

2015•2016
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef
Optimalisatie van het productieproces van Capital

Promotor :
Prof. dr. ir. Wim DEFERME

Promotor :
Dhr. DANIEL VAN EECKHOUTTE

Stijn Thijs , Nicolas Vanheel
Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2015•2016
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Optimalisatie van het productieproces van Capital

Promotor :
Prof. dr. ir. Wim DEFERME

Promotor :
Dhr. DANIEL VAN EECKHOUTTE

Stijn Thijs , Nicolas Vanheel
Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Woord vooraf

Na een korte, maar intensieve periode in het bedrijf Ecolab is deze masterproef tot stand gekomen. De op te lossen problemen durfden iedere week te veranderen, dit heeft ons echter wel geleerd om zonder aarzelen, verder naar het globale plaatje te kijken.

Zonder de begeleidende kennis van onze externe promotor TPM manager Daniël Van Eeckhoutte en onze interne promotor prof. dr. ir. Wim Deferme was deze masterproef nooit tot stand gekomen. Bijkomend zouden we ook graag een dankwoord richten aan iedereen binnen Ecolab die ons met raad en daad hebben bijgestaan gedurende onze masterproef.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	1
Lijst van tabellen.....	6
Lijst van figuren.....	9
Verklarende woordenlijst.....	11
Abstract.....	13
Abstract in English	15
1 Inleiding.....	17
1.1 Situering.....	17
1.2 Probleemstelling /onderzoeksvraag	17
1.2.1 Oppervlakteschuim.....	18
1.2.2 Afvullen	18
1.2.3 Leidingnetwerk.....	19
1.3 Doelstellingen	20
1.4 Materiaal en methode	20
1.4.1 Oppervlakteschuim.....	20
1.4.2 Afvullen	21
1.4.3 Leidingnetwerk.....	21
2 Corpus.....	23
2.1 Testen.....	23
2.1.1 Bepaling schuimvorming, -stabiliteit en schuimduur.....	23
2.1.2 Testen ultrasone generator UP200S	25
2.1.3 Testen LSP-500-Laboratory-scale ultrasonic liquid processor	28
2.1.4 Bepalen van luchtinslag via lichtdoorlaatbaarheid	31
2.1.5 Luchtinslag doorheen productie proces.....	32
2.1.6 Pompbezettingsgraad	35
2.2 Productieproces	37
2.3 Mixing	39
2.3.1 Huidig mengproces.....	39
2.3.2 Verbeteringen en algemene opmerkingen mengproces	44

2.4	Zuigleidingen en pompen.....	47
2.4.1	Problemen met de pompen en bijhorende zuigleidingen	47
2.4.2	Huidige situatie	48
2.4.3	Verbeterde scenario's.....	57
2.5	Persleidingen en materiaalrecuperatie.....	67
2.5.1	Persleidingen	67
2.5.2	Piggen van de leidingen	67
2.6	Holdingtank en afvulpomp	73
2.6.1	Holdingtank	73
2.6.2	Afvulpomp	74
2.6.3	Luchtinslag	74
2.7	Afvullen	75
2.7.1	Afvulmachine.....	75
2.7.2	Labelmachine	75
2.7.3	Pelletiser.....	76
2.8	Kosten-batenanalyse	77
2.8.1	Vernieuwen van de leidingen in de kelder.....	77
2.8.2	Vernieuwen van de pompen.....	80
2.8.3	Pigginginstallaties	81
2.9	Aanbevelingen	85
2.9.1	Oppervlakteschuim.....	85
2.9.2	Luchtinslag	87
2.9.3	Leidingen.....	91
2.9.4	Korte stops.....	93
3	Besluit.....	99
3.1	Schuimvorming	99
3.2	Luchtinslag	99
3.3	Piggen.....	100
3.4	Leidingen.....	100
3.5	Volledige automatisatie	100
4	Geciteerde werken.....	103

5	Bijlagen.....	105
---	---------------	-----

Lijst van tabellen

Tabel 1: Problematische producten.....	24
Tabel 2: Constant schuimvolume	24
Tabel 3: Imploderend schuimvolume.....	24
Tabel 4: Resultaten UP200S Kay AMH Handwash	26
Tabel 5: Pomp debiet Watson Marlow 302S	29
Tabel 6: Meetresultaten LSP-500 Sonomechanics	30
Tabel 7: Lichtsterkte i.f.v. mengtijd.....	32
Tabel 8: Lichtintensiteit van staalafnames	33
Tabel 9: Berekening totale drukval	56
Tabel 10: Debiet voorspellingen	56
Tabel 11: Debietverbeteringen pompen huidige locatie	59
Tabel 12: Debietverbetering pompencil.....	63
Tabel 13: Rendementsbepaling lucht doorblazen.....	68
Tabel 14: Kosten pompencil	78
Tabel 15: Baten pompencil.....	78
Tabel 16: Kosten geautomatiseerde pompencil.....	79
Tabel 17: Baten geautomatiseerde pompencil	79
Tabel 18: Vergelijking excentrische diskpompen en tandwielpompen	81
Tabel 19: Kosten vaste pig	82
Tabel 20: Baten vaste pig	82
Tabel 21: kosten whirlwind pigging	83
Tabel 22: Baten whirlwind pigging.....	83
Tabel 23: Technische gegevens LSP - 500.....	116
Tabel 24: Technische gegevens sonotrode	116
Tabel 25: Technische gegevens roerwerk.....	117

Lijst van figuren

Figuur 1: Productie proces	17
Figuur 2: Afvulkop.....	19
Figuur 3: Tijd in functie van de cycle UP200S.....	26
Figuur 4: Proefopstelling LSP – 500 W van Sonomechanics	29
Figuur 5: Lek zuigleiding mixer 17	34
Figuur 6: Lek flenskoppeling mixer - zuigleiding mixer 17	35
Figuur 7: Pompbezettingsgraad	36
Figuur 8: Productieproces	38
Figuur 9: Productieproces mixing.....	39
Figuur 10: Schuimvorming tijdens productie van Topaz MD 3	41
Figuur 11: Restschuim Capital na het verpompen	42
Figuur 12: Oppervlakteschuim na toevoeging gedemineraliseerd water	43
Figuur 13: Oppervlakteschuim na normale grondstoftoediening.....	45
Figuur 14: Oppervlakteschuim na grondstoftoediening onder vloeistofniveau.....	46
Figuur 15: Productieproces zuigleidingen en pompen.....	47
Figuur 16: Vacuümtabel (Strälman, 2010).....	48
Figuur 17: Flensverbinding mixer 19.....	49
Figuur 18: Zuigleidingen mixer 18 en 19	49
Figuur 19: Zuigleidingen mixer 17.....	50
Figuur 20: Diametervernauwing pers- en zuigleiding.....	51
Figuur 21: Diameter vernauwing persleiding	52
Figuur 22: Persleiding pomp koppelbord mixing area 2.....	52
Figuur 23: Koppelstation mixing area 2	53
Figuur 24: Zuigleidingen verbeterd scenario	57
Figuur 25: Persleidingen pomp – koppelbord.....	58
Figuur 26: Vrije ruimte flenskoppeling mengtank 20000L	59
Figuur 27: Zuigleidingen pompencil	60
Figuur 28: Werking Movex excentrische discpomp (Cardon, 2013)	61
Figuur 29: Geautomatiseerde pompencil	64
Figuur 30: Koppeling mixers met centrale zuigleidingen	64
Figuur 31: Pompencil matrixsysteem	65
Figuur 32: Persleidingmatrix	66
Figuur 33: Productieproces persleidingnetwerk en materiaalrecuperatie	67
Figuur 34: Productieproces holdingtank en afvulpomp.....	73
Figuur 35: Werking lobbenpomp	74
Figuur 36: Productieproces afvulmachine en pelletiser.....	75
Figuur 37: Mengvat met roterend ultrasonic defoaming systeem (Cardoni, A. , 2012)	86

Figuur 38: Grondplan geautomatiseerd overpompen	93
Figuur 39: Overzicht korte stops	94
Figuur 40: Schuimstabiliteit 36 / 496	106
Figuur 41: Schuimstabiliteit 2/38	106
Figuur 42: Schuimstabiliteit 146 / 8	107
Figuur 43: Schuimstabiliteit 18 / 261	107
Figuur 44: Schuimstabiliteit 36 / 498	108
Figuur 45: Schuimstabiliteit 22 / 307	108
Figuur 46: Schuimstabiliteit 14 / 213	109
Figuur 47: Schuimstabiliteit 20 / 292	109
Figuur 48: Schuimstabiliteit 27 / 386	110
Figuur 49: Schuimstabiliteit 21 / 295	110
Figuur 50: Schuimstabiliteit 27 / 380	111
Figuur 51: Schuimstabiliteit 31 / 430	111
Figuur 52: Schuimstabiliteit 11 / 181	112
Figuur 53: Schuimstabiliteit 36 / 497	112
Figuur 54: Schuimstabiliteit 36 / 507	113
Figuur 55: Schuimstabiliteit 26 / 365	113
Figuur 56: Schuimstabiliteit 34 / 464	114
Figuur 57: Schuimstabiliteit 316 / 22	114
Figuur 58: Schuimstabiliteit 22 / 311	115
Figuur 59: Schuimstabiliteit 4 / 73	115
Figuur 60: Flowcell	117
Figuur 61: Overzicht pompgebruik 1/3	118
Figuur 62: Overzicht pompgebruik 2/3	119
Figuur 63: Overzicht pompgebruik 3/3	120

Verklarende woordenlijst

AGV: Automated guided vehicle is een mobile robot die op basis van markeringen, lasers, magneten,... navigeert. Deze toestellen worden hoofdzakelijk gebruikt voor het transporteren van materiaal in industriële omgevingen.

Bottleline: De afvulmachine waar men flessen met een volume van vijf liter afvult.

Can 8: De afvulmachine waar men flessen van 10 liter afvult. Eén van de producten die men daar afvult is de Capital.

Doorstroom reactor kamer: deze reactor kamer laat toe product in een continu modus ultrasoon te bewerken. Dit in tegenstelling tot de batch- modus.

Drumline: De afvulmachine waar men vaten van 100 liter afvult.

IBC- containers: Intermediate bulk container is een herbruikbare en stapelbare industriële container. De inhoud van deze containers is 1000 liter.

Ice slurry: Een op water gebaseerde oplossing vermengt met ijs kristallen. Ice slurry wordt geproduceerd door water te vermengen met vriespunt verlagende bestanddelen en dit vervolgens te koelen zodat er zich ijskristallen kunnen vormen.

Ice-Pigging: Een techniek sterk gelijkend op pigging, maar waarbij een ice slurry gebruikt wordt als pig object. Dit met als hoofddoel het reinigen van leidingnetwerken, waaronder rioleringen, leidingwaternetwerken,... Water is hierbij het gebruikte medium om de ice slurry voort te stuwen.

Jugline: De afvulmachine waar men flessen van één en anderhalve liter afvult.

Mixing area 2: De verschillende mengtanks staan gegroepeerd, maar verspreid over de volledige productiehal. Iedere groep van mengtanks krijgt een dergelijke naam. Zo omvat mixing area 2 mengtanks vijf t.e.m. negen.

Mixing area 4: Omvat mengtanks 15 t.e.m. 19.

Pig: Het vaste voorwerp dat tijdens pigging doorheen de leiding wordt gestuwd.

Pigging: Begrip dat gebruikt wordt in de industrie wanneer men het heeft over een voorwerp dat door een leiding gestuwd wordt. Dit met als doel om materiaalrecuperatie en/of leidingreiniging uit te voeren. Perslucht of water zijn hierbij de meest gebruikte media om de pig voort te stuwen in de leiding.

RFID- tag: Radio- frequency identification is gebaseerd op radiogolven en kan informatie op afstand opslaan en aflezen.

Whirlwind pigging: Techniek sterk gelijkend op pigging, maar waarbij er geen projectiel in de leiding wordt voort gestuwd. Hierbij maakt men gebruik van wervelwinden die in staat zijn om het restmateriaal in de leidingen te recupereren.

Abstract

Ecolab Tessenderlo heeft problemen bij de productie van industriële reinigingsproducten. In deze thesis zullen specifiek voor één product, Capital, de problemen in kaart worden gebracht en oplossingen worden voorgesteld. Het eerste probleem is schuimvorming in de mixer, waardoor het mixen langer duurt dan 4 uur. Ten tweede is er luchtinslag in de producten die het afvullen vertraagt tot minder dan 90 l/min. Tenslotte is er een probleem met het leidingnetwerk zodat er geen 90 % productrecuperatie mogelijk is en het pompdebiet geen 50 m³/h bedraagt.

Om de oorzaken en gevolgen van de problemen op te lijsten worden verschillende testen uitgevoerd: schuimstabiliteit en lichtdoorlaatbaarheid testen, ultrasone trillingen en piggen met perslucht. Het huidige leidingnetwerk wordt uitgetekend, alsook de zelf voorgestelde verbeteringen. De kosten-batenanalyses van iedere verbetering worden opgesteld op basis van offertes en berekende winsten.

Uit de studie blijkt dat schuimvorming onvermijdelijk, maar afhankelijk van de operator is. Het vernieuwen van het leidingnetwerk lost de luchtinslag op, maar indien er na de vernieuwing nog luchtinslag is, kan dit opgelost worden met een ultrasone generator. Om het debiet nog verder te verhogen zou het volledige leidingnetwerk vernieuwd moeten worden. De dichtingen en de vaste pig van de huidige installaties zijn vernieuwd en weer operationeel. De overige leidingen kunnen zonder aanpassingen met *whirlwind pigging* gepigd worden, voor een vaste pig te gebruiken moeten de leidingen vernieuwd worden.

Abstract in English

Ecolab Tessenderlo has problems with the production of industrial cleaning agents. In this thesis shall specific for 1 product, Capital, the problems be listed and solutions be proposed. The first problem is foam forming in the mixer, resulting in a mix time longer than 4 hours. Secondly there's air in the products that slows the filling to less than 90 l/min. Lastly there's a problem with the pipe work in order that there's no 90 % product recuperation possible and the pump flow is lower than 50 m³/h.

To analyze the causes and effects of the problems different tests are accomplished: foam stability and light permeability tests, ultrasonic vibrations and pigging with compressed air. The present pipe work will be sketched, also the self-introduced improvements. The cost-benefit analysis of every improvement will be formulated based upon quotes and calculated returns.

The study shows that foam forming is inevitable, but dependent on the operator. The renewal of the pipe work solves the problem with air in the products, however if there's after the renewal still too much air, this can be solved with the use of an ultrasonic generator. To further increase the flow, the pipe work should be totally renewed. The seals and the pig are replaced and the installation is back operational. The remaining pipes can be pigged without any changes with whirlwind pigging, for using a normal pig the total pipe work must first be renewed.

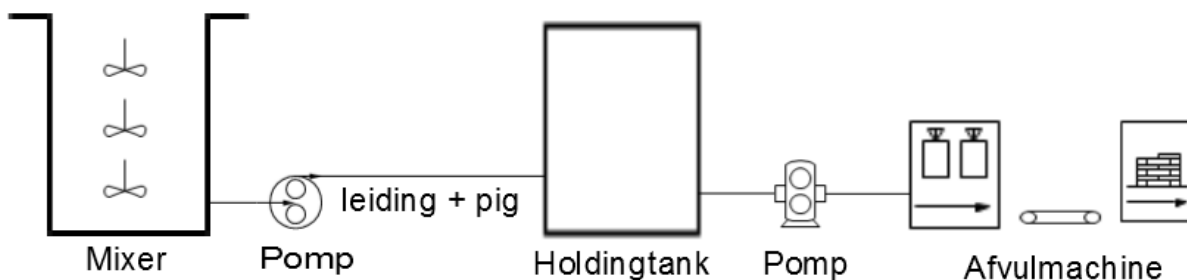
1 Inleiding

1.1 Situering

De masterproef situeert zich in de chemische sector, meer bepaald bij het bedrijf Ecolab te Tessenderlo. Dit bedrijf produceert professionele reinigingsproducten voor uiteenlopende doeleinden, gaande van het reinigen van fastfood keukens, via persoonlijke hygiëne tot het desinfecteren van operatiekwartieren.

Tijdens het productieproces gaat er op verschillende manieren product verloren of wordt er tijd verloren door *non-value added* activiteiten. Hiervoor worden er oplossingen gezocht in deze masterproef. Ecolab produceert honderden producten, maar hier wordt vooral gefocust op één van hun meest geproduceerde producten, namelijk Capital.

Het standaard productieproces is terug te vinden in Figuur 1. Ieder vloeibaar product komt tot stand door het mengen van verschillende grondstoffen in mengvaten. Vervolgens wordt dit product overgepompt naar een holdingtank. Afhankelijk van de bezettingsgraad van de afvulmachine, kan het product hier tijdelijk gestockeerd worden of meteen verder gepompt worden naar de afvulmachine. De instelbare afvulmachine vult het product uit de holdingtanks af in flessen die op hun beurt gestapeld worden op paletten.



Figuur 1: Productie proces

1.2 Probleemstelling /onderzoeksvraag

In deze masterproef worden er oplossingen gezocht voor verschillende problemen die optreden in bovenstaand productieproces. Ten eerste is er de vorming van oppervlakteschuim in de mixer. Ten tweede gebeurt het afvullen van de producten te

langzaam door luchtinslag aanwezig in het product en een problemen bij de afvulmachine. Tenslotte moet het leidingnetwerk tussen de mixer en de holdingtank aangepast worden zodat de tegendruk onder de 3 bar blijft bij het gewenste debiet en er betere productrecuperatie mogelijk is.

1.2.1 Oppervlakteschuim

Het oppervlakteschuim in de mixer zorgt ervoor dat de operator langer moet mengen om het product afgewerkt te krijgen. Dit schuim zorgt voor een minder goede samenstellingen waardoor een batch vaker moet worden bijgesteld. Dit alles genereert langere meentijden.

1.2.2 Afvullen

Bepaalde producten worden niet afgevuld binnen de gestelde norm van 9 flessen per minuut. Onder "afvullen" verstaat men het vullen van de flessen, de dop vastdraaien en de fles etiketteren. In het bedrijf worden verschillende afvullijnen gebruikt, maar deze masterproef concentreert zich vooral op de "can8-lijn". Op deze lijn worden producten gevoelig voor luchtinslag en oppervlakteschuim afgevuld. Het vullen van de flessen is op de can8-lijn de *bottleneck*.

De snelheid van het vullen wordt om verschillende redenen vertraagd. Het grootste probleem is wanneer de dichtheid van het product tijdens het mengen en transporteren zodanig daalt dat de benodigde massa niet meer in de fles past. Momenteel laat men in de ergste gevallen het geproduceerde product een aantal dagen in een holdingtank ontluichten zodat de dichtheid terug stijgt. Hierdoor daalt het aantal beschikbare holdingtanks, waardoor bepaalde afvulmachine op halve kracht draaien.

Een ander probleem ontstaat bij het afvullen van viskeuze producten. Het mechanische gedeelte van de afvulmachine werkt met verschillende afvulkoppen (zie Figuur 2). Wanneer de cadans te snel gezet wordt, lekken deze koppen en kan het gelekte product niet op tijd afgevoerd worden via de daarvoor voorzien lekkanalen. Hierdoor komt er product op de flessen terecht waardoor ze afgekeurd worden. Om dit te vermijden vertraagt de operator de afvulsnelheid.



Figuur 2: Afvulkop

1.2.3 Leidingnetwerk

Door historische redenen is de inrichting van het leidingnetwerk tussen de mixer en de holdingtank alles behalve efficiënt ingericht. De leidingdiameters zijn veel te klein om het gewenste debiet van 50 m³/h te halen aan de vooropgestelde werkingsdruk van 3 bar. Dit heeft als gevolg dat het overpompen van de producten aan een lager tempo gebeurt. Momenteel gebeurt dit aan een snelheid van 10 m³/h.

Na het verpompen van het product blijft er restproduct achter in de leidingen. Het leidingnetwerk beslaat gemiddeld 75 m. In de laatste 86 % van de leidingen is er een piginstallatie aanwezig, maar deze is echter defect. De pig zelf is versleten, net als de dichtingen, waardoor er product in de persluchtleidingen terecht komt. Dit zorgt voor vele problemen waardoor de piginstallatie niet meer gebruikt wordt. Bovendien zijn er slechts 3 leidingen uitgerust met een piginstallatie. Bij de overige leidingen probeert men zoveel mogelijk materiaal te recupereren d.m.v. het doorblazen met perslucht.

Momenteel wordt er perslucht doorheen de leidingen geblazen om zoveel mogelijk product te kunnen recupereren. Het overige product wordt na een spoeling met water opgevangen in een vat om eventueel bij een latere productie van hetzelfde product opnieuw als startgrondstof te gebruiken. Het recupereren van spoelwater is slechts voor een beperkt aantal producten toegelaten vanwege kwaliteitseisen. Dit zorgt echter voor extra opslag en extra werk bij de nieuwe productie.

De pompen vormen tenslotte het laatste probleem dat in deze masterproef wordt behandeld. De huidige tandwielpompen die het product moeten overpompen naar de buffervaten zijn versleten. Omwille van het zware, niet optimale gebruik van de pompen zijn de pomphuizen zodanig uitgesleten dat er weinig van de oorspronkelijke efficiëntie is overgebleven. Omwille van de slechte inrichting van het leidingnetwerk heeft dit nog geen uiting in het productieproces gehad, maar wanneer de leidingen vervangen worden, gaat dit wel het geval zijn.

1.3 Doelstellingen

Het moet mogelijk zijn om het oppervlakteschuim dat ontstaat tijdens de mixing van Capital te reduceren zodat de mixtijd onder de vooropgestelde 4 uur blijft.

Het moet mogelijk zijn om het product Capital dat op de can8-lijn afgevuld wordt, meteen na het mixen af te vullen aan een gemiddeld tempo van negen 10-literflessen per minuut zonder dat het product opwarmt boven de 30 °C.

Er moet een kosten-baten analyse uitgevoerd zijn om 90 % van het achtergebleven product in de leiding te recupereren. Dit gerecupereerd product moet meteen afvulbaar zijn en de leiding moet tijdens het proces gereinigd worden.

Er moet een kosten-baten analyse uitgevoerd zijn voor een nieuw en beter leidingnetwerk met bijhorende pompen. Deze combinatie moet een debiet van 50 m³/h toestaan voor producten met een viscositeit tot 3000 mPas zonder dat het product opwarmt boven 30 °C.

1.4 Materiaal en methode

1.4.1 Oppervlakteschuim

Ieder mengvat in de productiehal is uitgerust met een alcoholbuis. Deze buis loopt tot helemaal onderaan en is voorzien om licht ontvlambare grondstoffen onder het vloeistof niveau toe te dienen. Wanneer deze buis altijd gebruikt wordt om de producten toe te voegen, kan de hoeveelheid oppervlakteschuim misschien teruggeschroefd worden.

De procesinstructies vertellen de operator hoe ieder product gemixt dient te worden. Door deze onder de loep te nemen en schuimbevorderende producten als laatste toe te voegen, kan dit ook vermeden worden.

De roerder van iedere mixer heeft op drie hoogtes mengschoppen staan. Wanneer het vloeistofniveau ongeveer op één van deze hoogtes komt, stijgt de productie van oppervlakteschuim. Door de roersnelheid op die momenten te verlagen, kan de schuimvorming verminderd worden.

1.4.2 Afvullen

In eerste instantie worden er oplossingen gezocht om de hoeveelheid luchtinslag in het eindproduct te verminderen. Aan de samenstelling van de producten mag echter niet geraakt worden. Additieven die luchtinslag voorkomen, mogen dus niet gebruikt worden. De oorzaak van de luchtinslag wordt nog verder onderzocht.

Wanneer de alcoholbuis altijd gebruikt wordt, kan er geen bijkomende luchtinslag meer ontstaan, door het langs boven toedienen en laten vallen van de te mengen grondstoffen in de menger.

Volgens Ultrasonic Degassing and Defoaming of Liquids worden ultrasone trillingen gebruikt voor het ontluchten van vloeistoffen. Er zijn echter verschillende parameters die een invloed hebben: de frequentie en de amplitude van de trilling, bepaald door het vermogen, en het interval dat de trilling gegenereerd. Er bestaan twee gebruikelijke manieren om ultrasone trillingen toe te passen: in batchmode en in doorstroom modus (Peshkovsky, z.d.). Batchmode wil zeggen dat de ultrasone emitter rechtstreeks in een reservoir met vloeistof geplaatst wordt en de doorstroom modus maakt gebruik van een doorstroomcel waarin de emitter bevestigd wordt, terwijl de vloeistof via een pomp wordt rondgecirculeerd. Beide installaties worden in het labo uitgetest en dit bij verschillende parameterinstellingen.

1.4.3 Leidingnetwerk

Het huidige en de nieuwe leidingnetwerken worden uitgetekend in PTC Creo om zo een duidelijke driedimensionale weergave van de verbeteringen te tonen. De voordelen en

eventuele nadelen van ieder netwerk worden met elkaar vergeleken om zo het meest ideale netwerk te kunnen selecteren.

Om de recuperatie van product in de leidingen te verbeteren, wordt er een nieuwe pig besteld en alle dichtingen van de installatie worden vervangen. Hierna wordt gekeken of de problemen met de pigging installatie opgelost zijn. De mogelijkheden om een andere piggingtechniek, zoals ice-pigging, op de overige leidingen toe te passen, worden nog nader bekeken.

2 Corpus

2.1 Testen

Dit hoofdstuk behandelt alle testen die vooraf gaan aan de werkelijke uitvoering van de thesis. De resultaten van deze proeven bepalen de richting waarin de thesis vordert en welke onderdelen dieper behandeld dienen te worden.

2.1.1 Bepaling schuimvorming, -stabiliteit en schuimduur

2.1.1.1 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin de schuimvorming en aanwezigheidsduur van het schuim op te meten voor de 50 meest geproduceerde producten. Het eerste deel van de proef bestaat uit het vervolledigen van de Excellijst, die ter beschikking werd gesteld. In deze lijst zijn alle producten opgenomen die getest zijn door het labo op schuimvorming. De producten worden ingedeeld in groepen sterk-, zwak- en niet schuimend. Deze lijst is echter niet volledig en dient eerst verder aangevuld te worden. Het tweede gedeelte van de proef bestaat uit het bepalen van de aanwezigheidsduur en stabiliteit van het oppervlakte schuim.

2.1.1.2 Proefopstelling

Voor deze proef werd enkel gebruik gemaakt van een afsluitbare maatkolf en 20 ml van ieder te testen product. De afsluitbare maatkolf wordt gevuld met 20 ml van het te testen product en vervolgens 50 keer over een hoek van 180° geroteerd. Dit met een snelheid van 1 volledige zwenkslag per seconde. Hierna wordt het schuimniveau in ml opgemeten in functie van de tijd.

2.1.1.3 Resultaten

De schuimhoeveelheid in functie van de tijd wordt voor iedere product bepaald en is weergegeven in de figuren terug te vinden in bijlage A. Sommige van de 50 geteste producten, vertoonden geen schuimvorming en zijn bijgevolg ook niet opgenomen in de bijlage.

2.1.1.4 Conclusie

Uit de resultaten van de 50 geteste producten zijn er 15 producten afgezonderd waarbij de schuimhoeveelheid en aanwezigheidsduur van het schuim problematisch kunnen zijn in het productieproces. Deze selectie is gebaseerd op producten waarbij de schuimlaag na 15 minuten nog steeds aanwezig is. De geselecteerde producten zijn te zien in Tabel 1. Deze worden op een cryptische wijze voorgesteld om de vertrouwelijkheid te garanderen.

Tabel 1: Problematische producten

14/213	21/295	22/307	36/496	4/73	22/31
36/507	26/378	2/38	22/316	26/365	31/430
27/386	36/497				

De hierboven geselecteerde producten kunnen verder opgedeeld worden in twee groepen op basis van het schuimvolume. De eerste groep zijn de producten waarbij de schuimhoeveelheid min of meer constant blijft in functie van de tijd. Deze producten zijn te zien in Tabel 2.

Tabel 2: Constant schuimvolume

21/295	36/496	22/316	27/386
--------	--------	--------	--------

De tweede groep zijn de producten waarbij de schuimhoeveelheid na een bepaalde tijd sterk afneemt en daarna lange tijd een constant volume aanhoudt. Dit is visueel zichtbaar door het imploderen van grote gedeeltes van het schuim. Deze producten bevinden zich in Tabel 3.

Tabel 3: Imploderend schuimvolume

2/38	22/307	4/73	22/311	14/213	26/378
26/365	31/430	36/497	36/507		

Een zeer opmerkelijk feit na deze proef is dat het probleemproduct Capital (36/496) niet binnen de selectie van problematische producten valt. Uit nader onderzoek blijkt dat het onderzochte volume, 20 ml, te klein was om problemen met dit product op te merken. Wanneer bovenstaande test herhaald wordt met een groter testvolume ontstaat er geen oppervlakte schuim, maar wel een hoeveelheid luchtinslag. Dit was het geval bij alle producten met een hoge viscositeit.

2.1.2 Testen ultrasone generator UP200S

2.1.2.1 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin te onderzoeken of ultrasone generatoren geschikt zijn voor het verminderen en/of verwijderen van luchtinslag. Bijkomend wordt gekeken of de ultrasone technologie ook gebruikt kan worden voor het verwijderen van het oppervlakte schuim.

2.1.2.2 Proefopstelling

Voor deze proef wordt gebruik gemaakt van de ultrasone generator UP200S van Hielscher. Dit toestel wordt geleverd met verwisselbare sonotrodes, in dit geval enkel de sonotrodes met diameter 12 mm en 40 mm. Iedere sonotrode heeft een ander vermogen dat overgebracht kan worden, zo kan de sonotrode met diameter 12 mm een vermogen overbrengen van 105 W/cm². Terwijl de andere sonotrode met diameter 40 mm slechts een vermogen van 12 W/cm² kan overbrengen. Deze generator wordt aan een verticaal statief bevestigd, zodanig dat de hoogte van de sonotrode boven en in de vloeistof aangepast kan worden. Verder wordt ook een maatbeker (1000 ml) en een bovenroerder gebruikt.

Als testproduct wordt er Kay AMH Hand Wash gebruikt. Bij dit type handzeep ontstaat er zeer gemakkelijk een grote hoeveelheid luchtinslag, omwille van de hoge viscositeit van het product. De maatbeker wordt met 500 ml testproduct gevuld en vervolgens opgeroerd met behulp van de bovenroerder en dit gedurende 30 seconden.

Voor het verwijderen van de luchtinslag wordt er gebruik gemaakt van de grootste sonotrode, met een diameter van 40 mm. Deze sonotrode wordt vervolgens met behulp van het statief 20 mm ondergedompeld in de vloeistof. Hierna worden de verschillende metingen uitgevoerd, dit door telkens te variëren met de amplitudes en cycles.

Voor het tweede deel van de proef, het verwijderen van het oppervlakte schuim, wordt de sonotrode 10 à 15 mm boven het vloeistofoppervlak geplaatst. Deze werkwijze wordt niet aangeraden door Hielscher aangezien de sonotrode veel warmte ontwikkelt en deze gekoeld dient te worden door de vloeistof. Vandaar dat tijdens deze proef de temperatuur sterk in de gaten wordt gehouden en met de nodige tussenposes wordt getest. Zodat de sonotrode voldoende tijd heeft om af te koelen.

2.1.2.3 Resultaten

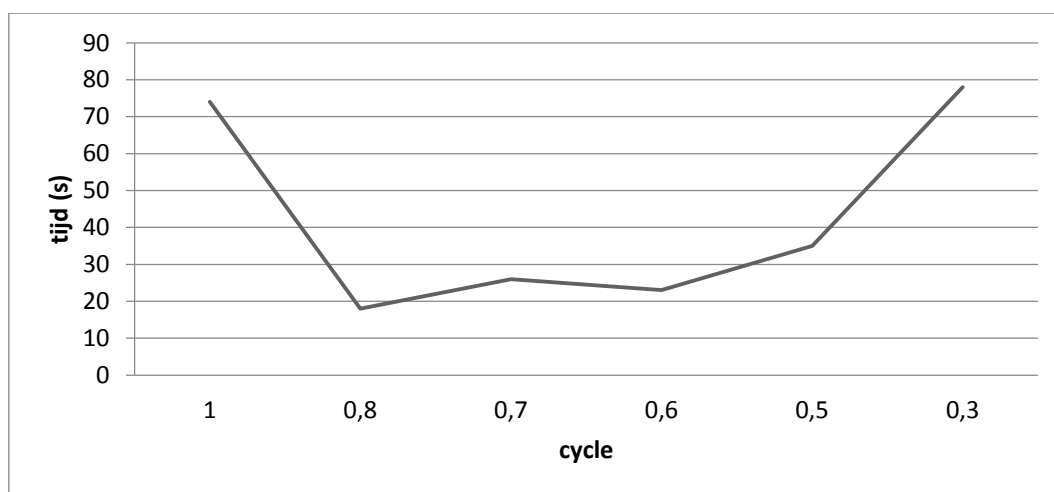
Luchtinslag

De resultaten van het eerste gedeelte van de proef, het verwijderen van de luchtinslag zijn in Tabel 4 terug te vinden. De tabel toont de opgemeten tijdsduur, nodig voor het ontlichten van het product Kay AMH Handwash bij een bepaalde cycle en amplitude van de ultrasone generator. Er wordt na iedere meting nieuw product gebruikt zodat de resultaten niet beïnvloed worden door eerdere metingen.

Tabel 4: Resultaten UP200S Kay AMH Handwash

Cycle (0 - 1)	Amplitude(20 - 100 %)	Tijd (s)
1	100	74
0,8	100	18
0,7	100	26
0,6	100	23
0,5	100	35
0,3	100	78
0,7	70	40

Figuur 3 toont de benodigde ontlichtingstijd in functie van de cycle. De cycle is in feite de aanstuurtijd van de sonotrode, bij een cycle van 0,8 wordt de sonotrode gedurende 0,8 s aangestuurd en vervolgens 0,2 s niet aangestuurd. Deze grafiek toont ook dat bij een cycle van 0,8 de ontlichtingstijd minder dan 20 s bedraagt. De puls mode wordt echter enkel gebruikt op de kleinere laboschaal ontlichters. De varianten met een groter vermogen werken enkel continu (Peshkovsky, z.d.).



Figuur 3: Tijd in functie van de cycle UP200S

Oppervlakteschuim

Voor het tweede gedeelte van de proef, het verwijderen van het oppervlakte schuim, wordt de sonotrode ongeveer 10 à 15 mm boven het schuimoppervlak geplaatst. Hierdoor is visueel waar te nemen dat het schuim net onder de sonotrode een pulserende beweging maakt, maar deze is onvoldoende krachtig om het schuim ook effectief af te breken.

Nadat de ultrasone generator uitgerust werd met de kleinere sonotrode met diameter 12 mm werd deze proef herhaald. Met deze sonotrode wordt het schuim wel degelijk afgebroken, maar slechts in een beperkt blootstellingsgebied. Om het schuim over het volledige oppervlak van de maatbeker te verwijderen moet deze constant verschoven worden.

2.1.2.4 Conclusie

Luchtinslag

Bij een cycle van 0,8 en een amplitude van 100 %, duurt het slechts 18 s alvorens de luchtinslag verwijderd is uit 500 ml Kay AMH Hand Wash. Bij andere combinaties van cycle en amplitudes duurt dit langer. De tijdsduur wordt ook sterk bepaald door de grootte van het contactoppervlak tussen de vloeistof en de sonotrode. Naarmate dit groter wordt versnelt het ontluichtingsproces. Dit is visueel ook waar te nemen, wanneer de ultrasone generator uitgerust wordt met de kleinere sonotrode, vindt er slechts zeer lokaal ontluichting plaats.

Oppervlakteschuim

Initieel lijkt het of dit toestel onvoldoende krachtig is om het oppervlakte schuim ook daadwerkelijk af te breken. De oorzaak hiervan kan terug te vinden zijn in het overgebrachte vermogen per oppervlakte-eenheid. Deze grootte is echter afhankelijk van het gebruikte type sonotrode. Wanneer de ultrasone generator uitgerust is met de kleinere sonotrode van 12 mm is het overgebrachte vermogen wel groot genoeg om het schuim af te breken. Hierbij viel op te merken dat enkel het schuim recht onder het geprojecteerde oppervlak van de sonotrode afbreekt. Bovendien ontstaat er een secundair schuim, eerder een dichte mousse laag van slechts enkel millimeter dik die niet verwijderd kan worden met behulp van de ultrasone generator.

2.1.3 Testen LSP-500-Laboratory-scale ultrasonic liquid processor

2.1.3.1 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin om na te gaan met welke debiet het product doorheen een flowcell gepompt kan worden en welk vermogen hiervoor nodig is om de hoeveelheid luchtinslag te verminderen tot een aanvaardbaar niveau. Aanvaardbaar wil zeggen dat de hoeveelheid luchtinslag zodanig is verminderd dat men 10 kg product kan afvullen in flessen met een maximale inhoud van 10,7 l. Dit afvullen moet bovendien gebeuren met een gemiddelde snelheid van 9 flessen per minuut.

Deze proef wordt uitgevoerd naar aanleiding van de goede resultaten die bekomen zijn in Testen ultrasone generator UP200S. Het gebruikte toestel was beperkt in vermogen (theoretisch 200 W) en kon uitsluitend toegepast worden op producten in batchvorm.

2.1.3.2 Proefopstelling

Voor deze proef wordt gebruik gemaakt van een ultrasone generator voorzien van bijhorende sonotrode met een diameter van 21 mm. Deze sonotrode trilt met een frequentie van 20 kHz. Bijhorende ultrasone generator laat toe om de amplitude aan te passen en zodoende het vermogen te variëren. Extra informatie over dit toestel is terug te vinden in bijlage B. Om product in de flowcell te pompen wordt gebruik gemaakt van een peristaltische pomp, meer bepaald een Watson Marlow 302S. Deze pomp heeft een regelbaar debiet waardoor de invloed van de LSP 500 bij verschillende debieten getest kan worden. Figuur 4 toont de proefopstelling.

Het gebruikte testproduct is Capital. Om luchtinslag te creëren, wordt er gebruik gemaakt van een regelbare bovenroerder in combinatie met een roerwerk met ronde bladen vervaardigd uit PP. De bladen zijn beweegbaar opgesteld en komen horizontaal tijdens het roteren. Details van de gebruikte bovenroerder en roerwerk zijn terug te vinden in bijlage B.



Figuur 4: Proefopstelling LSP – 500 W van Sonomechanics

2.1.3.3 Metingen

Pompdebiet

Allereerst worden verschillende pompdebieten bepaald, bij enkele procentuele instellingswaarden van de pomp. Dit is noodzakelijk aangezien het debiet van de pomp enkel procentueel ingesteld kan worden. Dit wordt opgemeten door te timen hoelang de pomp moet draaien alvorens deze 100 ml product heeft overgepompt. De bevindingen zijn terug te vinden in Tabel 5. Op basis van deze gegevens kan dan het debiet bij de overeenkomstige procentuele instelwaarde bepaald worden.

Tabel 5: Pomp debiet Watson Marlow 302S

Ingesteld percentage	tijd (s)	verpompte hoeveelheid (ml)	debiet (ml/s)
25	30,36	100	3,29
25	31,90	100	3,13
60	19,06	100	5,24
100	14,75	100	6,77

Sonotrode

De testen bestaan uit een reeks van verschillende combinaties van pompdebieten en amplitudes. Hieruit kan dan de ideale combinatie geselecteerd worden, waarbij de luchtinslag afneemt tot onder het aanvaardbaar niveau.

Om de hoeveelheid luchtinslag voor en na de doorstroomcel te bepalen is er gebruik gemaakt van de samendrukbaarheid van lucht. Door steeds éénzelfde hoeveelheid product (Tabel 6 kolom 7) samen te drukken kan de volumeverandering, door het comprimeren van de lucht afgelezen worden. Deze samendrukbaarheidstest wordt uitgevoerd op product voor en na de doorstroomcel, zoals te zien is in Tabel 6 kolom 5.

De eerste meting in de tabel is een nulmeting, hierbij wordt de samendrukbaarheidstest uitgevoerd op product dat geen tot zeer weinig luchtinslag bevat. De samendrukbaarheid bedraagt slechts 0,50 ml. De andere resultaten moeten dus een meetwaarden bekomen die rond de 0,50 ml ligt. Aangezien dit samendrukbaarheidsvolume binnen de aanvaardbare grenzen ligt.

Vanaf test 2 wordt telkens nieuw product met een bovenroerder opgeroerd totdat het samendrukbaarheidsvolume groter of gelijk is aan 1,5 ml. Dit zodat het te testen product steeds eenzelfde hoeveelheid luchtinslag bevat die boven het aanvaardbaarheidsniveau ligt. Vervolgens wordt dit product doorheen de doorstroomcel gepompt. Deze test wordt 12 keer herhaald, iedere keer met een andere combinatie van pompdebiet en amplitude. Na iedere test wordt ook nieuw product gebruikt zodat er geen beïnvloeding mogelijk is. Enkel bij test 6 werd het product van test 5 opnieuw doorheen de doorstroomcel gepompt om zo de situatie van een *multipass* doorstroomcel te simuleren. Test 9 is een test die is uitgevoerd om de invloed van een peristaltische pomp op de luchtinslag te onderzoeken. Dit om na te gaan of een peristaltische pomp extra luchtinslag veroorzaakt.

Tabel 6: Meetresultaten LSP-500 Sonomechanics

Test	Amplitude (%)	Debiet (%)	Vermogen (Watt)	Samendrukbaarheid (ml)		Test Volume (ml)
				Voor	Na	
1	0	0	0	0,50	0,50	35,50
2	60	25	153	2,50	1,50	35,00
3	100	25	290	2,00	0,50	35,00
4	100	25	290	1,00	0,50	35,00
5	100	100	290	2,00	1,00	35,00
6	100	100	290	1,00	0,40	35,00
7	60	100	153	2,00	0,50	35,00
8	100	60	290	2,00	0,50	35,00
9	0	100	0	1,50	1,50	35,00
10	60	100	153	2,25	1,00	35,00
11	80	100	200	2,00	1,00	35,00
12	80	100	200	2,00	1,00	35,00
13	100	100	290	1,25	0,75	35,00
14	100	60	290	2,00	0,75	35,00

2.1.3.4 Conclusie

Uit bovenstaande meetresultaten valt af te leiden dat verschillende combinaties van pompdebieten en amplitudes leiden tot een samendrukbaarheidsvolume van 0,5 ml. Hierbij ligt de hoeveelheid luchtinslag binnen de aanvaardbaarheidsgrenzen. Algemeen kan men concluderen dat naarmate de verblijftijd van de vloeistof in de reactorkamer toeneemt, in combinatie met een hogere amplitude, de resultaten beter zijn. Grotere verblijftijden resulteren echter in lagere debieten, wat op zijn beurt resulteert in meerdere doorstroom reactor kamers in parallel met elkaar.

Op basis van de bekomen resultaten moet er nu een schaalvergroting uitgevoerd worden om na te gaan hoeveel doorstroom ultrasone generatoren van 3000 W parallel geplaatst moeten worden. Zodanig dat er aan een debiet van minimum 90 l/min ontlucht product naar de afvulmachine gepompt wordt.

2.1.4 Bepalen van luchtinslag via lichtdoorlaatbaarheid

2.1.4.1 Doel van de proef

Door het uitvoeren van deze proef kan er een luchtinslagschaal worden opgesteld. Zodanig dat de bekomen resultaten in 2.1.5 Luchtinslag doorheen productie proces hiermee vergeleken kunnen worden. De schaal is gebaseerd op het verband tussen de lichtdoorlaatbaarheid en luchtinslag.

2.1.4.2 Proefopstelling

Een 800 ml maatbeker wordt tot de helft gevuld met het testproduct Capital. Dit is tevens het product dat gebruikt wordt tijdens het opmeten van de luchtinslag in 2.1.5 Luchtinslag doorheen productie proces. De maatbeker wordt vervolgens gepositioneerd tussen enerzijds een laser en anderzijds een luxmeter.

Deze test wordt acht keer herhaald dit door telkens een staal te nemen van Capital met een andere hoeveelheid van luchtinslag. De luchtinslag wordt verkregen door de Capital met een bovenroerder op te roeren. Hierna wordt van ieder staal de lichtdoorlaatbaarheid opgemeten.

2.1.4.3 Meetresultaten

Tabel 7 toont de lichtdoorlaatbaarheid in functie van de mengtijd m.a.w. de aanwezige hoeveelheid luchtinslag.

Tabel 7: Lichtsterkte i.f.v. mengtijd

Tijd mixen (s)	Lichtsterkte (lux)
0	1099
10	757
20	495
30	505
60	312
90	179
120	170
150	164

2.1.4.4 Conclusie

Zoals te verwachten neemt de lichtdoorlaatbaarheid af naarmate de mengtijd, en dus ook de luchtinslag, toeneemt.

2.1.5 Luchtinslag doorheen productie proces

2.1.5.1 Doel van de proef

Om de exacte oorzaak van de luchtinslag te achterhalen, moet er eerst gekeken worden waar in het productie proces de luchtinslag ontstaat. Om dit te doen worden er stalen genomen in ieder deel van het productieproces.

Voorheen werd het probleem met de luchtinslag opgelost door het product een weekend in de holdingtank te laten uitzakken, alvorens het af te vullen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er na de holdingtanks geen luchtinslag meer in het product terecht komt.

De plaatsen waar er luchtinslag in het product kan komen zijn hierdoor beperkt tot:

- de mixer,
- de zuigleiding,
- de pomp,
- de persleiding.

2.1.5.2 Proefopstelling

De lichtdoorlaatbaarheid wordt op een identieke manier opgemeten als in de test 2.1.4 Bepalen van luchtinslag via lichtdoorlaatbaarheid. Hier wordt geen opgeroerde Capital getest, maar wel Capital rechtstreeks uit het productieproces.

2.1.5.3 Meetresultaten

Om verder uitsluitel te geven, zijn er stalen genomen uit de mixer en na de persleiding. Andere staalafnames waren niet mogelijk door de lasconstructie van de leidingen. In Tabel 8 is duidelijk te zien dat de lichtdoorlaatbaarheid in de mixer veel groter is, dan die na de persleiding. De mixer kan dus uitgesloten worden als oorzaak van de luchtinslag.

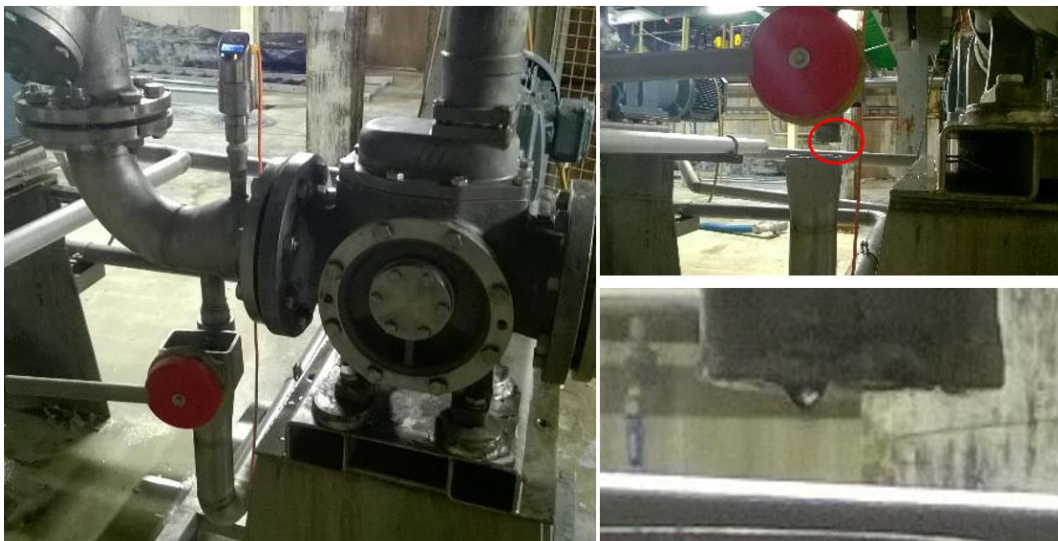
Tabel 8: Lichtintensiteit van staalafnames

staal	lichtintensiteit
Mixer	288
Mixer	276
Pers	79
Pers	160
Pers	127
Pers	170

2.1.5.4 Conclusie

Er kan nu met grote zekerheid gezegd worden dat de luchtinslag ontstaat tussen de mixer en de holdingtank. Omdat de pomp in dat gedeelte een grote rol speelt, wordt nagekeken of de pomp luchtinslag kan veroorzaken. Hiervoor is er contact opgenomen met een verantwoordelijke van “Verder pompen NV” Johan Berntzen. Hij vertelde dat een pomp op zich zelf geen luchtinslag creëert, maar dit wel onrechtstreeks kan doen. Een pomp zorgt voor een zekere onderdruk in de zuigleiding, wanneer er dan lekken zijn, kan er door combinatie met de onderdruk lucht via deze lekken aangezogen worden. In de persleiding na de pomp kan er echter onmogelijk luchtinslag ontstaan door de hogere druk die er daar heerst. Dit zou dan moeten resulteren in effectief productverlies door de lekken.

Met deze informatie werden de zuigleidingen nagekeken en er waren inderdaad verschillende lekken terug te vinden. Op Figuur 5 en Figuur 6 zijn de lekken in de zuigleiding zichtbaar. Op deze foto's is het zichtbaar hoe spoelwater in de kelder druipst.



Figuur 5: Lek zuigleiding mixer 17



Figuur 6: Lek flenskoppeling mixer - zuigleiding mixer 17

Met al deze informatie is eveneens ook de oorzaak van de luchtinslag gevonden: de lekken in de zuigleiding in combinatie met de onderdruk van de pomp. Deze zorgt ervoor dat de lucht vermengt wordt met het product.

2.1.6 Pompbezettingsgraad

2.1.6.1 Doel van de proef

Deze proef wordt uitgevoerd naar aanleiding van het gebruik van een pompencil in een vernieuwd kelderscenario. Om met zekerheid het aantal pompen te bepalen waarmee de pompencil moet uitgerust worden, wordt er gedurende een week bijgehouden welke pompen gedurende welke tijd gezamenlijk draaien. Op basis van deze resultaten kan de pompencil samengesteld worden.

2.1.6.2 Proefopstelling

Om de bezettingsgraad van de pompen op te meten werd een document opgemaakt dat samen met ieder mixorder aan de operator wordt overhandigd. Dit gedurende één week en enkel voor de mixers van area 2 en 4. Hierop moet de operator naast enkele basisgegevens opgeven wanneer hij start en stop met overpompen van het product (zie Figuur 7). Tijdens

het spoelen van de mengtanks wordt eveneens gebruik gemaakt van de pompen om het spoelwater af te voeren vandaar dat ook deze reinigingstijden genoteerd dienen te worden.

MIXER:.....		
Datum		
PO		
Hoeveelheid		
	Begintijd	Eindtijd
Overpompen: Tijd nodig om de mix naar een holdingtank over te pompen tot de mixer volledig leeg is.		
Reiniging: Tijd nodig om de menger te reinigen Reken de tijd tussen einde overpompen en begin reinigen NIET mee.		

Figuur 7: Pompbezettingsgraad

2.1.6.3 Resultaten

De gegevens van bovenstaand document Figuur 7 worden samengebracht in een Excel- file (Bijlage C), waaruit blijkt dat er slechts 4 pompen gelijktijdig in gebruik zijn.

2.2 Productieproces

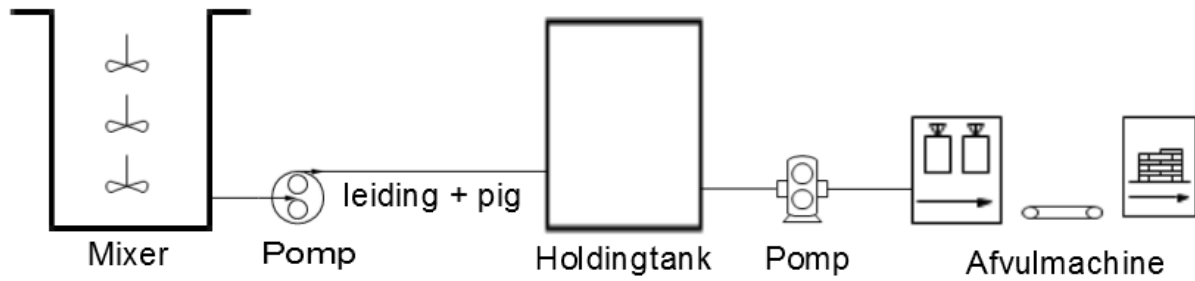
Ecolab Tessenderlo produceert voornamelijk vloeibare reinigingsproducten. Deze producten worden steeds geproduceerd in mengtanks met inhoud variërend van 4 tot 20 ton. In deze mengtanks worden de verschillende grondstoffen samengebracht. Hiertoe beschikt de operator over een *process instructions / observations* en een *productorder* document. Op het *process instructions / observations* document vindt de operator informatie terug zoals de voorverwarm temperatuur van de mengtank, roersnelheden van de mixer,... Het *productorder* omvat alle informatie over de gebruikte grondstoffen zoals de toe te voegen hoeveelheid, grondstofnummer, grondstoflocatie,... Enkele veelgebruikte producten zoals gedestilleerd water, natrium sulfaat,... worden via vaste leidingen, rechtstreeks in de mengtanks gepompt. De overige grondstoffen worden aangebracht via IBC- containers, die m.b.v. sinuspompen worden overgepompt in de mengtanks. Eenmaal alle grondstoffen toegevoegd zijn, wordt er een staal van deze mengtank naar het labo gestuurd. Dit om te controleren of het product aan alle strenge kwaliteitseisen voldoet. Indien dit niet het geval is, krijgt de operator de opdracht het product bij te stellen en opnieuw een staal binnen te brengen. Eenmaal de mengtank goedgekeurd wordt, mag deze worden overgepompt naar een beschikbare holdingtank van de gewenste afvulmachine.

Op basis van de verkregen informatie verbindt de mixerman, onder in de kelder, de pomp overeenstemmend met de mengtank met de correcte persleiding. Om deze schakelcombinatie mogelijk te maken is er in de kelder een schakelbord voorzien. Zo heeft men de mogelijkheid om vanuit iedere mixer te verpompen naar alle afvulstations.

Iedere afvulmachine beschikt over twee of meer holdingtanks waarin de afgewerkte producten, afkomstig van de mengtanks in verpompt worden. Afhankelijk van de beschikbaarheid van de afvulmachine kan dit afvullen gelijktijdig gebeuren met het overpompen vanuit de mengtanks. Indien de afvulmachine nog in gebruik is voor het afvullen van andere producten wordt de volledige mengtank overgepompt in een holdingtank. Eenmaal de afvulmachine beschikbaar is, gaat men over tot het afvullen.

Zoals reeds eerder vermeldt, is er tijdens deze masterproef voornamelijk gefocust op de can-8 lijn. Deze afvulmachine is uitgerust met een machine van PACK'R en vult 10 liter flessen in vier stappen af. Deze machine brengt ook de bijhorende doppen aan. Nadat de flessen voorzien zijn van etiketten worden deze m.b.v. een robot gestapeld op paletten. Vervolgens worden de volle paletten met een AGV naar een wikkelmachine getransporteerd, waar de paletten worden klaargemaakt voor transport.

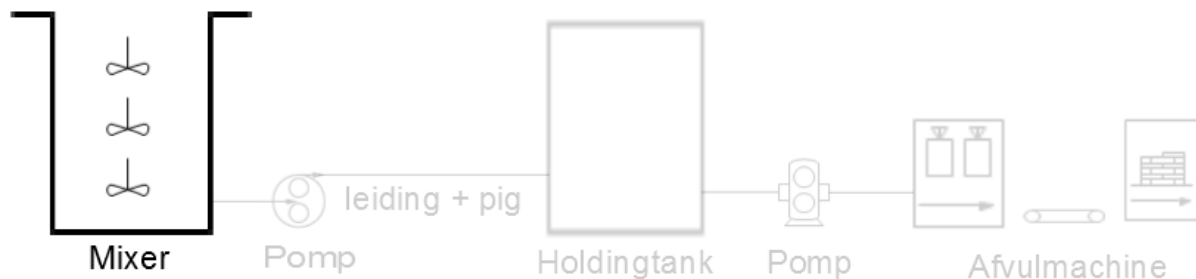
De hierop volgende hoofdstukken zullen dieper ingaan op hierboven beschreven onderdelen van het productieproces. Deze zijn eveneens zichtbaar in onderstaande Figuur 8. Er wordt telkens aangekaart wat de problemen zijn in combinatie met de voorgestelde oplossingen.



Figuur 8: Productieproces

2.3 Mixing

Dit hoofdstuk focust (zie Figuur 9) zich hoofdzakelijk op het mixing proces. Hierin worden enerzijds de huidige mixing als ook de verbetering toegelicht.



Figuur 9: Productieproces mixing

2.3.1 Huidig mengproces

Aanvankelijk was men er bij Ecolab van overtuigd dat de grote hoeveelheden oppervlakte schuim aanwezig tijdens het mengen problemen veroorzaakten tijdens het afvullen. Om dit zelf te controleren werd eerst onderzocht welke producten sterk schuimen. Hiervoor werd de test 2.1.1 Bepaling schuimvorming, -stabiliteit en schuimduur uitgevoerd. Bij deze test blijken 15 van de 50 meest geproduceerde producten mogelijk problematisch te zijn qua aanwezigheidsduur van het schuim. Opmerkelijk bij deze test is dat Capital niet behoort tot één van de 15 probleemproducten. Na het uitvoeren van bijkomende testen blijkt dat Capital erg onderhevig is aan luchtinslag. Door de enorme toenames van de luchtinslag daalt de dichtheid van het product enorm, waardoor er problemen ontstaan tijdens het afvullen

Om de ernst van het probleem te visualiseren werden de mixprocessen van enkele problematische producten volledig opgevolgd. Deze mixprocessen worden in de twee volgende delen gedetailleerd besproken.

2.3.1.1 Opvolging mixproces Topaz MD3 (36 /496)

Mengproces

Om de ernst van het schuimprobleem in kaart te brengen wordt het productieproces van een Topaz MD 3 (36 /496) opgevolgd. Dit is tevens één van 15 geselecteerde producten tijdens de

test Bepaling schuimvorming, -stabiliteit en schuimduur. Hierbij wordt bijgehouden bij welke parameters en grondstoftoediening de schuimontwikkeling sterk toe- en / of afneemt.

De eerste grondstof die wordt toegevoegd in dit productieproces is gedemineraliseerd water. Deze grondstof is afkomstig van een holdingtank en wordt rechtstreeks via de daarvoor voorziene leidingen in de mengtank gepompt. De operator kan deze grondstoffen toedienen via een menu op de PLC. Hierbij valt op dat de operator niet de voorschreven hoeveelheid toevoegt, maar 100 à 200 l minder. Dit verschil wordt op het einde van het productieproces gebruikt voor het reinigen van de sinuspomp en bijhorende leidingen. Andere grondstoffen zoals sodium sulfaat worden eveneens vanuit holdingtanks toegevoegd. Het toedienen van deze grondstof met hoog debiet in een reeds half afgewerkt product zorgt voor zeer veel vorming van oppervlakte schuim.

Het process instructions / Observations bevat geen concrete informatie over de roerwerksnelheden. Bij het toedienen van sommige grondstoffen wordt wel vermeld de roerwerksnelheid te verhogen zodat de grondstof beter en sneller oplost, maar er worden geen concrete snelheden vermeldt. Deze snelheden zijn m.a.w. vrij te kiezen door de operatoren die zich dan weer baseren op hun eigen kennis.

Regelmatig laat de operator het mengsel goed doorroeren, zonder andere grondstoffen toe te dienen. Hiervoor wordt de roerwerksnelheid verhoogt naar de maximale snelheid. De toename van de roerwerksnelheid heeft in dit geval een positief effect op de schuimhoeveelheid. Het schuim wordt namelijk naar het midden van de mengtank gezogen, waar het vervolgens in contact komt met de propeller en afbreekt. Hierdoor ontstaat er aan de randen een schuimvrije zone. Dit fenomeen stagneert op het moment dat er aan de randen een schuimvrije zone van circa 20 à 30 cm ontstaat zoals in Figuur 10 te zien is.



Figuur 10: Schuimvorming tijdens productie van Topaz MD 3

Nadat alle grondstoffen toegediend zijn worden de sinus pomp en de bijhorende leidingen gereinigd met het gedemineraliseerd water dat bij aanvang niet is toegevoegd. Eenmaal de pomp gereinigd is wordt de mengtank verder aangevuld met gedemineraliseerd water vanuit de holding tank totdat het streefgewicht bereikt is. Dit toedienen gebeurt weer met een hoog debiet wat resulteert in een grote toename in schuimvorming.

Conclusie

Uit deze opvolging kan besloten worden dat de manier van toedienen uiterst cruciaal is voor de schuimproductie. Het toedienen van grondstoffen met hoge debieten vanuit de holdingtanks heeft een negatieve invloed op de schuimhoeveelheid. Dit geldt voornamelijk voor de grondstoffen die worden toegevoegd nadat men de schuimboostende grondstoffen zoals laurylamine heeft toegevoegd.

2.3.1.2 Opmenging mixproces Capital

Mengproces

Aanvankelijk blijkt uit de test 2.1.1 Bepaling schuimvorming, -stabiliteit en schuimduur dat Capital niet tot de problematische afvulproducten behoort. In de praktijk blijkt dit echter één van de ergst af te vullen producten te zijn en wordt ook dit productieproces volledig opgevolgd.

De opvolging van deze Capital start met nog restschuim aanwezig van het mengen van de vorige Capital. Dit restschuim bedraagt slecht 8 kg zoals Figuur 11 toont.



Figuur 11: Restschuim Capital na het verpompen

Net zoals bij Topaz MD 3 begint men hier met het toevoegen van gedemineraliseerd water, eveneens vanuit een holdingtank die met een rechtstreekse leiding verbonden is met de mengtank. Door de aanwezigheid van het restschuim ontstaat er onmiddellijk een enorme hoeveelheid oppervlakteschuim zoals te zien is in onderstaande Figuur 12. Hierbij valt op te merken dat er zich een zeer dichte mousse vormt.

Als de operator de vijfde grondstof moet toevoegen vermeldt het process instructions / Observations document dat de roersnelheid verhoogt dient te worden. Dit omdat het te verpompen product zeer viskeus en klontervormig is. Tijdens het toevoegen van deze grondstof bevindt het vloeistofniveau zich echter ter hoogte van de tweede mengpropeller zoals in Figuur 12 te zien is. Hierdoor moet de operator de roersnelheid verlagen om extra schuimvorming tot een minimum te herleiden. Hier is dus duidelijk sprake van een contradictie waarbij enerzijds de roersnelheid moet toenemen om de grondstof beter op te lossen. Terwijl anders de roersnelheid verlaagd moet worden om extra schuimvorming te voorkomen. De operator lost dit op door de roersnelheid tijdelijk te verlagen totdat de tweede propeller volledig ondergedompeld is. Vervolgens wordt het overige gedeelte van deze vijfde grondstof toegevoegd met een hogere roersnelheid. Na het toevoegen van deze grondstof laat de operator de menger gedurende 15 min op maximum roteren.



Figuur 12: Opperolakteschuim na toevoeging gedemineraliseerd water

Vanaf het moment dat men de zevende grondstof toedient wordt Capital pas viskeus. De luchtinslag kan m.a.w. pas na en/of tijdens het toevoegen van deze grondstof in het product komen. Aangezien er na de zevende grondstof nog minder dan 50 kg grondstoffen moeten toegevoegd worden is dit weinig waarschijnlijk de oorzaak van de luchtinslag.

Conclusie

Door het toedienen van water en andere grondstoffen vanuit de holdingtanks rechtstreeks in de mengtanks heeft een zeer negatieve invloed op de schuimproductie. Zeker wanneer men start met restproduct van een vorige productiebatch.

Zeer belangrijk is ook de roersnelheid wanneer het vloeistofniveau zich op het zelfde niveau bevindt als de mengproppeller. Heel cruciaal is dan de snelheid voldoende te verlagen om de schuimproductie te verminderen. Dit is echter moeilijk wanneer de operator tegengestelde instructies krijgt. Een te lage roersnelheid resulteert in onopgelost product dat onmiddellijk na toevoegen naar de bodem zinkt en niet meer oplost. Dit is duidelijk zichtbaar op Figuur 11. Op deze figuur liggen er links tegen de rand, net voor de tegenroerder, onopgeloste grondstoffen. Dit is te wijten aan een te lage roerwerksnelheid tijdens het toevoegen van deze grondstof.

2.3.2 Verbeteringen en algemene opmerkingen mengproces

2.3.2.1 Oppervlakteschuim

Mixing procedure

Ieder product heeft zijn eigen mixing procedure, deze is vastgelegd door R&D. Deze mixing procedure mag niet aangepast worden. De volgorde van de toe te dienen grondstoffen mag dus niet omgewisseld worden.

Water toevoegen

Om schuimvorming tijdens toevoeging van grondstoffen vanuit de holdingtanks te verminderen zou men de toevoerdebieten kunnen verminderen. Dit is echter een complexe operatie aangezien iedere grondstofholdingtank uitgerust is met een niet regelbare pomp. Daarom worden alle grondstoftoevoerleidingen in de mengtanks voorzien van een bocht waardoor de vloeistofstraal tegen de wanden worden gericht. Hierdoor vallen de grondstoffen niet rechtstreeks in de mengtanks, maar glijden deze via de wanden van de mengtanks in de vloeistof. Dit levert een beperkte schuimreductie op. Dit is ook te merken wanneer er een tweede batch wordt gemaakt met het nog aanwezige restschuim van een vorige batch.

Roerwerksnelheid

Crucialer is echter het verlagen van de roersnelheid op het moment dat het vloeistofniveau zich op de propellerhoogte bevindt. Ondanks het feit dat dit in sommige gevallen voor contradicties zorgt, is dit wel vermeldt op het process instructions / Observations document.

2.3.2.2 Luchtinslag

Onder niveau toedienen

Om uit te sluiten dat de manier van toedienen invloed heeft op de hoeveelheid luchtinslag en oppervlakteschuim wordt er een volledige Capital geproduceerd door de grondstoffen onder niveau toe te dienen. Momenteel worden alle grondstoffen bovenaan de mengtank toegevoegd. De vloeibare grondstoffen worden m.b.v. een sinuspomp toegediend. Hierdoor vallen de grondstoffen tot wel 4 m naar beneden in de mengtanks. Initieel dacht men dat deze manier van toedienen oppervlakteschuim en luchtinslag veroorzaakten. Aanvankelijk

werd gepland gebruik te maken van een alcohol buis. Iedere mixer is namelijk uitgerust met een dergelijke buis om ontvlambare producten zoals alcoholen onder vloeistofniveau toe te dienen. De diameter van deze leiding is echter te klein voor de viskeuze producten die er door gepompt moeten worden. Bijkomend is deze leidingen uitgerust met een terugslagklep waardoor een gedeelte van de grondstoffen in deze leiding blijft zitten. Om dit toch te kunnen doen, is er een flexibele leiding gelegd tot onder het vloeistofniveau.

Conclusie

Uit deze test blijkt dat er geen verschil is in de hoeveelheid luchtinslag noch in de hoeveelheid oppervlakte schuim. Dit blijkt ook uit de Figuur 13 en Figuur 14, waarbij de eerste figuur het oppervlakteschuim toont na gewone toevoeging van de grondstoffen en de tweede figuur na toevoeging van de grondstoffen onder vloeistofniveau. Er kan m.a.w. geconcludeerd worden dat de manier van toedienen geen invloed heeft op de schuimproductie.



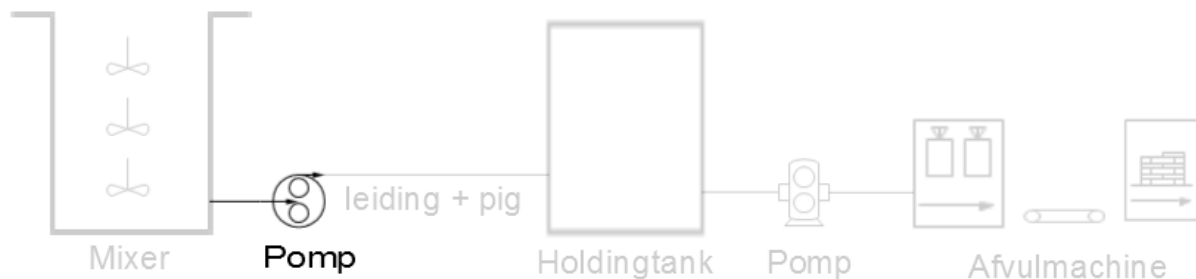
Figuur 13: Oppervlakteschuim na normale grondstoftoediening



Figuur 14: Opperolakteschuim na grondstoftoediening onder vloeistofniveau

2.4 Zuigleidingen en pompen

Dit hoofdstuk focust zich voornamelijk op problemen bij de zuigleidingconstructie (zie Figuur 15) en de pompen. Hierin worden tevens de voorgestelde verbeteringen vermeld.



Figuur 15: Productieproces zuigleidingen en pompen

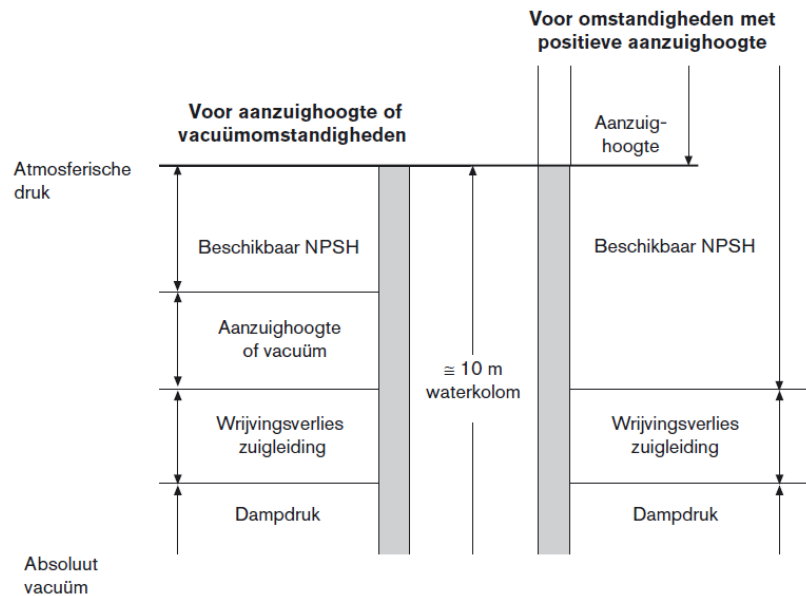
2.4.1 Problemen met de pompen en bijhorende zuigleidingen

In de gezamenlijke kelder van area 2- en 4, bevinden zich de zuigleidingen, tandwielpompen en het eerste gedeelte van de persleidingen. Momenteel zijn er in de huidige situatie verschillende minder efficiënte constructies aanwezig. Hierdoor is het maximaal haalbare debiet van de pompen ver beneden de beoogde 50 m³/h.

Om het debiet te verhogen moeten zowel de pompen als de persleidingen aangepast worden. In een leidingnetwerk zorgt iedere bocht, iedere meter leiding, ... voor een toename van de drukverliezen. Hierdoor zal de pomp een hogere druk moeten leveren om eenzelfde debiet te verpompen. Dit is echter niet mogelijk aangezien de pompdruk ingesteld is op een vaste waarde van 3 Bar. Dit betekent dat iedere bijkomende appendage een verlaging van het debiet te weeg brengt.

Uit de test 2.1.5 Luchtinslag doorheen productie proces is gebleken dat de zuigleiding in combinatie met de pompen aan de basis liggen van de luchtinslag. Het bijkomend aanpassen van de zuigleidingen is dan ook noodzakelijk. Bovendien zorgt iedere bocht en elke extra meter leiding in de zuigleiding voor een lagere NPSHa, *Net Positive Suction Head available*. Deze waarde is cruciaal om cavitatie te voorkomen. Cavitatie is het verschijnsel dat in de vloeistofstroom, luchtbelllen ontstaan omwille van de lage druk voor de pomp. Deze luchtbelllen imploderen vervolgens door de hoge druk in de pomp en creëren schokgolven die nefast zijn voor de pomp. De waarde van NPSHa wordt in deze masterproef bepaald

volgens Figuur 16. Doordat de pompen onder de mixers staan, moet de rechtse bepaling gebruikt worden. De NPSHa moet steeds groter zijn dan NPSHr, met de 'r' voor *required*, deze waarde wordt hier 1 meter gesteld.



Figuur 16: Vacuümtabel (Strälman, 2010)

In de volgende hoofdstukken worden de huidige en nieuwe situatie volledig toegelicht met bijhorende driedimensionale tekening gemaakt m.b.v. Creo. Er wordt telkens op de voor- en nadelen ingezoomd. Bij de nieuwe situaties worden er vergelijkende berekeningen gemaakt ten opzichte van de huidige situatie.

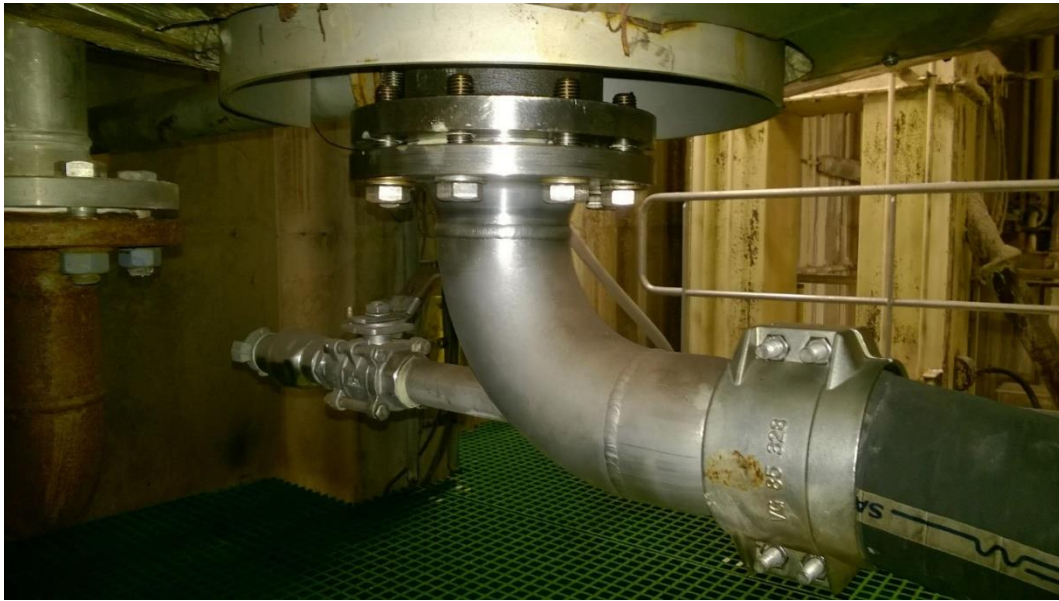
2.4.2 Huidige situatie

Zuigleidingen

De mixers zijn door middel van flenskoppelingen verbonden op het zuigleidingnetwerk bestaande uit ongegloeide lasbuizen 316L EN 10217-7. De flenskoppelingen van de mixer laten toe leidingen aan te sluiten met een buitendiameter tot 88,9 mm zoals te zien in Figuur 17. Dit is ook het geval voor nog twee andere mixers namelijk mixer 15 en 19. De overige mixers zijn aangesloten op een zuigleidingnetwerk met een buitendiameter van 73 mm.

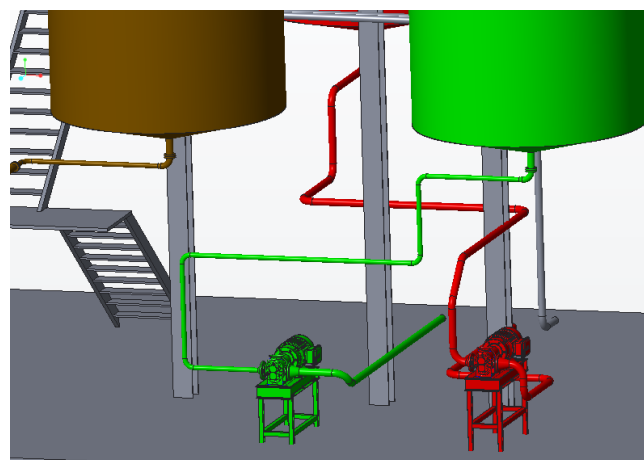
Verder is iedere zuigleiding uitgerust met een flexibele leidingen dit om eventuele trillingen van de mengtank en daarin bevestigde mixer te absorberen dit is eveneens gedeeltelijk zichtbaar in Figuur 17. Dit flexibel gedeelte beslaat slechts 1 m van het totale

zuigleidingen. Het overige gedeelte van dit leidingnetwerk is terug vervaardigd uit RVS.



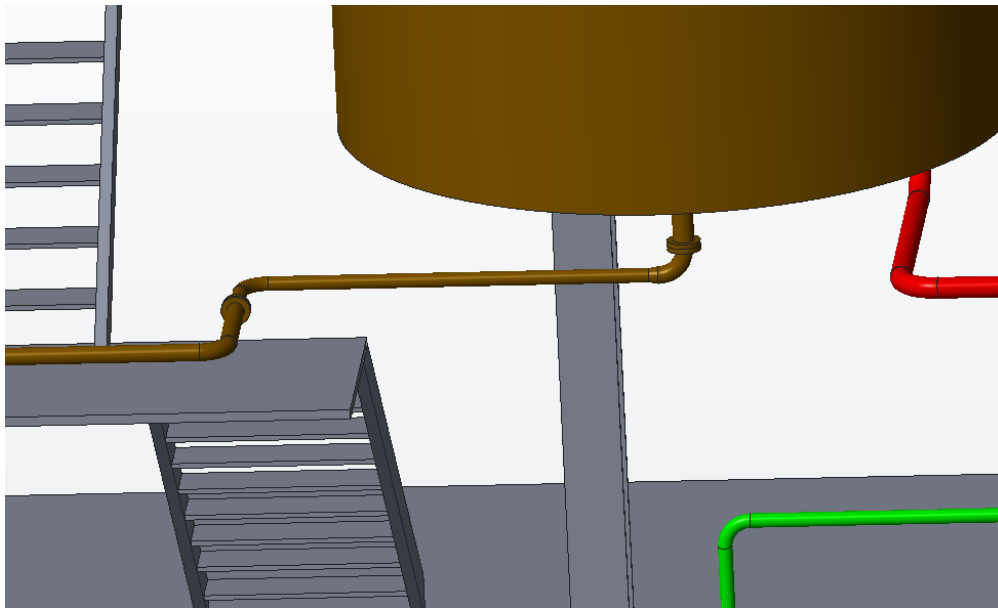
Figuur 17: Flensverbinding mixer 19

In dit gedeelte van het zuigleidingen-netwerk zijn er enkele zeer bizarre constructies ingesloten, waaronder het gebruik van onnodig veel bochten, diameter vernauwingen en verbredingen, onlogisch lange zuigleidingen, ... Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 18. Deze figuur geeft een mooi voorbeeld van zowel het gebruik van onnodig lange zuigleidingen als het gebruik van onnodig veel bochten. De groene mixer, mixer 18, staat recht boven de rode pomp. Toch is deze met 5 bochten van 90° verbonden met de linkse pomp. De rode mixer, mixer 19, staat in één vlak met de groene pomp, maar is via zeven bochten toch met de rechtse pomp verbonden.



Figuur 18: Zuigleidingen mixer 18 en 19

Onderstaande Figuur 19 toont de onderzijde en gedeeltelijke zuigleiding van mixer 17. Ook in dit leidinggedeelte zijn enkele opmerkelijke constructiefouten geslopen. Als eerste heeft deze mixer, zoals alle andere mixers een flenskoppeling om zuigleidingen aan te sluiten met een buitendiameter van 88,9 mm. Hier is echter een leiding met een buitendiameter 73 mm op aangesloten. Onmiddellijk na de eerste bocht van 90° is er een nog diameterreductie tot een buitendiameter van slechts 60 mm. Verderop in het leidingnetwerk is er een bijkomende flenskoppeling waarbij de buitendiameter terug vergroot tot een diameter van 73 mm.



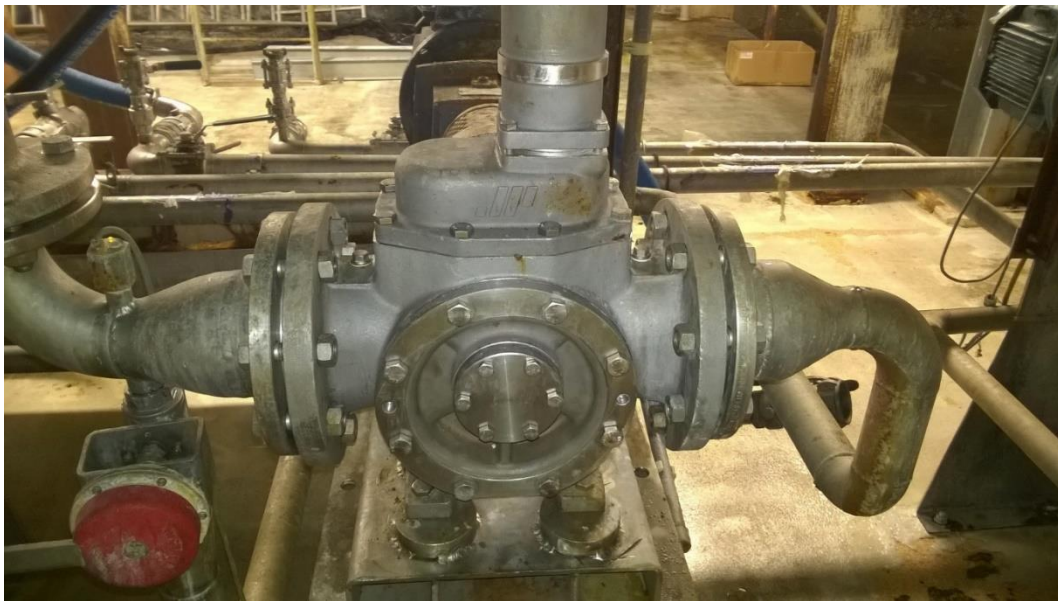
Figuur 19: Zuigleidingen mixer 17

Tandwielpompen

Momenteel is iedere mengtank uitgerust met zijn eigen *dedicated* pomp. Door gebruik te maken van deze opstellingen moeten er steeds tien werkende pompen aanwezig zijn. De huidige pompen zijn tandwielpompen TG GP 86 -100 van Johnson Pumps. Deze tandwielpomp levert bij een maximaal motortoerental van 960 tr/min een theoretisch debiet van 49.4 m³/h bij een Δp van 16 Bar. Zoals reeds eerder vermeldt zijn de pompen ingesteld op een maximale werkdruk van slechts 3 Bar. Hierdoor ligt het werkelijke debiet veel lager dan het theoretische debiet van 49,4 m³/h. Bovendien is dit debiet ook sterk afhankelijk van het te verpompen product. Enkele belangrijke factoren hierbij zijn de viscositeit en densiteit van de producten (Santema, 2015).

De TG GP 86 – 100 tandwielpompen bieden de mogelijkheid om leidingen met een binnendiameter van 150 mm via een flenskoppeling aan te sluiten. De huidige zuigleidingen

hebben echter slechts een buitendiameter van 73 mm en 88,9 mm. Deze zuigleidingen zijn met diameter vergrotende flensen gekoppeld aan de tandwielpompen, zoals in Figuur 20.

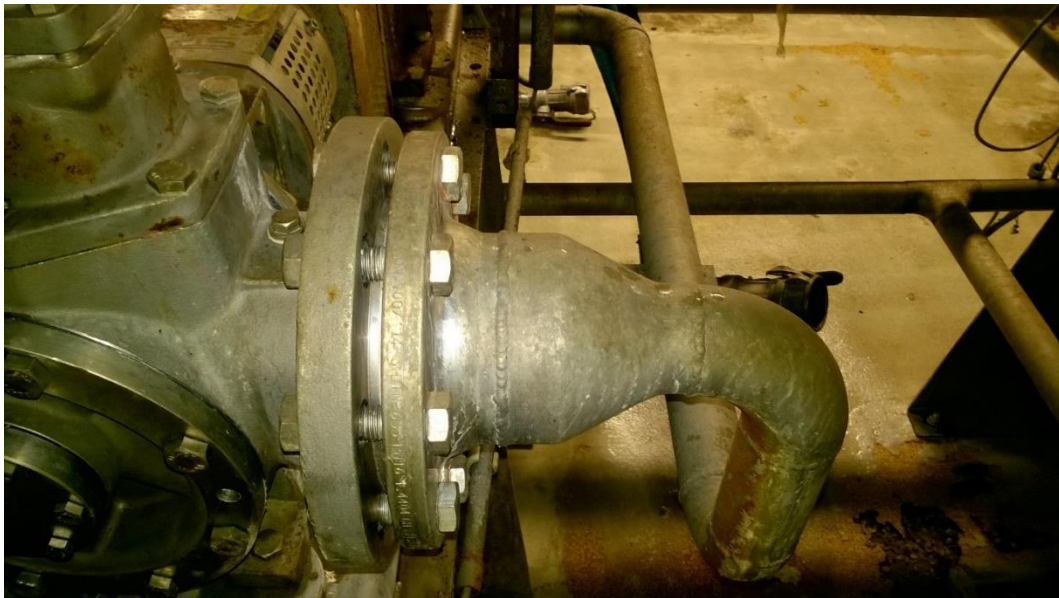


Figuur 20: Diametervernauwing pers- en zuigleiding

Door te werken met dedicated pompen voor iedere mixer is het uiterst noodzakelijk dat er steeds tien werkende pompen aanwezig zijn. Bovendien legt dit een sterke beperking op de flexibiliteit van de productie. Dit kan in sommige omstandigheden voor problemen zorgen. Zo moeten mengtanks waarin producten bestaande uit javel binnen de zes tot acht uur verpompt worden. Anders wordt de mengtank aangetast door de javel. Defecte pompen moeten onmiddellijk ter plaatste gemaakt worden. Indien dit echter niet mogelijk is, moet de pomp verwisseld worden door een werkend exemplaar. De huidige kelderinfrastructuur laat dergelijke snelle pompwissels echter niet toe. Dit doordat men door het plaatsen van een tussenplatform het takelsysteem buitenbedrijf heeft gesteld. Hierdoor kunnen de tandwielpompen niet meer in hun geheel verwisseld worden, maar moeten deze deels plaatselijke gedemonteerd worden.

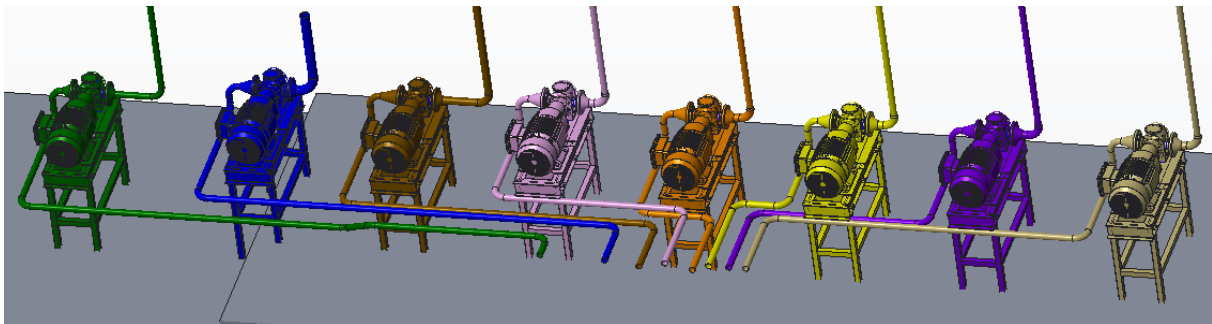
Persleidingen

Net zoals aan de zuigzijde van de pomp kan men aan de perszijde, leidingen aansluiten met een interne diameter van 150 mm. De persleidingen tussen de pomp en het koppelbord heeft echter slechts een buitendiameter van 60 mm. Ook hier heeft men een flens ingebouwd die een diameterreductie realiseert van 150 mm naar 60 mm zoals te zien in Figuur 21.



Figuur 21: Diameter vernauwing persleiding

Het overige persleidinggedeelte tussen de pomp en het koppelstation is volledig vervaardigd uit dezelfde ongegluoide 316L EN 10217-7 lasbuizen met buitendiameter 60 mm. Ook in dit leidinggedeelte zijn onnodig veel bochten ingebouwd zoals te zien in Figuur 22. Zo is er een minimum van 4 bochten in iedere leiding ingebouwd. Dit aantal loopt zelfs op tot 6 bochten. Dit terwijl men hetzelfde resultaat kan bereiken met maximaal 3 bochten per leiding te gebruiken.



Figuur 22: Persleiding pomp koppelbord mixing area 2

Zoals reeds eerder vermeld staan er in de kelder onder mixing area 2 en area 4 tien tandwielpompen. Acht daarvan staan onder mixing area 2 de overige tandwielpompen staan onder mixer area 4. De persleidingen van de acht tandwielpompen onder mixing area 2 komen samen aan een koppelstation zoals te zien in Figuur 23. Aan dit koppelstation moet de operator de juiste afvulmachine verbinden met de correcte pomp, hier heeft hij de keuze tussen 9 verschillende afvullijnen. Dit wordt mogelijk gemaakt door Kamvalok koppelingen

die op hun beurt verbonden zijn met flexibele leidingen die verderop in het persleidingnetwerk overgaan in RVS lasbuizen. De Kamvalok koppelingen zijn dry- break koppelingen die toelaten leidingen te koppelen en te ontkoppelen met een minimum aan productverlies.



Figuur 23: Koppelstation mixing area 2

Piginstallatie

Momenteel worden drie van de in totaal tien afvullijnen gepigd met een vaste pig. Deze piginstallatie werd geplaatst door Gillian & Co en is van Servinox. Daarvan bevinden er zich twee installatie onder mixing area 2 en één onder mixing area 4. De buitendiameter van de gepigde persleidingen bedraagt 88.9 mm. De overige leidingen worden enkel met lucht doorgeblazen, om op die manier zoveel mogelijk materiaal te recupereren als mogelijk. Deze persleidingen hebben een buitendiameter van slechts 73 mm.

Berekeningen

Het pompdebiet wordt bepaald door verschillende factoren: de viscositeit en de dichtheid van het product dat verpompt wordt en de pompdruk. De viscositeit en de dichtheid van het product zijn uiteraard product specifiek en zijn voor ieder product gekend. De pompdruk daarentegen is de druk die de pomp opwekt aan de perszijde, deze druk is afhankelijk van de totale drukval in het leidingnetwerk.

Doordat er geen manometer in de persleidingen geplaatst is, moet de pompdruk op een andere manier bepaald worden. Om de pompdruk te bepalen wordt het verband tussen pompdruk en totale drukval aangehaald. Het pompdebiet van een product, Kay lotion hand soap, wordt opgemeten, de viscositeit en dichtheid opgezocht in de productdatasheet.

De drukval daarentegen moet berekend worden en bestaat uit 3 componenten: drukval in de leiding, drukval door het hoogteverschil en drukval in de appendages. Om de drukval in de leiding te bepalen moet eerst het Reynolds getal bepaald worden. Dit kan via onderstaande formule met de reeds opgezochte gegevens:

$$Re = \frac{v \cdot L \cdot \rho}{\mu}$$

Met: v = Karakteristieke snelheid (in het geval van stroming door een buis is dit de doorsnede-gemiddelde stroomsnelheid) [m/s];

L = Karakteristieke lengte (in het geval van stroming door een buis is dit de diameter) [m];

ρ = dichtheid van het stromende medium [kg/m³];

μ = Dynamische viscositeit van het stromende medium [Pa·s].

Wanneer het Reynolds getal onder 2000 is en er dus sprake is van een laminaire stroming, kan de drukval in de leiding bepaald worden met de volgende formule:

$$\Delta P_{leiding} = f \cdot \rho \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2}$$

Met: ΔP = het drukverlies ten gevolge van wrijving [Pa];

f = de dimensieloze Darcy-wrijvingscoëfficiënt = $64/Re$;

ρ = de dichtheid van het fluïdum [kg·m⁻³];

L = de lengte van de leiding [m];

D = de hydraulische diameter van de leiding [m];

V = de gemiddelde stroomsnelheid [m·s⁻¹].

De drukval door het hoogteverschil wordt bepaald via:

$$\Delta P_{\text{hoogte}} = \rho \cdot g \cdot h$$

Met: ρ = de dichtheid van het fluïdum [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

h = totale hoogteverschil [m].

Het laatste luik van de drukval is het moeilijkst om te berekenen, dit is de drukval in de appendages. Iedere bocht, ventiel, klep, enz. zorgt voor een drukval. Deze drukval is echter sterk afhankelijk van het type appendage, het fluïdum dat erdoor gaat en aan welke snelheid. Doordat er van geen enkele appendage exacte gegevens bestaan, zijn er standaard waarden gebruikt voor ζ die gebruikt wordt in de formule:

$$\Delta P_{\text{appendage}} = \frac{1}{2} \cdot \zeta \cdot \rho \cdot V^2$$

Met: ζ = constante afhankelijk van type appendage;

ρ = de dichtheid van het fluïdum [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];

V = de gemiddelde stroomsnelheid [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Wanneer deze 3 drukvallen opgeteld worden, bekomt men de totale drukval. Voor het geteste product, Kay lotion hand soap, zijn nu alle gegevens gekend om de totale drukval te bepalen. Voor de omzetting van debiet naar snelheid is echter ook nog de inwendige diameter van het leidingnetwerk vereist. Om het ingewikkelder te maken zijn er in het leidingnetwerk 3 verschillende inwendige diameters nl. 0,078; 0,057 en 0,061 m. In Tabel 9 wordt de totale drukval bepaald via bovenstaande formules.

Tabel 9: Berekening totale drukval

Product	Kay lotion hand soap	Kay lotion hand soap	Kay lotion hand soap
Viscositeit [Pa*s]	1,1	1,1	1,1
Dichtheid [kg/m ³]	1040	1040	1040
Debiet [m ³ /h]	6,5	6,5	6,5
Inw. diameter [m]	0,078	0,057	0,061
Snelheid [m/s]	0,371	0,700	0,622
Re [/]	27,6	37,9	35,7
Lengte leiding [m]	64,5	4,35	5,6
$\Delta P_{leiding}$ [bar]	1,36	0,33	0,33
Hoogteverschil [m]	2	0	5
$\Delta P_{hoogteverschil}$ [bar]	0,20	0	0,51
$\Delta P_{appendages}$ [bar]	0,16		
Totale drukval [bar]	2,90		

De totale drukval in het leidingnetwerk om het product Kay lotion hand soap over te pompen aan 6,5 m³/h is 2,90 bar. De pompdruk is dus gelijk aan 2,90 bar. Op basis van dit gegeven en de gegevens die er reeds waren van het leidingnetwerk, kunnen er voorspellingen gedaan worden over het debiet van andere producten. Dit is bijzonder handig om te situatie voor te stellen voor nieuwe producten die men in de toekomst wil produceren zoals de emulsies, met nog meer belastende eigenschappen. Het voorspelde debiet voor Capital en de emulsies zijn in Tabel 10 voorgesteld. Het werkelijke debiet van Capital ligt tussen 10,5 en 11,2 m³/h, waardoor de voorspelde 10,8 m³/h binnen deze grenzen valt.

Tabel 10: Debiet voorspellingen

Product	Viscositeit [mPa*s]	Dichtheid [kg/m ³]	Pompdruk [bar]	Debiet [m ³ /h]	Tijd voor 20 m ³ [min]
Kay lotion hand soap	1100	1040	2,9	6,5	195
Capital	600	1045	2,9	10,8	111
Emulsies	2000	1029	2,9	3,8	316

Het voorspelde debiet voor de emulsies is slechts 3,8 m³/h, waardoor een batch van 20 m³ meer dan 5 uur zou duren eer het overgepompt is. Deze tijd is onaanvaardbaar, er wordt

zelfs niet eens 10 % van het vooropgestelde debiet van 50 m³/h gehaald. Er zijn dus dringend aanpassingen nodig.

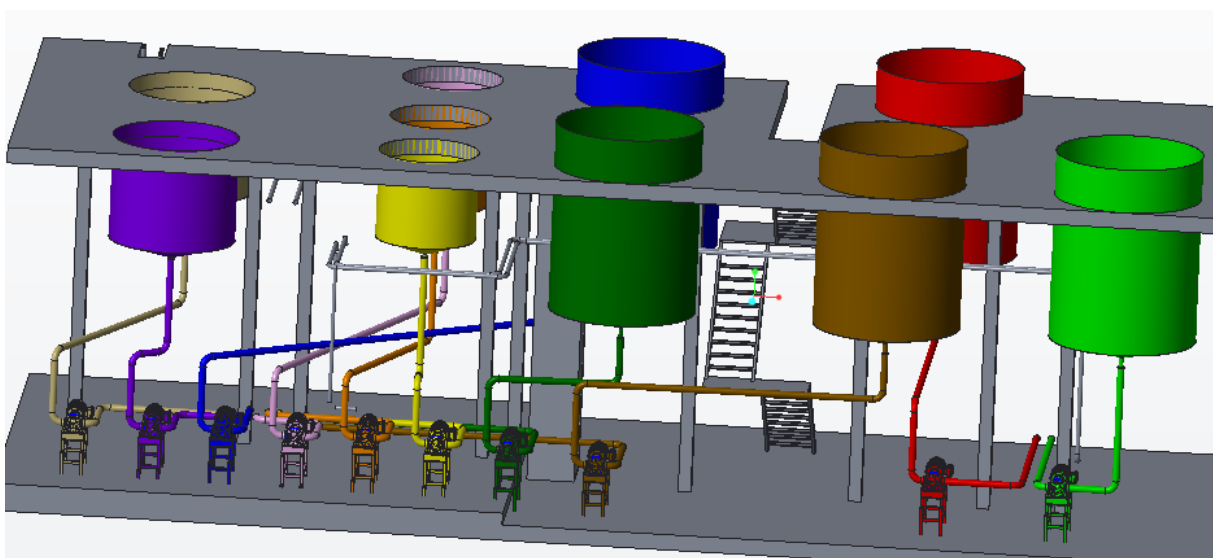
2.4.3 Verbeterde scenario's

2.4.3.1 Verbetering 1: Pompen op de huidige locatie

In dit scenario wordt enerzijds getracht alle negatieve constructies en restricties van de huidige situatie weg te werken terwijl anderzijds het aantal noodzakelijke ingrepen tot een minimum beperkt blijft.

Zuigleidingen

In dit scenario wordt het volledige zuigleidingen netwerk vereenvoudigd. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van 129 x 2 ongegloeide 316L EN10217-7 lasbuizen. Alle mixers worden zodanig met de pompen verbonden dat er slechts drie bochten per zuigleidingen noodzakelijk zijn. Ook worden de onnodig lange zuigleidingen sterk ingekort, zoals te zien is in Figuur 24. De rode en de groene mixer zijn in dit scenario wel met de logisch corresponderende pomp verbonden.



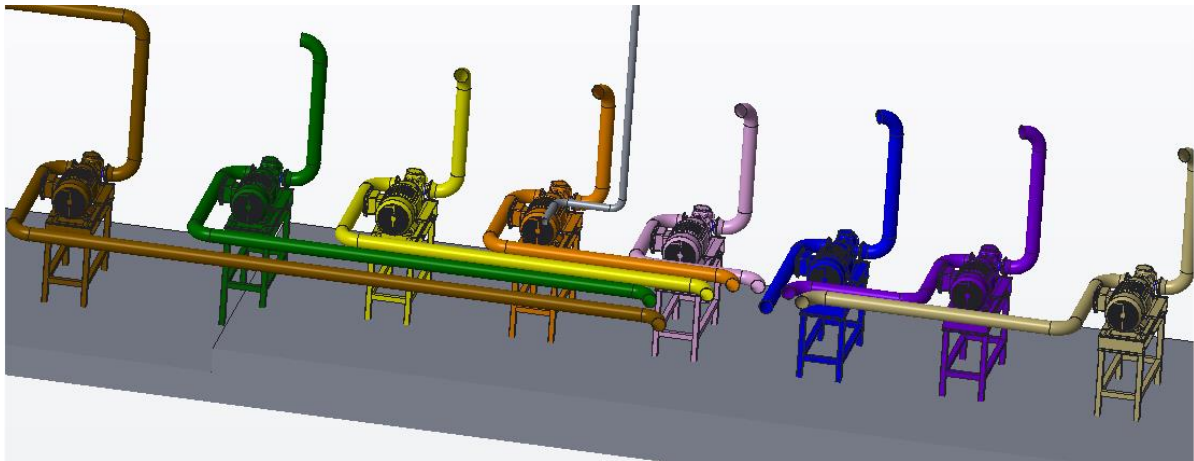
Figuur 24: Zuigleidingen verbeterd scenario

Pompen

Dit scenario is zodanig uitgewerkt dat de huidige pompen niet verwijderd moeten worden. Hierdoor worden de afbraakwerken beperkt tot het leidingnetwerk en ontloopt men de aankoopkost van tien nieuwe pompen. De huidige pompen moeten dan wel eerst onderworpen worden aan een grondige revisie. Op basis hiervan kan dan eventueel besloten worden niet reviseerbare pompen toch te vervangen door nieuwe exemplaren.

Persleidingen

De persleidingen worden eveneens uitgevoerd in lasbuizen met diameter 129 x 2 ongegloeid 316L EN10217-7. In Figuur 25 is duidelijk zichtbaar dat het persleidingnetwerk tussen de pomp en het koppelstation sterk vereenvoudigd is. Zo zijn het aantal bochten gereduceerd tot maximaal drie, in het best geval slechts één bocht van 90°.



Figuur 25: Persleidingen pomp – koppelbord

Piginstallatie

De piginstallatie blijft in dit scenario ongewijzigd. Dit wil zeggen dat drie leidingen gepigd worden met een vaste pig en de overige met lucht worden doorgeblazen. Als men in de toekomst het persleidingnetwerk aanpast kan men in de overige leidingen ook een vaste piginstallatie voorzien.

Bijkomende aanpassingen

Om het risico op cavitatie in de zuigleidingen tot een minimum te beperken zullen de flenskoppelingen voorzien aan de mengtanks vergroot moeten worden naar een diameter van 150 mm. De flenskoppelingen van de mengtanks zijn in de mengtanks verwerkt en zijn

zeer moeilijk bereikbaar zoals te zien is op Figuur 26. De werkbare ruimte bij de grote holdingtanks is 340 mm, daarvan wordt 285 mm in beslag genomen door de flens koppeling van 150 mm. Hierdoor zal het uiterst moeilijk worden om de flens koppelingen uitwendig te lassen.



Figuur 26: Vrije ruimte flens koppeling mengtank 20000L

Berekeningen

Doordat in deze situatie dezelfde pompen gebruikt worden, blijft de pompdruk ook gelijk aan 2,9 bar. De enige veranderingen die een invloed heeft op het pompdebiet is de verbreding van de persleidingen in het eerste gedeelte van de kelder naar 129x2 mm en het beperkt aantal bochten. De verbeteringen op het debiet zijn de zien in Tabel 11. Voor Capital zorgt dit voor een debietstijging van 11 %.

Tabel 11: Debietverbeteringen pompen huidige locatie

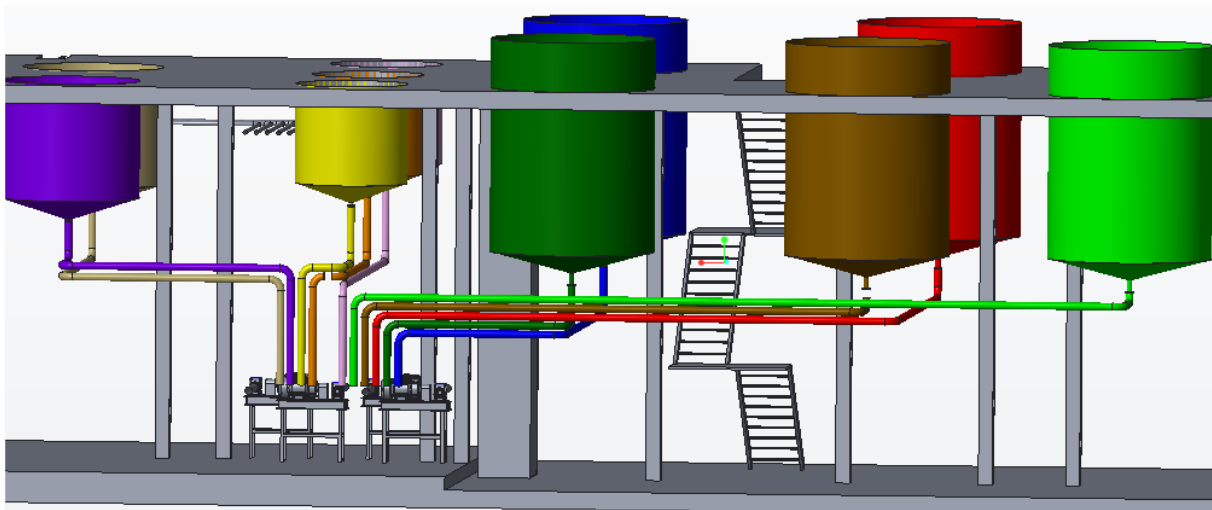
Product	Huidig	Verbeterd	Huidig-Verbeterd	
	Debiet (m ³ /h)	Debiet (m ³ /h)	Vershil (m ³ /h)	Percentage
Kay lotion hand soap	6,5	7,7	1,2	18%
Capital	10,8	12	1,2	11%
Emulsies	3,8	4,5	0,7	18%

2.4.3.2 Verbetering 2: Pompencil

Het doel van dit scenario is enerzijds een zo simplistische mogelijk kelder ontwerp met een maximale flexibiliteit. Dit wordt mogelijk gemaakt door gebruik te maken van een centrale cel bestaande uit 4 pompen. Deze pompencil laat toe iedere mengtank via een pomp in de pompencil over te pompen naar ieder afvulmachine.

Zuigleidingen

Ook in dit scenario wordt er gebruik gemaakt van de lasbuizen 129 x 2 ongegloeid 316L EN 10217-7. Deze worden met de bijhorende flenskoppelingen op iedere mixer gekoppeld. De zuigleidingen van zowel de mengtanks in mixing area 2 als de mengtanks in mixing area 4 lopen naar een centrale locatie in de kelder zoals te zien op Figuur 27. In dit ontwerp worden het aantal bochten beperkt tot drie per zuigleiding.



Figuur 27: Zuigleidingen pompencil

Iedere zuigleiding wordt verder voorzien van een aangepaste adapter waar men een smartkoppeling met *Selectivity Option* kan koppelen. Deze koppelingen hebben een identieke functie dan de huidige Kamvalok koppelingen. Deze koppelingen zijn bijkomende uitgerust met een *Selectivity Option* waardoor menselijke koppel fouten vermeden worden. Deze *Selectivity Option* werkt op basis van een RFID- tag, die ingebouwd is in de verschillende adapters. De smartkoppeling is uitgerust met een ontvanger en kan met andere woorden de informatie die op de RFID- tag van de adapter staat, aflezen. Deze informatie wordt op zijn beurt doorgestuurd naar de PLC van de mengtank.

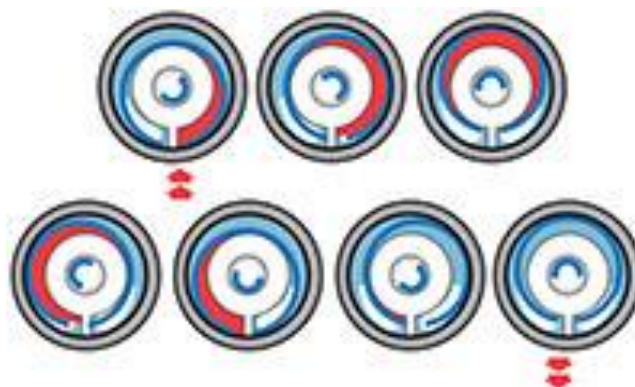
Wanneer de operator dan het pomppnummer ingeeft op de PLC, verifieerd de PLC of de correcte mengtank verbonden is met de correcte pomp. Indien dit niet het geval is, zal de PLC een foutmelding genereren.

Pompencil

De hierboven beschreven smart koppeling is verbonden op een flexibele leiding die op zijn beurt vast verbonden is met nieuwe pompen. Iedere pomp is m.a.w. uitgerust met een flexibele leiding voorzien van een smart koppeling. Hierdoor zijn er slechts vier flexibele leidingen noodzakelijk in plaats van tien, indien iedere zuigleiding voorzien moet worden van een flexibel.

De huidige TG GP 86- 100 tandwielpompen zullen in dit scenario op aanraden van Verder Pompen vervangen worden door excentrische discpompen van Movex. De tandwielpompen zijn goedkoper in aankoop, maar hebben een slechtere algemene efficiëntie. Dit is te wijten aan het afslijten van de tanden, wanneer deze in elkaar grijpen. Hierdoor is er een sterke afname van het volumetrische rendement (Cardon, 2013). Om deze rendementsdaling te compenseren zullen de tandwielpompen met een hogere snelheid moeten werken. Dit resulteert in een afname van de prestaties en betrouwbaarheid gepaard met een toename van werkings- en onderhoudskosten.

De excentrische discpomp is een type verdringerpomp, die bestaat uit een pompkamer met daarin een excentrisch bewegend pompelement. Afhankelijk van het type varieert dit van een platte schijf tot een conische cilinder,... Dit pompelement is op een excentrische as gemonteerd. Wanneer deze as roteert ontstaan er twee pompkamers in het pomphuis, die in volume toeneemt aan de inlaat en in volume afneemt aan de uitlaat. Deze opeenvolgende bewegingen, zuigen de vloeistof aan en duwen deze weg in de persleiding.



Figuur 28: Werking Movex excentrische discpomp (Cardon, 2013)

De pompencil bestaat uit vier excentrische discpompen die op de centrale locatie in de kelder gepositioneerd worden. Uit de studie 2.1.6 Pompbezettingsgraad is gebleken dat het maximaal aantal pompen dat gelijktijdig in gebruik is, vier bedraagt. Op basis van dit resultaat is de pompencil uitgerust met vier en eventueel één reserve pomp zodat bij een defect onmiddellijk overgeschakeld kan worden.

Persleidingen

De perszijde van de pompen zullen ook voorzien worden van de reeds hierboven beschreven adapters. Hierdoor kunnen de operatoren de reeds aanwezige flexibele persleidingen koppelen aan de pompen.

In een later stadia, wanneer het volledige leidingnetwerk aangepast wordt zullen ook de perszijden van de pompen uitgerust worden met vier flexibels met daarop vier smartkoppeling. Bijkomende zullen de persleidingen tot op een hoogte van 1,5 m gebracht moeten worden en voorzien worden van passende adapters met RFID- tags. Deze tag kan dan net zoals aan de zuigzijde gelezen worden door de ontvanger, ingebouwd in de smartkoppeling op de flexibel van de pomp. Die dit signaal doorstuurt naar de PLC en vervolgens kan verifiëren of de juiste mengtank verbonden is met de juiste pomp die op zijn beurt verbonden is met de correcte afvulmachine. Hierdoor kan men het aantal menselijke fouten tot een minimum herleiden.

Piginstallatie

De piginstallatie blijft ook hier in eerste instantie onaangeroerd. Opdat deze toegepast wordt op alle leidingen moeten deze persleidingen aangepast worden naar de juiste constante diameter, bochtradius,...

Bijkomende aanpassingen

Net zoals in voorgaand scenario moeten ook hier de flenskoppelingen van iedere mixer vergroot worden tot een diameter van 150 mm. Omdat in dit scenario de pompen centraal geplaatst worden, zal de persleiding van mixing area 4 verplaatst moeten worden naar mixing area 2. Dit is echter een beperkte ingreep waarbij slecht de eerste 20 m persleiding heraangelegd dient te worden.

Berekeningen

In deze situatie worden de pompen wel veranderd en dus ook de pompdruk. In het bedrijf is gezegd dat de pompdruk maximaal 3 bar mag zijn, van deze waarde is hier dan ook uitgegaan.

De veranderingen hier zijn ingrijpender dan in de vorige verbetering, maar de berekeningen gebeuren op identiek dezelfde wijze met dezelfde formules. De grootste veranderingen i.v.m. het pompdebiet zijn het verbreden van de persleiding, het verkorten van het eerste gedeelte van de persleiding en het verminderen van het aantal bochten.

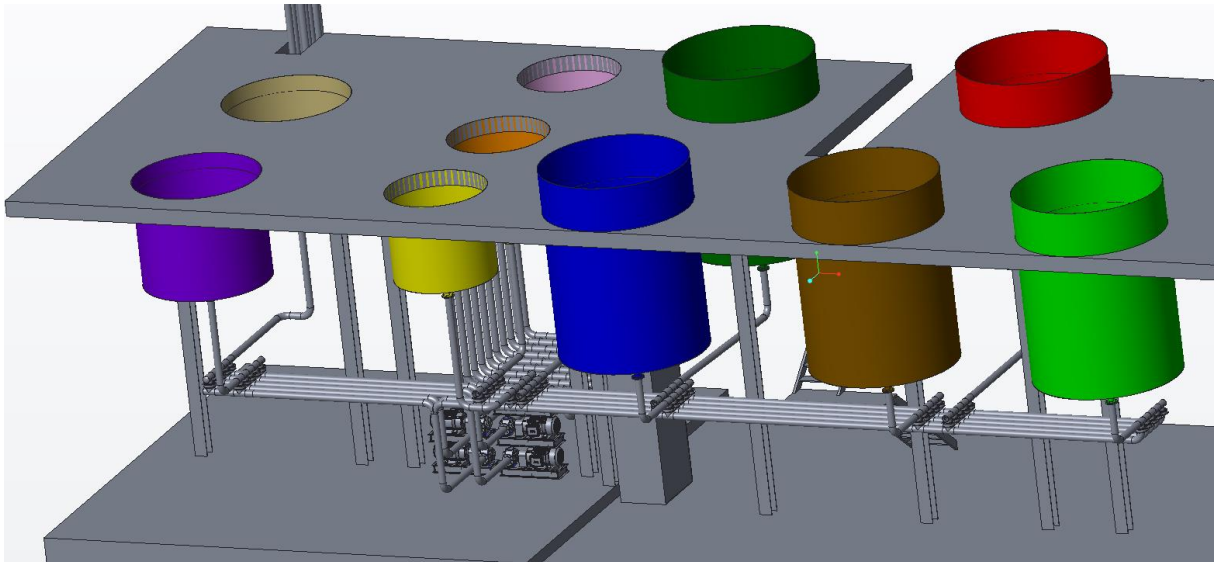
De verbeteringen aan het pompdebiet zijn te zien in Tabel 12. Met de pompencil stijgt het pompdebiet van Capital met 37 %.

Tabel 12: Debietverbetering pompencil

	Huidig	Pompencil	Huidig-Pompencil	
Product	Debiet (m ³ /h)	Debiet (m ³ /h)	Verschil (m ³ /h)	Percentage
Kay lotion hand soap	6,5	9,2	2,7	41,5%
Capital	10,8	14,8	4	37,0%
Emulsies	3,8	5,5	1,7	44,7%

2.4.3.3 Verbetering 3: Geautomatiseerde pompencil

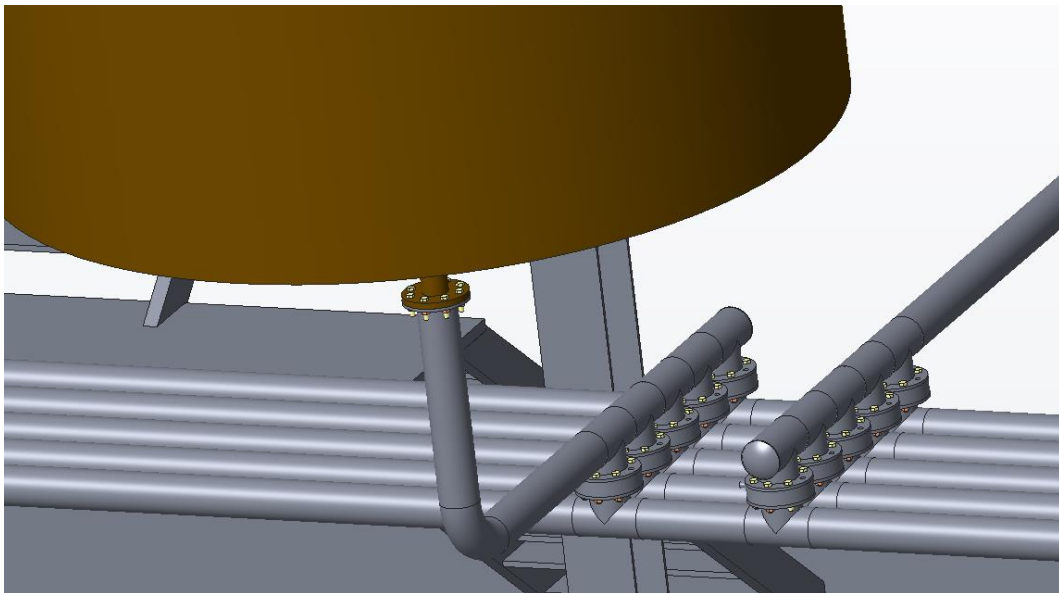
Dit scenario is gelijkaardig aan 2.4.3.2 Verbetering 2: Pompencil (zie Figuur 29), het grote verschil zit hem in het volledig automatisch koppelen van zowel de zuig- als de persleidingen. Hierdoor moeten de operatoren niet meer naar de kelder om daar de nodige koppelingen te maken.



Figuur 29: Geautomatiseerde pompencel

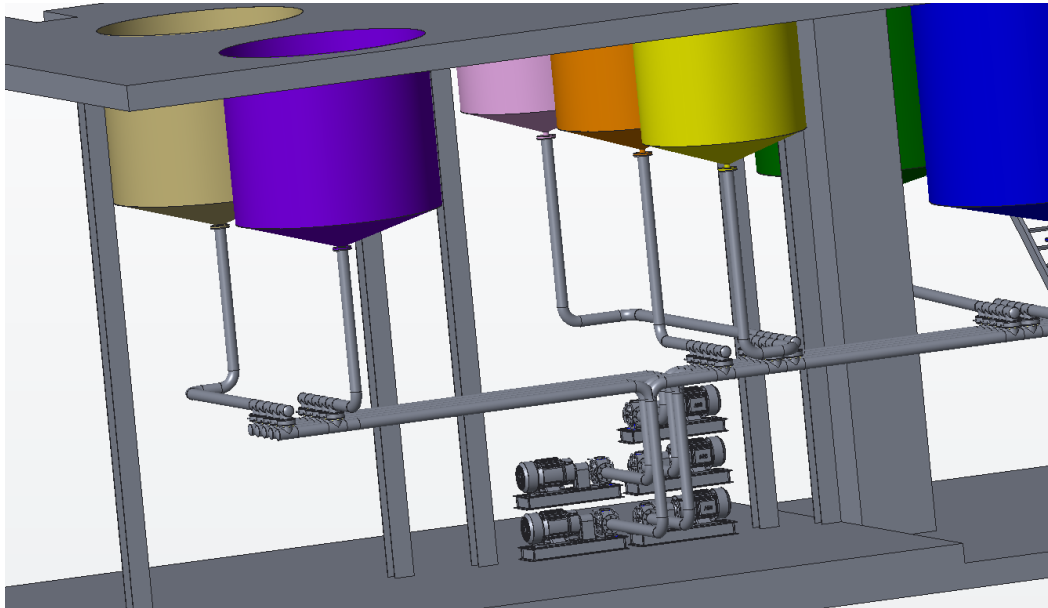
Zuigleidingen

In dit scenario wordt de kelder centraal uitgerust met vijf zuigleidingen. Iedere mixer wordt op zijn beurt via een geautomatiseerd ventiel gekoppeld met iedere zuigleiding. Hierdoor kan de inhoud van iedere mixer leeggepompt worden via elk van de vijf zuigleidingen.



Figuur 30: Koppeling mixers met centrale zuigleidingen

Iedere zuigleiding wordt met een flenskoppeling verbonden met de pompen. Hierdoor moeten er geen manuele koppelingen meer gebeuren aan de zuigzijde van het leidingnetwerk.



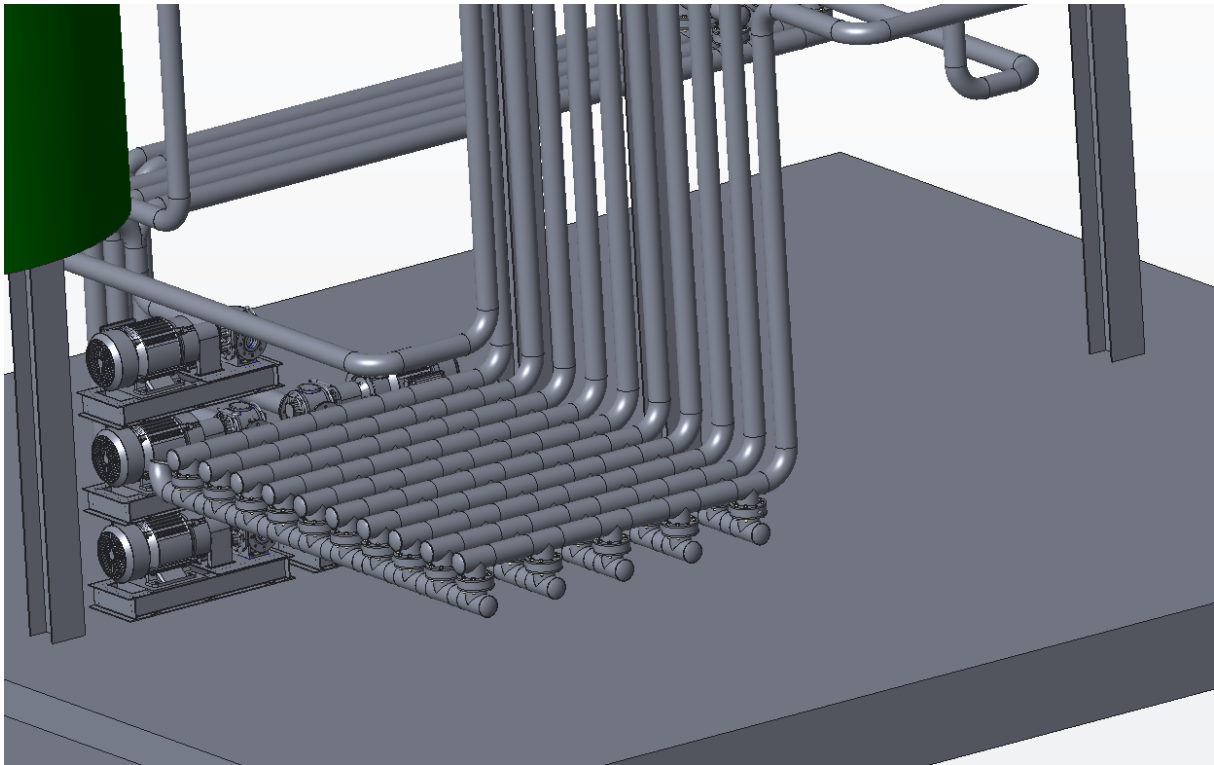
Figuur 31: Pompencil matrixsysteem

Pompencil

Net zoals bij 2.4.3.2 Verbetering 2: Pompencil wordt hier gebruik gemaakt van een pompencil. Deze pompencil bestaat ook uit vijf pompen naar aanleiding van de resultaten uit Pompbezettingsgraad. De opstelling van de pompen kan wel afwijken t.o.v. de opstelling bij Verbetering 2: Pompencil. Aangezien de operator voortdurend koppelingen moet kunnen maken aan de zuig- en perszijde. Hierdoor moeten de pompen goed bereikbaar zijn om op een comfortabele manier koppelingen te kunnen maken.

Persleidingen

Om de vijf pompen automatisch te koppelen met de tien persleidingen is er een matrixventielenblok ontworpen (zie Figuur 32). Waarbij iedere pomp geheel automatisch gekoppeld kan worden met iedere persleiding.



Figuur 32: Persleidingmatrix

Werking geautomatiseerde pompencel

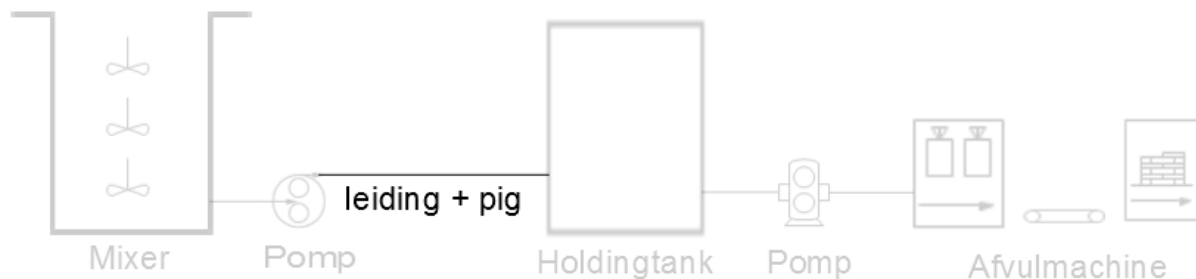
Als een operator op het punt staat de inhoud van de mixer over te pompen moet hij via de PLC de naam / nummer van de afvultank ingeven. Op basis van deze input bekijkt het systeem welke pomp(en) nog beschikbaar is en opent aan de zuigzijde het overeenkomstig ventiel. Op identieke manier verloopt het selectieproces aan de perszijde. Op basis van de geselecteerde pomp wordt er aan de perszijde een verbinding gemaakt met de correcte persleiding.

Berekeningen

De veranderingen aan het pompdebiet in deze situatie zijn exact dezelfde als in de vorige situatie. Het pompdebiet van Capital stijgt met 37 % tot 14,8 m³/h.

2.5 Persleidingen en materiaalrecuperatie

Dit hoofdstuk focust zich hoofdzakelijk op het persleidingen en de mogelijkheden tot materiaalrecuperatie (zie Figuur 33).



Figuur 33: Productieproces persleidingen en materiaalrecuperatie

2.5.1 Persleidingen

Om het vooropgestelde doel van 50 m³/h te halen zullen naast de zuigleidingen ook de persleidingen aangepast moeten worden. Enerzijds zal dit leidingen netwerk vereenvoudigd moeten worden door het minimaliseren van het aantal bochten, vernauwingen, ventielen en andere obstructies. Anderzijds zullen de leidingen vervangen moeten worden door leidingen met een grotere diameter, minimaal DN108, maar liefst DN125. Indien men het leidingen netwerk uitrust met DN 108, kan men de huidige producten verpompen tegen een snelheid van 50 m³ / h. In deze opstelling is er echter geen ruimte voor toekomstige producten met een hogere viscositeit. Daarom worden leidingen met een diameter DN125 aangeraden zodat men in de toekomst nog steeds kan verpompen tegen de gewenste snelheid.

2.5.2 Piggen van de leidingen

Nadat het product overgepompt is van de mixer naar de holdingtank, blijft de persleiding nog vol product zitten. Dit product moet natuurlijk zoveel mogelijk gerecupereerd worden. Dit kan op verschillende manieren gebeuren die in de volgende stukken behandeld worden. Tenslotte wordt er nog een globale vergelijking gegeven.

2.5.2.1 Lucht doorblazen

Principe

De methode van lucht doorblazen is vrij eenvoudig. Er wordt perslucht opgewekt in de compressoren en deze wordt doorheen de leidingen geblazen aan 8 bar voor zo'n anderhalve minuut. De persluchtleiding moet door de operator manueel op de leiding gedraaid worden.

De mate van recuperatie hangt af van het soort product dat gerecupereerd wordt. Bij waterachtige producten wordt er hierbij een recuperatie factor van 52,4 % behaald, echter bij een viskeus product zoals Capital wordt er 77,7 % gerecupereerd. Deze gegevens zijn terug te vinden in Tabel 13.

Tabel 13: Rendementsbepaling lucht doorblazen

Product	Water	Capital
Totale massa [kg]	314	314
Massa_vat [kg]	57	57
Massa_gepigd [kg]	206,5	127
Netto massa [kg]	149,5	70
Rendement [%]	52,4	77,7

Voordelen

Het piggen door met lucht door te blazen is een eenvoudige methode. Wanneer er reeds perslucht gebruikt wordt in het bedrijf, moet er enkel een persluchtleiding getrokken worden naar de plaats waar het piggen gedaan moet worden. Dit zorgt ervoor dat er bijna geen investeringskost nodig is voor deze methode.

Nadelen

Er is een groot verschil van recuperatie mogelijkheden bij verschillende producten. Het doorblazen met lucht is een manuele methode, het hangt dus af van de operator. Uit het verleden is gebleken dat het gebruik van perslucht als pig medium niet geheel zonder gevaar is. De operator moet op gevoel de hoeveelheid perslucht doseren. Zo is er bij aanvang van het piggen een grotere hoeveelheid perslucht nodig, maar naarmate het piggen vordert daalt de benodigde hoeveelheid perslucht. Indien de operator de hoeveelheid perslucht dan niet manueel verminderd ontstaat er een te hoge overdruk in de holdingtank met als gevolg dat sommige leidingen los katapulteren. Bijkomend moet de operator verschillende ventielen in

de correcte stand plaatsten, indien hij dit niet doet kan het zijn dat de perslucht langs onder in de holdingtank geblazen wordt, wat weer leidt tot luchtinslag bij de viskeuze producten.

2.5.2.2 Vaste pig

Principe

Een vaste pig wordt via perslucht doorheen de leiding gestuwd om zo het resterende product uit de leiding te duwen.

Voordelen

Piggen met een vaste pig is de meest efficiënte methode van CIP, cleaning in pipes. Afhankelijk van de vloeistof kan er meer dan 99,5 % product gerecupereerd worden (Servinox, z.d.). Het heeft een eenvoudige bediening met 1 drukknop, de rest gebeurt automatisch. Deze methode heeft de kortste tijdsduur van alle beschreven pigging methodes.

Nadelen

Een vaste piginstallatie heeft een grote investeringskost doordat meestal het leidingnetwerk aangepast dient te worden en iedere leiding moet zijn eigen *launching-* en *receivingstation* hebben. Het leidingnetwerk moet aan alle voorwaarden voldoen:

- geen diameter reducties,
- standaard 90° bochten met grote straal.

2.5.2.3 Ice pig

Principe

Een ice pig wordt gemaakt door water met vriespunt verlagende stoffen, bv. zout, af te koelen tot een slurry. Deze slurry bevindt zich tussen de vaste en vloeibare fase waardoor het positieve eigenschappen heeft voor het piggen. De ice pig wordt voortgestuwd met water (T. Daens, Ice Pigging Process Engineer bij Aqualogy, persoonlijke communicatie, 29 oktober 2015).

Doordat de ice pig een kans heeft op contaminatie van de te recupereren producten, kan de recuperatiefactor enkel experimenteel bepaald worden. Volgens M. Stephenson, Business Unit Director bij Aqualogy, is deze waarde 70 % (persoonlijke communicatie, 15 oktober 2015).

Voordelen

Het voordeel van Ice pigging is dat er geen restricties zijn op het leidingnetwerk. Moeilijke bochten of diameterreducties, alles is mogelijk bij Ice pigging zolang er een ingang is in het leidingnetwerk om de ice slurry in te voegen.

Nadelen

Net zoals de vaste pig heeft Ice pigging een hoge investeringskost. De recuperatiefactor daarentegen is afhankelijk van het product en de situatie in het bedrijf. Tevens is deze lager, slechts 70 %. De Ice pig moet na het piggen terug opgevangen worden, waardoor er ook na de leiding een systeem moet komen om de ice pig af te zonderen van het te piggen product.

2.5.2.4 Whirlwind pigging

Principe

Deze pigmethode bestaat uit 4 fases. Eerst wordt er lucht doorgeblazen op dezelfde manier die reeds besproken was in 2.5.2.1 Lucht doorblazen. Ten tweede wordt er een speciale *whirlwind* opgewekt die doorheen de leidingen wordt gestuurd om zo tot 95 % product te recupereren. Vervolgens wordt er water aan de whirlwind toegevoegd om de leiding volledig te reinigen. Ten slotte wordt er droge warme lucht doorheen geblazen om alles te koelen (Aeolustech, z.d.).

Voordelen

Net zoals bij Ice pigging zijn er weinig tot geen restricties op het te piggen leidingnetwerk:

- geen probleem met bochten,
- geen probleem met diameter restricties.

Dit gecombineerd met de hoge recuperatie factor tot 95 % zorgt ervoor dat Whirlwind pigging een goede pigmethode is.

Nadelen

Deze voordelen hebben helaas ook zijn nadelen. Whirlwind pigging heeft de grootste tijdsduur van alle beschreven pigmethodes. Tevens is dit de duurste methode.

2.5.2.5 Conclusie

Bepalen welke methode van bovenstaande het beste is, is zeer moeilijk en hangt van de situatie af die het bedrijf verkiest. Een vaste pig zorgt voor de beste productrecuperatie op voorwaarde dat het leidingnetwerk dit toelaat. Indien een vaste pig mogelijk is, moet in deze situatie altijd voor een vaste pig gekozen worden.

Whirlwind piggen daarentegen heeft de voorwaarden voor het leidingnetwerk niet en toch een groot recuperatievermogen. Deze methode kan hierdoor meteen in het huidige leidingnetwerk geïmplementeerd worden.

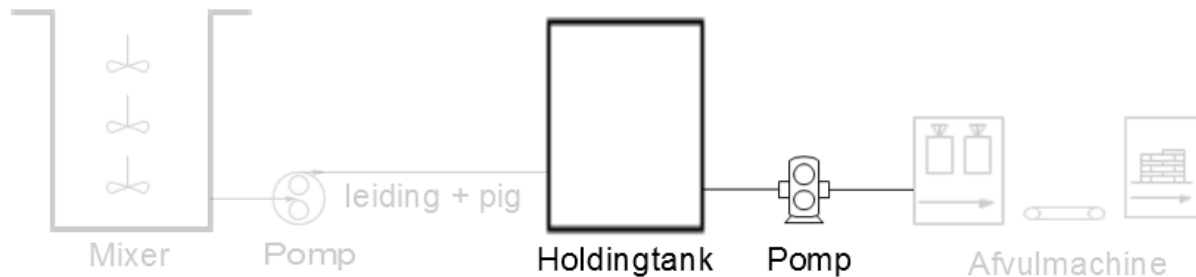
Ice pigging heeft slechts een beperkt recuperatievermogen en zorgt voor problemen met het opvangen van de ice pig. Hierdoor is deze methode hier niet aan te raden.

Met lucht doorblazen tenslotte is een goedkope snelle oplossing, maar zou slechts een tijdelijk alternatief mogen zijn. De lage productrecuperatie weegt niet op tegen de besparing in kosten. De leidingen die op deze manier gepigd worden, zouden op een andere, betere manier gepigd moeten worden.

De uiteindelijke keuze tussen een vaste pig en Whirlwind piggen hangt voornamelijk van het moment van implementeren af. Wilt men eerst het piggen verbeteren en pas in een later stadium het volledige leidingnetwerk, dan is Whirlwind pigging de beste keuze. In het andere geval wordt er best voor een vaste pig gekozen.

2.6 Holdingtank en afvulpomp

Dit gedeelte focust zich hoofdzakelijk op de holdingtank en de afvulpomp (zie Figuur 34).



Figuur 34: Productieproces holdingtank en afvulpomp

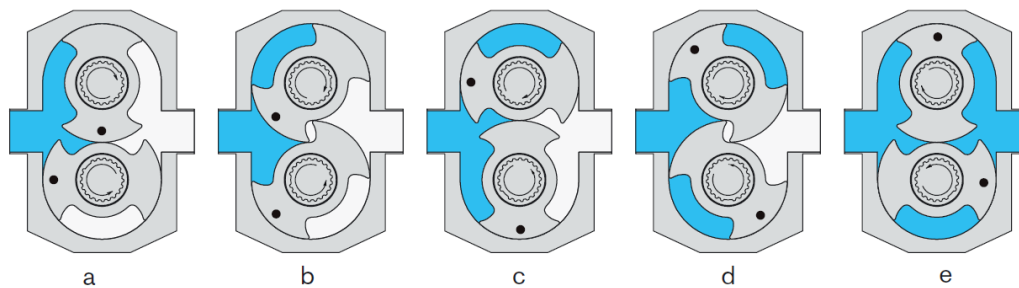
2.6.1 Holdingtank

De persleidingen die vertrekken vanuit de kelder monden uit aan verschillende afvullijnen. Iedere afvulmachine is uitgerust met twee of meer holdingtanks, waarin tijdelijk afgewerkt product in gestockeerd wordt, dit in afwachting tot de afvulmachine beschikbaar is. Allereerst moet de operator de ventielen correct schakelen dat de mengtank wordt overgepompt in de correcte holdingtank. De holdingtanks worden bij aanvang van het overpompen steeds langs de onderzijde gevuld. Naarmate het pompen vordert en de operator merkt dat er steeds meer schuim wordt overgepompt schakelt hij de ventielen zodanig dat de holdingtank langs boven gevuld wordt. Dit zijn meestal de laatste twee- tot driehonderd kilo. Indien de operator dit niet doet, wordt er schuim en m.a.w. lucht langs onder in de holdingtank gepompt. Vandaar dat het omschakelen van ingang niet geheel onbelangrijk is voor het reduceren van de luchtinslag.

Tijdens het piggen moet het gerecupereerde product ook langs boven worden toegevoegd. Enerzijds om de druk die nodig is om de pig voor te duwen te minimaliseren. Aangezien deze geen tegendruk van de vloeistof in de holdingtank ondervindt. Anderzijds omdat de pig wordt voortgeduwd door perslucht. Wanneer de leidingen lichte ovaliteit vertonen ontsnapt er perslucht langs de pig. Deze zou dan onderaan in de holdingtank vermengen met het reeds aanwezige product waardoor de hoeveelheid luchtinslag aanzienlijk toeneemt. Ook tijdens het piggen is het zeer belangrijk het gerecupereerde materiaal langs de bovenzijde van de holdingtank toe te voegen.

2.6.2 Afvulpomp

Eenmaal de afvulmachine beschikbaar is, kan het product vanuit de holdingtank worden overgepompt naar het zwaartekrachtreservoir van de Can 8 afvulmachine. De pomp die hiervoor gebruikt wordt is een TopWing SPX lobbenpomp van Johnson Pumps. Dit is een lobbenpomp bestaande uit twee lobben die in tegenovergestelde richting roteren (zie Figuur 35). De drukvermindering wordt gerealiseerd tijdens het wegdraaien van de lobben, hierdoor ontstaat er een volume toename tussen de lobben. Deze drukvermindering zorgt op zijn beurt voor de aanzuiging van vloeistof. De aangezogen vloeistof wordt door de rotatiebeweging van de lobben naar de perszijde van de pomp getransporteerd. Aan de perszijde verkleint het volume tussen de lobben waardoor er een druktoename ontstaat. Die op zijn beurt de vloeistof weg perst (Strälman, 2010).



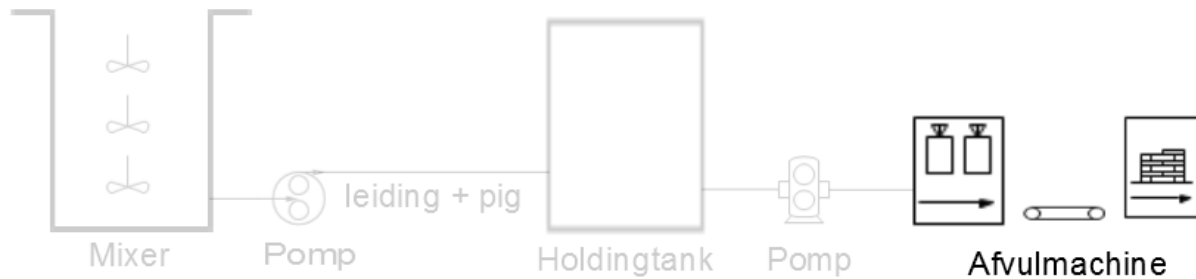
Figuur 35: Werking lobbenpomp

2.6.3 Luchtinslag

Uit de test 2.1.5 Luchtinslag doorheen productie proces blijkt dat er geen extra luchtinslag gevormd wordt in deze twee componenten van het productieproces. Hiervoor werd een staal genomen net voordat het product in de holdingtank wordt gepompt. Dit staal werd vervolgens vergeleken met een staal dat werd genomen net voordat het product in het zwaartekrachtreservoir van de afvulmachine terecht komt. Hieruit blijkt dat de hoeveelheid luchtinslag constant blijft.

2.7 Afvullen

Dit hoofdstuk focust zich hoofdzakelijk op het afvullen van de 10 liter flessen. Eveneens wordt er aandacht geschonken aan de labelmachine en de geautomatiseerde pelletiser (zie Figuur 36).



Figuur 36: Productieproces afvulmachine en pelletiser

2.7.1 Afvulmachine

Eenmaal de afvulmachine beschikbaar is, kan het product vanuit de holdingtank afgevuld worden. Dit gebeurt in verschillende type containers namelijk: 1-, 5-, 10-, 20- en 100 liter verpakkingen. Er wordt zelfs rechtstreeks in bulkvrachtwagens afgevuld. De bestudeerde afvulmachine vult de 10 literbussen. Het toestel dat hiervoor gebruikt wordt is Flexible Filling and Capping Machine van PACK'R. Dit toestel heeft een maximale cadans van 900 flessen per uur (PACK'R, 2014). Dit komt overeen met 15 flessen per minuut, ver boven de vereiste afvulsnelheid van 9 flessen / minuut.

Het afvullen gebeurt in zes stappen. Tijdens de eerste stap wordt het leeggewicht van een 10 literfles bepaald. Tijdens de tweede, derde en vierde stap wordt de fles gedeeltelijke gevuld. Tijdens de vijfde stap wordt de fles aangevuld tot het gewicht bereikt wordt overeenkomstig met 10 liter product. De zesde en laatste stap wordt de flens voorzien van een dop.

2.7.2 Labelmachine

Indien de flessen op voorhand niet voorzien zijn van sleeve- etiketten worden deze nu nog als laatste stap aangebracht door de label machine. Vaak worden de flessen voorzien van een etiket aan de voor- als achterzijde van de fles.

Hierdoor is het ook uiterst noodzakelijk dat er geen product aan de buitenkant van de flessen hangt. Aangezien dit het kleven van de labels bemoeilijkt.

2.7.3 Pelletiser

Nadat de flessen voorzien zijn van het correcte label worden deze met behulp van een robot gestapeld op paletten. Deze robot moet flessen van zowel Can 8 als de Jugline stapelen. Eenmaal de palet gevuld is, wordt deze door een AGV opgepikt en meteen vervangen door een leeg exemplaar. De volle palet wordt naar een wrapper gebracht, deze voorziet de pallet van een plasticfolie. Vervolgens worden de paletten door een heftruck naar het magazijn gebracht in afwachting tot het verschepen.

2.8 Kosten-batenanalyse

De kosten van deze kosten-batenanalyse zijn opgesteld op basis van offertes die bij verschillende leveranciers zijn aangevraagd of wanneer er geen respons meer kwam op basis van gelijkaardige, reeds verkregen offertes. Alle prijzen zijn excl. BTW. De baten worden onderverdeeld in twee luiken: type 1 opbrengsten en type 2 opbrengsten en zijn telkens op jaarbasis voorgesteld.

Type 1 opbrengst wil zeggen: opbrengst die meteen haalbaar is, bv. wanneer er sneller geproduceerd wordt, kan er een nachtshift per week uitgespaard worden. Deze kostenvermindering realiseert een type 1 opbrengst.

Type 2 opbrengst daarentegen is de opbrengst die mogelijk is indien er aan een aantal extra voorwaarden voldaan is. Doorgaans is deze opbrengst hoger dan zijn tegenhanger, maar moeilijker om deze volledig te benutten. Een voorbeeld hiervan is wanneer er sneller geproduceerd wordt, kan er meer geproduceerd worden gedurende eenzelfde periode. Echter om dit extra volume te produceren, moet dit extra volume ook verkocht kunnen worden. Bovendien wordt de gevraagde geproduceerde hoeveelheid vastgelegd door het hoofdbureau van Ecolab.

2.8.1 Vernieuwen van de leidingen in de kelder

Intern is beslist dat enkel 2.4.3.2 Verbetering 2: Pompencil en 2.4.3.3 Verbetering 3: Geautomatiseerde pompencil in aanmerking komen om mogelijk te implementeren. Voor beide scenario's worden hieronder een vergelijkende kosten-batenanalyse uitgevoerd.

2.8.1.1 Pompencil

De opsplitsing van de kosten voor de pompencil is te zien in Tabel 14. De baten zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 14: Kosten pompencil

Omschrijving	Bedrag
Vernieuwen van het leidingnetwerk, incl. plaatsing uitgevoerd door Fabricom (E. Tiran, project leader bij Cofely Fabricom nv, persoonlijke communicatie, 21 december 2015)	€ 38.000,00
Vervangen van de flens aan de tien mengtanks van mixing area 2 en 4 (A. Verkouille, bedrijfsleider bij Constructiebedrijf Verkouille, persoonlijke communicatie, 22 december 2015)	€ 31.000,00
Slangverbindingen tussen pompen en leidingnetwerk, incl. lekvrije koppelingen (M. Vandersmissen, project engineer bij Elaflex, persoonlijke communicatie, 15 december 2015)	€ 50.000,00
Totaal kosten pompencil	€ 119.000,00

Tabel 15: Baten pompencil

Omschrijving	Bedrag
Afvullen aan 10 flessen/min	€ 25.012,00
Sneller overpompen	
type 1	€ 82.140,00
type 2	€ 499.500,00
Totaal baten pompencil met type 1	€ 107.152,00
Totaal baten pompencil met type 2	€ 524.512,00

Deze baten zijn berekend op basis van de volgende gegevens:

- de afvulsnelheid laten stijgen van 7,1 naar 10 flessen per minuut;
- de pomptijd met 37 % laten dalen waardoor er een shift kan wegvallen;
- de pomptijd met 37 % laten dalen waardoor er meer volume geproduceerd kan worden.

Terugbetaaltijd

Doordat er 2 types baten zijn, zijn er ook 2 manieren om de kosten-batenanalyse uit te voeren en zo de terugbetaaltijd te bepalen. Wanneer er gerekend wordt met het type 1 totaal is de terugbetaal tijd ongeveer 1 jaar. Wanneer er echter met het type 2 gewerkt wordt, is de terugbetaaltijd slechts 2 maanden. Nogmaals dit houdt in dat de snellere productie ervoor zorgt dat er meer geproduceerd wordt én dat dit extra volume verkocht kan worden.

2.8.1.2 Geautomatiseerde pompencil

De kosten en de baten voor de geautomatiseerde pompencil zijn te zien in Tabel 16 en Tabel 17.

Tabel 16: Kosten geautomatiseerde pompencil

Omschrijving	Bedrag
Vernieuwen van het leidingnetwerk, incl. plaatsen uitgevoerd door Fabricom (E. Tiran, project leader bij Cofely Fabricom nv, persoonlijke communicatie, 21 december 2015) :	€ 38.000,00
Vervangen van de flens aan de mixers (A. Verkouille, bedrijfsleider bij Constructiebedrijf Verkouille, persoonlijke communicatie, 22 december 2015):	€ 31.000,00
Automatisch matrixsysteem, incl. plaatsing, met PLC koppeling (S. Verheyde, Sales Engineer Food bij GEA, persoonlijke communicatie, 14 december 2015):	€ 390.400,00
Totaal kosten geautomatiseerde pompencil	€ 459.400,00

Tabel 17: Baten geautomatiseerde pompencil

Omschrijving	Bedrag
Afvullen aan 10 flessen/min	€ 25.012,00
Sneller overpompen: type 1	€ 82.140,00
type 2	€ 499.500,00
Volledige automatisatie van de kelder	€ 100.000,00
Totaal baten geautomatiseerde pompencil met type 1	€ 207.152,00
Totaal baten geautomatiseerde pompencil met type 2	€ 624.512,00

Deze baten zijn berekend op basis van de volgende gegevens:

- de afvuursnelheid laten stijgen van 7,1 naar 10 flessen per minuut;
- de pomptijd met 37 % laten dalen waardoor er een shift kan wegvallen;
- de pomptijd met 37 % laten dalen waardoor er meer volume geproduceerd kan worden;
- de investeringssubsidie voor automatisatie.

Terugbetaaltijd

Doordat er 2 types baten zijn, zijn er ook 2 manieren om de kosten-batenanalyse uit te voeren en zo de terugbetaaltijd te bepalen. Wanneer er gerekend wordt met het type 1 totaal is de terugbetaal tijd 2 jaar en 3 maanden. Wanneer er echter met het type 2 gewerkt wordt, is de terugbetaaltijd slechts 9 maanden.

2.8.1.3 Conclusie

De terugbetaaltijd van de gewone pompencil ten opzichte van de geautomatiseerde pompencil is zowel bij het type 1 als type 2 totaal minder dan de helft. Puur op kosten-batenwijze is de gewone pompencil dus beter.

De automatische pompencil heeft echter wel het voordeel dat de koppelingen volledig automatisch uitgevoerd worden. Hierdoor verkleint het risico op menselijke fouten en moet er niet meer naar de kelder gegaan worden. Deze voordelen zijn echter moeilijk in concrete baten te gieten. De afweging die hier dus gedaan moet worden, is de volgende: Hoeveel betaal ik voor automatisatie?

2.8.2 Vernieuwen van de pompen

De huidige pompen hebben hun beste tijd gehad en zouden sowieso vernieuwd moeten worden. Bij deze vernieuwing kan nu wel gelet worden op de vereisten van het nieuwe leidingnetwerk. Tevens kan men rekening houden met toekomstige veranderingen.

Hierdoor vereenvoudigt de kosten-batenanalyse tot een vergelijking van verschillende pomptypes. Door de veeleisende toepassing van de pompen zijn er 2 types die aangeraden zijn: excentrische diskpompen en tandwielpompen (J. Berntzen, sales engineer bij Verder pompen NV, persoonlijke communicatie, 19 november 2015). Om problemen met de dichtingen van het pomphuis te vermijden, is ieder pomptype uitgerust met een *sealless* pomphuis doordat de pomp magneet gekoppeld is.

2.8.2.1 Vergelijking excentrische diskpomp en tandwielpomp

In onderstaande tabel is een vergelijking gemaakt tussen de twee aangewezen types (J. Berntzen, sales engineer bij Verder pompen NV, persoonlijke communicatie, 22 december 2015).

Tabel 18: Vergelijking excentrische diskpompen en tandwielpompen

Pomptype	Excentrische discpomp	Tandwielpomp
Voordelen	Constante opbrengst Hoge efficiëntie Droog zelfaanzuigend Geen warmteoverdracht Compressie effect om de leiding te piggen Drooglooptijd van 5 min	Constante opbrengst Hoge efficiëntie Eenvoudig te onderhouden Goedkoper bij hetzelfde debiet.
Nadelen	Duurder Maximaal debiet van 39 m ³ /h	Slijtagegevoelig met als gevolg daling van de efficiëntie
Kostprijs	€ 12.021,40 met max debiet van 39 m ³ /h	€ 13.173,00 met max debiet van 50 m ³ /h

Aangezien er gestreefd wordt naar een pompdebiet van 50 m³/h zijn de excentrische diskpompen niet meer geschikt voor deze toepassing. De keuze valt dus op de magnetisch gekoppelde tandwielpompen.

2.8.3 Pigginginstallaties

Voor de kosten-batenanalyse van de pigging installaties worden enkel de 2 beste voorstellen besproken nl. vaste pig en Whirlwind pigging. Dit wordt telkens vergeleken met de huidige situatie nl. met lucht doorblazen. Zoals in 2.5.2.1 Lucht doorblazen reeds vermeld is, is de efficiëntie van met lucht doorblazen afhankelijk van het product. Hoe viskeuzer het product hoe hoger de efficiëntie. In onderstaande kosten-batenanalyses wordt steeds gewerkt met een gemiddeld percentage van 65,05 % recuperatievermogen van lucht doorblazen.

2.8.3.1 Vaste pig

Deze methode heeft een recuperatie factor van 99,5 %. Echter om dit te gebruiken moet eerst het volledige leidingnetwerk aangepast worden naar pigbare leidingen. Deze kosten zijn hier niet bij in rekening gebracht. De kosten en de baten voor de vaste pig zijn te zien in Tabel 19 en Tabel 20.

Tabel 19: Kosten vaste pig

Omschrijving	Bedrag
10 x pig launcher (K. Desmaele, inside sales & advice bij Gillain & Co, persoonlijke communicatie, 28 december 2015)	€ 90.000,00
10 x pig receiver (K. Desmaele, inside sales & advice bij Gillain & Co, persoonlijke communicatie, 28 december 2015)	€10.000,00
Drukregulator (K. Desmaele, inside sales & advice bij Gillain & Co, persoonlijke communicatie, 28 december 2015)	€ 9.000,00
Totaal kosten vaste pig	€ 109.000,00

Tabel 20: Baten vaste pig

Omschrijving	Bedrag
Productrecuperatie	€ 354.735,96
Totaal baten vaste pig	€ 354.735,96

Terugbetaaltijd

Door de grote mogelijkheid van productrecuperatie is de investeringskost van 10 installaties voor een vaste pig reeds na 113 dagen terugbetaald.

2.8.3.2 Whirlwind pigging

Deze methode heeft een recuperatiefactor van 95 %. In tegenstelling tot de vorige methode kan dit rechtstreeks op het huidige leidingnetwerk geïmplementeerd worden. De kosten en de baten zijn terug te vinden in Tabel 21 en Tabel 22.

Tabel 21: kosten whirlwind pigging

Omschrijving	Bedrag
Whirlwind unit (S. Fraser, business development engineer bij Babcock International Group, persoonlijke communicatie, 22 oktober 2015)	€ 240.000,00
Installatie in productieproces(S. Fraser, business development engineer bij Babcock International Group, persoonlijke communicatie, 22 oktober 2015	€ 50.000,00
Totaal kosten whirlwind pigging	€ 290.000,00

Tabel 22: Baten whirlwind pigging

Omschrijving	Bedrag
Productrecuperatie	€ 308.398,89
Totaal baten whirlwind pigging	€ 308.398,89

Terugbetaaltijd

Doordat de investeringskost van het Whirlwind piggingstelsel groter is, stijgt de terugbetaaltijd tot 344 dagen.

2.8.3.3 Conclusie

De methode van de vaste pig heeft een lagere terugbetaaltijd, maar het nadeel dat eerst het volledige leidingnetwerk dient aangepast te worden. Afhankelijk of eerst de nieuwe pigginginstallatie wordt ingevoerd of eerst het leidingnetwerk wordt vernieuwd, moet er een ander systeem gekozen worden.

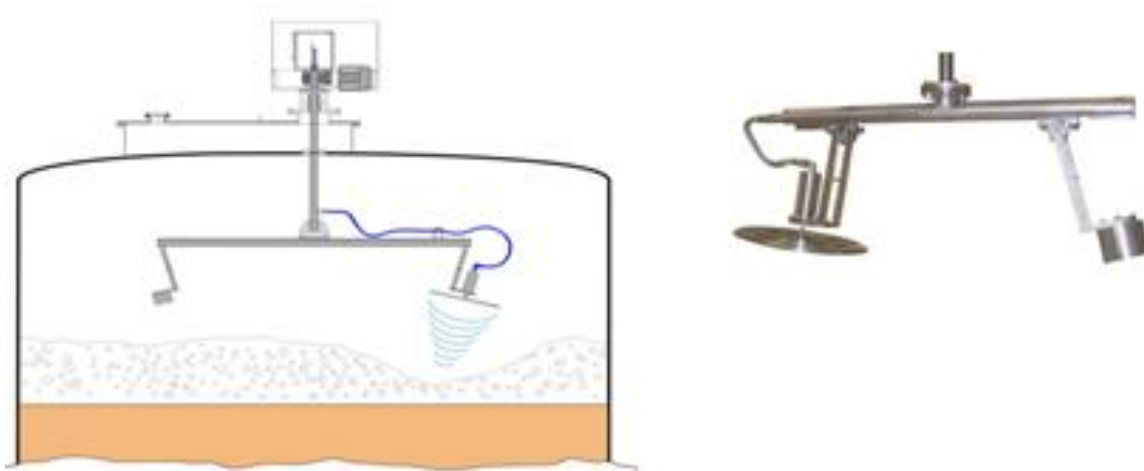
2.9 Aanbevelingen

2.9.1 Oppervlakteschuim

Aanvankelijk dacht men dat het oppervlakte schuim aan de basis lag van het afvulprobleem. Uit productieproces opvolgingen en testen is echter gebleken dat grote hoeveelheden luchtinslag veroorzaakt door lekken in de zuigleidingen aan de oorzaak van het probleem liggen. De aanwezige hoeveelheid oppervlakteschuim in de mixer is sterk afhankelijk van operator tot operator. Daar het manueel verlagen van de roerwerksnelheid, wanneer het vloeistofniveau zich ter hoogte van de propellerhoogte bevindt, cruciaal is. Het is net hier dat de operatoren tegenstrijdige informatie verkrijgen, zo moet tijdens het productieproces van een Capital de roerwerksnelheid verhoogt worden, net wanneer het vloeistofniveau overeenkomt met het roerwerk niveau. Ervaren mixermannen proberen zo snel mogelijk deze grondstof over te pompen, bij een lagere roerwerksnelheid. Eenmaal het vloeistofniveau hoger komt dan het propellerniveau verhoogt men de roerwerksnelheid tot de maximale snelheid, en geeft men de mixer 5 à 10 minuten de tijd om de grondstof homogeen en klontervrij te mengen. Hierdoor wordt het oppervlakteschuim tot een minimum herleid en vermijdt men bijkomend het risico dat er grondstoffen bezinken naar de bodem.

Indien er tijdens het mixen toch overvloedige hoeveelheden oppervlakte schuim gevormd wordt kan men gebruik maken van een *defoamer*. Ook hier zijn de opties zeer beperkt, er mag geen gebruik gemaakt worden van chemische antifoam agents. Aangezien deze de samenstelling alsook de eigenschappen van het product kunnen veranderen. Toepassen van een UDS, *ultrasonic defoaming system* blijkt uiterst geschikte mechanische defoamer te zijn. Dit volgt onder meer uit de test 2.1.2 Testen ultrasone generator UP200S. Waarbij gebruik gemaakt wordt van het ultrasone toestel van Hielscher. Deze test werd gestart met de grote sonotrode, maar al snel blijkt dat het overgebrachte vermogen te klein is om het oppervlakteschuim effectief af te breken. De kleine sonotrode toont echter zeer gunstige resultaten, waarbij het schuim recht onder het geprojecteerde oppervlak van de sonotrode afbreekt.

Pusonic is een Spaans spin-off bedrijf dat dergelijke UD systemen voor industrieel gebruik fabriceert. Deze UD systemen bestaan net zoals het laboestel uit een sonotrode en een transducer weliswaar met een hoger vermogen. Ook bij dit toestel is het behandeld oppervlak beperkt tot het oppervlak van de sonotrode. Om met dit toestel het volledige oppervlak van een mengvat te behandelen kan deze bevestigd worden aan de propelleras zoals Figuur 37 toont.



Figuur 37: Mengvat met roterend ultrasonic defoaming systeem (Cardoni, A. , 2012)

2.9.1.1 Werkingsprincipe van het ultrasoon defoamen

Onderzoekers zijn ruim 60 jaar bezig met onderzoek naar de potentiële mogelijkheden van *ultrasound* voor het defoamen op industriële schaal. Desondanks het jarenlange onderzoek weet men nog steeds niet met grote zekerheid wat de drijvende kracht achter het ultrasoon defoamen is. Men kan wel met zekerheid zeggen dat akoestische druk, radiatie druk, gasbel resonantie, stroming- en vloeistoffilm cavitatie aan de basis liggen van het ultrasoon defoamen (Garrett, 2013). Deze uitwendige krachten veroorzaakt door de UDS worden gecompenseerd door de inwendige drukken, oppervlaktespanning en de viscositeit van de vloeibare film (Dedhai, Ambulgekar, & Pandit , 2004). Wanneer de som van de uitwendige drukken groter is dan inwendige druk, vervormd de schuimbel met name de schuimbelwand. Er ontstaan namelijk zones waar de wanddikte sterk afneemt. Wanneer de amplitude van de uitgezonden geluidsgolven voldoende groot is, breekt de schuimbel (Germán, et al., 2009).

2.9.1.2 Alternatieve schuimbreekmethodes

Chemische

Er zijn verschillende chemicaliën, *antifoams* die men kan toevoegen in de mengvaten om zo de schuimproductie te minimaliseren. In het algemeen zijn deze chemische antifoams zeer slecht oplosbaar in schuimende oplossingen en veroorzaken ze een verdere afname van de oppervlaktespanning (Eliezer & Goldberg, 1967). Aangezien deze antifoams de schuimeigenschappen van de oplossing volledig vernietigen is dit geen geschikte oplossing voor het probleem.

Thermische

Schuim kan imploderen door het verhogen of verlagen van de temperatuur. Doorgaans zal schuim imploderen bij een temperatuurstijging omdat als gevolg daarvan de oppervlakte viscositeit afneemt, verdamping van het solvent of chemische degradatie van de schuimbevorderende grondstoffen (Eliezer & Goldberg, 1967). Bij lagere temperaturen kan het schuim instabieler worden door een daling van de oppervlakte elasticiteit. Zowel het verwarmen als afkoelen van het eindproduct is niet toegelaten aangezien dit interfereert met enkele gunstige eigenschappen van de producten. Bovendien is de maximale temperatuur van de producten begrenst tot 30°C. Product afvullen met een hogere temperatuur zorgt ervoor dat de flessen vacuüm trekken tijdens het afkoelen.

Centrifugaal

Centrifugale schuimbreekers zijn zeer effectief in het afbreken van relatief grote volumes stabiel schuim. Dit toestel bestaat uit een kom vervaardigd uit geperforeerd staal. Deze geperforeerde kom draait met een grote snelheid rond in een omgekeerde conische opvangbak. Hierdoor wordt met behulp van centrifugale kracht het product gedwongen door de mesh in de conische opvangbak te stromen. Hierdoor ondergaat het product een plotse drukdaling in combinatie met afschuifspanningen waardoor het schuim afbreekt (Eliezer & Goldberg, 1967).

2.9.2 Luchtinslag

Indien er na het veranderen van het volledige zuigleidingnetwerk nog steeds luchtinslag aanwezig is, kan er gebruik gemaakt worden van ultrasone generatoren. Deze techniek was lange tijd beperkt tot laboschaal. Pas de laatste vijf à tien jaar is men bezig deze techniek over te brengen naar industriële toepassingen.

2.9.2.1 Werkingsprincipe van het ultrasoon ontluchten

Naast de reeds aanwezig hydrostatische druk wekt de ultrasone generator een akoestische druk op in de vloeistof. Deze akoestische druk beschrijft een sinusvormig verloop met als parameters: de tijd (s), de frequentie (Hz) en de maximale druk van de amplitudegolf (Pa, max (Muthukumaran, Kentisch, Stevens, & Muthupandian, 2006). Amplitude van deze sinusgolf is proportioneel gerelateerd met de vermogensinput van de generator.

Bij een lage intensiteit, amplitude, induceert de drukgolf beweging in de vloeistof, wat ook wel akoestische stroming wordt genoemd (Leighton, 1994). Bij hogere intensiteiten daalt lokaal de druk tijdens de expansiefase onder de dampdruk van de vloeistof, waardoor kleine gasbellen groeien. Deze groeien rond de reeds in de vloeistof aanwezige gasbelkernen. Een verdere toename van de intensiteit genereert een kortstondige negatieve druk in de vloeistof, waardoor de groei en het ontstaan van nieuwe caviteiten toeneemt en dit door het spanningseffect van de vloeistof (Rezek Jambrak, et al., 2015). Tijdens de compressiecyclus krimpen de gasbellen en hun inhoud wordt terug in de vloeistof opgenomen, maar omdat nu het oppervlak van de gasbel groter is dan voorheen, zal niet al de damp geabsorbeerd worden door de vloeistof. De gasbellen zullen over een aantal cyclussen heen toenemen in grootte en aantal. Bij een bepaalde gasbelgrootte komt de oscillatie van gasbelwand overeen met de frequentie van de toegediende geluidgolven, waardoor de gasbel implodeert tijdens de compressiecyclus (Moholkar, Kekveld, & Wamoeskerken, 2000). Dit proces van compressie en decompressie van vloeistofdeeltjes en het daaruit voortvloeiend imploderen van de gasbellen is beter bekend als cavitatie. De condities in deze imploderende gasbellen zijn zeer uitzonderlijk, temperaturen kunnen oplopen tot 5000 K en dit bij drukken tot 1000 atm. Deze zorgen op hun beurt voor hoge afschuifspanningen en turbulentie in de cavitatiezone (Kenneth & Suslick, 1989). Het zijn tevens ook deze drie factoren: druk, warmte en turbulentie die gebruikt worden voor het versnellen van chemische reacties.

Als een geluidsgolf weerkaatst op een vast oppervlak of een water-lucht overgang ontstaat er een staande golf. De akoestische druk in de knopen is nul en fluctueert tussen het minimum en maximum in de buiken. Gasbellen kleiner dan de resonantie grote accumuleren bij de buiken, waar de gasbellen groter dan de resonantie grote verzamelen bij de knopen en samensmelten als ze met elkaar in contact komen. Dit proces van gasbeltransport en groei bij de knopen en buiken wordt ook microstroming genoemd en is tevens de drijvende kracht achter het ultrasoon ontgassen (Laborde, Bouyer, Caltagirone, & Gerard, 1998).

Volgens (Lorimer & Mason, 1987) is de frequentie omgekeerd evenredig met de gasbelgrootte. Hierdoor genereren lage frequenties grote cavitaties, die op hun beurt resulteren in hogere temperaturen en drukken in de cavitatiezone. Naarmate de frequentie stijgt wordt de cavitatiezone rustiger en dalen de drukken en temperaturen.

Procesparameters

Een eerste belangrijke parameter is de energie en intensiteit. Ultrasoon ontgassen kan omschreven worden door de volgende parameters: de amplitude, de druk, de temperatuur, de

viscositeit en de concentratie van eventuele aanwezige vaste deeltjes. Dit resulteert in een functie afhankelijk van:

- de energie: de energieinput per volume behandeld materiaal (kWh / L);
- de intensiteit: het overgebrachte vermogen per oppervlakte eenheid van de sonotrode (kWh/L) (Hielscher, 2005).

Een tweede belangrijke procesparameter is de druk, door de omgevingsdruk te verhogen neemt de cavitatiedrempel toe waardoor het aantal cavitatiegasbellen afneemt (Muthukumar, Kentisch, Stevens, & Muthupandian, 2006). Een toename van de uitwendige druk zorgt echter voor een toename van de druk in de gasbellen tijdens het imploderen, dit resulteert in een snellere en hevigere implosie (Lorimer & Mason, 1987). Het verhogen van de omgevingsdruk kan een effectieve tool zijn om de intensiteit van het proces te verhogen zonder dat daarvoor de amplitude verhoogt dient te worden (Hielscher, 2005).

De derde en laatste parameters zijn de temperatuur en viscositeit. De temperatuur heeft een invloed op de dampdruk en oppervlaktespanning van de vloeistof (Muthukumar, et al. 2006). Wanneer de temperatuur stijgt neemt ook het aantal cavitatiegasbellen toe, de implosies van deze bellen wordt echter gedempt door de hogere dampdruk. De viscositeit bemoeilijkt de vorming van cavitatiegasbellen. Een toename van de temperatuur zorgt voor een daling van de viscositeit. Er is m.a.w. een optimale temperatuur waarbij de viscositeit voldoende is afgenomen om gemakkelijk cavitatiegasbellen te vormen, maar nog steeds laag genoeg om het dempingseffect bij een hogere dampdruk te vermijden.

2.9.2.2 Ontluchten met Hielscher UP 200S en Sonomechanics LSP-500

Hielscher UP 200S

De eerste testen werden uitgevoerd met een UP 200S van Hielscher (2.1.2 Testen ultrasone generator UP200S). Dit is een laboschaal ultrasone ontluchter met als hoofddoel chemische reacties te versnellen. Dit toestel beschikt over een maximaal vermogen van 200 W en kan uitgerust worden met verschillende sonotrodes elk met een andere vorm en grootte. Verder beschikt dit toestel over twee regelbare instelknoppen waarmee enerzijds de cycle en anderzijds de amplitude aangepast kan worden. Met de cycle kan de gebruiker kiezen tussen een continue- en pulserende werking. De amplitude laat toe het overgebrachte vermogen aan te passen. Resultierend uit de test blijkt dat voor een Kay AMH Handwash de ideale instellingen een cycle van 0,8 en een amplitude van 100% zijn. Bij andere combinaties van deze instelparameters duurt het ontluchten langer. Bovendien is de ontluchtingsduur sterk

afhankelijk van de gebruikte sonotrode. Naarmate het contactoppervlak tussen de sonotrode en de vloeistof vergroot, versnelt het ontluichtingsproces. Door gebruik te maken van een sonotrode met een groter contactoppervlak met de vloeistof neemt het overgebracht vermogen per oppervlakte eenheid wel af waardoor de cavitatie rustiger verloopt.

Sonomechanics LSP-500 met doorstroom reactor kamer

De ultrasone generator UP 200S van Hielscher werkt enkel in batchmodus. Indien dit principe op industriële schaal gebruikt wordt moet er overgeschakeld worden naar een ultrasone generator werkend in een doorstroom modus. Bijkomend moet onderzocht worden over welk vermogen deze ultrasone generator dient te beschikken en de doorstroomsnelheid van de te ontluichten vloeistof. Om deze parameters te bepalen werd de test 2.1.3 Testen LSP-500-Laboratory-scale ultrasonic liquid processor uitgevoerd. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een ultrasone generator LSP – 500 van Sonomechanics uitgerust met bijhorende doorstroomcel. De ultrasone generator transformeert de lijnspanning naar een signaal met een frequentie van 20 Hz dat op zijn beurt een piëzo- elektrisch kristal aandrijft. Dit elektrisch signaal wordt door het piëzo- elektrisch kristal omgezet naar een mechanische trilling. Deze trilling wordt versterkt en overgedragen over de volledige lengte van de sonotrode. Hierdoor zal de tip van de sonotrode longitudinaal bewegen. De amplitude van deze beweging is afhankelijk van de ingestelde amplitude. Naarmate de gebruiker de amplitude van de ultrasone generator verhoogt zal ook de longitudinale beweging van de tip van de sonotrode en de intensiteit toenemen (Peshkovsky, z.d.). De beschreven beweging van de sonotrode wekt cavitatie op.

Op basis van deze test wordt de ideale verblijftijd van de vloeistof in de doorstroom reactor kamer bepaald in combinatie met het overgebrachte vermogen bepaald. Onder ideale verblijftijd wordt ontluicht product verstaan dat onmiddellijk afvulbaar is tegen een gemiddelde snelheid van 9 flessen/min, zonder overstromen van de flessen. Deze test laat toe het benodigde vermogen in combinatie met het pompdebiet te bepalen voor de testopstelling. Deze gegevens worden op hun beurt gebruikt om de schaalvergroting uit te voeren, waarbij het pompdebiet 90 l/min bedraagt. De opschaling resulteert in tien 3000 W ultrasone generatoren met doorstroomcellen. Deze opschaling is gebaseerd op de huidige situatie. Indien men de ultrasone generatoren wenst te implementeren na het doorvoeren van de voorgestelde verbeteringen dient men deze test opnieuw uit te voeren.

2.9.3 Leidingnetwerk

De voorgestelde scenario's in 2.4.3 Verbeterde scenario's, verbeteren het probleem met de luchtinslag en bieden de mogelijkheid, mits het aanpassen van het volledige persleidingnetwerk te verpompen aan 50 m³/h. Deze scenario's verschuiven echter enkel het koppelprobleem en de daarbij horende risico's op menselijk fouten. Vandaar dat dit hoofdstuk zich focust op het gehele leidingnetwerk van Ecolab, waarbij er een volledige geautomatiseerd scenario wordt uitgewerkt. Hier worden alle mixing area's en afvullijnen in opgenomen.

2.9.3.1 Koppelen van de verschillende mixing area's

De productiehal van Ecolab bevat vier mixing area's met in totaal 15 mixers. Mixing area 1 bestaat uit vier kleine mengvaten, die via een matrix systeem met twee pompen verbonden worden. De persleidingen van de pompen worden naar de persleidingmatrix in de kelder van mixing area 2 en 4 geleid. Mixing area 3 bestaat uit één mengvat van 30 000 l, met een dedicated pomp. Ook deze persleiding wordt naar de persleidingmatrix in de kelder geleid. Hierdoor zijn alle persleidingen gecentraliseerd zoals Figuur 38 toont.

2.9.3.2 Centrale persleidingen

In de huidige situatie is het mogelijk om vanuit iedere mixing area en bijgevolg ieder mengvat over te pompen naar ieder afvulmachine. Door de jaren heen is er een gecompliceerd leidingnetwerk ontstaan, met de daarbij horende noodzakelijke koppelstations. Dit om te voldoen aan de eis van maximale flexibiliteit.

Dit scenario biedt eenzelfde flexibiliteit en is tevens een sterke vereenvoudiging van het huidige leidingnetwerk. Dit wordt gerealiseerd door vanuit de kelder van mixing area 2 en 4 te vertrekken met zes persleidingen, gekoppeld aan de persleidingmatrix. De leidingen lopen centraal doorheen de volledige productiehal. Iedere afvulmachine is met geautomatiseerde ventielen verbonden met deze zes centrale leidingen. Dit laat toe vanuit ieder van deze leidingen geautomatiseerd te pompen naar een willekeurig afvulmachine zoals Figuur 38 toont.

2.9.3.3 Piginstallatie

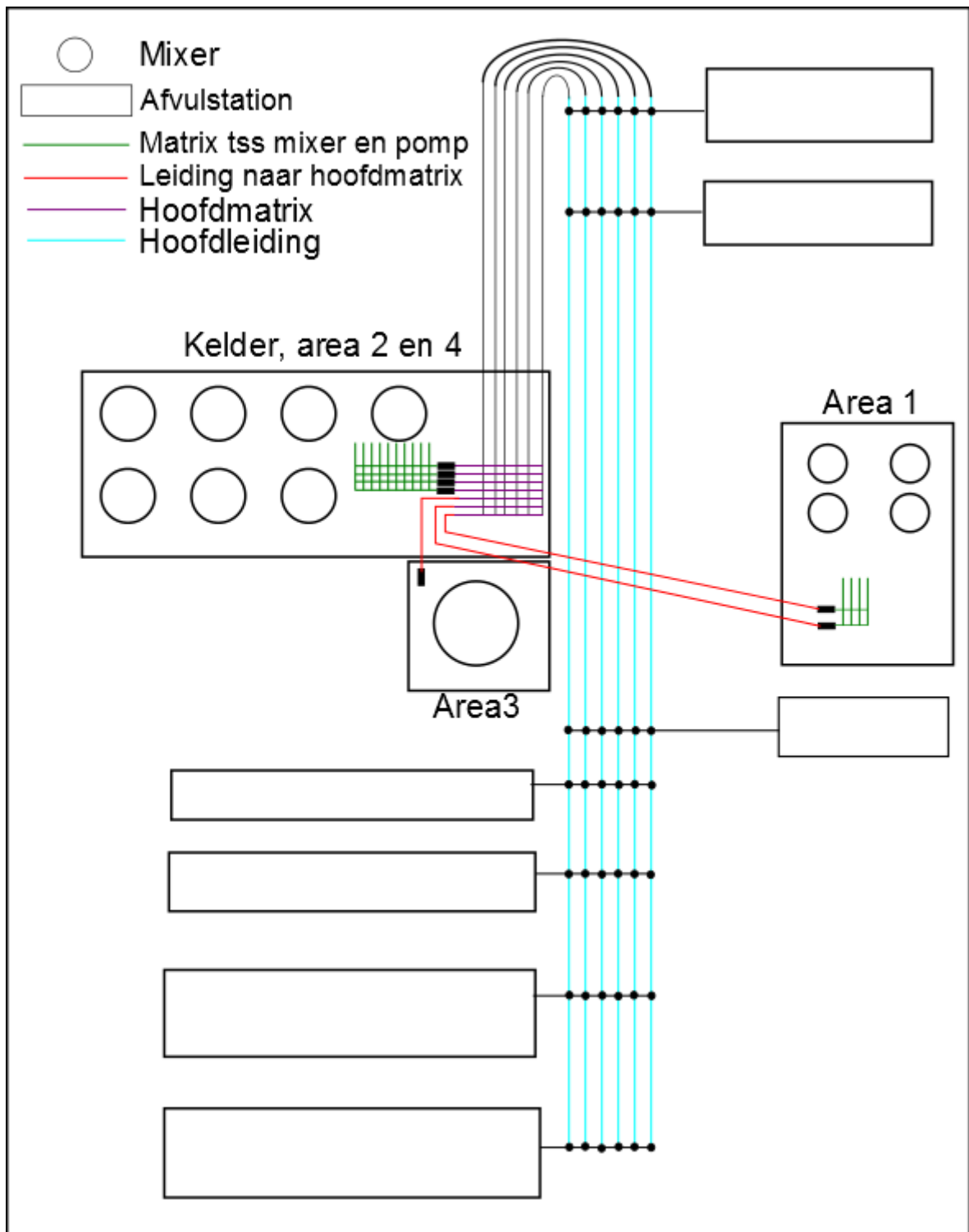
Deze opstelling beperkt het benodigd aantal piginstallatie tot zes, namelijk de zes centrale hoofdleidingen. Zowel de leidingen, bochten als ventielen dienen daartoe uitgevoerd te worden volgens resp. DIN 11850, DIN 11867 en DIN 11846. Optioneel kunnen de persleidingen die mixing area 1 verbinden met mixing area 2 en 4 ook uitgerust worden met een piginstallatie.

2.9.3.4 Voor- en nadelen

Indien enkel de voorgestelde verbeteringen van de kelder zou doorgevoerd worden, behaald men de vooropgesteld 50 m³/h niet. Dit is enkel mogelijk wanneer het volledige persleidingen netwerk aangepast wordt. In de huidige situatie zou dit neer komen op tien volledig nieuwe persleidingen die elk afzonderlijk naar een afvulmachine lopen. Na deze aanpassing is enkel het persleidingen netwerk van mixing area 2 en 4 vernieuwd en verschuift het probleem naar het volgende koppelstations en de overige mixing area's.

Dit scenario vernieuwd echter het volledige leidingen netwerk, zowel pers- als zuigleidingen, van iedere mixing area en laat een volledig geautomatiseerde sturing toe. Hierdoor worden het aantal menselijk fouten tot een minimum beperkt, iedere persleiding is uitgerust met een pig en het aantal te onderhouden ventielen is tot een minimum herleidt.

Het enige nadeel is de grootte van de ingreep, maar de implementatie gaat gepaard met een beperkte downtime, zeer veel leidingen en leidingonderdelen kunnen in prefab worden voorbereid en ingebouwd. Bijkomend zal er een grondig schema dienen opgesteld te worden om het preventief onderhoud uit te voeren. Dit om eventuele lekken en defecten te vermijden of vroegtijdig op te sporen.

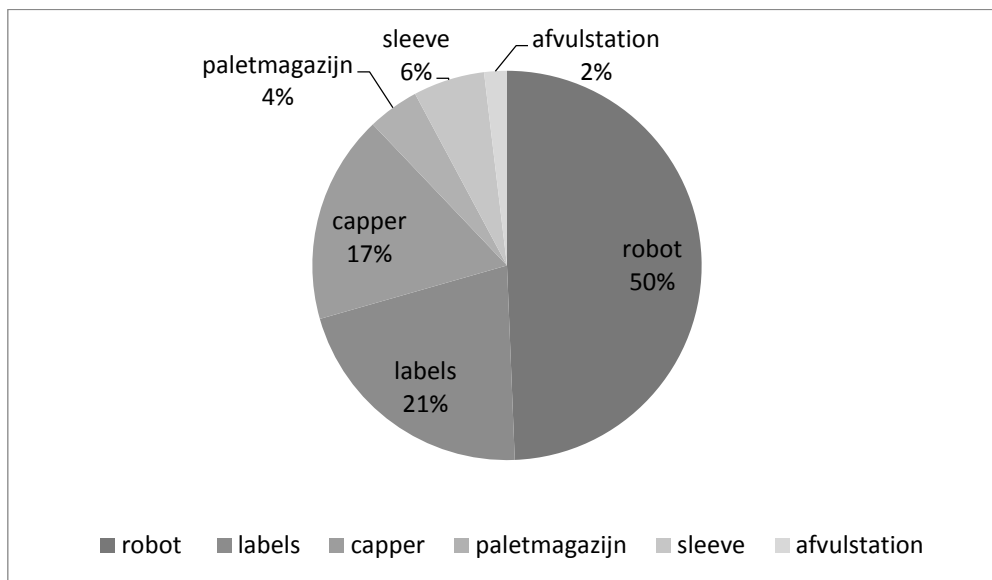


Figuur 38: Grondplan geautomatiseerd overpompen

2.9.4 Korte stops

Tijdens de opvolging van het productieproces viel op dat de afvulmachine zeer vaak tot stilstand komt en dit zelden door problemen met de afvulmachine. Zoals te zien is in

onderstaande Figuur 39. In totaal zijn dit 1801 minuten stilstand van de can-8 afvulmachine verspreid over vier weken.



Figuur 39: Overzicht korte stops

2.9.4.1 Robot

De robot alleen is verantwoordelijk voor 50% van alle stilstand en dit gedurende vier weken. Dit komt overeen met 889 minuten stilstand.

Oorzaak

De grootste oorzaak hiervan is de opstelling van de robot. Deze moet namelijk flessen van zowel de jug- lijn als de can 8 lijn stapelen. Deze robot is echter niet in staat om beide afvullijnen te volgen tegen de gewenste snelheid. De tweede grote oorzaak doet zich voor na het plaatsen van een leeg palet waarna de robot in veiligheid valt. De robot moet eerst manueel ontgrendelt worden alvorens hij het werk hervat. Een derde grote oorzaak is uitval zonder bekende reden. De robot moet ook hier eerst weer manueel ontgrendelt worden.

Oplossing

Het zou vrij onlogisch zijn verschillende aanpassingen te doen aan het productieproces zodat het afvullen tegen nog hogere snelheden kan gebeuren. Als de robot de huidige

afvuelsnelheden niet kan volgen. Intern bij Ecolab zijn er plannen deze robot te vervangen door een ander exemplaar.

2.9.4.2 Labels

De labels zijn verantwoordelijk voor 21% van alle stilstand. Dit komt overeen met 382 minuten stilstand verspreid over vier weken.

Oorzaak

De grootste oorzaak van het probleem ligt bij de dragers waarop de labels kleven, deze scheuren namelijk regelmatig door. Men verliest ook zeer veel tijd met het plaatsen van nieuwe labelrollen. De huidige labels worden geleverd op kleine rollen waardoor de rollen regelmatig vervangen dienen te worden. Bijkomende verliest men ook zeer veel tijd voor het afstellen van de labelmachine.

Oplossing

Allereerst moet er gecontroleerd worden of de labelmachine constant met dezelfde kracht trekt aan de drager van de label en schokkende bewegingen vermijden. Indien na deze bijstelling de dragers nog steeds scheuren kan er contact opgenomen worden met de fabrikant met de vraag de labels op een stevigere drager te leveren. Bijkomend kan de vraag gesteld worden de labels op grotere rollen te leveren. Om de afsteltijden te verminderen kan men eventueel werken met voorinstellingen waarbij er vaste instellingen zijn voor iedere type label.

2.9.4.3 Capper

De *capper* is de zesde stap in de PACK'R afvulmachine. Deze voorziet iedere fles van een bijhorende dop. Deze is op zijn beurt verantwoordelijk voor 17% van de totale stilstand. Wat overeenkomt met 312 minuten.

Oorzaak

De doppen dienen in een hopper gekapt te worden van waaruit worden deze naar een carrousel getransporteerd. Het komt vaak voor dat de hopper geen doppen oppikt omdat de

bak een rechte bodem heeft en er geen doppen naar de hopper worden gevoerd. Een tweede probleem dat zich durft te stellen zijn verstoppingen in de carrousel waardoor de afvulmachine tot stilstand komt.

Oplossing

De eenvoudigste oplossing is manueel de doppen regelmatig doorduwen zodat deze gemakkelijk opgenomen kunnen worden door de hopper. Men kan de hoppercontainer ook voorzien van een schuine bodemplaat waardoor de doppen vanzelf naar de hopper toe glijden. De carrousel kan uitgerust worden met een beter geleidingssysteem voor de doppen. Waardoor een verstopping vrijwel onmogelijk wordt.

2.9.4.4 Paletmagazijn

Het paletmagazijn is zorgt voor slechts 77 minuten stilstand gedurende de geobserveerde vier weken.

Oorzaak

Het grote probleem met het paletmagazijn is de AGV die het paletmagazijn systematische moet bijvullen. Deze AGV is vaak defect, gaande van botsingen, software problemen tot onverklaarbare stilstanden.

Oplossing

Ondertussen hebben technici enkele grondige updates uitgevoerd. Het is nu afwachten of deze updates positieve resultaten tonen.

2.9.4.5 Sleeve

Sommige flessen worden voorzien van een manteletiket. Dit etiket wordt langs boven over de fles geschoven. Dit is niet het geval bij Capital flessen.

Oorzaak

Het grootste gedeelte van de downtime is toe te wijzen aan het vervangen van lege rollen door nieuwe. Bijkomende problemen die zich in mindere mate stellen zijn: scheuren van de 20 L *sleeve* met boekje, 20L *sleeve* schuift uit de klemmen.

Oplossing

Om het wisselen van de rollen te versnellen kan men opteren een tweedelig sleeve-machine te plaatsen waarbij de machine automatisch overschakelt op een tweede rol. Hierdoor heeft de operator rustig de tijd de eerste rol te vervangen.

Om het schuiven van de sleeve te verminderen kunnen de grijpers vervaardigd worden uit een materiaal met een hogere wrijvingscoëfficiënt.

2.9.4.6 Afvulmachine

Het afvulmachine zelf is verantwoordelijk voor slechts 2% van de totale downtime. Dit komt overeen met 34 minuten van de in totaal 1801 minuten downtime verspreid over vier weken.

Oorzaken

Problemen die zich stellen bij het afvulmachine zijn: het blijven hangen van bussen met een sleeve aan de ingang van het afvulmachine, het niet sluiten van de klemmen en bijstellingen tegen spatten op de bus. De eerste twee problemen komen slechts zeer sporadisch en onregelmatig voor. Deze moeten van naderbij onderzocht worden om de onderliggende oorzaak van deze problemen te achterhalen. De spatten op de flessen worden veroorzaakt door slecht afsluitende afvulkoppen. Om dit op te vangen zijn er reeds druppelvangers geplaatst onder de afvulkoppen die na het vullen onder de afvulkoppen roteren. Tijdens het afvullen van zeer viskeuze producten zoals Capital verstoppen de afvoerleidingen van deze druppelvanger. Bijkomend door de snelle rotatie van de druppelvangers vliegt het product tegen de zijkant van de flessen.

Oplossingen

De afvulkoppen dienen onderworpen te worden aan een grondige revisie. Zodanig dat deze onmiddellijk en volledig afsluiten zonder nadruppen.

2.9.4.7 Conclusie korte stops

Het zou zeer onlogisch zijn de afvulsnelheid te verhogen zonder de hierboven beschreven korte stops tot een minimum te herleiden. De theoretisch haalbare afvulsnelheid zal wel stijgen, maar het aandeel korte stops ook. Hierdoor wordt de werkelijke afvulsnelheid slechts een fractie van de theoretische.

3 Besluit

3.1 Schuimvorming

Verschillende testen en productieprocesopvolgingen tonen aan dat de vorming van oppervlakteschuim tijdens het mengen onvermijdelijk is. Dit voornamelijk bij de aanvang van een tweede batch vertrekkende vanuit een mengvat met restproduct van een vorige productie. De hoeveelheid oppervlakteschuim is echter wel sterk afhankelijk van de operator. Hierbij zijn de roerwerksnelheid in combinatie met het moment van toedienen en het toedienen van grondstoffen vanuit de holdingtanks zeer belangrijk.

Het verlagen van de roerwerksnelheid wanneer het vloeistofniveau overeenkomt met het roerwerk niveau is noodzakelijk, ook wanneer de process instructions andere informatie verstrekt. Eenmaal het vloeistofniveau boven het roerwerk komt, mag deze terug in snelheid verhoogd worden. Het toevoegen van de grondstoffen uit de holdingtanks rechtstreeks in de mengvaten moet met een trager debiet gebeuren of alle leidingen moeten voorzien worden van een bocht. Zodanig dat de vloeistofstroom wordt afgebroken door de wanden van de mengvaten.

Indien de schuimproductie na het implementeren van bovenstaande aanbevelingen nog steeds de kop op steekt kan er overgegaan worden tot het plaatsen van actieve schuimbekers. Dit in de vorm van een ultrasone defoamer, deze kan tevens bevestigd worden op de roerwerkas.

3.2 Luchtinslag

Aanvankelijk werd het oppervlakteschuim beschouwd als hoofdoorzaak van het trage afvullen, maar na een grondige inspectie bleek het zuigleidingnetwerk de oorzaak te zijn. Het zuigleidingnetwerk bevat op verschillende plaatsen lekken waardoor de pompen door het generen van een onderdruk lucht aanzuigen en deze vermengen met het te verpompen product.

Door het vernieuwen van de zuigleidingen kan de luchtinslag grotendeels vermeden worden. Hierdoor is men in staat de beoogde afvuulsnelheid van 9 10-literflessen/minuut te halen. Indien er na het vernieuwen van het zuigleidingnetwerk nog steeds teveel luchtinslag

aanwezig is, kunnen er ultrasone generatoren geplaatst worden tussen de holdingtank en de afvulmachine.

3.3 Piggen

De drie aanwezige piginstallaties dienen regelmatig onderworpen te worden aan een grondig onderhoud waarbij alle dichtingen in de piglauncher vervangen dienen te worden. Bovendien is een regelmatige inspectie van de staat van de pig zeer belangrijk om de installatie in dienst te houden en de beoogde productrecuperatie te behalen.

De keuze om de overige persleidingen te voorzien van een productrecuperatie systeem is sterk afhankelijk van enkele factoren. Indien men eerst productrecuperatie wil toepassen alvorens het volledige leidingnetwerk aan te passen, dan is Whirlwind pigging de beste keuze. Het Whirlwind systeem heeft een recuperatie efficiëntie van 95 %. Indien men eerst het volledige leidingnetwerk, zowel zuig- als persleidingen wil vernieuwen is het verstandiger deze uit te rusten met leidingen die voldoen aan de normen voor een vaste piginstallatie. De recuperatie efficiëntie van een vaste piginstallatie is namelijk constanter dan deze van het Whirlwind systeem. Bovendien is deze efficiëntie onafhankelijk van het te piggen product en bedraagt 99,5 %.

3.4 Leidingnetwerk

Om het vooropgestelde doel van 50 m³/h te halen zullen naast de zuigleidingen ook de persleidingen aangepast moeten worden. Enerzijds zal het leidingnetwerk sterk vereenvoudigd moeten worden, dit door het minimaliseren van het aantal bochten, vernauwingen, ventielen, ... Anderzijds zal het nieuwe leidingnetwerk uitgerust worden met leidingen met een grotere diameter, namelijk DN 125.

3.5 Volledige automatisatie

Dit voorstel zorgt voor een volledige automatisatie van het leidingnetwerk van Ecolab. Alle persleidingen worden samengebracht naar een punt onder mixing area 2. Van hieruit worden deze leidingen via een matrixsysteem verbonden aan 6 hoofdleidingen. Deze leidingen lopen over de totale lengte van de fabriek en worden gekoppeld aan ieder

afvulstation. Op deze wijze kan ieder afvulstation vanuit iedere mixer automatisch bevoorrad worden.

Ieder product kan aan een debiet van 50 m³/h verpompt worden. Alle persleidingen kunnen met een vaste pig gepigd worden. De enige restrictie is dat er 6 afvulstations tegelijkertijd bediend kunnen worden.

De volledige uitwerking van dit voorstel is veel werk, maar zou een enorme vooruitgang voor Ecolab betekenen. Het is dan ook zeer belangrijk dat dit idee de nodige aandacht krijgt en hopelijk ook gerealiseerd wordt.

4 Geciteerde werken

- Aeolustech. (sd). *The Whirlwind System*. Opgeroepen op oktober 14, 2015, van Aeolustech:
<http://aeolustech.co.uk/index.php?pid=8>
- ASHOKKUMAR, A. (2009, November 10). The ultrasonic processing of dairy products – A review. Opgeroepen op december 21, 2015
- Cardon, P. (2013, juni). *Fluids in the news: A matter of (eccentric disc pump) principles*. Opgeroepen op December 1, 2015, van Dover:
<http://www.dovercorporation.com/globalnavigation/our-markets/fluids/a-matter-of-eccentric-disc-pump-principle>
- Cardoni, A. . (2012). *Ultrasonic defoaming system*. Opgeroepen op Januari 3, 2016, van PUSONIC:
http://www.pusonics.com/html/6860_PUSONICS_S_L_/files/27295_Defoaming-brochure-2012.pdf
- Dedhai, C., Ambulgekar, V., & Pandit , B. (2004, april). Static foam destruction: role of ultrasound. Mumbai , Maharashtra, India . Opgeroepen op september 10, 2015
- Eliezer, R., & Goldberg, M. (1967, April 1). Mechanical foam breaking. Haifa, Israël. Opgeroepen op Augustus 26, 2015
- Garrett, P. (2013, december). *The science of defoaming; theory, experiment, and applications*. Portland, United States. Opgeroepen op januari 3, 2016
- Germán, R., Riera, E., Gallego-Juarez , J., Acosta, V., Pinto, A., Martinez, I., & Blanco, A. (2009, Januari). *ResearchGate*. Opgeroepen op september 9, 2015, van Experimental study of defoaming by air-borne power ultrasonic technology:
http://www.researchgate.net/publication/229106736_Experimental_study_of_defoaming_by_air-borne_power_ultrasonic_technology
- Hielscher, T. (2005). *Ultrasonic production of nano-size dispersions and emulsions*. Teltow, Brandenburg, Duitsland . Opgeroepen op september 9, 2015
- Kenneth, S., & Suslick, E. (1989, maart 17). *Ultrasound; Its Chemical, Physical, and Biological Effects*. New York, VS. Opgeroepen op september 9, 2015
- Laborde, J., Bouyer, C., Caltagirone, J., & Gerard , A. (1998). *Acoustic bubble cavitation at low frequencies*. Bordeaux, Gironde, Frankrijk. Opgeroepen op September 9, 2015
- Leighton, T. (1994, Oktober 8). *Ultrasonic Sonochemistry. Bubble population phenomena in acoustic cavitation* . Southampton , Verenigd Koninkrijk. Opgeroepen op September 9, 2015
- Lorimer, J., & Mason, T. (1987, september). *Sonochemistry Part 1 - The physical aspects*.

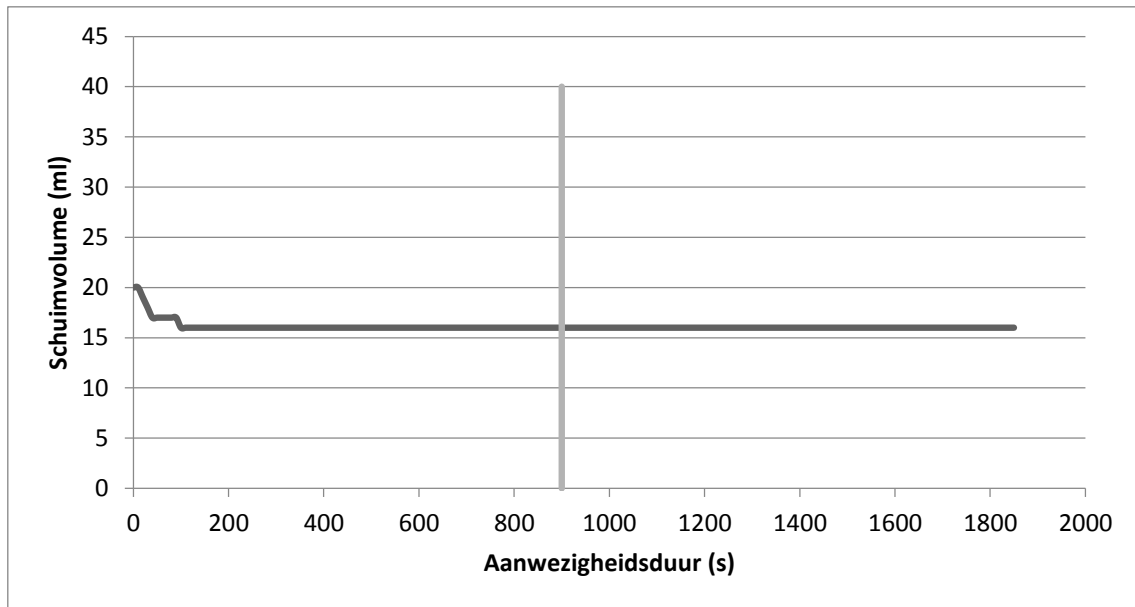
- Moholkar, S., Kekveld, S., & Wamoeskerken, M. (2000). Modeling of the acoustic pressure fields and the distribution of the cavitation phenomena in a dual frequency sonic processor. Twente, Enschede, Nederland. Opgeroepen op september 9, 2015
- Muthukumaran, S., Kentisch, E., Stevens, W., & Muthupandian, A. (2006). Application of ultrasound in membrane separation processes: A review. Melbourne, Victoria, Australië. Opgeroepen op september 9, 2015
- PACK'R. (2014, Februari 2). *Jeerycan/ Pail/ Flexible Filling and Capping Machine* . Opgeroepen op Oktober 22, 2015, van PACK'R: <http://www.packr.com/index.php/filling-machine-series/indexing-rotary-fillers.html>
- Peshkovsky, A. (sd). *Flow-through reactor chambers (flow cells)*. Opgeroepen op augustus 11, 2015, van Sonomechanics: http://sonomechanics.com/technology/flow-through_reactor_chambers/
- Peshkovsky, A. (z.d.). *LSP-500 processor*. Opgeroepen op september 18, 2015, van Sonomechanics: http://sonomechanics.com/products_services/500_w_laboratory-scale_processor/
- Rezek Jambrak, A., Vukusic, T., Stulic, V., Stanze, D., Milosevic, S., & Herceg, Z. (2015, september 9). The effect of high-power ultrasound and gas phase plasma treatment on *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. count in pure culture. Zagreb, Kroatië.
- Santema, G. (2015, April 1). *Internal gear*. Opgeroepen op Oktober 14, 2015, van SPX flow: <http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/AtexIM-TG-EN.pdf>
- Servinox. (sd). *Pigging system for all types of fluids XSR*. Opgeroepen op 12 28, 2015, van Servinox: <http://www.servinox.com/wordpress/index.php/systeme-de-raclage/?lang=en>
- Strälman, M. (2010, Januari 1). *Rotary Lobe*. Opgeroepen op Oktober 14, 2015, van SPX Flow: http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/IM_TW_EN.pdf
- Ultrasonic Degassing and Defoaming of Liquids*. (sd). Opgeroepen op augustus 10, 2015, van Hielscher: http://www.hielscher.com/degassing_01.htm

5 Bijlagen

Bijlage A: Test resultaten	106
Bijlage B: Ultrasonie generator Sonomechanics LSP – 500.....	116
Bijlage C: Pompbezettingsgraad.....	118

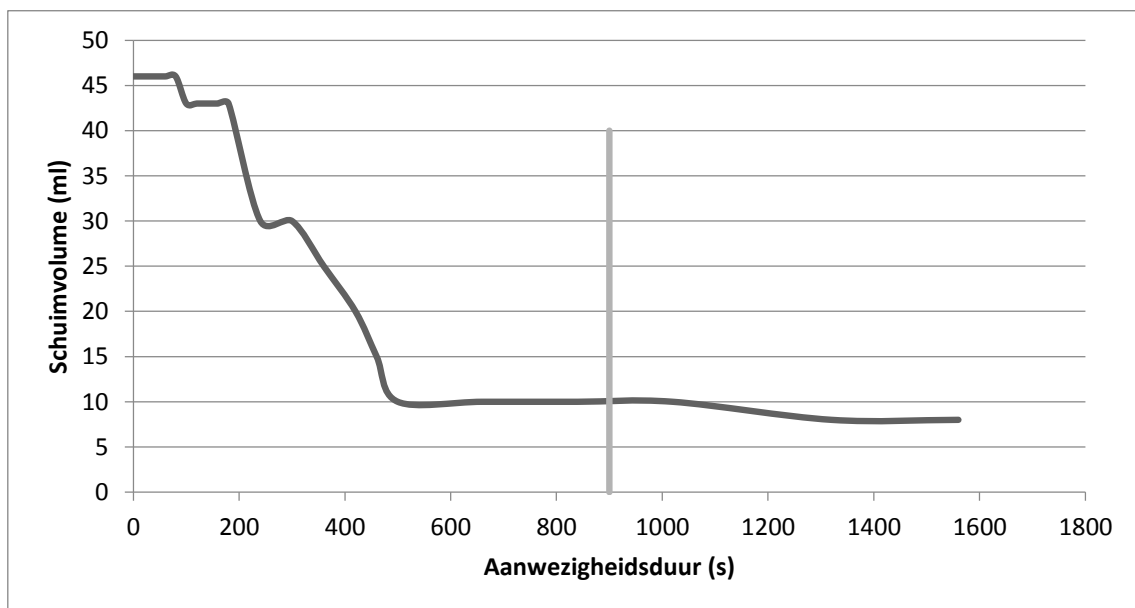
Bijlage A: Testresultaten

36 / 496



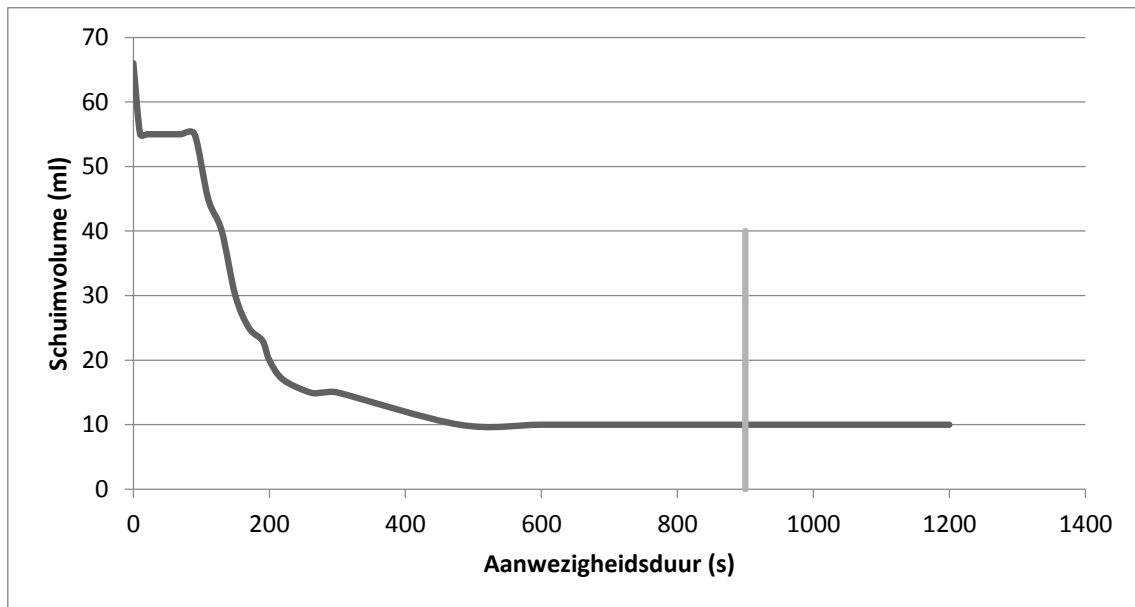
Figuur 40: Schuimstabiliteit 36 / 496

2 / 38



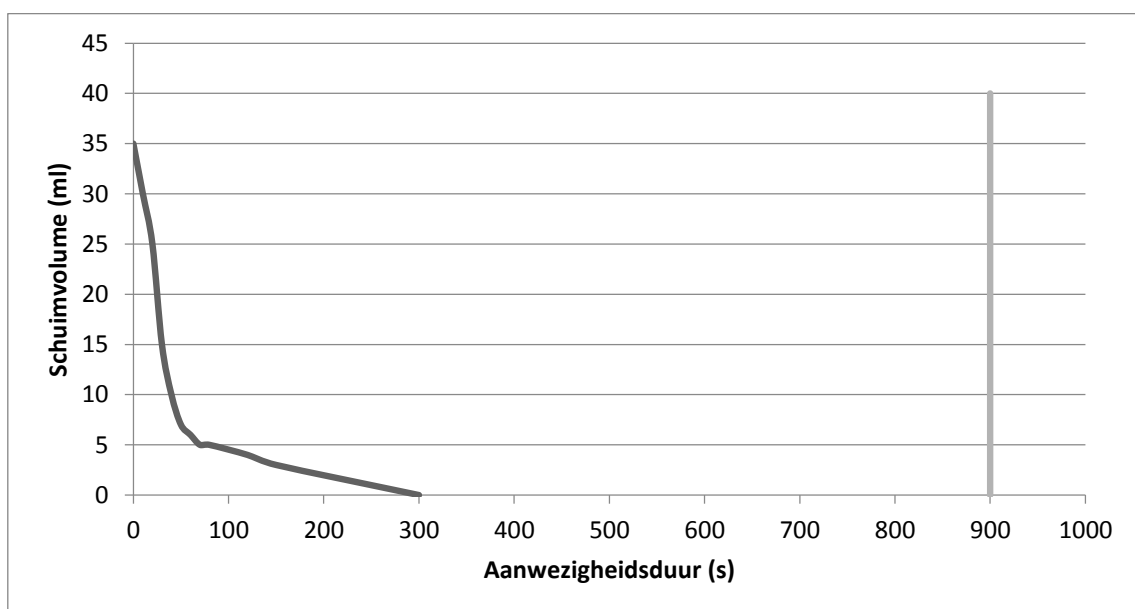
Figuur 41: Schuimstabiliteit 2/38

8 / 146



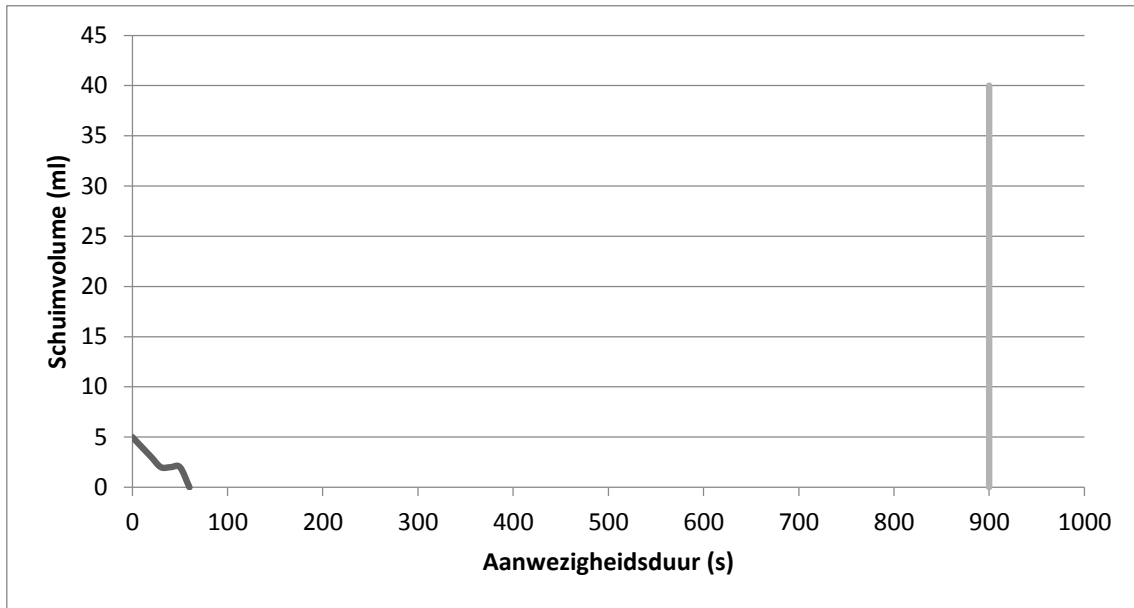
Figuur 42: Schuimstabiliteit 146 / 8

18 / 261



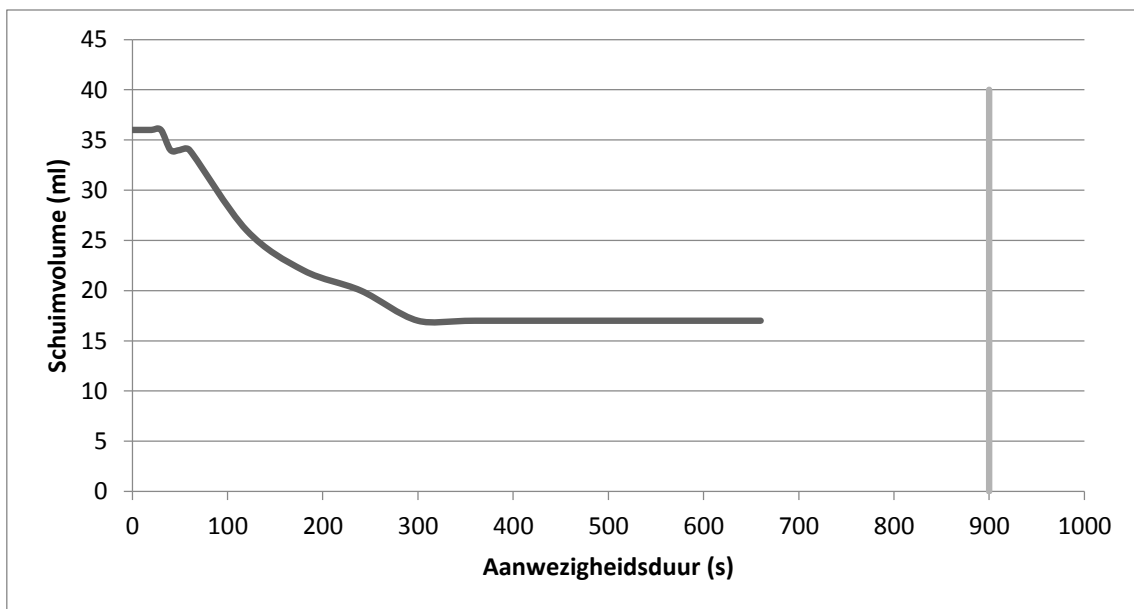
Figuur 43: Schuimstabiliteit 18 / 261

36 / 498



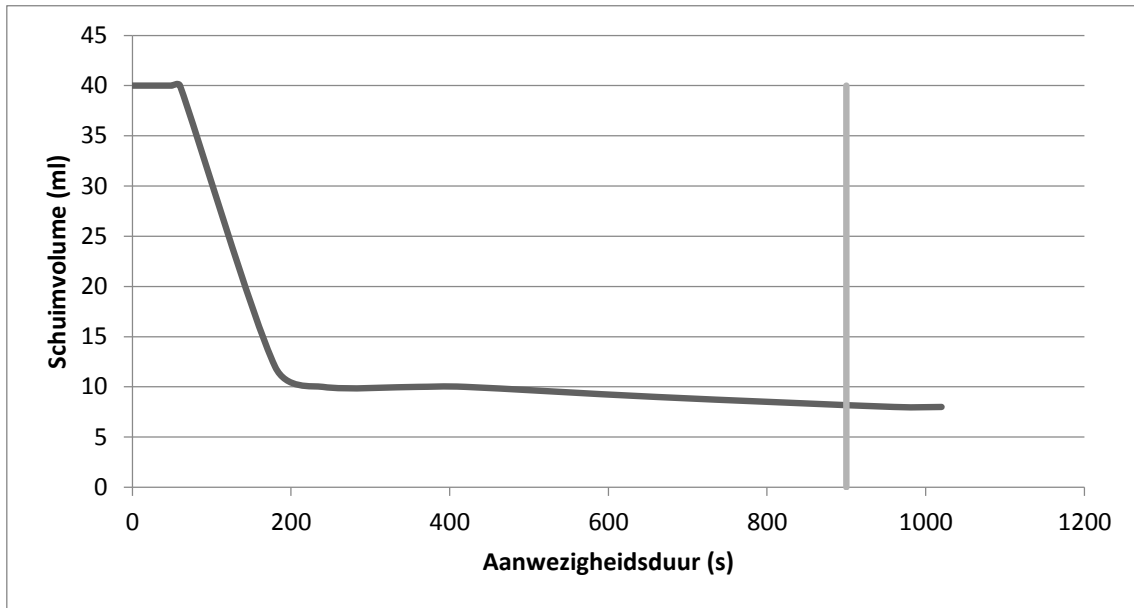
Figuur 44: Schuimstabiliteit 36 / 498

22 / 307



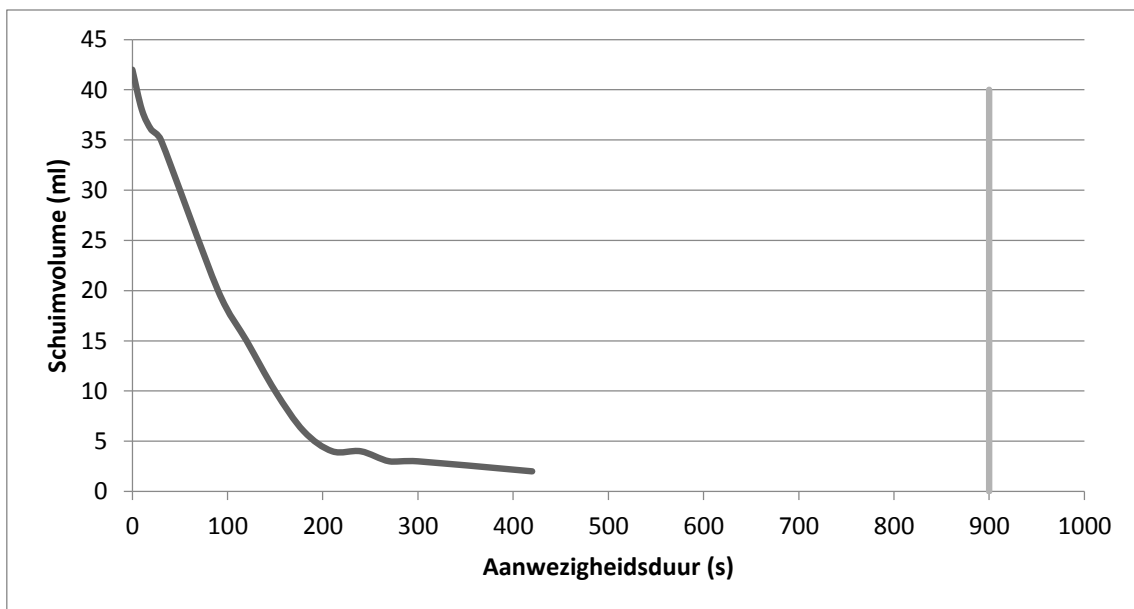
Figuur 45: Schuimstabiliteit 22 / 307

14 / 213



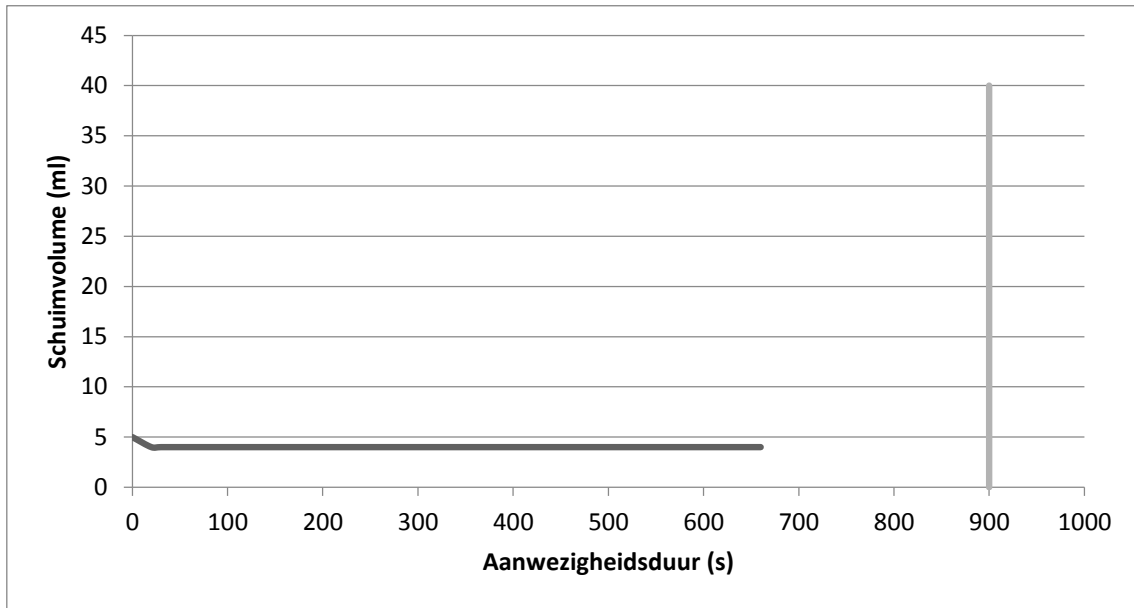
Figuur 46: Schuimstabiliteit 14 / 213

20 / 292



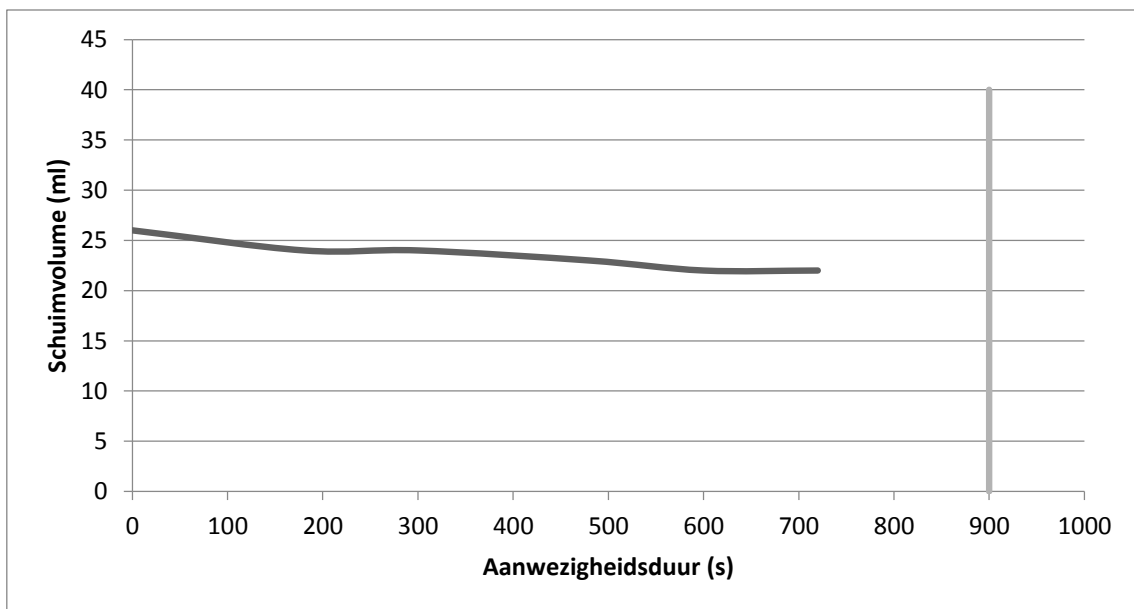
Figuur 47: Schuimstabiliteit 20 / 292

27 / 386



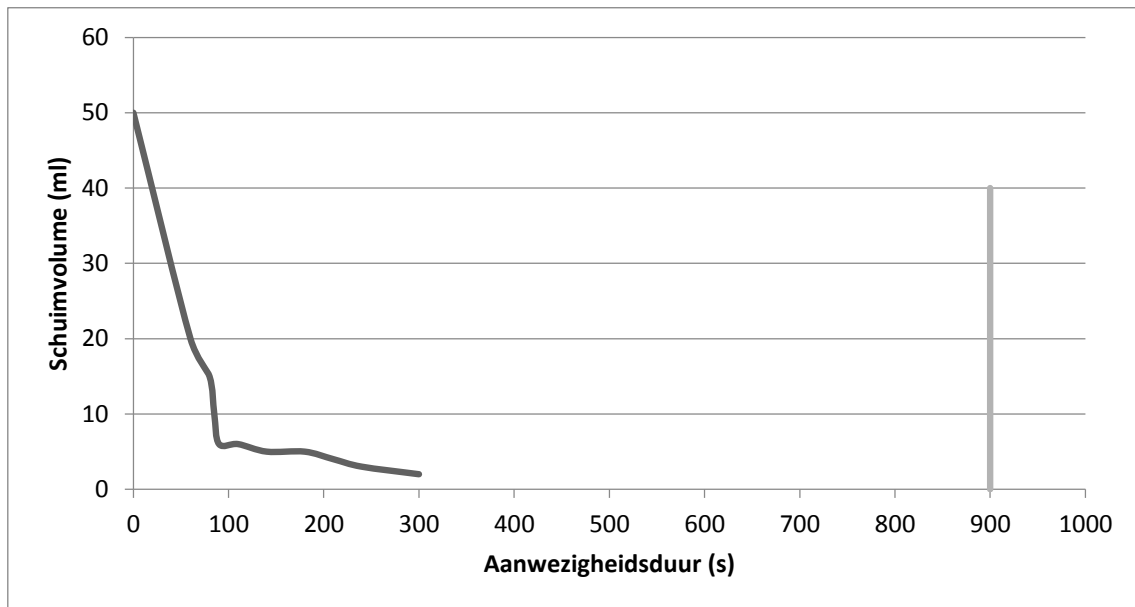
Figuur 48: Schuimstabiliteit 27 / 386

21 / 295



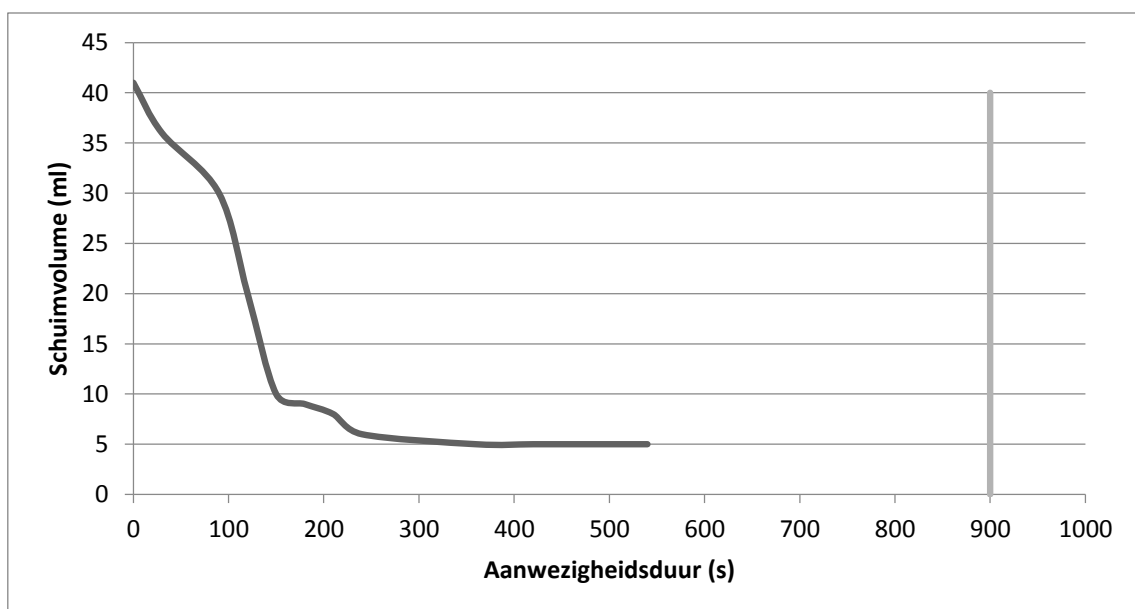
Figuur 49: Schuimstabiliteit 21 / 295

27 / 380



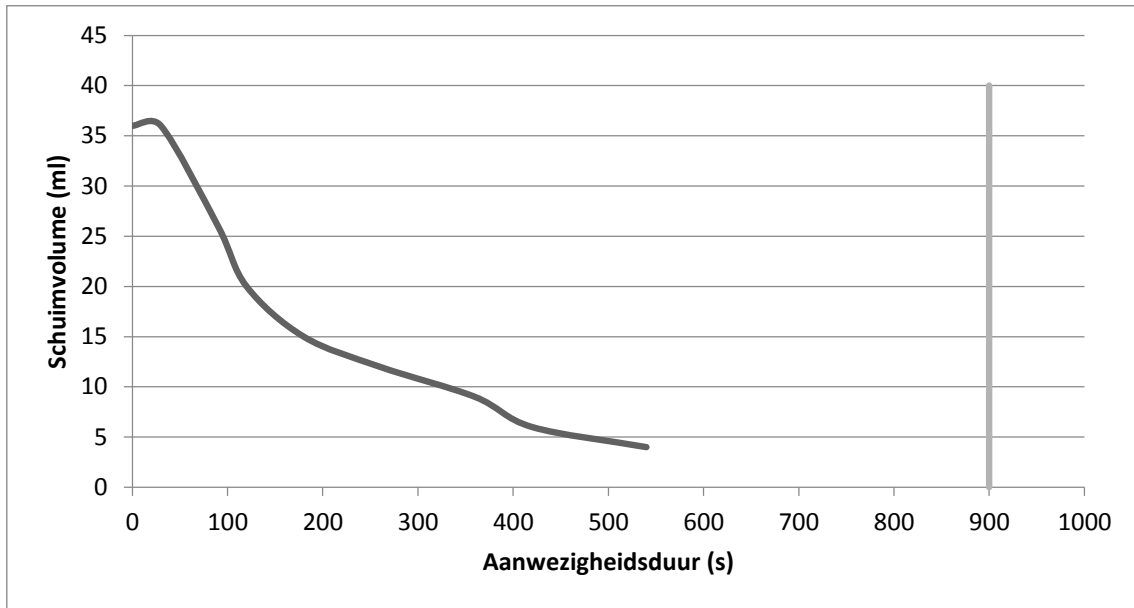
Figuur 50: Schuimstabiliteit 27 / 380

31 / 430



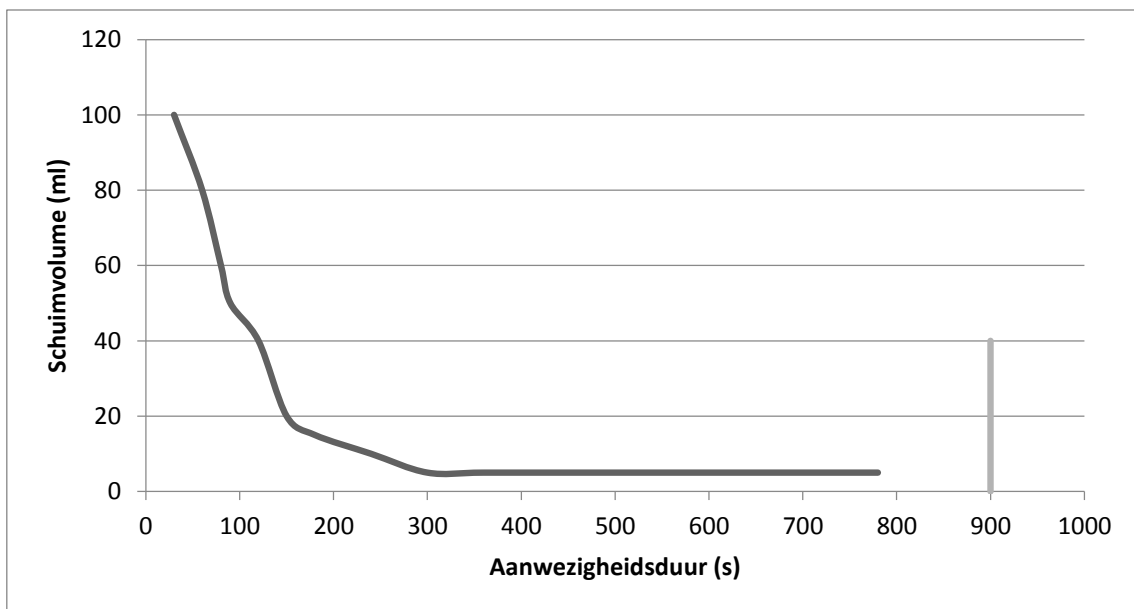
Figuur 51: Schuimstabiliteit 31 / 430

11 / 181



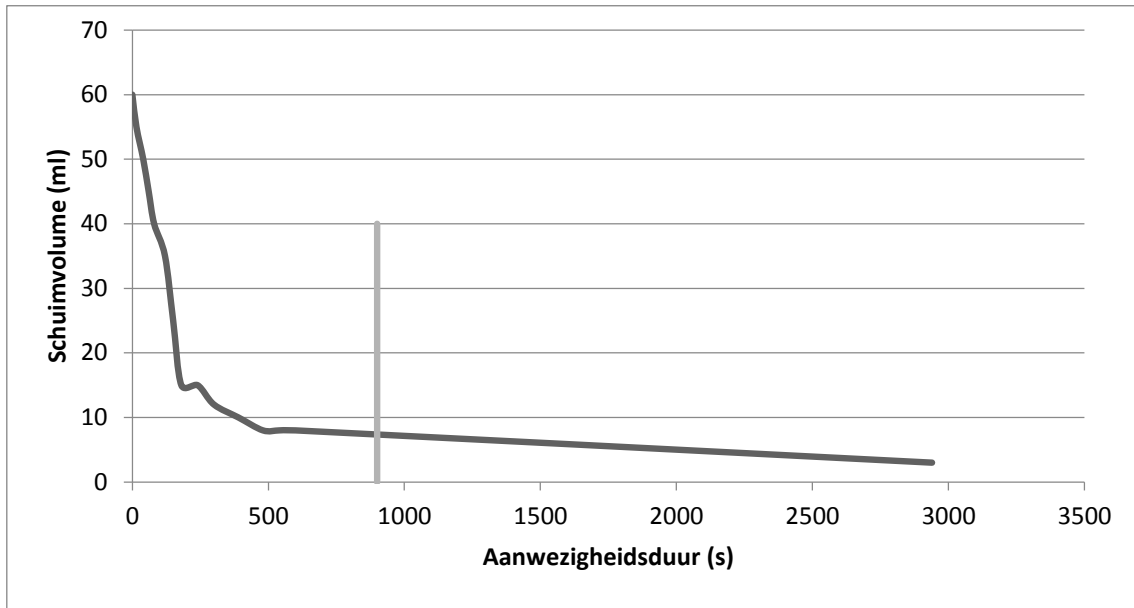
Figuur 52: Schuimstabiliteit 11 / 181

36 / 497



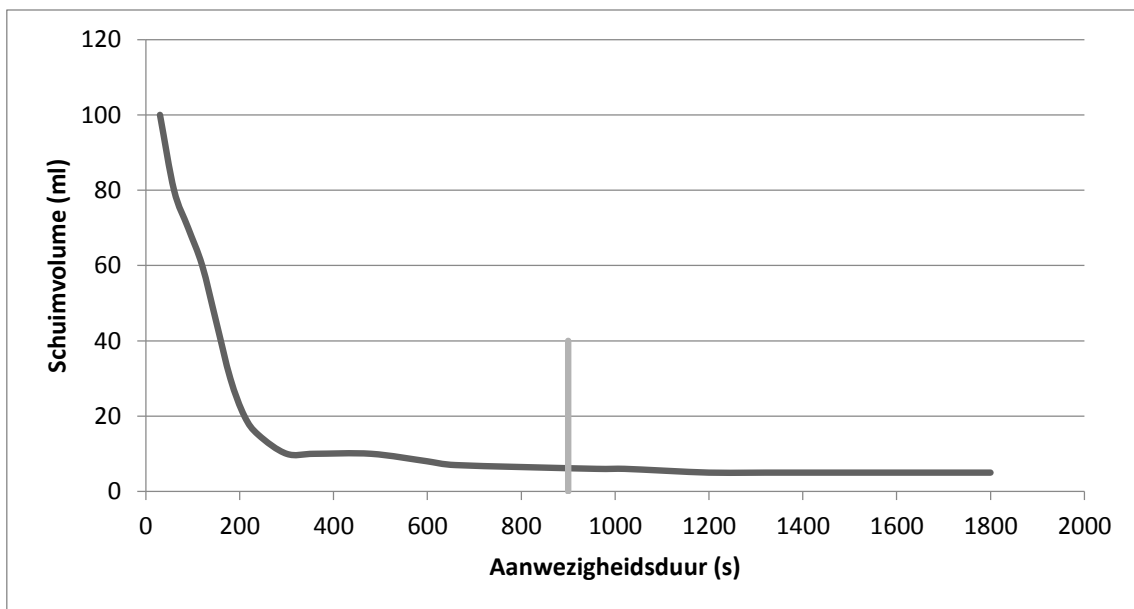
Figuur 53: Schuimstabiliteit 36 / 497

36 / 507



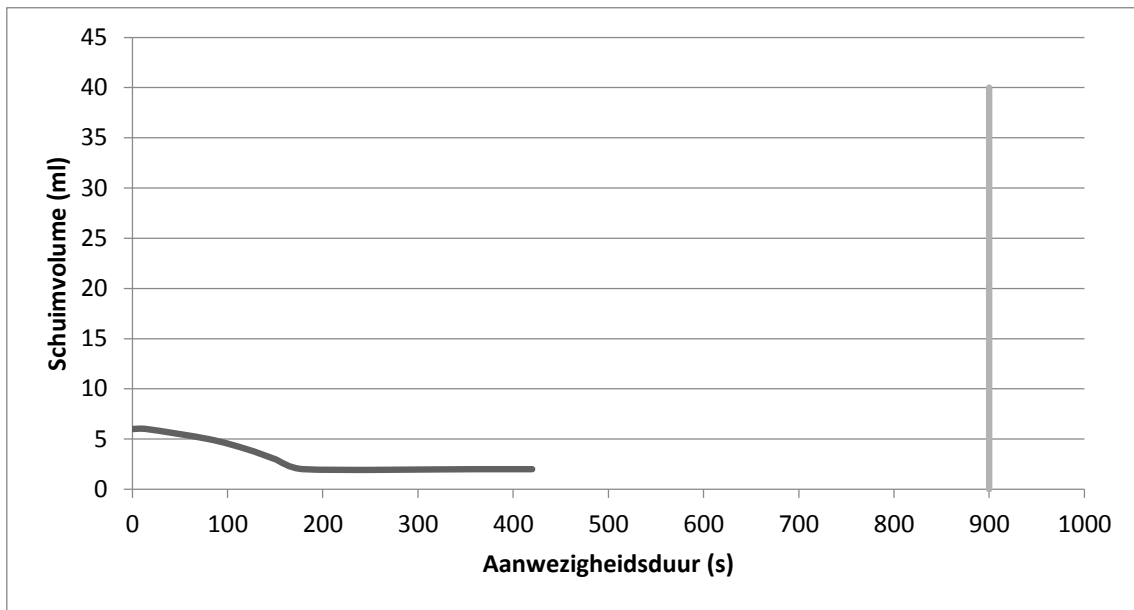
Figuur 54: Schuimstabiliteit 36 / 507

26 / 365



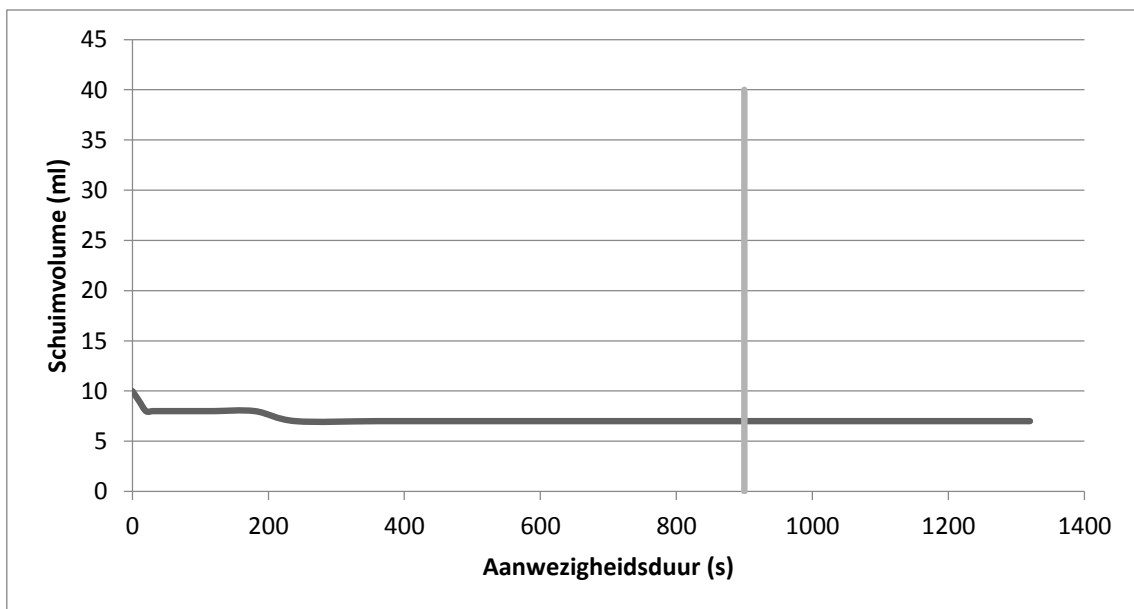
Figuur 55: Schuimstabiliteit 26 / 365

34 / 464



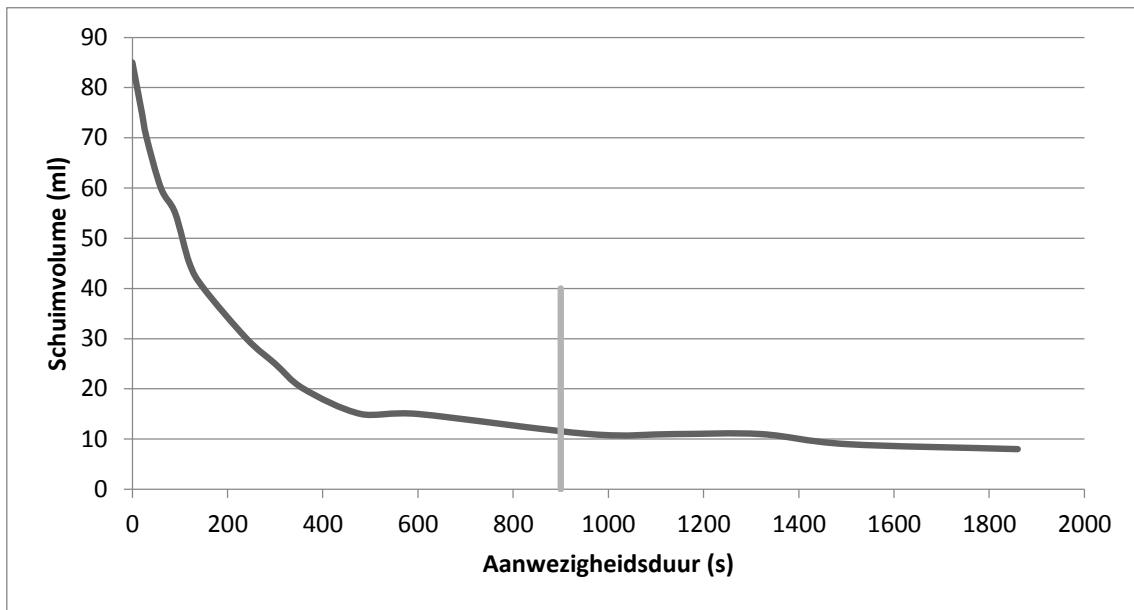
Figuur 56: Schuimstabiliteit 34 / 464

22 / 316



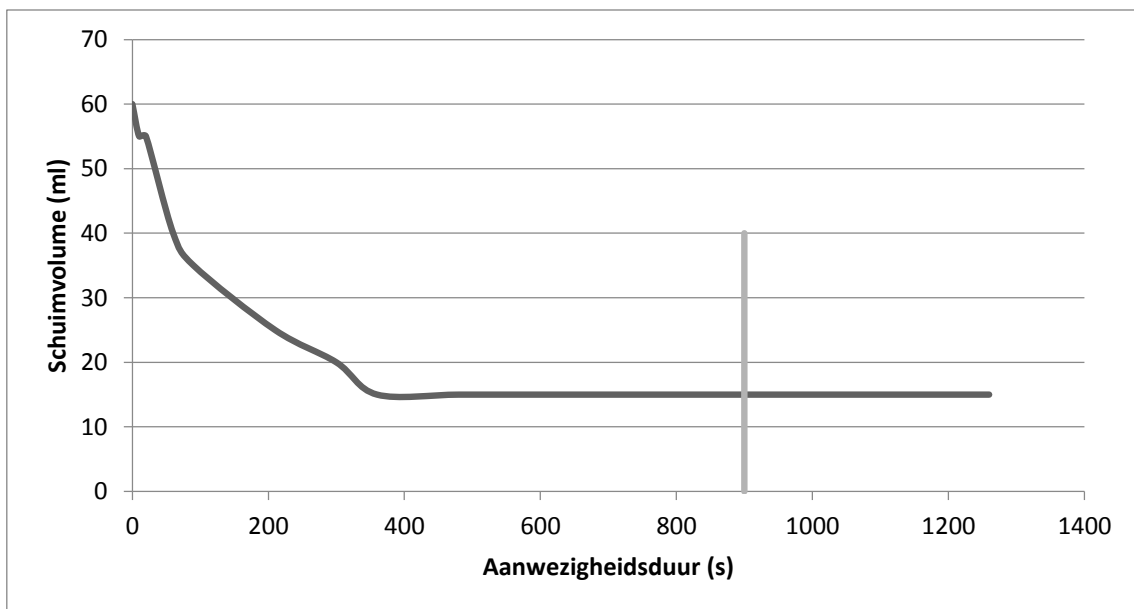
Figuur 57: Schuimstabiliteit 316 / 22

22 / 311



Figuur 58: Schuimstabiliteit 22 / 311

4 / 74



Figuur 59: Schuimstabiliteit 4 / 73

Bijlage B: Ultrasonie generator Sonomechanics LSP – 500

Ultrasonie generator

De ultrasonie generator laat toe de amplitude en tijdsduur in te stellen. Bovendien kan men het geleverde vermogen aflezen van de display.

Tabel 23: Technische gegevens LSP - 500

Generator	
Input voltage	220 VAC - 240 VAC @ 50/60Hz
Rated Current	5 Amps max
Fuse Rating	8 Amps (slo - blo)
Weight	6,8kg
Dimensions	203mm x 387 mm x 216mm
Output voltage	1000 V RMS (max)
Output frequency	20kHz

Ultrasonie sonotrode

Om de LSP-500 in combinatie met een doorstroomcel te gebruiken moet men volgend type sonotrode gebruiken. Deze sonotrode is een full- wave Barbell horn (FBH). Dit type sonotrode is uiterst geschikt voor het verwerken van grotere volume dit zowel in batch als doorstroommodus onderzoek.

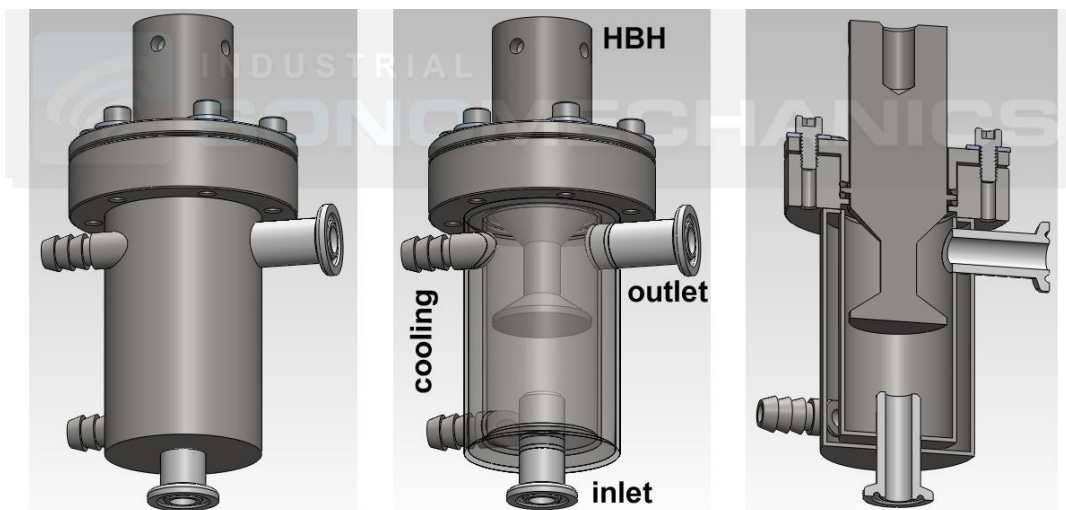
Tabel 24: Technische gegevens sonotrode

CH- type horn barbell horn with 21 mm tip	
Weight	0,680 kg
Dimensions	266mm x 21mm
Materials	titanium alloy

Doorstroomcel

De flowcell wordt gebruikt wanneer grotere vloeistofhoeveelheden verwerkt moeten worden. De doorstroom modus wordt verkozen boven een batch- mode door de hogere procescapaciteit, een verbeterde ultrasonie uniforme blootstelling en betere temperatuurstabilisatie. Een goed ontwerp van een dergelijke flowcell is van cruciaal belang aangezien deze zodanig ontworpen moet zijn dat alle vloeistof door de actieve cavitatie

zone(s) stroomt. De flowcell of reactorkamer die bij deze testen gebruikt is, is een Bench-Scale reactorkamer. Dit type reactorkamer wordt gecombineerd met een HBH Barbell horn sonotrode (Peshkovsky, A.). Op onderstaande figuur zijn ook koelkanalen getekend deze waren bij de gebruikte reactor kamer niet aanwezig.



Figuur 60: Flowcell

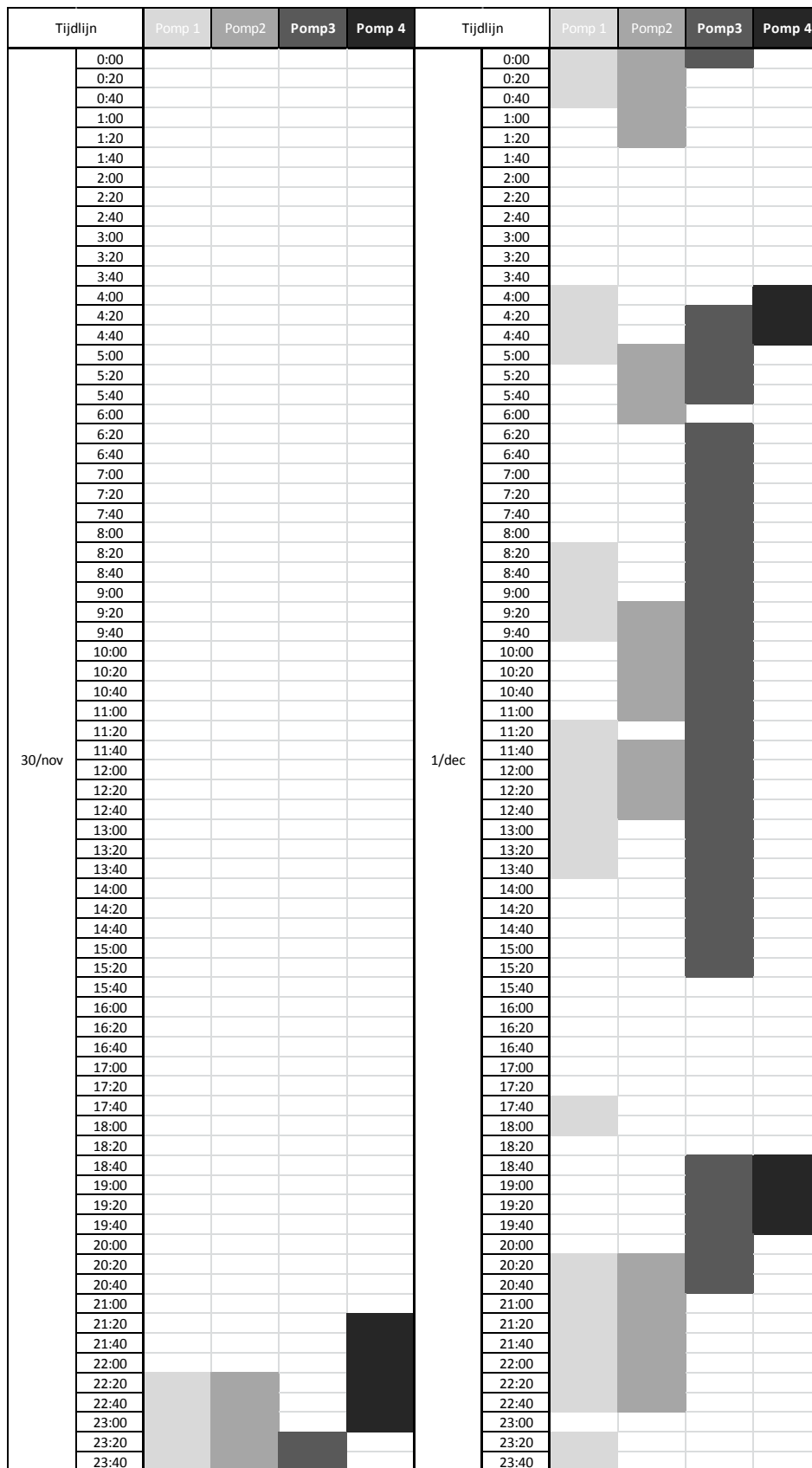
Roerwerk

Het roerwerk bestaat uit een uit twee beweegbaar gemonteerd bladen aan een schacht vervaardigd uit staal en gecoat met PP. De roerwerk bladen zijn volledig vervaardigd uit PP, welke spreiden naarmate de rotatiesnelheid toeneemt.

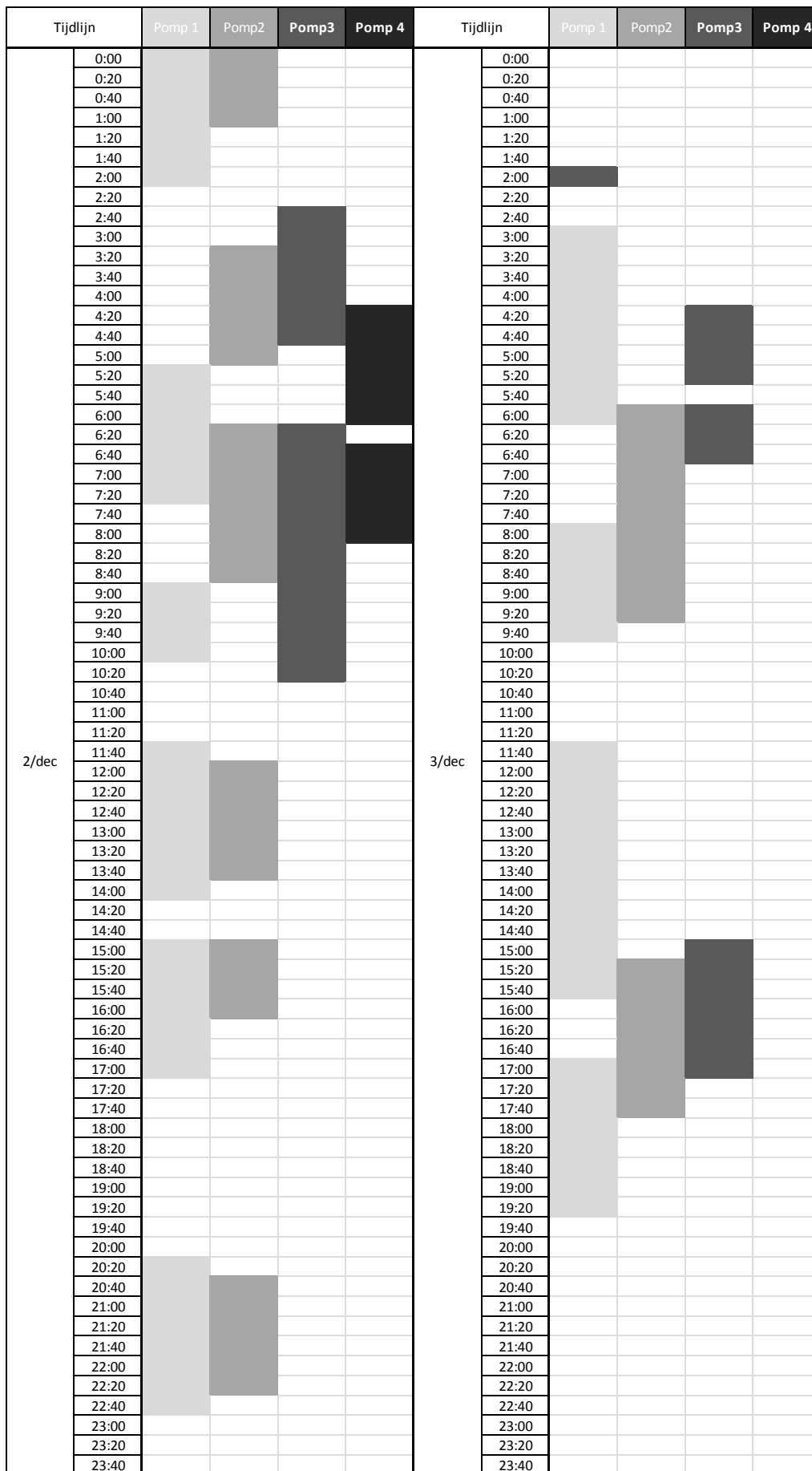
Tabel 25: Technische gegevens roerwerk

Blad breedte (mm)	Diameter schacht (mm)	Diameter nek (mm)	Lengte (mm)
60	8	26	350

Bijlage C: Pompbezettingsgraad



Figuur 61: Overzicht pompgebruik 1/3



Figuur 62: Overzicht pompgebruik 2/3

Tijdlijn	Pomp 1	Pomp2	Pomp3	Pomp 4
0:00				
0:20				
0:40				
1:00				
1:20				
1:40				
2:00				
2:20				
2:40				
3:00				
3:20				
3:40				
4:00				
4:20				
4:40				
5:00				
5:20				
5:40				
6:00				
6:20				
6:40				
7:00				
7:20				
7:40				
8:00				
8:20				
8:40				
9:00				
9:20				
9:40				
10:00				
10:20				
10:40				
11:00				
11:20				
11:40				
12:00				
12:20				
12:40				
13:00				
13:20				
13:40				
14:00				
14:20				
14:40				
15:00				
15:20				
15:40				
16:00				
16:20				
16:40				
17:00				
17:20				
17:40				
18:00				
18:20				
18:40				
19:00				
19:20				
19:40				
20:00				
20:20				
20:40				
21:00				
21:20				
21:40				
22:00				
22:20				
22:40				
23:00				
23:20				
23:40				

4/dec

Figuur 63: Overzicht pompgebruik 3/3

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Optimalisatie van het productieproces van Capital

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**
Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Thijs, Stijn

Vanheel, Nicolas

Datum: **15/01/2016**