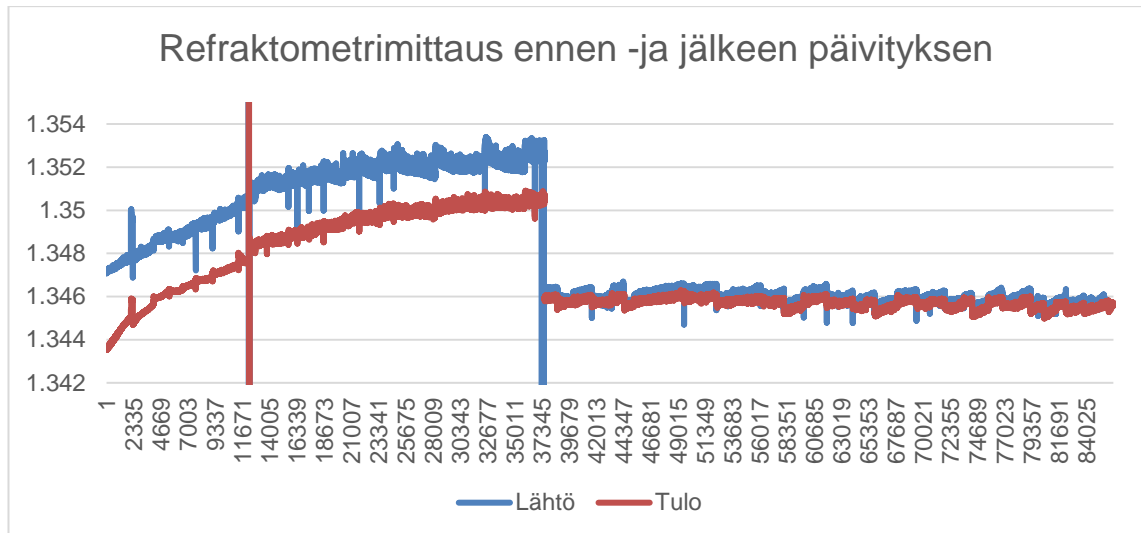
Kuva 31. Sekoitusasema päivityksen jälkeen.

8 Tulosten arviointi

Tässä luvussa käydään läpi muutostöiden vaikutusta kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän toimintaan.

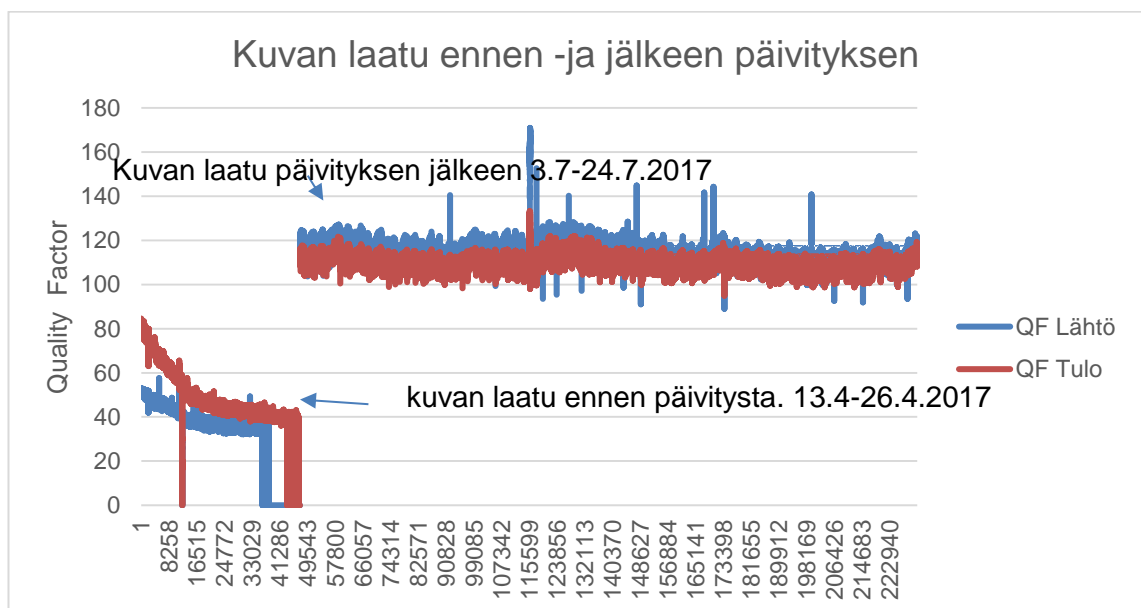
8.1 Refraktometrimittaukset

Refraktometri mittausten perusteella voidaan todeta, että sedimentoituminen putkistossa ja tankissa on vähentynyt, ja mahdollisesti loppunut kokonaan. Kuviossa 10 mittadataa ennen- ja jälkeen päivitystä. Tulo- ja lähtökonsentraation ero on pienentynyt merkittävästi.



Kuva 32. Refraktometrimittaus ennen ja jälkeen päivityksen. Vasemmalla mittaus ennen päivitystä (13.4-26.4.2017) Oikealla mittaus päivityksen jälkeen (3.7-24.7.2017).

Kuvassa 32 vasemmalla olevan taitekertoimen nousevan trendin uskotaan johtuvan prisman likaantumisesta. Kiintopartikkelit tarttuvat prismaan kiinni, mikä vaikuttaa kuvan laatuun. Prisma likaantui pikkuhiljaa, kunnes prisma oli niin likainen, että mittaus ei onnistunut ollenkaan. Tämä näkyy myös kuvan laadussa kuvassa 33. Kuvan laatu laskee tasaisesti, kunnes prisma on niin likainen, että mittaus ei enää onnistu. Päivityksen jälkeen kuvanlaatu pysyy tasaisena.



Kuva 33. Kuvanlaatu ennen -ja jälkeen päivityksen.

Refraktometrimittaukset jätettiin kiillotusnesteensyöttölinjastoon tarkkailemaan tulo -ja lähtö kiillotusnesteen laatua. Näiden mittausten ja kokeiden perusteella on hyvä jatkaa refraktometrimittauksen implementointia vakituiseksi prosessimittariksi.

8.2 Visuaaliset havainnot

Päivityksen jälkeen ei ole havaittu kiillotusnesteeseen sakkautumista sekoitusutankkeihin. Silminnähdyn sekoitus on voimakas sekoitusutankkeissa. Kiillotusnesteeseen syöttöputkisto on kerran puhdistettu huoltotiimit toimesta kuuden kuukauden ajanjakson aikana. Puhdistus johtui tynnyriasemaan sedimentoituneen kiillotusnestetiivisteen pääsystä syöttölinjastoon.

8.3 Kiillotusnesteeseen syöttöputkiston Virtausmittaukset

Päivityksen jälkeen syöttölinjastoon pumpataan kiillotusnestettä 15 litraa / minuutissa $\frac{3}{4}$ tuuman PFA-putkeen. Tämä on kolminkertainen virtausnopeus verrattuna ennen päivitystä (5 litraa / minuutissa). CMP_02-laitteen haarassa virtaus on 3,7 litraa / minuutissa, $\frac{1}{2}$ tuuman putkessa. Tämä haara jakaantuu vielä kahteen osaan, jonka putkikoko on $\frac{3}{8}$ " tuumaa. Haarojen pituudet ja korkeuserot ovat identtiset, joten oletetusti kumpaankin haaraan virtaa noin 1,8 litraa minuutissa. Virtausta laitehaaroissa ei ennen päivitystä tiedetty, mutta oletetusti se oli todella alhainen, riippuen venttiilien asennosta. Putkien tukkeutumisesta tai sedimentoitumisesta aiheutuvia prosessivikoja ei ole ilmoitettu kuuden kuukauden aikana kertaakaan.

8.4 Kiillotusnestetiivisteen virtausmittarin toiminta ja kiillotusnestetiivisteen pumppausnopeus

Tämän insinööriyön aikana ei saatu parannettua virtausmittarin tarkkuutta, eikä nostettua kiillotusnestetiivisteen pumppausnopeutta. Luvussa 5.3 tehdyn selvitystyönperusteella insinööriyöntekijä suosittelee seuraavia muutoksia:

1. Levitronix LFS-80-virtausmittarin asentamista nykyisen LFS-50-mittarin tilalle

2. Tehokkaamman kalvopumpun asentamista linjastoon.

9 Yhteenveto

Tällä työllä pyrittiin parantamaan kiillotusnesteen homogeenisyyttä. Tässä onnistuttiin hyvin. Työssä päivitettiin sekoitusaseman tankin ja pumpun, tehtiin muutostöitä syöttöputkistoon, tutkittiin virtausmittarin toimintaa ja implementoitiin refraktometrimittaus kiillotusnesteen syöttöputkistoon.

Tavoitteet saavutettiin hyvin. Kuitenkin joitakin asioita jäi vielä toteuttamatta. Esimerkiksi virtausmittarin toimintaa ei enää tämän työn aikana vaihdettu parempaan. Kaikki suunnitellut selvitystyöt tehtiin. Ilman tätä insinöörityötä kiillotusnesteen sedimentoituminen syöttöputkistossa ja tankeissa jatkuisi. Tämä insinöörityö loi hyvät mahdollisuudet jatkaa refraktometrimittauksen kehittämistä vakituiseksi laitemittariksi.

Työ oli laaja ja sen toteuttaminen oli haastavaa. Projekti viivästyi monta kertaa. Viivästymiset johtuivat pääsääntöisesti tuotannon kriittisestä tilanteesta. Päivitystä ei voitu toteuttaa, koska tuotantotilanne oli liian kriittinen.

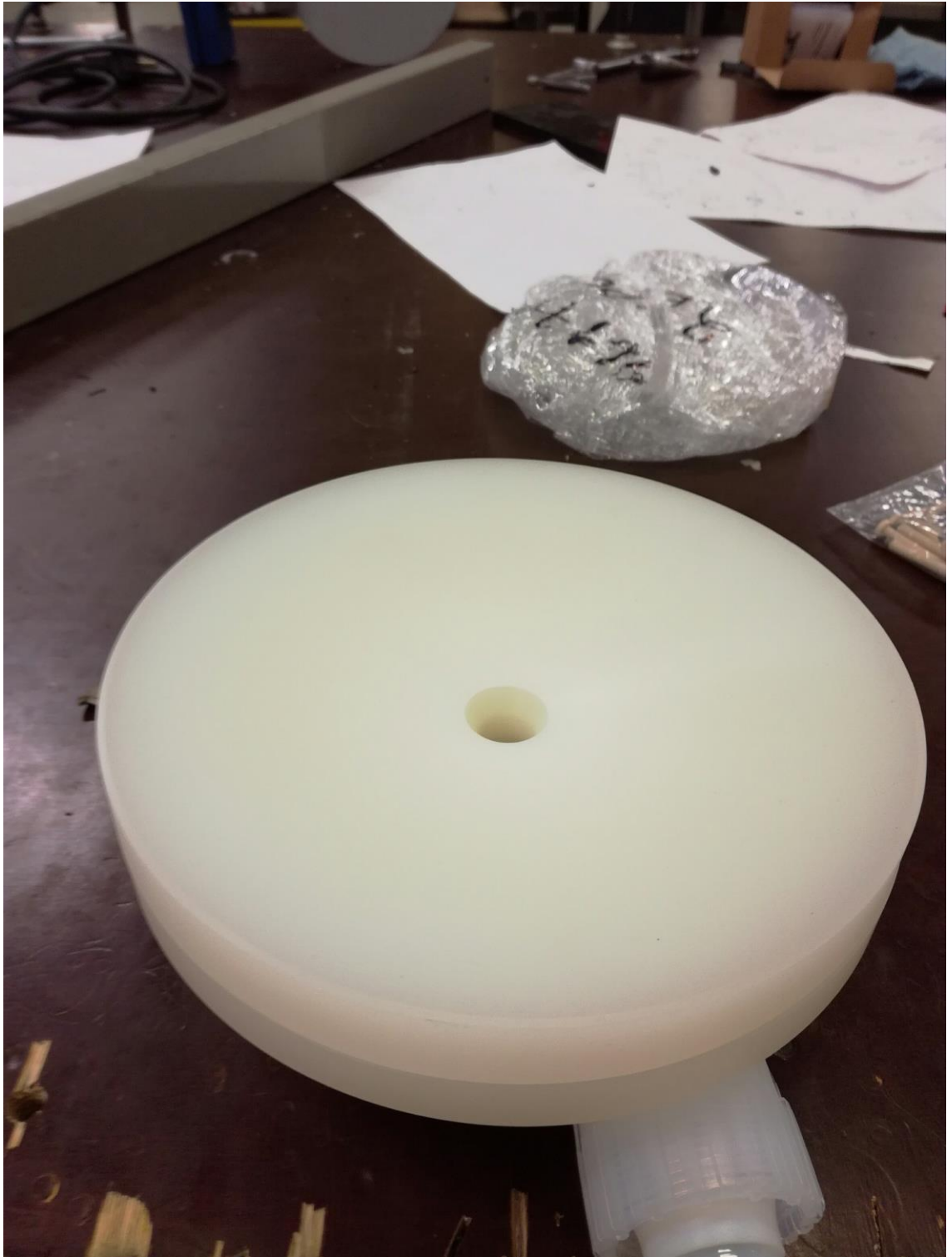
Projekti oli todella opettavainen. Tästä on varmasti paljon hyötyä jatkossa. Osana työtäni pääsin suunnittelemaan, organisoimaan ja toteuttamaan kiillotusnesteensyöttöjärjestelmän päivityksen.

Lähteet

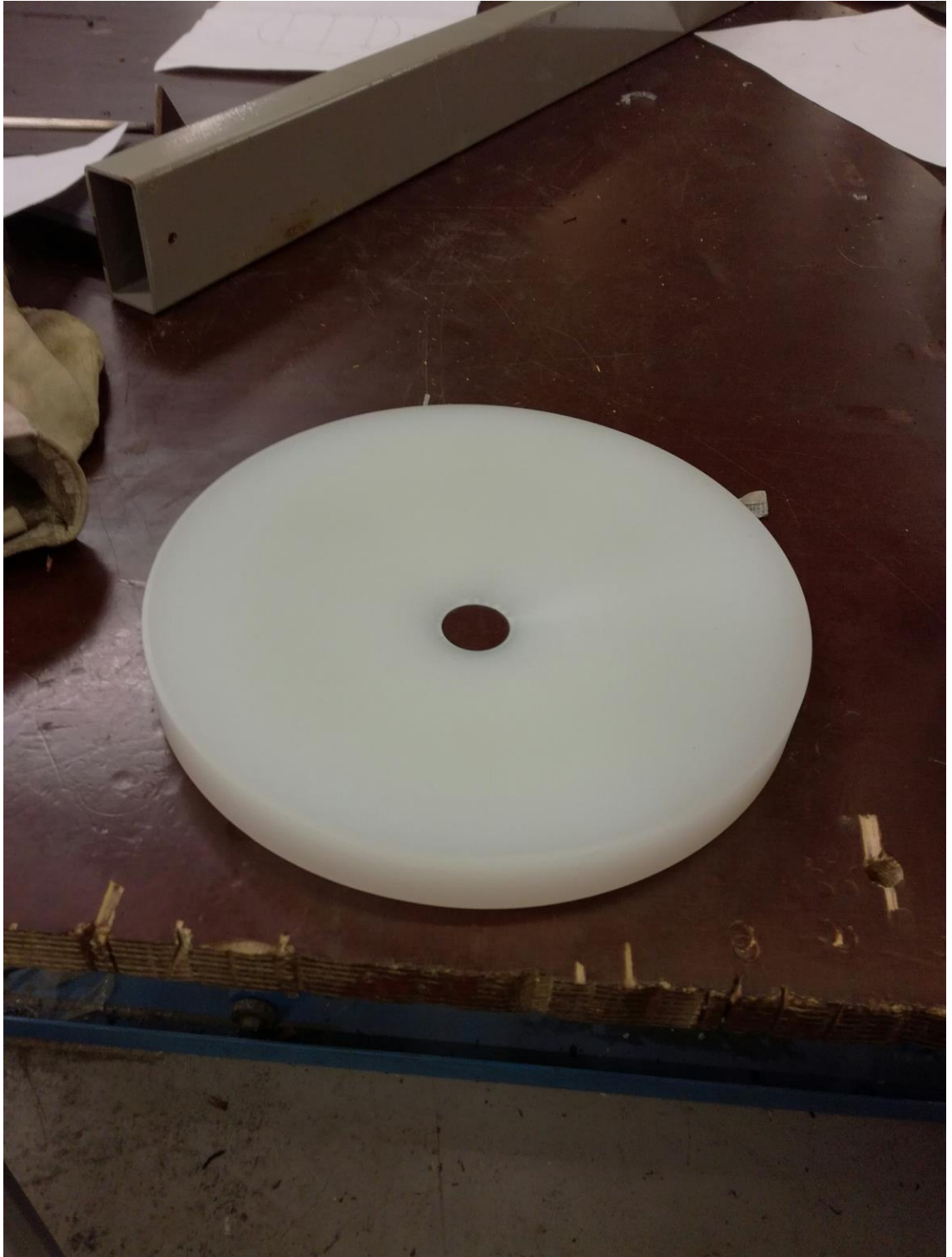
- 1 Muratan internetsivut. <<http://www.murata.com/about/company/factsandfigures>>. Luettu 10.5.2018
- 2 CMP Process. Crystec Technology Trading GmbH. <<https://www.crystec.com/alpoivere.htm>>. Luettu 1.3.2018.
- 3 Enteprix internetsivut. <<https://www.enteprix.com/cmp-polisher/mirra/enteprix-mirra-mesa.php>>. Luettu 1.3.2018.
- 4 Ara Philipossian. 1999. Tutorial on Chemical Mechanical Polishing (CMP). Intel Corporation.
- 5 Chemical Mechanical Planarization (CMP) Slurries information. Globalspec. <http://www.globalspec.com/learnmore/materials_chemicals_adhesives/abrasive_s_abrasive_products/chemical_mechanical_planarization_cmp_slurries>. Luettu 1.3.2018.
- 6 Doku 2334 Murata Slurry Supply. 2012. Operating instructions. Arias GmbH.
- 7 Teemu Huoso. 2012. LPP-letkupumppujen puristuksen optimointi. Saimaan ammattikorkeakoulu.
- 8 Instruction manual SEMICON PROCESS REFRACTOMETER IM-EN-PR33S Rev. 1.4. 2015. K-patents.
- 9 Otavan opisto. Internetsivu. <http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/2_aaltoliike/205?C:D=iS3h.iPgK&m:selres=iS3h.iPgK>. Luettu 10.12.2017.
- 10 Refractive Index Measurement Principle.pdf. K-patents. http://www.kpatents.com/assets/files/downloads/refractive_index_principle.pdf. Luettu 5.3.2018.
- 11 Thomas J. Moseman. In-Situ Chemical Monitoring in Semiconductor Fabrication Chemical Supplies. NXP Semiconductors Fishkill, New York
- 12 Walter H. Graf, Millard P. Robinson, Oner Yucel. 1970. Critical velocity for solid-liquid mixture. Lehigh University.
- 13 Brochedure PTM-600. High Purity Pumping and Mixing with One Single Device! Levitronix. Levitronix.

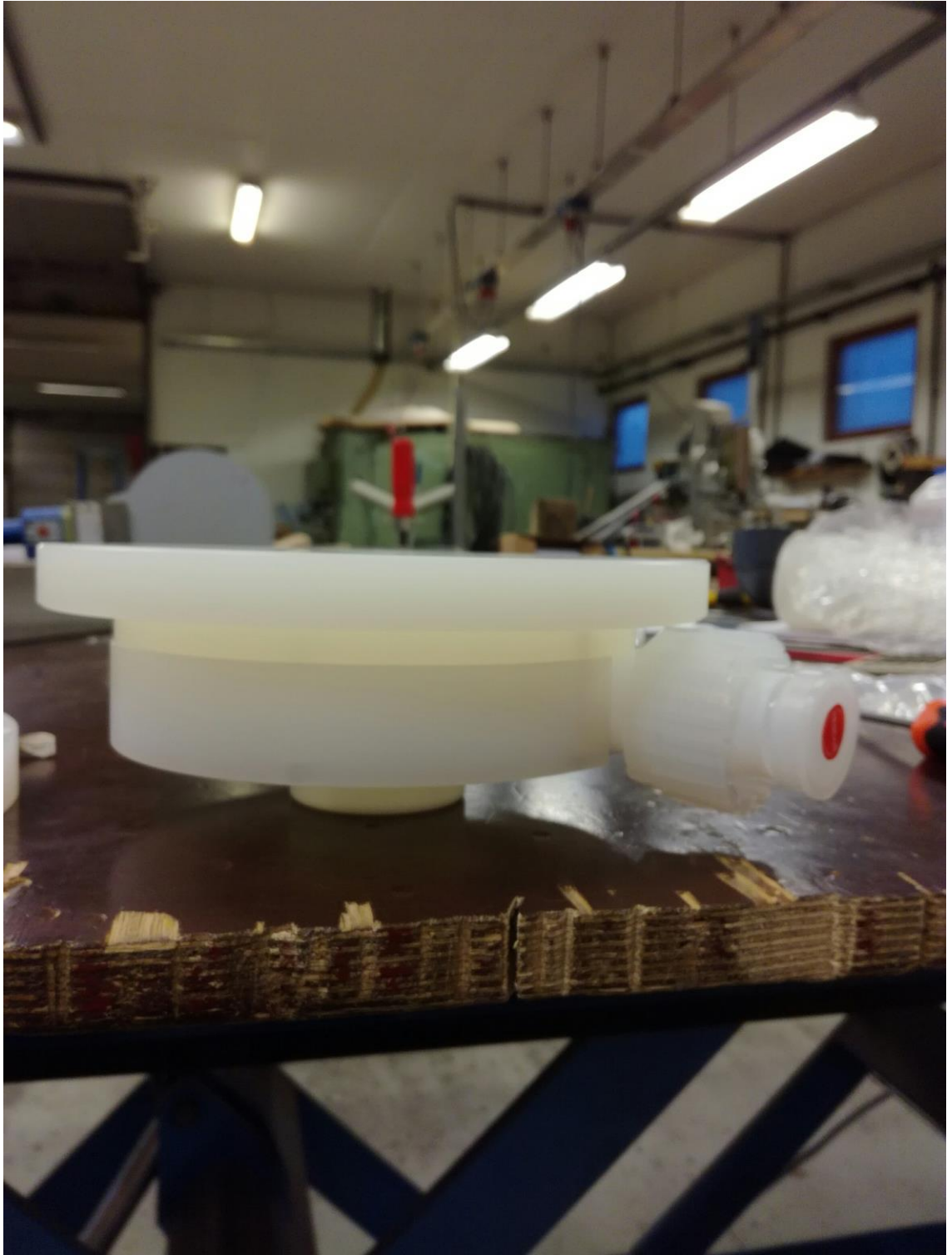
Kuvia PTM-600 pumpun laipasta



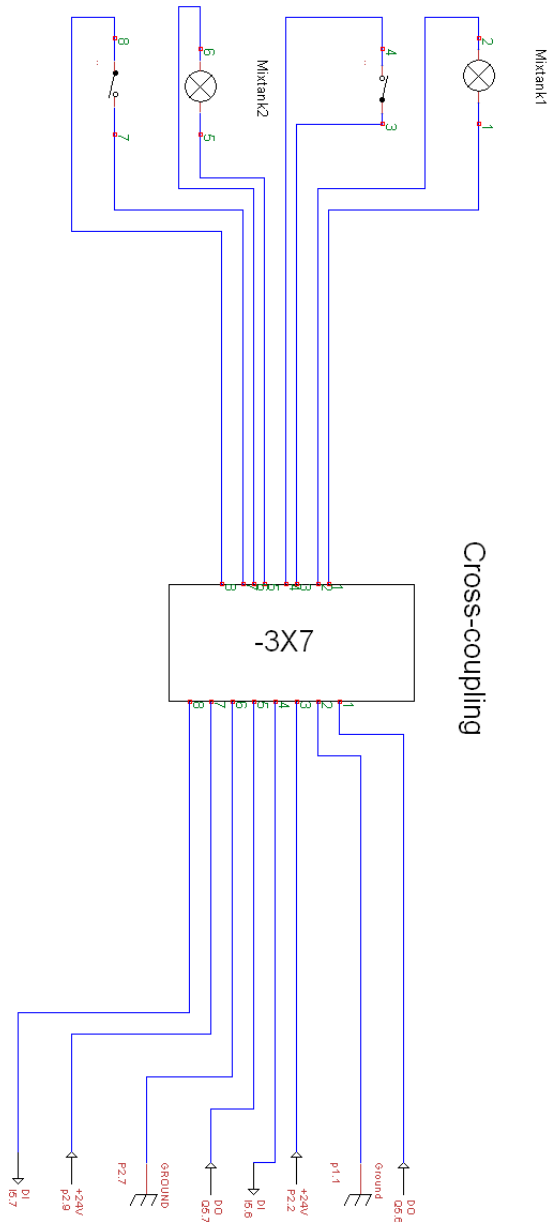








Manual refill -kaukosäädin, kytkentä piirustus



Title	Sturru supply_01 Manual refill electric schematics
Author	Edu Kollanus
File	C:\Users\levi\Documents\Cad1.dsn
Revision	1.0
Date	9.1.2017
Sheets	1 of 1