

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
elektromechanica

Masterthesis

Design of a modular fines recuperation unit

Brecht Kaczmarczyk
Kaz Rutten

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

PROMOTOR :

ir. Frederik ROGIERS

PROMOTOR :

ir. Ivan HOOGSTYNS

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen | Agoralaan Gebouw H - Gebouw B | BE 3590 Diepenbeek

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE 3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE 3500 Hasselt



2023
2024

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
elektromechanica

Masterthesis

Design of a modular fines recuperation unit

Brecht Kaczmarczyk
Kaz Rutten

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

PROMOTOR :

ir. Frederik ROGIERS

PROMOTOR :

ir. Ivan HOOGSTEYNS



KU LEUVEN

Woord vooraf

In de vierjarige vorming tot industrieel ingenieur zijn er velen cursussen, projecten, labo's, hoor- en werkcolleges voorbijgegaan. Het culmineerpunt van deze opleiding is de masterthesis in het finale jaar. Een groot deel van de opgedane kennis en methodes worden in dit eindproject afgetoetst. De inzichten en bevindingen opgedaan tijdens deze masterthesis delen wij met groot genoegen met u in deze scriptie. Het onderwerp van de thesis behandelt het ontwerpen van een modulaire fines recuperation unit die het bedrijf Vaikon toestaat om deze soort eenheden specifiek naar één klant te configureren, waarbij componenten met verschillende afmetingen zonder problemen uitgewisseld kunnen worden.

Daarbij zouden wij graag van deze gelegenheid gebruik maken om iedereen van harte te bedanken die ons heeft bijgestaan tijdens deze thesis, zijnde zowel de praktische als mentale en emotionele steun. Allereerst zouden we onze interne promotor ir. Frederick Rogiers bedanken voor de academische begeleiding doorheen het jaar. Als ook prof. dr. ir. Johan Baeten voor de extra bijstand ontvangen in de eindsprint van onze thesis begeleiding. Vervolgens willen we onze uiterste dank uitbrengen aan onze externe promotoren ir. Ivan Hoogsteyns en ing. Jeroen Vrolijkx voor alle kennis en inzichten die ze ons hebben bijgeleerd op zowel het praktische als theoretische als bedrijfsvlak. Daarnaast stonden zij ook altijd paraat als we hulp of bijstand nodig hadden. Verder, willen we ook alle medewerkers van de firma Vaikon bedanken voor de ondersteuning tijdens de masterproef. We willen ze ook bedanken voor de altijd aanwezige goede sfeer. Ten slotte gaat er ook nog een grote dankbaarheid uit naar onze ouders, familie en vrienden voor al hun steun gedurende de afgelopen academiejaren.

Wij hopen dat deze thesis een waardevolle bijdrage zal vormen voor Vaikon en zijn klanten. En dat door het recupereren van grondstoffen uit afvalstromen er een impact zal volgen op ecologisch en economisch vlak.

Diepenbeek, 21/06/2023

Kaczmarczyk Brecht

Rutten Kaz

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Woordenlijst	9
Abstract	11
Abstract in English	13
1 Inleiding	15
1.1 Situering.....	15
1.2 Probleemstelling/ onderzoeksvraag	16
1.3 Doelstellingen	17
1.3.1 WP1. Parametrisch ontwerp	17
1.3.2 WP2. Ontwerpvereisten.....	17
1.3.3 WP3. Constructie en testen.....	18
1.3.4 WP4. Documentatie van thesis.....	18
1.4 Materiaal en methode.....	18
1.4.1 WP1. Ontwikkeling van een tool voor geautomatiseerde apparatuurselectie.....	19
1.4.2 WP2. Ontwikkeling van een modulair installatie concept.....	19
1.4.3 WP3. Case study: toetsing van installatieconcept aan specifieke use case.....	19
1.4.4 WP4. Thesistekst en documentatie	20
2 Literatuurstudie	21
2.1 Fines recuperation unit componenten	21
2.1.1 Cycloonwerking.....	21
2.1.2 Ontwateringszeef.....	26
2.1.3 Slurrypompen	30
2.1.4 Sump.....	44
2.2 NBN-normendatabank	45
2.2.1 Naamgevingscodes	45
2.2.2 Buisnormen.....	47
3 Industriële benchmark	49
3.1 Sotres	49
3.2 CDE	51
4 Parametrisch model	53

4.1	Process flow diagram.....	53
4.2	Particle size distribution.....	54
4.3	Massa- & debietbalans.....	55
4.4	Piping and instrumentation diagram	56
4.5	Parametrisch model geïmplementeerd in Excel.....	58
4.5.1	Stappenplan parametrisch model.....	59
5	Ontwerpbeslissingen	63
5.1	Hydrocycloon of separator.....	63
5.2	Modulariteit.....	64
5.2.1	Basisframe	64
5.2.2	Sump.....	66
5.2.3	Cycloonframe	71
5.2.4	Underflowtank.....	72
5.2.5	Overflowtank.....	72
5.2.6	Bordes.....	74
5.3	Vormgeslotenheid en poka yoke	75
5.4	Antisedimentatie systeem	77
5.5	Slijtage bestendigheid	79
5.5.1	Onderhoud	79
6	Sturing.....	83
6.1	Directe regeling in operationeel gebruik.....	83
6.2	Indirecte regeling door mechanische aanpassingen	84
7	Oplevering en implementatie van de unit	87
7.1	Koopdelen.....	87
7.2	Maakdelen.....	87
7.3	Testen van FRU.....	87
8	Besluit	89
	Referentielijst.....	91
	Bijlagelijst	93
	Bijlage A: Uiteindelijke configuratie van de klant in de grondremediëringsindustrie	93
	Bijlage B: Voorbeeld van een andere mogelijke configuratie	94
	Bijlage C: 2D van de uiteindelijke configuratie van de klant in de grondremediëringsindustrie.....	95
	Bijlage D: 2D lastekening van de sump	96
	Bijlage E: Poster.....	97

Lijst van tabellen

Tabel 1: Ordening van informatie voor de Odoo en Synology database	19
Tabel 2: Voorbeeld PSD	54
Tabel 3: Inputgegevens parametrisch model	59
Tabel 4: Berekende waardes parametrisch model	60
Tabel 5: Basisconfiguratie FRU	60
Tabel 6: Gedetailleerde configuratie FRU	61
Tabel 7: Bordes montage opties	74

Lijst van figuren

Figuur 1: Schegler Vigor® 4x3 slurrypomp [2]	15
Figuur 2: Kinarox® hydrocycloon [2].....	16
Figuur 3: Meka® ontwateringszeef [3]	16
Figuur 4: Slurry tank [4]	16
Figuur 5: Componenten hydrocycloon [5]	22
Figuur 6: Stroming in een hydrocycloon (primaire vortex = wit, secundaire vortex = rood) [7]	22
Figuur 7: Scheidingspunt (links) en scheidingscurve (rechts) van een hydrocycloon [8].....	23
Figuur 8: Verschil hydrocycloon (links) en separator (rechts) [7]	26
Figuur 9: Ophoping vaste deeltjes separator [12]	26
Figuur 10: Doorsnede van een ontwateringszeef [13].....	27
Figuur 11: Effect amplitude trillingen op de ontwateringstijd [14].....	28
Figuur 12: Effect frequentie trilling op de ontwateringstijd [14]	28
Figuur 13: Effect hoek van de trilling op de ontwateringstijd [14]	28
Figuur 14: Meka® MDS1224 ontwateringszeef [3].....	29
Figuur 15: Slurrypomp (links) en een waterpomp (rechts) van gelijke grootte [17]	30
Figuur 16: Stappenplan bepaling conventionele pomp (links) s & slurry pomp (rechts) [18].....	30
Figuur 17: Sedimentatie van slurry op basis mengseltype [18].....	31
Figuur 18: Bepalen van bezinksnelheid met de nomografische diagram van Wilson [18]	32
Figuur 19: Factoren die bijdragen tot de totale opvoerhoogte [18]	33
Figuur 20: Abrasie en erosie van de pomp t.g.v. van het botsen en scheuren van partikels [18]	34
Figuur 21: Kostaandelen TLC [18].....	35
Figuur 22: Mogelijke centrifugaalpomp configuraties [18].....	35
Figuur 23: Mogelijke afdichtingsopties [18].....	36
Figuur 24: Waaier parameters [18].....	37
Figuur 25: Vinwaaier.....	37
Figuur 26: Vortex waaier	37
Figuur 27: Voorbeeld pompcurve van een Schegler Vigor	38
Figuur 28: Grafiek voor het bepalen van de deratingfactor van de slurry	39
Figuur 29: Motorconfiguraties [17]	40
Figuur 30: Erosie ten gevolge van cavitatie	41
Figuur 31: Familie curve van de Schegler Vigor-reeks	42
Figuur 32: Illustratie frame formaten [17]	43
Figuur 33: Aanzuighoeken [17]	43
Figuur 34: Schegler Vigor liners, metalen (links) en elastomeren (rechts) [17]	44
Figuur 35: Werkingsprincipe liners, elastomeren (links) en metalen (rechts) [17].....	44
Figuur 36: Conventie hoek van sumpwand	45
Figuur 37: ASME B36.10 buisnorm	47
Figuur 38: Sotres fines recuperation unit [20]	49
Figuur 39: Werking Sotres fines recuperation unit [20]	50
Figuur 40: Discrete CDE FRU's [21].....	51
Figuur 41: PFD voor een FRU	53

Figuur 42: Grafische weergave van PSD	55
Figuur 43: Voorbeeld massa- en debietbalans	56
Figuur 44: P&ID van FRU-configuratie voor klant uit de grondremdiëringindustrie	57
Figuur 45: Mock-up van parametrisch model	58
Figuur 46: Invloed van separator op de FRU-constructie	63
Figuur 47: Pomp op base frame gemonteerd	65
Figuur 48: Sump en pomp op beton sokkels	65
Figuur 49: MDS1224 ontwateringszeef op sump gemonteerd	66
Figuur 50: MDS1824 ontwateringszeef op sump gemonteerd	67
Figuur 51: MDS1224 zeefsteun op de sump	67
Figuur 52: MDS1824 zeefsteun op de sump	68
Figuur 53: Principe blokflens en blindflens	68
Figuur 54: Blokflens in sump	69
Figuur 55: Flens met 4 inch zuigleiding	69
Figuur 56: Achterzijde van de sump	70
Figuur 57: Gat in de poten van de sump	70
Figuur 58: Cycloonframe	71
Figuur 59: Hydrocyclonen op het cycloonframe gemonteerd	71
Figuur 60: Underflowtank	72
Figuur 61: Vooraanzicht van de overflowtank	73
Figuur 62: Isometrisch perspectief overflowtank	73
Figuur 63: Bordes montage optie 3 (links) & optie 1 (rechts)	74
Figuur 64: Leuningsmodule	75
Figuur 65: Laswerk overflowtank	76
Figuur 66: Close-up van linker bovenplaat van de sump	76
Figuur 67: Spoelsysteem voor de nozzels in de sump	77
Figuur 68: Doorsnede nozzels	78
Figuur 69: Spoelsysteem voor zuigleiding	78
Figuur 70: Linkerzijaanzicht sump	79
Figuur 71: Aftapklep van de sump	80
Figuur 72: Verduidelijking hijsogen op cycloonframe	81
Figuur 73: Blindflenzen op de collector en feedbox voor inspectie	81
Figuur 74: Pompkarakteristiek van de VI4x3-F2-CT-D000-BUTC9 [17]	83
Figuur 75: Roping van een hydrocycloon [23]	85

Woordenlijst

Te verklaren woord (Engels)	Afkorting (Engels)	Te verklaren woord (Nederlands)	Verduidelijking
Cut size		Scheidingspunt	
De-rating			Vaste deeltjes in slurry die voor prestatieverminderingen zorgen t.o.v. water.
Dewatering screen	DS	Ontwateringszeef	Industriële zeef met trilmotoren, voor het ontwateren van slurry.
Drip-free		Drupvrij	Er mag geen vloeistof uit de vaste stofdeeltjes die van het ontwateringszeef komen, wanneer deze in een bal geknepen worden.
Effluent water			Waterstroom die uit de installatie gaat.
Enterprise resource planning	ERP	Bedrijfsplanning	
Fines		Fijne vaste stofdeeltjes	Vaste stofdeeltjes kleiner dan 2 mm.
Fines recuperation unit	FRU	Fijnen recuperatie eenheid	
Float valve		Vlotterklep	
Hard rock mining			0-2 mm restfractie terugwinnen die anders de natuur in gaat.
Impeller		Waaier	
Nominal pipe size	NPS	Nominale buis grootte	
Overflow			Gedeelte van de slurry wat door de secundaire vortex aan de bovenkant van de hydrocycloon stroomt.
Particle size distribution	PSD	Korrelgrootteverdeling	
Piping and instrumentation diagram	P&ID	Buizen- en instrumentatiediagram	
Process flow diagram	PFD	Processtroomdiagram	
Recuperation		Recuperatie	Terugwinning
Slurry hosing			Flexibele, maar relatief stijve slang die gebruikt wordt voor het transport van slurriestromen.
Solids		Vaste stof deeltjes	
Sump		Slurry tank	Opvangbak
Total life cycle cost	TLC	Totale levenscyclus kost	
Underflow			Gedeelte van de slurry wat door de primaire vortex aan de

			onderkant van de hydrocycloon stroomt.
Unit		Eenheid	Installatie
Vortex finder			Onderdeel van de hydrocycloon waarlangs de overflow stroomt.
Walkway			Een gedeelte van de bordes

Abstract

Vaikon is gespecialiseerd in slurryverwerkingsapparatuur. Het recupereren van *fines* (partikels met een diameter van 0-2 mm) uit een slurrystroom is een uitdaging van veel slurry-verwerkende bedrijven. Deze thesis heeft als doel een parametrisch model te ontwikkelen waarmee Vaikon een modulaire *finer recuperation unit* (FRU) kan configureren.

Slurryspecificaties, procesinformatie en gewenste outputs worden opgegeven door de eindgebruiker. De blauwdruk van de FRU wordt beschreven in een *proces flow diagram* (PFD). Vanuit deze inputs berekent het parametrisch model de configuratie van de FRU. Deze configuratie omvat de volgende aspecten: (1) het hydrodynamisch ontwerp: het gewenste debiet bepaalt de leidingsdiameters en lengtes, en dit in combinatie met de cycloondruk en statische opvoerhoogte bepaalt dan de pomp; (2) het mechanisch design: om slijtage van de unit t.g.v. abrasie te minimaliseren is de juiste oppervlaktebehandeling en materiaalkeuze noodzakelijk. Om de modulariteit te garanderen is de unit zodanig ontworpen dat verschillende pompen, ontwateringszeven en cyclonen mogelijk zijn. Ten slotte wordt het *pipng and instrumentation diagram* (P&ID) opgemaakt, waarbij de specifieke componenten van een configuratie bepaald zijn.

Daarnaast wordt er één configuratie gerealiseerd voor een klant in de grondremediëringsindustrie. Er moet een d_{50} van 150 μm behaald worden bij een debiet van 150 m^3/h . De nodige componenten worden gevonden d.m.v. het model: vier 6' Kinarox cyclonen, een 4x3 Schegler slurrypomp en een MDS1224 zeef.

Abstract in English

Vaikon specializes in slurry processing equipment. The recovery of fines (particles 0-2 mm in diameter) from a slurry flow is a challenge of many slurry processing companies. This thesis aims to develop a parametric model that allows Vaikon to configure a modular fines recovery unit (FRU).

Slurry specifications, process information and desired outputs are specified by the end user. The blueprint of the FRU is described in a process flow diagram (PFD). Based on these inputs, the parametric model calculates the configuration of the FRU. This configuration includes the following aspects: (1) the hydrodynamic design, the desired flow rate determines the pipe diameters and lengths, and this in combination with the cyclone pressure and static head then determines the pump; (2) the mechanical design: in order to minimize wear of the unit due to abrasion, the correct surface treatment and material selection is necessary. In addition, to ensure modularity, the unit is designed to allow for different pumps, dewatering screens and cyclones. Finally, the piping and instrumentation diagram (P&ID) is formulated, where the specific components of a configuration are determined.

In addition, one configuration is realized for a customer in the soil remediation industry. A d_{50} of $150\ \mu\text{m}$ must be achieved at a flow rate of $150\ \text{m}^3/\text{h}$. The necessary components are found by means of the model: four 6' Kinarox cyclones, a 4x3 Schegler slurry pump and an MDS1224 screen.

1 Inleiding

1.1 Situering

Deze masterproef, wordt uitgevoerd bij het bedrijf Vaikon. Vaikon is gelegen in Lommel en is gespecialiseerd in het berekenen, uitwerken en leveren van slurryprocesinstallaties. Onder deze installaties behoren onder andere ook pomp- en scheidingsinstallaties. Slurry is een heterogeen mengsel van een vloeistof en een vaste stof. Meestal is de vloeistof water, maar dit is niet altijd het geval. De vloeistof functioneert als draagmedium om vaste deeltjes, zoals mineralen of zand, te capteren. Neem bijvoorbeeld baggeren, om het zand te kunnen verpompen, moet er water aan het mengsel toegevoegd worden. Naast het ontwerpen van nieuwe installaties voert Vaikon ook onderhoud uit op reeds bestaande installaties.

De *finer recuperation unit*, het hoofdonderwerp van deze thesis, is een installatie die de zeer fijne vaste deeltjes uit een slurriestroom terugwint. De unit kan voor meerdere toepassingen ingezet worden, zoals onder andere:

- Zandwinning, zand wordt teruggewonnen uit de slurriestroom om te gebruiken in slibverwerking;
- Groentenwassing, de vaste stofdeeltjes uit de slurriestroom verwijdert om de waterzuivering te ontlasten;
- Grondwassing, het zand wordt teruggewonnen om het in te zetten als een secundaire grondstof;
- *Hard rock mining*, de 0-2 mm restfractie wordt teruggewonnen, deze zou anders terug de natuur in gaan of afgevoerd worden als afval.

Het hoofddoel van een FRU is dus de terugwinning van grondstoffen uit een slurriestroom. Echter wordt er daarnaast terug een gefilterde vloeistofstroom bekomen. Deze uitstroom wordt het *effluent water* genoemd. De term effluent wordt typisch gebruikt voor gezuiverd afval/rioolwater, maar betekent eigenlijk uitgang [1].

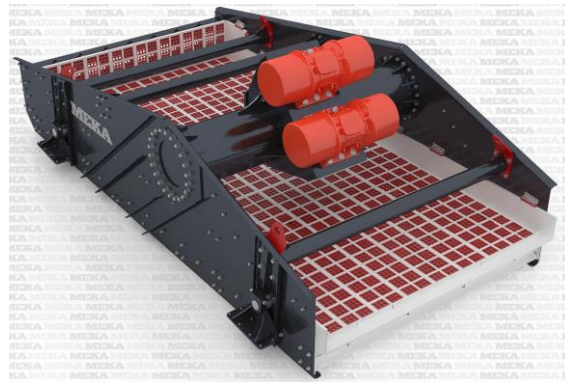
De hoofdcomponenten van dit soort installaties zijn hydrocyclonen, een ontwateringszeef, slurriepompen en een slurry tank. Onderstaande figuren 1-4 geven enkele voorbeelden ter verduidelijking van deze componenten.



Figuur 1: Schegler Vigor® 4x3 slurriepomp [2]



Figuur 2: Kinarox® hydrocycloon [2]



Figuur 3: Meka® ontwateringszeef [3]



Figuur 4: Slurry tank [4]

1.2 Probleemstelling/ onderzoeksvraag

Zoals eerder vermeld is Vaikon gespecialiseerd in slurryprocesinstallaties. Hierop wil het bedrijf echter verder bouwen om zo meer verbreding en verdieping in hun productiegamma te creëren. Vaikon wil hiermee de stappen zetten van product specialist naar leverancier van volledige installaties. Één van deze installaties is onder andere de fines recuperation unit, die hun klanten in staat stelt om nuttige grondstoffen terug te winnen uit een reststroom die momenteel verloren gaat. Dit is dus zowel een economische als een ecologische aanwinst voor de klanten van Vaikon.

Het design van een totaaloplossing in het domein van de vloeistofmechanica start steeds vanuit een massabalans en een debietbalans. De massa- en debietbalans zijn schema's waarin voor alle processtappen het debiet en de massa van elke slurriestromen zijn bepaald. Vaikon stelt hierbij de vraag om dit parametrisch op te stellen. Het parametrisch design van de massa- en debietbalans maakt het mogelijk om de FRU-unit snel en accuraat te configureren voor verschillende klanten. Het mechanisch ontwerp wordt daarnaast modulair ontworpen zodat verschillende configuraties op dezelfde basisconstructie gemonteerd kunnen worden.

Naast het parametrische en modulair ontwerp wordt tevens één specifieke configuratie uitgewerkt voor een vooraanstaande speler in de grondremediëringsindustrie. De toepassing van deze unit is grondwassing. Deze specifieke unit zal vervolgens ook besteld en opgebouwd worden. Het opbouwen valt echter buiten de looptermijn van deze masterproef. Een vervolgonderzoek op deze unit zou dus mogelijk zijn.

1.3 Doelstellingen

De globale doelstelling van het ontwerpproces is om een modulaire fines recuperation unit te ontwikkelen. Dit wordt bereikt door het proces op te delen in enkele werkpakketten, waarmee de unit en het theoretische model stap voor stap opgebouwd worden.

1.3.1 WP1. Parametrisch ontwerp

De doelstelling van het theoretische model is om alle parameters die een invloed hebben op de prestaties van de unit in kaart te brengen. Het ontwerp begint steeds met een *particle size distribution* (PSD). Deze materiaalanalyse van de slurry-instroom is afkomstig van de klant. Daarnaast specificeert de klant aan welke eisen de output moet voldoen. Op basis van de input en gevraagde output zal een model in Excel de noodzakelijke onderdelen voorstellen. Enkele belangrijke onderdelen zijn pompen, cyclonen en een ontwateringszeef. Voor deze onderdelen zijn er telkens slechts enkele mogelijke opties, voor het modulair ontwerp. Het uitwerken van deze Excel gebeurt voornamelijk in werkpakket 1, maar wordt in de loop van thesis steeds actueel gehouden.

1.3.2 WP2. Ontwerpvereisten

De klant is een Belgische vooraanstaande speler op het vlak van grondremediëring. De reststroom van zijn proces bevat een waardevolle zandstroom die momenteel wordt afgevoerd naar een stortplaats. De totale reststroom bevat +/- 25 ton per uur aan zand. Deze zandfractie is steeds in suspensie in de totale flow welke +/- 150 m³/h bedraagt.

De installatie moet dus 150 m³/h slurry verwerken. De zandkorrels in de slurriestroom hebben een grote tussen de 0 en 2 mm, waarbij de korrelverdeling van het zand als volgt is: 12% van de zandkorrels kleiner dan 63 µm en 88% groter dan 63 µm. Een voorbeeld van een korrelverdeling

wordt getoond in tabel 2 onder puntje “4.2 Particle size distribution”. De zandkorrels in het effluent water, de output van de installatie, moeten voor 90% kleiner zijn dan 40 μm . Dit betekent dus dat er slechts een foutkorrel van 10% groter dan 40 μm aanwezig mag zijn. De installatie moet daarbovenop ook modulair zijn, waarbij de modules de grootte van een 20 voet (6,1 m) container moeten bezitten voor een degelijke semi-transporteerbaarheid. De modulariteit van het ontwerp maakt het mogelijk de installatie om te bouwen voor een brede waaier van inputstromen. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door de pompen eenvoudig vervangbaar te maken of door de mogelijkheid te bieden om het aantal hydrocyclonen en cycli aan te passen.

Deze doelstellingen zijn voornamelijk van toepassing op de resultaten die uit de Excel van werkpakket 1 moeten voortkomen en waarmee gewerkt moet worden tijdens het ontwerpen van de installatie in werkpakket 2.

1.3.3 WP3. Constructie en testen

De installatie wordt verkocht en zal vervolgens gebouwd en getest worden. Met deze testen wordt de unit gecontroleerd op een correcte bedrijfstoestand. Daarnaast kunnen met deze testen ook de schattingen van de parametrische Excel gevalideerd worden en indien nodig bijgewerkt worden. De doelstellingen bij deze testen is om te verzekeren dat de installatie de nodige efficiëntie kan behalen zonder een al te hoge slijtage van de onderdelen. Deze doelstellingen behoren dus tot werkpakket 3. Echter bleek dat het ontwerpproces van werkpakket 2 veel meer tijd in beslag nam dan eerder gedacht. Om deze redenen valt de opleveringsdatum van de onderdelen buiten de looptermijn van deze thesis.

1.3.4 WP4. Documentatie van thesis

Het vierde en laatste werkpakket beschrijft alles wat in verband staat met de uitvoering van de thesisdocumentatie. De voornaamste doelstelling hierbij is het afleveren van een overzichtelijke en academisch opgebouwde scriptie. Dit houdt in dat het finaal verslag een uitgebreide en correcte reflectie geeft van de gehele thesis, waarin alle noemenswaardige resultaten en ondervindingen genoteerd worden. Op deze manier kan een beter begrip van de onderzoeksmaterie uitgedrukt en beschreven worden. Ten slotte worden een overzichtelijke poster en eindpresentatie gemaakt.

1.4 Materiaal en methode

Bij het uitvoeren van de thesis worden verschillende softwarepakketten en methodes toegepast om tot een eindresultaat te komen. Deze staan hieronder per werkpakket gesorteerd.

1.4.1 WP1. Ontwikkeling van een tool voor geautomatiseerde apparatuurselectie

Om te beginnen wordt het parametrisch design en ontwerp van de massabalans uitgevoerd in Excel. Dit gebeurt op basis van de gegeven input en gewenste output. Om hieraan te beginnen wordt allereerst AutoCAD toegepast om een process flow diagram (PFD) en een piping and instrumentation diagram (PI&D) voor de installatie op te stellen. Het PFD is een schema dat gebruikt wordt om de massabalans en flowbalans van de installatie weer te geven. De PI&D daarentegen is een schematische voorstelling van de installatie, waarop alle belangrijke gegevens, informatie en afmetingen terug te vinden zijn en wordt actueel bijgewerkt tijdens het volledige ontwerpproces. Om de voortgang en kwaliteit van de thesis af te toetsen wordt er ook nog gewerkt met deliverables, deze worden aangeduid met Dx-x. Dit zijn in feite tussentijdse/finale documenten, schema's, modellen enzovoort. In dit werkpakket zijn dit D1-1 PFD, D1-2 Massabalans, D1-3 PI&D en ten slotte D1-4 de parametrische Excel.

1.4.2 WP2. Ontwikkeling van een modulair installatie concept

Vervolgens wordt het mechanische ontwerp getekend in Autodesk Inventor 2024. Alle mechanische en elektrische componenten worden ingevoerd en bijgehouden in het *enterprise resource planning* (ERP) pakket Odoo. Deze software wordt in de industrie gebruikt om alle aankoop, verkoop en logistieke informatie georganiseerd te houden in een database. Tabel 1 geeft de ordening van informatie, zoals deze toegepast wordt in het bedrijf, weer. In dit werkpakket zijn de belangrijkste tussentijdse stappen D2-1 het finaal CAD-model en D2-2 de Fysieke unit.

Tabel 1: Ordening van informatie voor de Odoo en Synology database

Odoo (ERP)	Synology database
Productnaam	CAD-bestanden (interne ref + productnaam)
Interne referentie	P&ID's
Kostprijs	PFD's
Verkoopinformatie	2D-tekeningen (interne ref + productnaam)
Voorraadniveau	Massabalans
BOM	Model tree

1.4.3 WP3. Case study: toetsing van installatieconcept aan specifieke use case

De specifieke sensoren en software die gebruikt zullen worden bij het testen liggen nog niet vast, maar de methode waarmee getest wordt wel. Vermist het recupereren van zand uit de slurrystroom het hoofddoel is van deze soort units, is de efficiëntie van deze installatie zeer belangrijk. Om deze efficiëntie te meten worden er teststalen van de feed en het effluent water genomen, dit zijn respectievelijk de instroom en de uitstroom. Van de teststallen wordt dan de korrelverdeling bepaald. Met deze steekproeven kan dan op basis van de Excel een efficiëntie

bepaald worden. Bij dit werkpakket is het voornamelijk belangrijk dat de resultaten bestudeerd en verwerkt worden waardoor de deliverable dus de D3-1 Update van de parametrische Excel is.

1.4.4 WP4. Thesistekst en documentatie

Voor het produceren van de documentatie wordt gewerkt met Microsoft Word, voor het bijhouden van de literatuur wordt er gebruikt gemaakt van Mendeley. Microsoft Publisher wordt gebruikt voor de poster en Microsoft PowerPoint wordt gebruikt voor de eindpresentatie. Verder kan er nog gebruikt gemaakt worden van ChatGPT om teksten beknopt te houden en de academische schrijfstijl te verbeteren. De deliverables voor dit werkpakket zijn D4-1 de literatuurstudie, D4-2 het abstract, D4-3 de poster, D4-4 de finale scriptie en D4-5 de eindpresentatie.

2 Literatuurstudie

De eerste stap in dit onderzoek is een diepere blik in de literatuur. Als eerst wordt er een beter begrip van de afzonderlijke slurry processing componenten gecreëerd. Dit door dieper in te gaan op de theoretische werking van deze componenten. Vervolgens wordt de NBN-normendatabank geraadpleegd om te kijken naar welke normen courant worden toegepast in de industrie. Voor deze normenstudie wordt er vooral aandacht gericht op de buizen/leidingen en flenzen.

2.1 Fines recuperation unit componenten

Het onderwerp van deze masterthesis is het ontwerpen van een fines recuperation unit. In dit eerste deel van de bronnenstudie wordt er onderzoek uitgevoerd naar de hoofdcomponenten van deze soort installaties. Om zo een geïnformeerde keuze te maken bij de selectie van de componenten. De hoofdcomponenten zijn:

- de hydrocycloon/hydrocyclonen,
- de ontwateringszeef (dewatering screen),
- de slurrypomp(en),
- de slurry tank (sump).

2.1.1 Cycloonwerking

De hydrocycloon is de voornaamste component in een fines recuperation unit. Naast de normale hydrocycloon, is er ook nog de separator dewelke in essentie een gemodificeerde hydrocycloon is. Toch is er een verschil in hoe deze functioneren en dus kennen ze beide hun eigen toepassingsgebied.

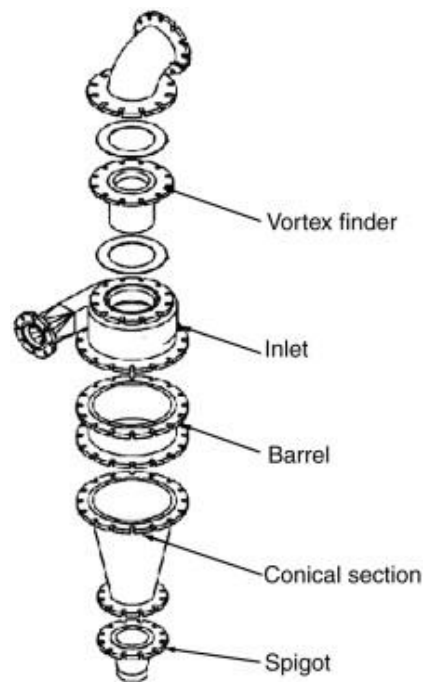
Vooraleer deze verschillen echter toegelicht kunnen worden is het belangrijk dat er eerst geweten is hoe de standaard hydrocycloon functioneert. Deze informatie is terug te vinden in puntje “2.1.1.1 Hydrocyclonen”.

2.1.1.1 Hydrocyclonen

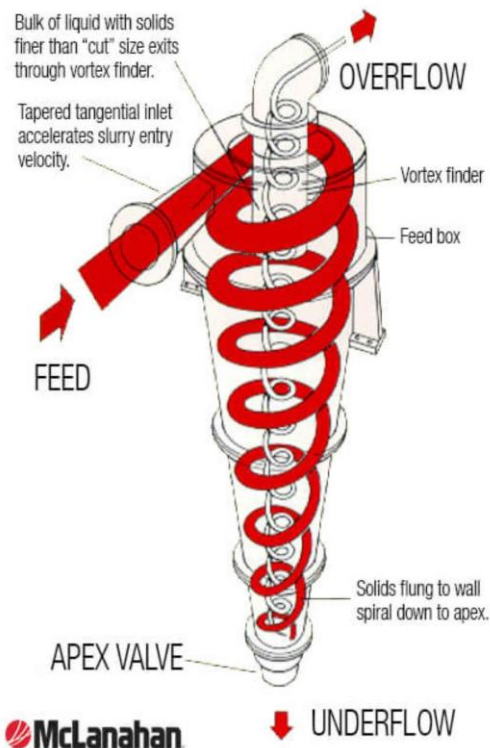
De hydrocycloon is het onderdeel in de installatie die de scheiding van de fines uit de slurriestroom verwezenlijkt. Hydrocyclonen zijn in staat om vaste stofdeeltjes te verwerken tot een grootte van 2 mm. Het scheiden van korrels groter dan 2 mm, wordt door natte procesinstallaties uitgevoerd zoals een ontwateringszeef die verder in puntje “2.1.2 Ontwateringszeef” toegelicht wordt. Een slurry met een maximale partikelgrootte groter dan 2 mm zorgt namelijk voor een versnelde slijtage. Om dat de grotere massa van deze deeltjes, veel grotere impacts teweegbrengen.

In de hydrocycloon komt de slurriestroom tangentieel aan in de inlet, waarna een vortex ontstaat langs de wand van de barrel en de conische sectie. Deze vortex loopt door tot in de spigot waar het

deel van de slurry met de grote vaste deeltjes de cycloon verlaat. Tegelijkertijd ontstaat er een tweede vortex aan de spigot, die dezelfde draairichting bezit als de eerste. Echter is de zin van de tweede tegengesteld aan de eerste en vloeit deze dus naar boven, naar de *vortex finder*. Het deel van de slurystroom die de fines bevat, verlaat dan de hydrocycloon via de vortex finder. De bovengenoemde componenten zijn geïllustreerd in onderstaande figuur 5. Daarnaast geeft onderstaande figuur 6 de ontstane vortexten weer [5], [6].

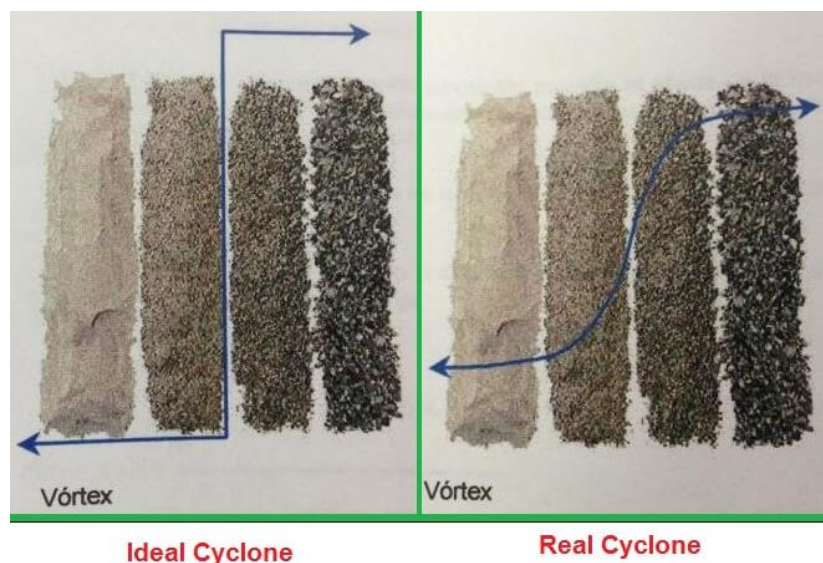


Figuur 5: Componenten hydrocycloon [5]



Figuur 6: Stroming in een hydrocycloon (primaire vortex = wit, secundaire vortex = rood) [7]

In de hydrocycloon werken er twee tegenstelde krachten op de zandkorrels in de slurry. Deze zijn de centrifugaal kracht en de drag kracht. De drag kracht is een trekkracht die op de korrels inwerkt ten gevolge van de zuigkracht opgewekt door de secundaire vortex. De kracht die het meeste invloed op de korrels uitoefent, is afhankelijk van de grote, dichtheid en vorm van de korrels. Als de centrifugaal kracht het grootst is zal de korrel zich naar de primaire vortex (de rode vortex in figuur 6) begeven en als de drag kracht het grootst is zal de korrel naar de secundaire vortex (de witte vortex in figuur 6) getrokken worden. Alle korrels in de primaire vortex komen terecht in de *underflow* van de hydrocycloon en de meeste korrels die zich in de secundaire vortex bevinden eindigen in de *overflow* van de hydrocycloon. De hydrocycloon zorgt dus voor een scheiding van de grote en kleine deeltjes. De korrelgrootte waar deze scheiding op gebeurt, wordt de *cut size* (scheidingspunt) genoemd. Dit is echter geen vaste waarde maar een gemiddelde. Ter verduidelijking wordt dit principe geïllustreerd in figuur 7.



Figuur 7: Scheidingspunt (links) en scheidingscurve (rechts) van een hydrocycloon [8]

In de linkse curve figuur 7 illustreert een ideale hydrocycloon met een perfect scheidingspunt, terwijl de rechter curve een realistische hydrocycloon voorstelt waarbij er geen vast scheidingspunt is, maar wel een uitgemiddelde scheidingscurve.

Naast de cut size van een hydrocycloon bezit deze ook een efficiëntie. Deze efficiëntie geeft aan hoeveel van de opgegeven korrelgrootte in de overflow terechtkomt. Neem bijvoorbeeld een d90 van 40 μm , dit betekent dat van het totale aantal korrels die in de overflow aanwezig zijn 90% ervan even groot of kleiner zijn dan 40 μm . Voor een d50 waarde betekent dit dat de kans dat een korrel met een bepaalde grote in de underflow terechtkomt even groot is als de kans dat deze in de overflow terechtkomt. Het scheidingspunt en de d90-waarde zijn afhankelijk van een aantal factoren, de invloed van deze factoren wordt hieronder opgesomd.

Wanneer de onderstaande factoren groter worden, vergroot ook de cut size.

- De diameter van de cycloon;
- de diameter van de vortex finder;
- de hoek van de conische sectie;
- de concentratie van zandkorrels in de slurriestroom;

Terwijl de volgende factoren de cut size verkleinen als de factoren vergroten.

- Het debiet van de inlaatstroom;
- de diameter van de spigot;
- de hoogte van de primaire vortex, een hogere vortex geeft het deeltje namelijk meer tijd om in de correcte vortex terecht te komen;
- het drukverlies in de hydrocycloon [6].

Uit het interview met Etienne Schouterden, één van de oprichters van IPAS, kwamen enkele parameters naar voren die zeer belangrijk zijn voor het bepalen van een cycloon voor een installatie. Deze worden hieronder opgesomd:

- het medium dat gebruikt wordt, in dit geval slurry bestaande uit zand en water;
- de vorm van de korrels die in het medium aanwezig zijn, bijvoorbeeld scherp of rond;
- de particle size distribution (PSD) van de korrels die in het medium aanwezig zijn;
- de concentratie van vaste stof in het medium [9].

Uit ervaring blijkt dat de efficiëntie van een hydrocycloon bij een waterzandslurrystroom en een concentratie van +/- 10% meer als 90% kan zijn. Dit is echter enkel voor installaties waarbij er gewerkt wordt met één enkele cycloon stap. Dit wordt vermeld omdat in deze thesis er in eerste instantie verkozen werd om de installatie uit te voeren met twee cycloonstappen. Dit houdt in dat er twee cyclonen in serie staan en de secundaire cycloon dus de output van de primaire opnieuw verwerkt. Deze methode was origineel verkozen omdat er een relatief grote precisie vereist is voor de scheiding van de vaste stof. Echter uit het gesprek met Etienne Schouterden bleek dat, dat niet nodig was en een cycloon zelfs efficiënter werkt wanneer deze niet in serie staat.

Ten slotte deed meneer Schouterden nog een aanbeveling om met verscheidene cycloonleveranciers in gesprek te gaan om zo meer informatie te verstrekken over de mogelijkheden van hydrocyclonen en welke het beste is voor de casestudie van deze thesis [9].

Met één van deze leveranciers hebben er meerdere besprekingen plaatsgevonden. Namelijk met Guido Pass de managing director bij Syscom BV. In deze gesprekken is voornamelijk besproken welke gegevens een leverancier moet verkrijgen om een hydrocycloon van een installatie te bepalen. De meest beduidende van deze gegevens is de PSD en de cut size. Het zijn deze gegevens die bepalen welke cycloon gebruikt moet worden. En in het geval dat cycloon niet volstaat voor het debiet van de installatie kunnen er meerdere van dezelfde cyclonen in parallel gezet worden [10].

Ten slotte is er ook nog een formule om de cut size van een cycloon te bepalen aan de hand van de afmetingen van de cycloon. Maar vermits de cut size uit de afmetingen gehaald wordt en een cycloon voor een toepassing bepaald wordt op basis van de gewenste cut size, is deze formule niet toepasbaar in de Excel. Het is namelijk niet mogelijk om meerdere onbekende uit deze formule te halen. Daar boven heeft elke cycloon fabrikant zijn eigen afmetingen en proporties dewelke het gebruik van deze formule verder compliceert. De cut size wordt met de onderstaande formule 1 bepaald [11].

$$d_{50} = F \left[\frac{50.5 \times D_c^{0.46} D_i^{0.6} D_o^{1.21} \exp(0.063 C_v)}{D_u^{0.71} h^{0.38} Q^{0.45} (\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \right] \quad (1)[11]$$

- d_{50} is de efficiëntie van de cut size;
- F is de d_{50} correctie factor;
- D_c is de cycloon diameter in cm;
- D_i is de cycloon feed inlaat diameter in cm;
- D_o is cycloon overflow of vortex finder diameter in cm;
- C_v is de volumetrische concentratie van de vaste deeltjes in de feed slurry bij een bepaalde temperatuur;
- D_u is de cycloon underflow of apex diameter in cm;
- h is de primaire vortex hoogte in de cycloon in cm;
- Q is de volumetrische stroming (debiet) van elke cycloon feed bij een bepaalde temperatuur in l/min;
- ρ_s is de dichtheid van de vaste deeltjes bij een bepaalde temperatuur in ton/m³;
- ρ_l is de dichtheid van de draagvloeistof bij een bepaalde temperatuur in ton/m³.

In deze formule kan ook opgemerkt worden dat de exponenten nogal vrij specifieke waardes bevatten, dit kan wijzen op de mogelijkheid dat deze formule empirisch is opgesteld.

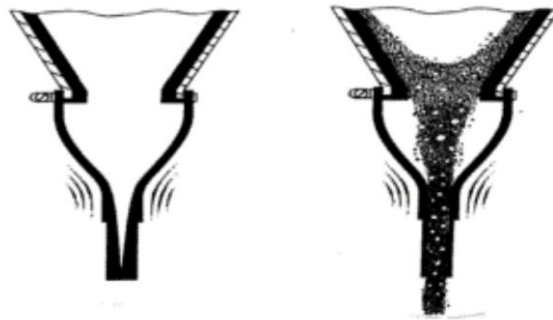
Het is dus mogelijk om de cut size van een cycloon te bepalen als de afmetingen bekend zijn, echter wordt bij een FRU een bepaalde cut size gewenst. Dit houdt in dat er teruggewerkt moet worden van de formule en er gezocht moet worden naar cyclonen met de juiste cut size. Als er echter geen cyclooncatalogus beschikbaar is, is het ook niet mogelijk om de correcte cycloon te bepalen. Het aantal cyclonen wordt bepaald door het totaal debiet dat verwerkt moet worden en het debiet dat één hydrocycloon kan verwerken.

2.1.1.2 Separatoren

Deze gemodificeerde hydrocycloon bezit slecht één extra component zijnde de lipseal. Dit type afdichting wordt op de spigot van een hydrocycloon bevestigd. Daarnaast is aan de overflow van de separator ook een buis bevestigd, die een lengte heeft gelijk aan acht keer de diameter van de separator en eindigt in een atmosferische open tank. De lipseal zorgt ervoor dat er inwendig een ophoping van zware vaste deeltje plaatsvindt, hierdoor wordt er een grotere underflow dichtheid en een hogere massa concentratie bekomen. Dus moet er ook minder water uit de underflow verwijderd worden, waardoor er een veel kleinere doorstroming van fines door de ontwateringszeef is. De reden waarom de vloeistof concentratie hoog ligt, is omdat het water samen met de fines door middel van de secundaire vortex en de lange overflow pijp overgeheveld wordt naar de overflowtank. Overhevelen is het principe waarbij een vloeistof verplaatst wordt van een hoger gelegen vat naar een lager gelegen vat door middel van een buis, die volledig gevuld is met de te verplaatsen vloeistof. Waarbij één vat atmosferische open is. In onderstaande figuur 8, zijn de fysische verschillen tussen de hydrocycloon en de separator zichtbaar. De ophoping van vaste deeltjes boven de lipseal bij een separator wordt geïllustreerd in figuur 9.



Figuur 8: Verschil hydrocycloon (links) en separator (rechts) [7]



Figuur 9: Ophoping vaste deeltjes separator [12]

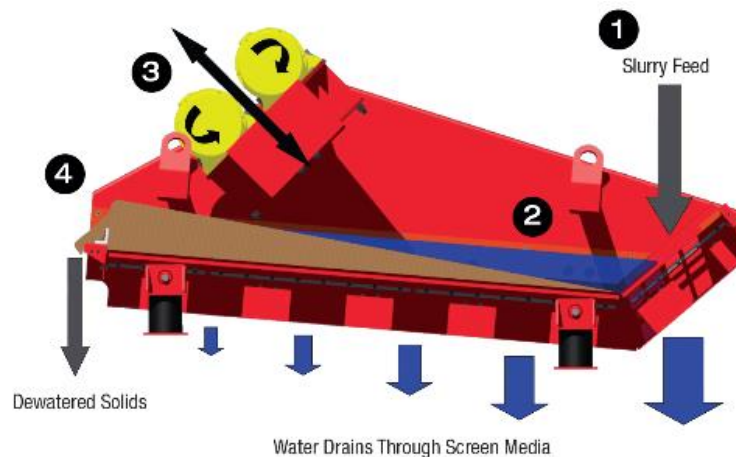
2.1.2 Ontwateringszeef

Om een slurystroom te ontwateren wordt er gebruik gemaakt van een ontwateringszeef, in het Engels een dewatering screen. Ontwateren is een methode om het water en de vaste stof van een slurystroom van elkaar te scheiden. Het verschil met een hydrocycloon is dat een ontwateringszeef in theorie alle vaste stof groter dan de openingen van het zeefmedium uit een slurystroom verwijdert en dus niet op een bepaald scheidingspunt zoals een hydrocycloon. De reden waarom er dan alsnog een cycloon gebruikt wordt volgt uit de werking van de zeef.

Een typische ontwateringszeef bestaat uit twee grote trilmotoren, een zeef medium beter bekend als het zeefmedium, een frame en is bevestigd op enkele grote en stijve veren om het trillen op te vangen. De trilmotoren bewegen in tegengestelde richting en veroorzaken een trillende lineaire beweging, die onder een hoek staat met het zeefmedium. Deze beweging zorgt ervoor dat de vaste stofdeeltjes richting de output van de zeef geaccelereerd worden en tegelijkertijd het water tussen

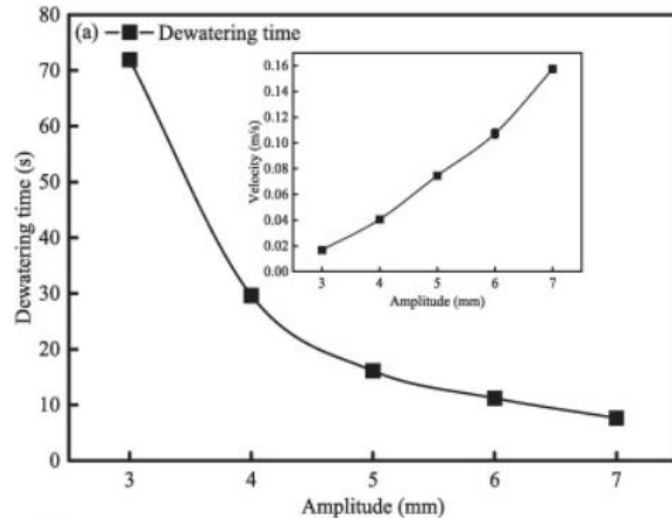
de deeltjes via het zeefmedium eruit trilt. Het is deze abrupte beweging die het water doet lossen van het vaste materiaal. Het water passeert daarbij door het zeefmedium en vormt tegelijkertijd een plas aan de slurryfeed. Het vast materiaal wordt echter grotendeels wel tegengehouden door het zeefmedium en beweegt opwaarts richting de output. De vaste stof die op het zeefmedium achterblijft, vormt daarbij een filtermedium die de veel fijnere deeltjes vasthoudt, deze deeltjes zouden anders door de openingen van het zeefmedium passeren. Een dik bed van materiaal bevordert het vasthouden van fijne deeltjes dus sterk, terwijl de vloeistof nog steeds doorgelaten wordt. Het is dus essentieel dat de initiële slurry instroom eerst over de zeef passeert, zodat een vaste stof filter medium opgebouwd wordt voordat de underflow van de hydrocycloon over de ontwateringszeef passeert. De fines passeren namelijk zonder dit vaste stof medium gewoon door de zeef heen [13].

De ontwateringszeef staat altijd onder een bepaalde hoek, meestal rond de 5°. Deze hoek zorgt ervoor dat bij het trillen van het zeefmedium het water niet mee met het vast materiaal beweegt en dus gescheiden wordt van de vaste delen. Figuur 10 geeft de doorsnede van een ontwateringszeef weer. Hierbij wordt de slurry stroom aan de rechterkant (punt 1 op figuur 10) aangebracht. In de ontwateringszeef is het zeefmedium op de bodem bevestigd zodat de vaste deeltjes er niet door stromen, maar het water wel. De trilmotoren zijn aangeduid in puntje 3 op figuur 10. Als de vaste deeltjes het einde van de ontwateringszeef bereiken zijn deze dus grotendeels ontwaterd, enkel vochtige *solids* blijven over [13].

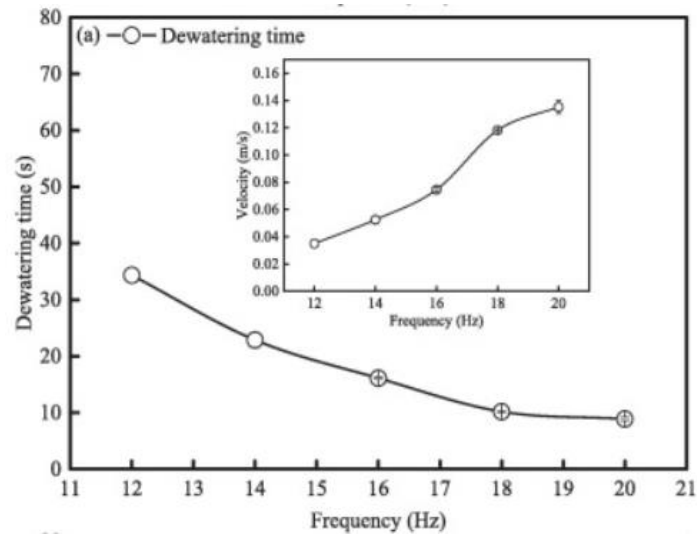


Figuur 10: Doorsnede van een ontwateringszeef [13]

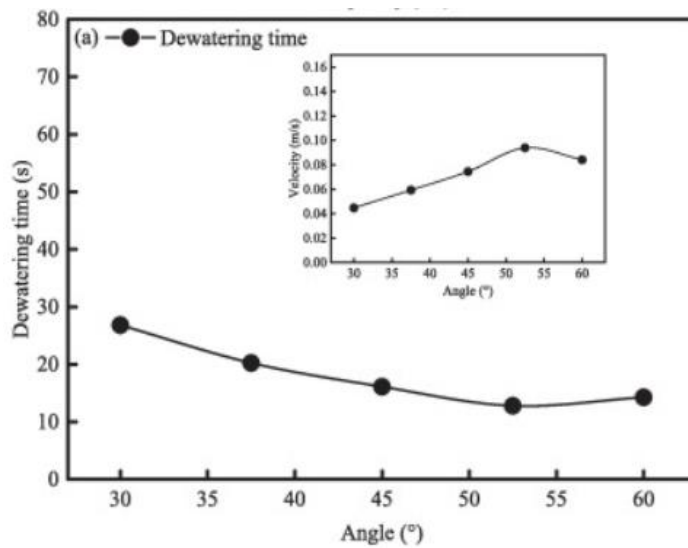
De tijd die een ontwateringszeef nodig heeft om water uit een slurriestroom te halen is afhankelijk van de frequentie en de amplitude van de trillingen als ook de hoek waaronder de trillingen gebeuren. Figuur 11 geeft het effect van de amplitude van de trillingen op de ontwateringstijd weer. Figuur 12 geeft het effect van de frequentie van de trillingen op de ontwateringstijd weer. Figuur 13 geeft het effect van de hoek van de trillingen op de ontwateringstijd weer [14].



Figuur 11: Effect amplitude trillingen op de ontwateringstijd [14]



Figuur 12: Effect frequentie trilling op de ontwateringstijd [14]



Figuur 13: Effect hoek van de trilling op de ontwateringstijd [14]

Uit figuur 11 blijkt dat de ontwateringstijd daalt bij een grotere amplitude. Uit figuur 12 blijkt dat de ontwateringstijd daalt bij een grotere frequentie. En uit figuur 13 blijkt dat de ontwateringstijd daalt tot en met een hoek van $52,5^\circ$, daarna stijgt de ontwateringstijd weer.

De afmetingen oftewel het formaat van de ontwateringszeven wordt enerzijds bepaald door de massa van de slurry die op de ontwateringszeef komt. Hierbij mag de zeef niet blijvend vervormen, anders zullen de trilmotoren geen volledige ontwatering meer kunnen realiseren. Hoe groter de massa die op de zeef komt, hoe groter en robuuster de zeef moet zijn. De massa die op de zeef terecht komt, is afhankelijk van het debiet. Het formaat wordt ook bepaald door het gewenste vochtgehalte van de ontwaterde solids. Hierbij is meestal het doel om de ontwaterde solids *drip-free* te maken. Dit wil zeggen dat er geen vloeistof uit de solids mag druppelen, wanneer het in een bal geperst wordt. De ontwateringstijd heeft tevens een invloed op het formaat van de zeef. Zoals al eerder besproken, hebben de amplitude van de trillingen, de frequentie van de trillingen en de hoek waaronder de zeef geplaatst is een invloed op de ontwateringstijd. Daarbovenop heeft de grootte van de openingen in het zeefmedium ook een invloed op de ontwateringstijd. Bij een grotere opening is de ontwateringstijd lager, maar een te grote opening zal tot gevolg hebben dat te grote solids door het zeefmedium passeren. Het materiaal van het zeefmedium wordt bepaald door het soort en type solid dat ontwaterd moet worden. Het materiaal bepaalt daarnaast ook hoe goed of slecht solids door het zeefmedium kunnen passeren [15]. Het meest gebruikte zeefmediummateriaal is polyurethaan (PU), vanwege de hoge slijtbestendigheid [3].

De MDS1224 en MDS1824 ontwateringszeven van Meka worden in deze thesis gebruikt. De code van deze zeven geeft respectievelijk de breedte en lengte van het zeefdek weer. Het zeefdek is de interne oppervlakte van de ontwateringszeef dat effectief gebruikt wordt om de slurry af te zeven. Voor de Meka MDS1224 betekent dit dus dat het zeefdek een breedte van 1,2 m en een lengte van 2,4 m heeft. Uit de code volgt dan ook indirect tot welke tonnage per uur aan slurry deze zeven aan kunnen, voor de MDS1224 is dit 90 ton/h en voor de MDS1824 is dit 150 ton/h. 150 ton/h is dan ook onmiddellijk het maximale tonnage dat de FRU van deze thesis kan verwerken. De MDS1224 zeef wordt in figuur 14 afgebeeld.



Figuur 14: Meka® MDS1224 ontwateringszeef [3]

De veren en dempers die op de ontwateringszeef bevestigd zijn, zorgen voor de trillingsonderdrukking. Deze trillingsonderdrukking zorgt ervoor dat de trillingen van de ontwateringszeef minder invloed hebben op de constructie en geen resonantie zullen veroorzaken [16].

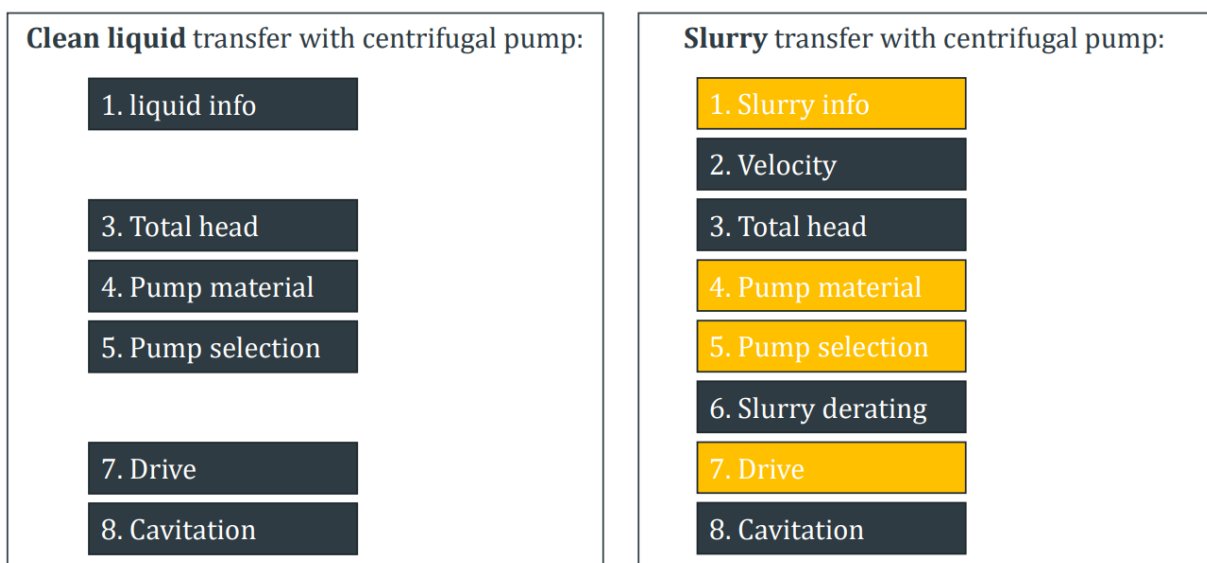
2.1.3 Slurrypompen

In tegenstelling tot een standaard zijn slurypompen veel robuuster, dit pomptype moet namelijk in staat zijn om abrasieve slurry te verpompen. Deze pompen zijn zodanig geconstrueerd dat de componenten die in contact komen met de slurystroom zo slijtvast mogelijk zijn en tegelijkertijd nog eenvoudig vervangbaar zijn. Dit wordt bereikt door de waaier en liner in de pomp afhankelijk te maken van het soort toepassing. Deze zijn in verschillende materialen en vormen verkrijgbaar. De liner is het onderdeel dat het pomphuis beschermt van de slurystroom. De liner moet dus goed bestand zijn tegen slijtage en moet ook makkelijk vervangbaar zijn. Deze onderdelen zijn nodig vermits, slurry een suspensie van vaste deeltjes in een vloeistof is en deze vaste deeltjes een grote abrasieve slijtage tot gevolg hebben. Onderstaande figuur 15 toont het verschil tussen een slurypomp (links) en een waterpomp (rechts) voor een ongeveer zelfde debiet [17].



Figuur 15: Slurrypomp (links) en een waterpomp (rechts) van gelijke grootte [17]

Om de correcte slurypomp voor een toepassing te bepalen moet echter een stappenplan gehanteerd worden. Omdat het te verpompen medium slurry is, zijn er meer stappen aanwezig dan bij een conventionele pomp. De stappenplannen die door Vaikon gehanteerd worden zijn zichtbaar in figuur 16.

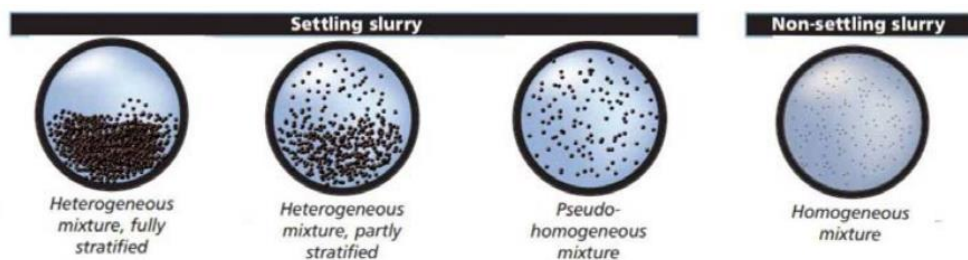


Figuur 16: Stappenplan bepaling conventionele pomp (links) s & slurry pomp (rechts) [18]

2.1.3.1 Stap 1: Slurryspecificaties

Allereerst worden alle gegevens omtrent de te verpompen slurry verzameld. Dit houdt in dat de volgende gegevens gekend moeten zijn:

- gewenst massa debiet (ton/h): dit beïnvloed het totale slurry debiet;
- d50 (μm): De d50-waarde van de slurry bepaalt of deze al dan niet kan sedimenteren, daarnaast bepaalt dit ook de deratingfactor voor de pomp en de minimum vloeistofsnelheid van de slurry;
 - de d50-waarde oftewel de mediaan van de korrel, geeft de korrelgrootte waarbij de ene helft van de slurymassa bestaat uit korrels groter dan deze waarde en de andere helft bestaat uit korrels kleiner dan deze waarde;
 - bij een d50-waarde kleiner dan $50 \mu\text{m}$, is een slurry niet-bezinkbaar, dit wordt verder verduidelijkt in figuur 17;

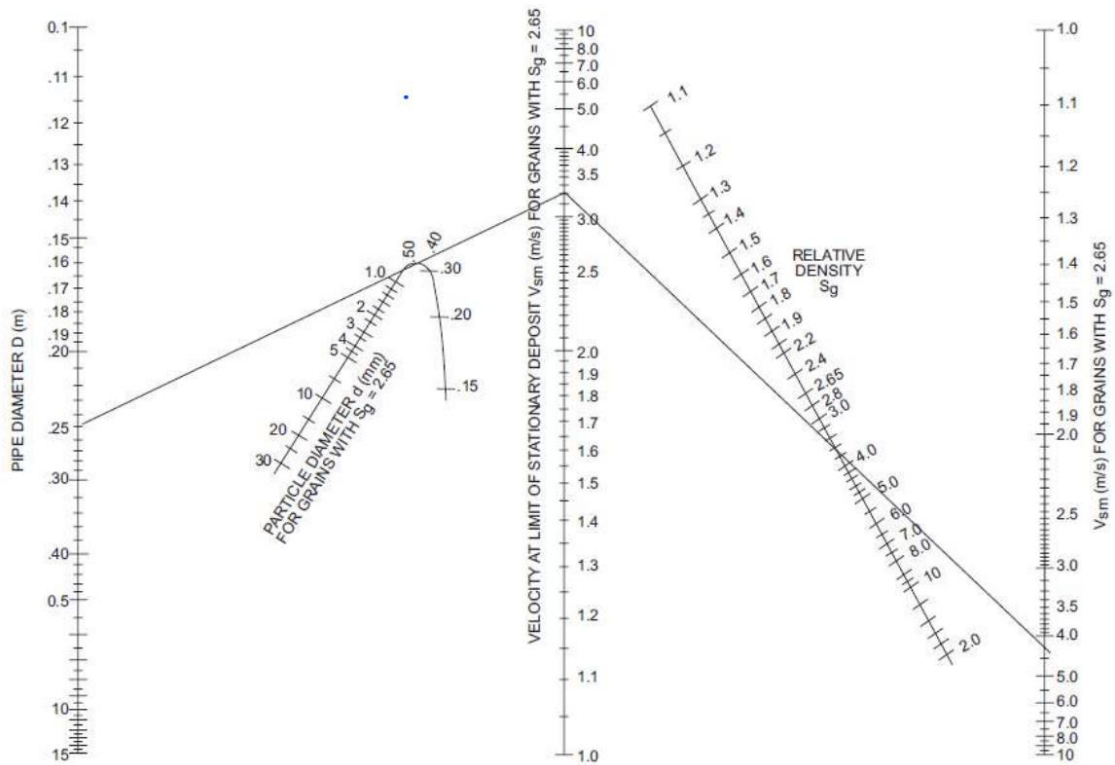


Figuur 17: Sedimentatie van slurry op basis mengseltype [18]

- de deratingfactor is een correctiefactor die op het toerental van de pomp wordt toegepast om ervoor te zorgen dat de pomp het correcte debiet levert;
- pH van de slurry: dit bepaalt welke materialen die in contact komen met de slurry gebruikt moeten worden;
- S: relatieve dichtheid van de vaste deeltjes: bepaalt de bezinksnelheid en dichtheid van het medium;
 - relatieve dichtheid, ook wel soortelijk gewicht genoemd, is de ratio van de dichtheid van een stof ten opzicht van de dichtheid van een referentie stof, meestal water bij 4°C ;
 - bezink snelheid of ook wel kritieke bezink snelheid is de minimale vloeistofsnelheid waarbij een korrel in de slurry zal bezinken en sedimenteren;
- Sw: relatieve dichtheid van de vloeistof: bepaalt de bezinksnelheid en dichtheid van het medium;
- Sm: relatieve dichtheid van de slurry: bepaalt de dichtheid van de slurry en dus het vermogen verbruik van de pomp;
- concentratie:
 - Cw: massaconcentratie (%): dit bepaalt of de slurry verpompt kan worden door een centrifugaalpomp;
 - Cv: volumeconcentratie (%);
- maximale korrelgrootte (mm): bepaalt de minimale korrel doorgang.

2.1.3.2 Stap 2: Vloeistofsnelheid

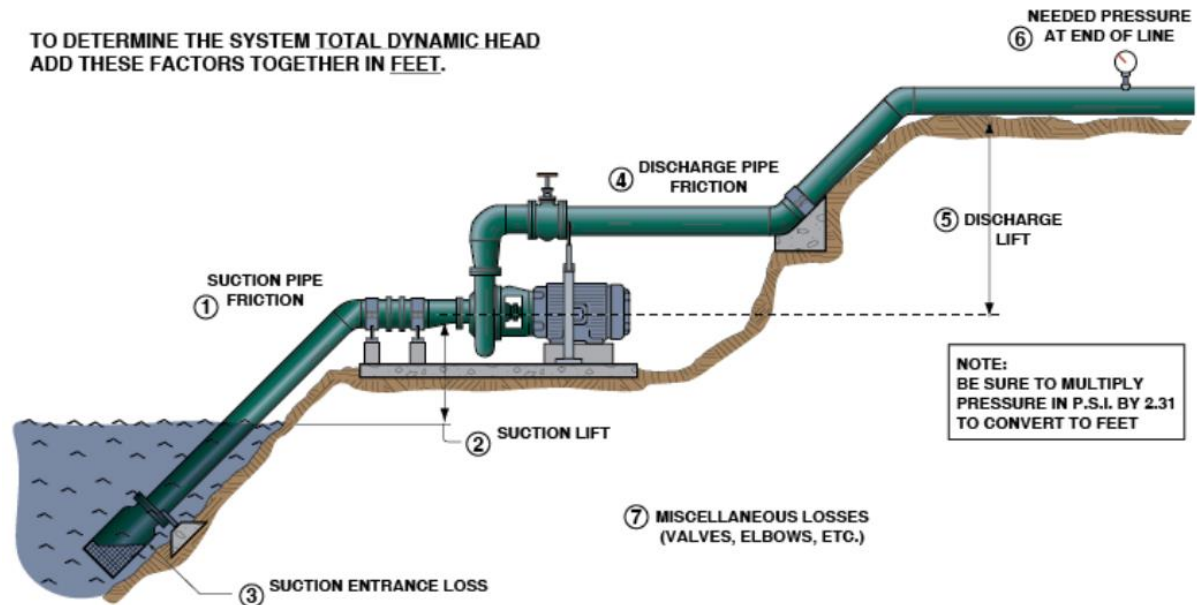
Vervolgens wordt de vloeistofsnelheid en kritieke bezinksnelheid van de slurry bepaald op basis van bovenstaande gegevens. Allereerst wordt een buisdiameter gekozen op basis van het gewenste debiet. Vervolgens wordt met deze buisdiameter en de gegevens van stap 1 via het nomografische diagram van Wilson (figuur 18) een eerste kritische bezinksnelheid gevonden. Als deze niet voldoende blijkt moet de keuze van buisdiameter aangepast worden. Het correcte bepalen van de bezinksnelheid is dus een iteratief proces.



Figuur 18: Bepalen van bezinksnelheid met de nomografische diagram van Wilson [18]

2.1.3.3 Stap 3: Totale opvoerhoogte

In de volgende stap wordt de totale opvoerhoogte die de pomp moet leveren berekend. Er zijn verschillende factoren die hier aan bijdragen. Deze factoren worden geïllustreerd in onderstaande figuur 19.



Figuur 19: Factoren die bijdragen tot de totale opvoerhoogte [18]

De eerste van deze factoren is de totale dynamische opvoerhoogte (1 & 4), dit is de extra hoogte die de pomp moet leveren om de wrijvingsverliezen ten gevolge van de leidingen te overwinnen. Dit verlies is afhankelijk van de lengte, diameter en materiaal van de gebruikte leiding, ook de viscositeit en het debiet van de slurry hebben hier een invloed op.

Het verschil in hoogte tussen het vloeistofniveau aan de input en de hoogte waar de pomp de vloeistof naartoe pompt aan de output is de statische opvoerhoogte. Dit wordt opgesplitst in de zuigopvoerhoogte (2), van het vloeistofniveau aan de input tot de hoogte van de pomp, en de persopvoerhoogte (5), van de pomp naar vloeistofniveau aan de output.

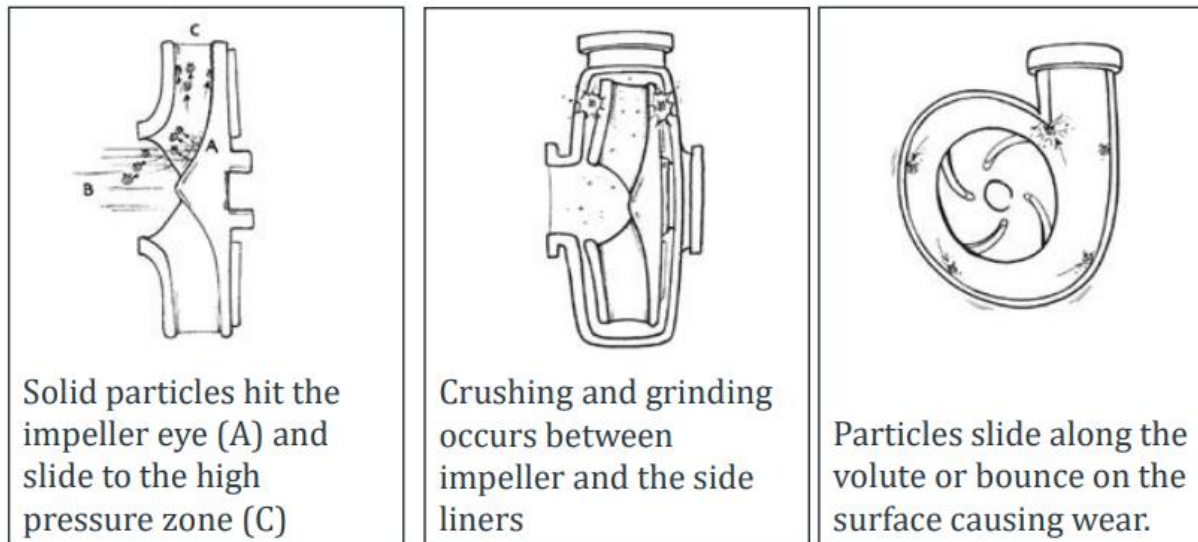
Bij de overgang van het vat naar de aanzuigleiding (3) treden er ook verliezen op die bijdragen tot de totale opvoerhoogte.

Ten slotte is er nog de gewenste einddruk (6), dit is de druk die de pomp moet leveren aan de output of het einde van de leiding.

De som van al deze factoren is de totale opvoerhoogte die de pomp moet leveren.

2.1.3.4 Stap 4: Pompmateriaal

Op basis van de partikelspecificaties van de slurry wordt het correct materiaal van de pomp gekozen. Een slurrypomp ondergaat namelijk verschillende vormen van abrasie en erosie doordat de partikels op verschillende manieren tegen de pomp opbotsen, zoals in figuur 20 geïllustreerd wordt.



Figuur 20: Abrasie en erosie van de pomp t.g.v. van het botsen en scheuren van partikels [18]

Wanneer de partikels aangezogen worden, botsen deze tegen de waaier (*impeller*) op en worden ze naar hogere druk zones geleid. De frontale botsingen gebeuren frequent en op een hoge snelheid. Vervolgens komen sommige partikels tussen de waaier en liners terecht waar ze gebroken en vermalen worden, dit zorgt voor een versnelde slijtage van beide componenten. Ten slotte scheuren en stuiteren de partikels nog in tangentiële richting tegen de volute liner op. Vanwege al deze vormen van abrasie en erosie, is het dus uiterst belangrijk dat de correcte materialen voor de toepassing gekozen worden.

Typisch zijn bij slurrypompen twee verschillende typen materialen mogelijk, metalen of elastomeren. Voor beide types zijn verschillende materialen mogelijk. In het geval van metaal worden deze gecoat om een hogere hardheid en slijtage weerstand te bekomen. In het geval van elastomeren, is de kern vervaardigd uit gietijzer dat vervolgens een elastomeren liner verkrijgt.

2.1.3.5 Stap 5: Pompselectie

Nu alle specificatie gekend zijn kan de pomp gekozen worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met de totale levenscycluskost (*Total life cycle cost, TLC*) van de pomp. De TLC van een slurrypomp omvat alle kosten die verband houden met de pomp gedurende de gehele levensduur, inclusief de eerste aanschaf, het gebruik, het onderhoud en de uiteindelijke vervangingskost. Een typische verspreiding van de kosten over deze categorieën wordt in figuur 21 weergegeven.

TLC	Initial Cost	Purchase and installation
	Operation	Electrical energy
		Sealing Water
		Lubrication
	Maintenance	Wear parts and service
Replacement	Decommissioning and disposal	

Figuur 21: Kostaandelen TLC [18]

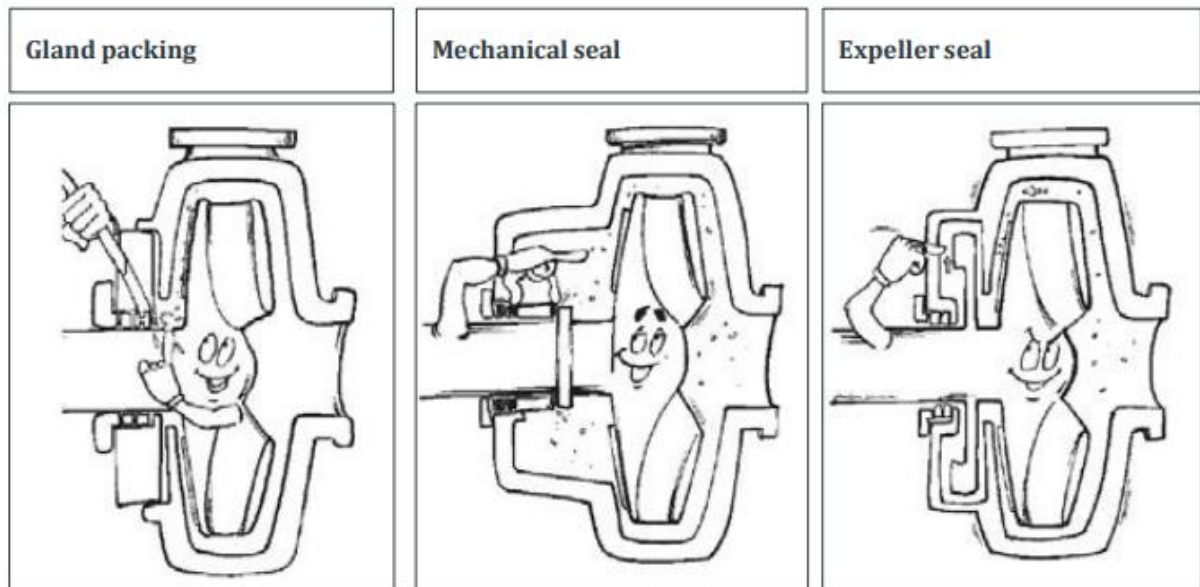
Op basis van de TLC en slurry specificaties wordt de beste configuratie voor de centrifugaalpompe gekozen. De mogelijke centrifugaalpompe configuraties worden opgesomd in figuur 22.



Figuur 22: Mogelijke centrifugaalpompe configuraties [18]

De Schegler Vigor is de standaard en meest voorkomende centrifugaal slurrypomp. De Schegler Verido is een aangepaste versie die in de vloeistof gedompeld kan worden. Ten slotte is er nog de Schegler Gravel die geschikt is voor het verpompen van slurry met zeer grote partikels.

Afhankelijk van de slurry en de toepassing zijn er ook verschillende afdichtingsopties mogelijk, deze worden afgebeeld in figuur 23.

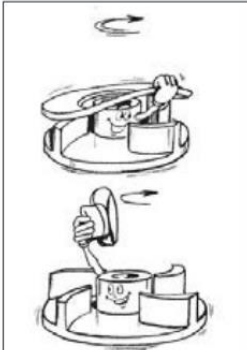
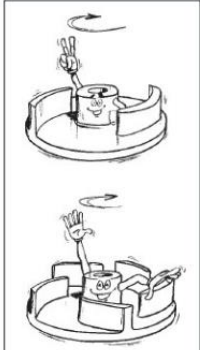
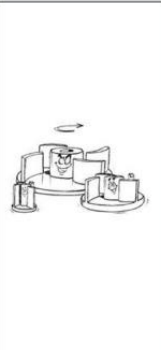
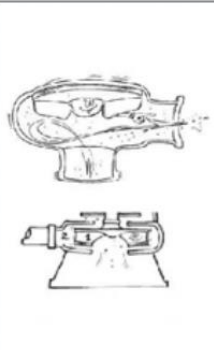



Figuur 23: Mogelijke afdichtingsopties [18]

De opties zijn als volgt:

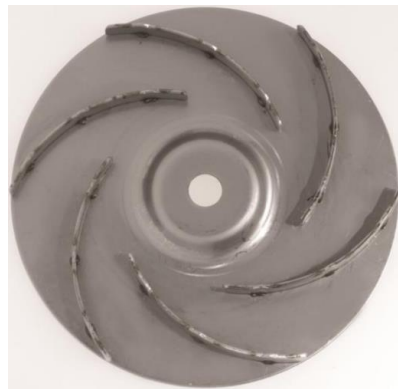
- *Gland packing*: deze packing heeft een lage kost en is gemakkelijk vervangbaar, maar een externe toevoer van water is nodig om de dichting te doen werken. Daarnaast is er altijd een kleine hoeveelheid lekkage, hierdoor wordt het slurrymedium lichtjes verdunt;
- *Mechanical seal*: in tegen stelling tot de eerste optie, is deze dichting wel volledig waterdicht en kan deze hoge zuig- en persdrukken aan. Het nadeel is wel dat de dichting redelijk kostelijk is en op druk gehouden moet worden door een dichtingsvloeistof. Ook is de mechanical seal gevoelig voor trillingen;
- *Expeller seal*: deze optie is enkel waterdicht als de pomp draait, indien de pomp stilstaat kunnen er dus lekkages optreden. Om diezelfde reden heeft deze geen dichtingsvloeistof zoals de andere twee opties nodig. Daarnaast is deze optie ook zeer kostenefficiënt, maar de dichting kan wel geen grote opvoerhoogtes of hoge massaconcentraties aan.

Ten slotte zijn er nog enkele verschillende waaier parameters die een invloed hebben op de pompcurve. Zo hebben het aantal vinnen, de hoogte van de vinnen, de diameter van de waaier, de open of gesloten waaier en de waaier met of zonder vortex allemaal invloed op de werking van de pomp. Deze parameters worden geïllustreerd in figuur 24.

Parameter	Open versus closed	# of vanes	Diameter	Normal versus vortex	Height of impeller
Illustration					
Impact	Max solid passage, high efficiency	Max solid passage, low efficiency	Head	Max solid passage, efficiency	Wear life

Figuur 24: Waaier parameters [18]

Als de pompwaaier gesloten is, is de maximale korrelgrootte kleiner, maar de efficiëntie wel hoger. Terwijl een open waaier grotere korrels aan kan, maar dan ook aan efficiëntie verliest. Hetzelfde geldt voor het aantal vinnen, meer vinnen betekent een kleinere maximale korrelgrootte maar een hogere efficiëntie. Ook de vorm van de waaier heeft invloed op beide parameters, naast de standaard vinwaaier (figuur 25) is ook een vortex waaier (figuur 26) mogelijk. Bij dit type zijn de kanalen langer en bezitten deze eerder een spiraal vorm. Door deze aangepaste vorm van de kanalen is de vortex waaier beter geschikt voor slurry toepassing en kan het dus grotere korrelgroottes aan, maar het heeft wel een lagere efficiëntie.



Figuur 25: Vinwaaier

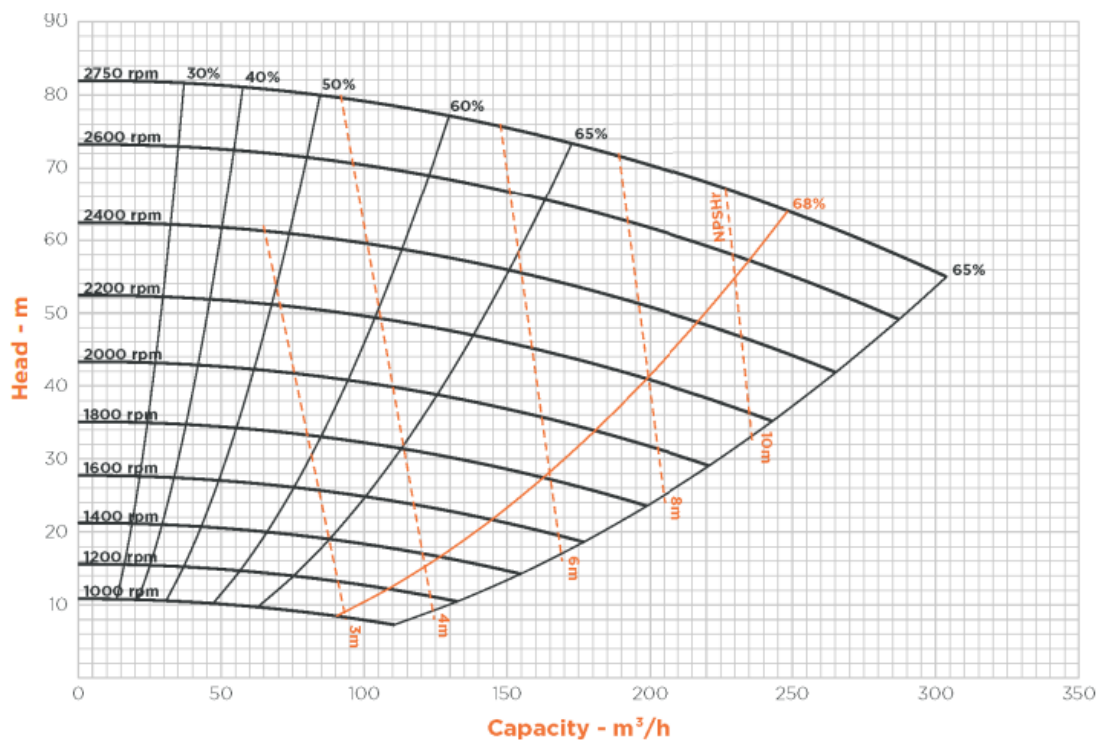


Figuur 26: Vortex waaier

De waaier diameter daarentegen beïnvloedt de opvoerhoogte, des te groter de waaier des te groter de te realiseren opvoerhoogte. Ten slotte is er ook nog de vinhoogte, des te hoger deze zijn, des te langer de levensduur van de waaier is.

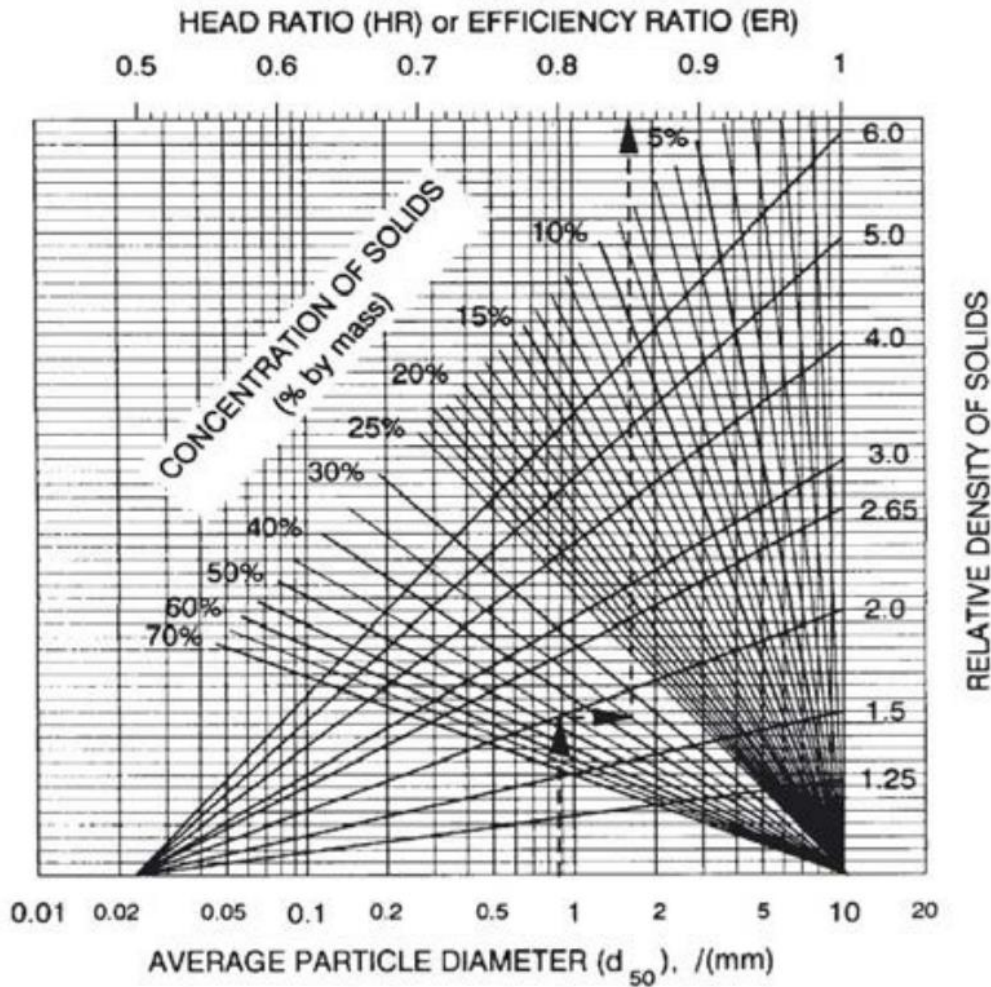
2.1.3.6 Stap 6: Slurry deratingfactor

Als de pompspecificaties gekozen zijn, kan deze informatie samen met de totale nodige opvoerhoogte in een software ingegeven worden om de pomp grootte en het nodige pompvermogen te bepalen via een pompcurve (figuur 27).



Figuur 27: Voorbeeld pompcurve van een Schegler Vigor

Echter, zijn de pompcurves die de fabrikant geeft gebaseerd op water als medium, terwijl de vaste deeltjes in de slurry voor prestatieverminderingen zorgen. Dit staat bekend als *de-rating*. Om deze reden wordt een correctie factor, de deratingfactor, op de pomp toegepast. De curve wordt dus benaderd alsof de pomp een grotere debiet aan water moet leveren in plaats van het gewenste debiet aan slurry. De deratingfactor wordt bepaald met behulp van onderstaand diagram in figuur 28.



Figuur 28: Grafiek voor het bepalen van de deratingfactor van de slurry

De deratingfactor wordt beïnvloed door: de concentratie van de vaste deeltjes (C_w), de d_{50} -waarde en het soortelijk gewicht van de vaste deeltjes (S).

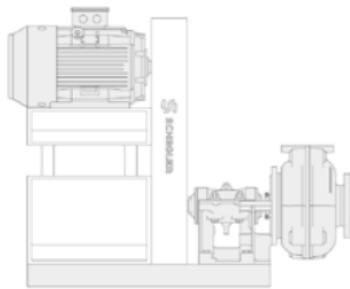
2.1.3.7 Stap 7: Aandrijving

Het vermogen van de motor die de pomp zal aansturen wordt bepaald door het pompvermogen te vermenigvuldigen met een veiligheidsfactor van 1,3 [18]. Vervolgens worden er twee controles uitgevoerd:

1. Is het motorvermogen acceptabel voor de pomp?
Niet elke motor kan aangesloten worden op elke pomp. Indien de motor te groot of te klein is, moet er gekeken worden of een grotere of respectievelijke kleinere pomp mogelijk is. In dit geval moet het stappenplan opnieuw doorlopen worden.
2. Kan de pomp met deze motor het kritieke toerental bereiken?
Indien de motor de juiste afmeting bezit, moet er geverifieerd worden of het mogelijk is voor de pomp om de kritieke vloeistofsnelheid te leveren. Dit kan enkel als de motor het correcte toerental kan leveren.

Als de motor aan beide controles voldoet, kan vervolgens de beste aandrijvingsconfiguratie gekozen worden. Alle mogelijke configuraties worden geïllustreerd in figuur 29.

CB | Back top mount



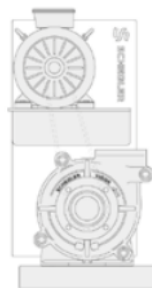
When the selected motor is too large to be top-mounted (CT)

CD | Direct drive



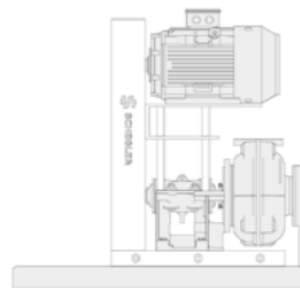
When speed is fixed and sufficient ground area is available

CT | Top mount



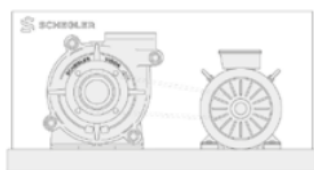
When speed can be variable, and floor space is limited

CS | Sliding base top mount



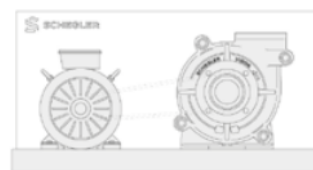
Same benefits as CT, with the added benefit of extra serviceability

CL | Left side mount



When speed can be variable, and above ground space is limited

CR | Right side mount



When speed can be variable, and above ground space is limited

Figuur 29: Motorconfiguraties [17]

Er kan opgemerkt worden dat er twee categorieën zijn. Enerzijds is er de directe aandrijving en anderzijds is er de riemaandrijving. De directe aandrijving wordt toegepast als een constant toerental vereist is. In de andere gevallen is de riemaandrijving beter. De riem bezit namelijk een dubbele veiligheidsfunctie, waarbij zowel de pomp als de motor beschermd zijn. Als de waaier vastloopt, begint de riem te slippen waardoor de motor niet overbelast wordt en de lagers van de

pomp minimaal beschadigd worden. De efficiënte van een riemaandrijving is wel lager dan deze van een directe aandrijving omwille van de wrijvingsverliezen van de riem.

De voornaamste en meeste gebruikte configuratie is de CT. De voordelen van deze configuratie zijn de beperkte inbouwruimte en het gebruik van de riemaandrijving. Daarnaast komt CD ook regelmatig voor omwille van het constante toerental.

2.1.3.8 Stap 8: Cavitatie

Ten slotte wordt de slurrypomp configuratie nog gecontroleerd op cavitatie. Cavitatie kan optreden in centrifugaalpomp wanneer de druk aan het oog van de waaier daalt tot onder de dampdruk van de vloeistof die wordt verpompt. Hierdoor kan de vloeistof verdampen, waardoor er bellen of “holtes” ontstaan in het medium. Als deze bellen door de pomp bewegen, kunnen ze instorten en schade veroorzaken aan de waaier, de behuizing en andere onderdelen. Een voorbeeld van deze schade aan de waaier ten gevolge van cavitatie wordt afgebeeld in figuur 30 [18].



Figuur 30: Erosie ten gevolge van cavitatie

Cavitatie kan enkel optreden als de vereiste netto positieve zuighoogte (NPSH_r) kleiner is dan de effectieve netto positieve zuighoogte (NPSH_a). NPSH_r is pompafhankelijk, vloeistofafhankelijk en afhankelijk van het werkpunt. De NPSH_r kan bepaald worden met onderstaande formule [18].

$$NPSH_r = \frac{P_a - P_v}{\rho \cdot g} \quad (2)$$

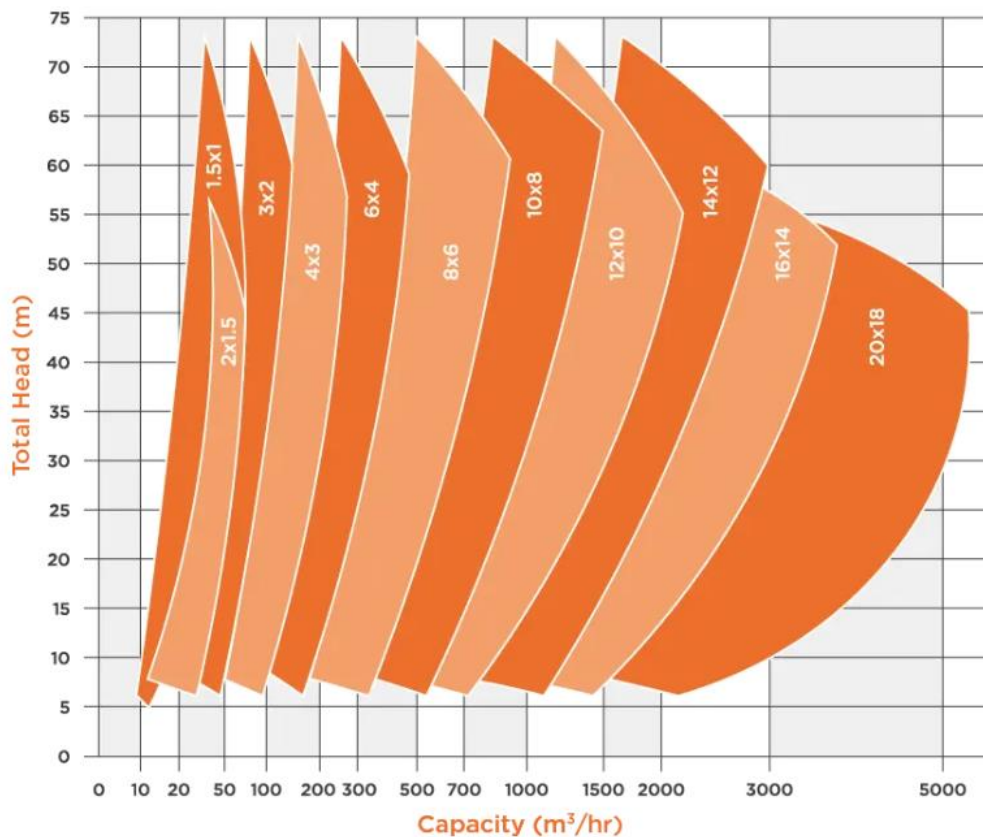
Met:

- NPSH_r: de door de pomp vereiste netto positieve zuighoogte is, in (m) of (ft);
- P_a: de absolute druk aan de pompinlaat, in (m) of (ft) vloeistof;
- P_v: de dampdruk van de vloeistof die wordt verpompt, in (m) of (ft) vloeistof;
- ρ: de dichtheid van de te verpompen vloeistof, in (kg/m³) of (lb/ft³);
- g: zwaartekrachtversnelling, in (m/s²) of (ft/s²).

2.1.3.9 Naamgevingscode slurrypomp

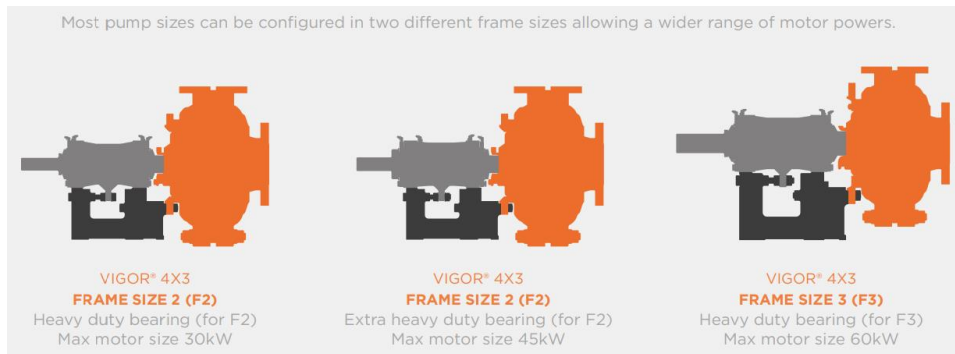
Uit bovenstaand stappenplan wordt gevonden dat het type pomp die in deze masterthesis gebruikt zal worden, de centrifugaalpomp Vigor-reeks van Schegler is. De naamgeving van deze pompen is als volgt VI4x3-F2-CT-D000-BOTC9.

- VI is een afkorting voor Vigor dewelke de centrifugaal pomp reeks van Schegler is.
- 4x3 slaat op de duimse nominale diameter van de zuig- en persansluiting van de pomp. Hier betekent dit dus dat de pomp een aanzuig en pers diameter van respectievelijk 4 inch en 3 inch bezit. Elke mogelijk afmeting voor de Vigor-reeks met welk debiet deze kunnen verpompen wordt weergegeven in figuur 31.



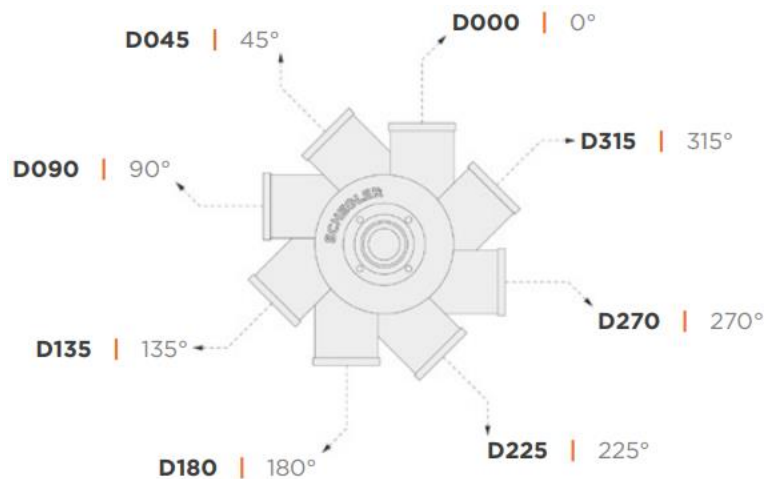
Figuur 31: Familie curve van de Schegler Vigor-reeks

- F2, dit is het frameformaat van de pomp, dit geeft de afmetingen en sterkte van het lagerhuis van de pomp weer als ook de ashoogte. Des te groter het frameformaat, des te sterker de gekoppelde motor kan zijn. Daarnaast zijn er 2 verschillende frameformaatreeksen, de BH-reeks en de BE-reeks, deze zijn respectievelijk de heavy duty reeks en de extra heavy duty reeks. De BE-reeks bezit dus een hogere sterkte en kan hogere motor vermogens aan. Het frame formaat principe wordt geïllustreerd in figuur 32. Typisch worden er per pomp formaat twee frame formaten voorzien.



Figuur 32: Illustratie frame formaten [17]

- CT, deze code specificeert de motorconfiguratie van de pomp, CT betekent hier top mount. De mogelijke motorconfiguraties zijn eerder al besproken onder “2.1.3.7 Stap 7: Aandrijving”.
- De D000 code geeft de hoek weer waaronder de aanzuiging staat, hier dus 0°. Dit principe wordt verduidelijkt in figuur 33.



Figuur 33: Aanzuighoeken [17]

- Ten slotte is er nog de BUTC9 code, deze geeft het motorvermogen weer. BOTC9 stemt overeen met een vermogen van 18,5 kW.

Naast al deze opties in de pompcode, zijn er ook nog verschillende liners in de pomp zelf mogelijk. De pomp liner is een onderdeel die het interne pomphuis beschermd tegen de abrasieslijtage ten gevolge van de slurry en is tevens vervangbaar. Voor de Schlegler pompen zijn er in totaal een dertigtal materialen mogelijk, die opgedeeld worden in twee categorieën:

- Enerzijds zijn er de elastomeren liners die elastisch verbuigen wanneer de slurry partikels inslaan op de liner. Deze liners worden typische gebruikt bij kleinere partikelgroottes en/of lagere vloeistofsnelheden. Omdat bij te grote of te snel bewegende partikels de liner te grote vervormingen zal ondergaan, waardoor deze niet genoeg tijd krijgt om elastisch te kunnen herstellen voor de volgende botsing. De liner slijt dus sneller bij hogere snelheden en grotere partikels;
- Anderzijds zijn er de metalen liners die harder, slijtvaster maar ook duurder zijn. Deze worden gebruikt bij hogere vloeistof snelheden en bij grotere en scherpere deeltjes.

Figuur 34 toont de verschillende typen liners en figuur 35 toont het werkingsprincipe van deze respectievelijke liners.



Figuur 34: Schegler Vigor liners, metalen (links) en elastomeren (rechts) [17]



Figuur 35: Werkingsprincipe liners, elastomeren (links) en metalen (rechts) [17]

2.1.4 Sump

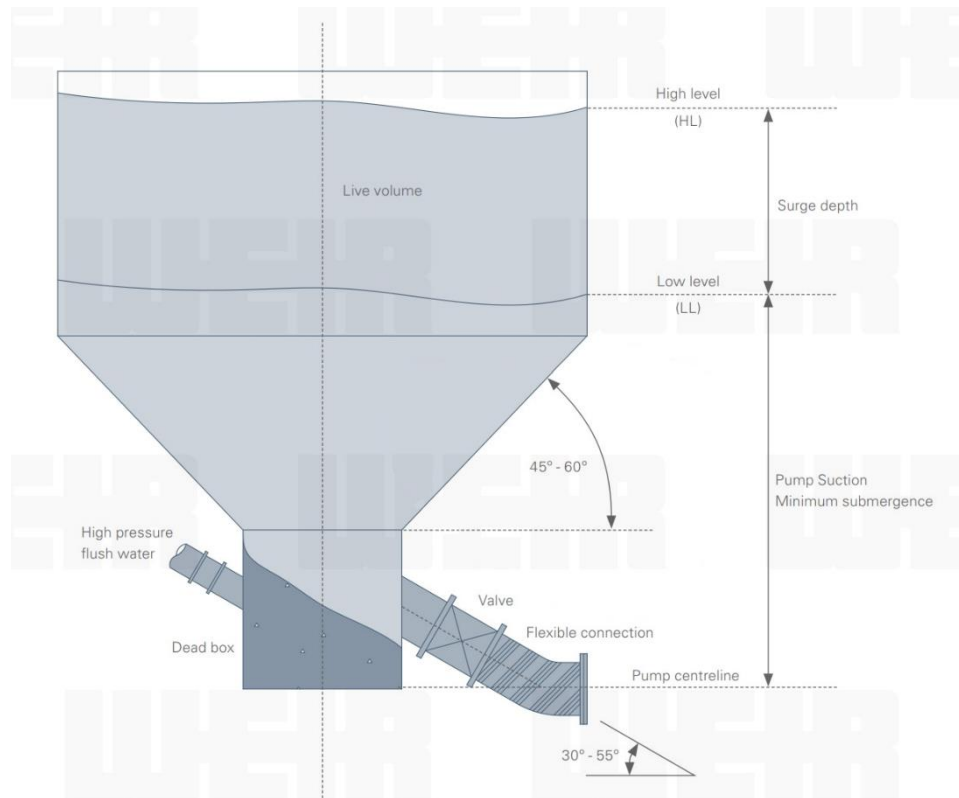
Alle reeds vermelde componenten zijn zeer belangrijk voor de werking van de FRU, vermits elk van deze componenten een vitale rol spelen in het verwerken en filteren van de slurry. Natuurlijk moet de slurry ook ergens opgevangen worden nadat de zeef deze ontwaterd heeft. Deze functie wordt uitgevoerd door de slurry tank of sump (Engels voor opvangbak) in het kort. Daarnaast buffert de sump de slurry ook, waardoor de pomp nooit droog zal lopen. Het minimum volume van de sump wordt bepaald op basis van de minimum retentietijd. Dit is de tijd die pas ingestroomde slurry minstens in de tank moet verblijven voordat deze wordt afgenomen via de aanzuiging. De conventie hierbij is 30 tot 90 seconden. Vermits de sump de basis van de FRU zal vormen en dus onveranderd zal blijven voor alle pomp-, zeef- en cycloonmaten moet de sump een voldoende retentietijd bezitten voor tonnages tot 150 ton/h. 150 ton/h met een maximum concentratie van 40% stemt ongeveer overeen met een maximum totaal slurrydebiet van 280 m³/h. Met onderstaande berekeningen wordt dan het minimum sump volume bepaald, voor een retentietijd van 30s en 90s respectievelijk.

$$V = Q \cdot t = 280 \frac{m^3}{h} \cdot 30 s = 0,0778 \frac{m^3}{s} \cdot 30 s = 2,3 m^3 \quad (3)$$

$$V = Q \cdot t = 280 \frac{m^3}{h} \cdot 90 s = 0,0778 \frac{m^3}{s} \cdot 90 s = 7 m^3 \quad (4)$$

Het minimale volume van de sump moet dus 2,3 m³ zijn om aan de minimale retentietijd te voldoen. Na het ontwerpproces van hoofdstuk 5: “Ontwerpbeslissingen” wordt het uiteindelijk volume van de sump op 3,98 m³ gevonden. Dit stemt overeen met retentietijd van ongeveer 50 seconden. De sump voldoet dus aan deze voorwaarde.

Daarnaast moeten de wanden van de sump die dwars op de aanzuiging liggen ook een bepaalde hoek bezitten. Het doel hiervan is, om ervoor te zorgen dat de deeltjes die sedimenteren aan de aanzuiging terechtkomen en niet aan de wand blijven plakken. De conventie voor deze waarde wordt in figuur 36 geïllustreerd en bedraagt tussen 45° en 60°.



Figuur 36: Conventie hoek van sumpwand

De uiteindelijke hoek van deze wand na het ontwerpen bedraagt 47°.

2.2 NBN-normendatabank

2.2.1 Naamgevingscodes

Volgens de Europese norm NBN EN ISO 6708 heeft elke buis een DN-nummer. Het DN-nummer geeft een nominale waarde en is dus geen exacte maat van de buis. Een voorbeeld van een DN-nummer is DN 200. De 200 is hierbij een nominale maat en mag niet gebruikt worden om exacte berekeningen mee uit te voeren. Voor correcte berekeningen moeten de buizen altijd nagemeten worden of de afmetingen opgezocht worden in een datasheet. Tevens wordt er gewerkt met

buisafmetingen in duim of inch. Er wordt dan gesproken over een NPS-nummer. NPS staat voor *nominal pipe size*. Hierbij komt een NPS ½ overeen met een DN 15 en een NPS 1 komt overeen met een DN 25, de overeenstemming tussen de NPS- en DN-nummers is dus niet altijd lineair [19].

Volgens de Europese norm NBN EN 1333 heeft elke buis ook een PN-nummer. Dit nummer is een maat voor de maximaal toelaatbare druk op de buis, om deze redenen specificiert het nummer daarnaast ook de afmetingen van de flenzen. Het gaat hier ook weer over een nominale maat en mag dus ook weer niet gebruikt worden in exacte berekeningen. Een voorbeeld van een PN-nummer is PN 40, deze buis zou dus hogere drukken dan een PN16 aankunnen [19].

Voor de flenzen wordt in deze thesis gebruik gemaakt van de DIN EN 1092-1 norm. De bouten die gebruikt worden voor het monteren van deze flenzen behoren tot de DIN 933 norm [19].

Buizen en flenzen met dezelfde DN -en PN-nummer moeten volgens de normen compatibel zijn met elkaar. Dit wil zeggen dat de montage afmetingen van de twee hetzelfde moeten zijn [19].

Ten slotte wordt in de naamgeving van buizen een code voor het materiaal toegevoegd. De naamgeving van een buis kan bijvoorbeeld DN200-PN10-S235 zijn. Hierbij is de nominale diameter gelijk aan 200 mm, de nominale druk is gelijk aan 10 bar en is de buis uit het materiaal S235 vervaardigd [19].

2.2.2 Buisnormen

De voornaamste metrische buisnorm toegepast bij Vaikon is de DIN EN 10220. Omwille van de abrasieve slurry moeten de buizen echter een voldoende wanddikte bezitten. Om deze reden en op advies van Gert De Smedt, product manager bij de Van Leeuwen Buisen groep, wordt er verder gekeken naar de ASME B36.10 pipe norm. De nominale maten van deze buizen worden uitgedrukt inch/duim. Daarnaast heeft deze buis norm minder mogelijke wanddiktes, maar zijn deze wel noemenswaardig dikker. De datasheet in figuur 24, verduidelijkt de ASME B36.10 norm.



www.vanleeuwen.com

ASME B36.10 Pipe schedules – diameters – wall thickness – weights

Nominal Pipe Size	Nominal Pipe Size	O.D.	Schedule 10		Schedule 20		Schedule 30		Standard		Schedule 40		Schedule 60		Extra Strong		Schedule 80		Schedule 100		Schedule 120		Schedule 140		Schedule 160		Double Extra Strong			
			inch	mm	mm	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	Wall	Wt	
1/8	5	10.3							1.73	0.37	1.73	0.37			2.41	0.47	2.41	0.47												
1/4	8	13.7							2.24	0.63	2.24	0.63			3.02	0.80	3.02	0.80												
3/8	10	17.1							2.31	0.84	2.31	0.84			3.20	1.10	3.20	1.10												
1/2	15	21.3							2.77	1.27	2.77	1.27			3.73	1.62	3.73	1.62								4.78	1.95	7.47	2.55	
3/4	20	26.7							2.87	1.69	2.87	1.69			3.91	2.20	3.91	2.20								5.56	2.90	7.82	3.64	
1	25	33.4							3.38	2.50	3.38	2.50			4.55	3.24	4.55	3.24								6.35	4.24	9.09	5.45	
1 1/4	32	42.2							3.56	3.39	3.56	3.39			4.85	4.47	4.85	4.47								6.35	5.61	9.70	7.77	
1 1/2	40	48.3							3.68	4.05	3.68	4.05			5.08	5.41	5.08	5.41								7.14	7.25	10.15	9.56	
2	50	60.3							3.91	5.44	3.91	5.44			5.54	7.48	5.54	7.48								8.74	11.11	11.07	13.44	
2 1/2	65	73.0							5.16	8.63	5.16	8.63			7.01	11.41	7.01	11.41								9.53	14.92	14.02	20.39	
3	80	88.9							5.49	11.29	5.49	11.29			7.62	15.27	7.62	15.27								11.13	21.35	15.24	27.68	
3 1/2	90	101.6							5.74	13.57	5.74	13.57			8.08	18.63	8.08	18.63												
4	100	114.3							6.02	16.07	6.02	16.07			8.56	22.32	8.56	22.32					11.13	28.32		13.49	33.54	17.12	41.03	
5	125	141.3							6.55	21.77	6.55	21.77			9.53	30.97	9.53	30.97					12.70	40.28		15.88	49.11	19.05	57.43	
6	150	168.3							7.11	28.26	7.11	28.26			10.97	42.56	10.97	42.56					14.27	54.20		18.26	67.56	21.95	79.22	
8	200	219.1				6.35	33.31	7.04	36.81	8.18	42.55	8.18	42.55	10.31	53.08	12.70	64.64	12.70	64.64	15.09	75.92	18.26	90.44	20.62	100.92	23.01	111.27	22.23	107.92	
10	250	273.1				6.35	41.77	7.80	51.03	9.27	60.31	9.27	60.31	12.70	81.55	12.70	81.55	15.09	96.01	18.26	114.75	21.44	133.06	25.40	155.15	28.58	172.33	25.40	155.15	
12	300	323.9				6.35	49.73	8.38	65.20	9.53	73.88	10.31	79.73	14.27	108.96	12.70	97.46	17.48	132.08	21.44	159.91	25.40	186.97	28.58	208.14	33.32	238.76	25.40	186.97	

Figuur 37: ASME B36.10 buisnorm

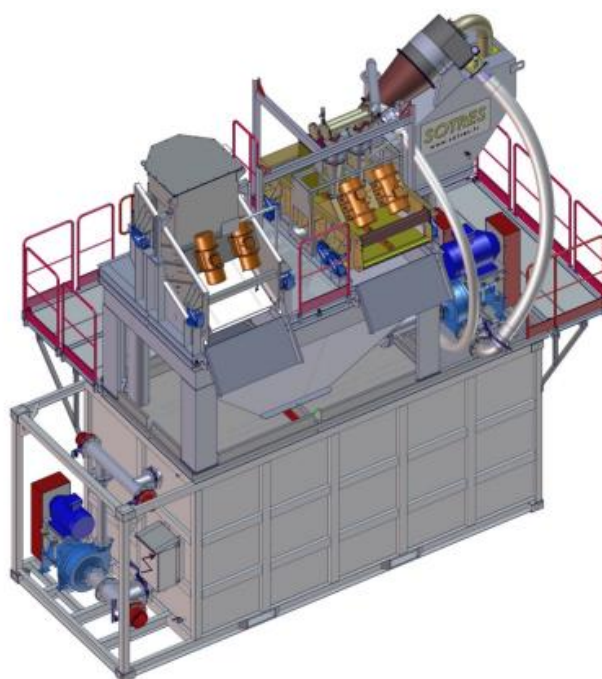
De geel gemarkeerde nominale afmetingen, zijn de afmetingen die mogelijks gebruikt kunnen worden in de FRU. De blauwe gemarkeerde wanddiktes zijn de wanddiktes voor de gekozen buizen. En de groen gemarkeerde wanddikte is een alternatieve gekozen wanddikte voor de overflow leidingen als de snelheid verhoogd moet worden, omdat de blauwe keuze de interne diameter te hard verkleint.

3 Industriële benchmark

In dit korte hoofdstuk wordt er een blik geworpen naar al reeds geïmplementeerde FRU's van andere bedrijven. Het kan namelijk nuttig blijken om een beter idee te krijgen van de tegenwoordig toegepaste technologie in de industrie. Nadat er dieper ingegaan is op de afzonderlijke componenten wordt er dus nu terug een breder beeld van de installaties genomen. Op deze manier kunnen uit de praktijk inzichten opgedaan worden, op gebied van aanpak als ook mechanische ontwerp.

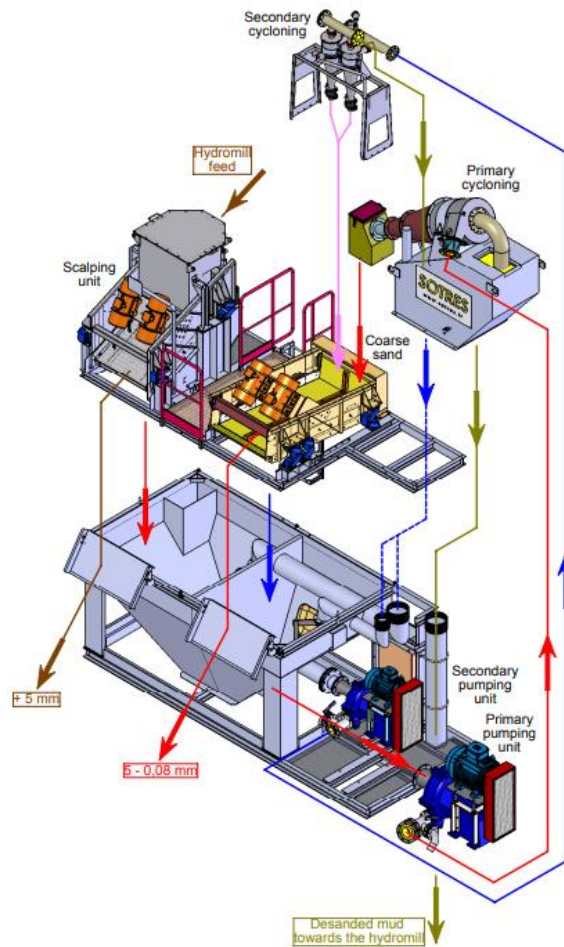
3.1 Sotres

De eerste installaties waar naar gekeken wordt is één van Sotres. Figuur 38 illustreert het CAD-model van deze FRU. Origineel werd in deze thesis getracht onderstaande unit te vervangen. Vermits deze zou verhuizen van locatie en er dus een nieuwe unit nodig zou zijn. Echter is dit plan omwille van omstandigheden niet voortgezet.



Figuur 38: Sotres fines recuperation unit [20]

De container onder de slurry tank is een mengbak en is niet van toepassing op deze masterproef. Verder valt er op dat de beide delen van de gehele unit binnen een 20 voet container passen. De stroming van de slurry doorheen de FRU op de container wordt getoond in figuur 39. Het is noemenswaardig dat de hydrocycloon niet verticaal is gemonteerd, maar onder hoek, vermits dit de scheiding negatief beïnvloedt, kan geconcludeerd worden dat de reden hiervoor compactheid is.

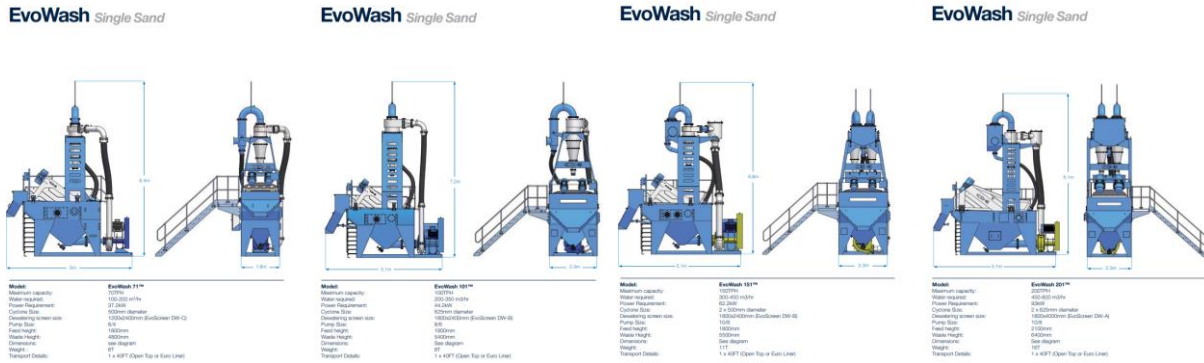


Figuur 39: Werking Sotres fines recuperation unit [20]

De rode lijnen in figuur 39 geven de stroming van de primaire pomp en cycloon weer. Hierbij worden de zanddeeltjes van 0,08 - 2 mm uit de slurystroom weg gefilterd. De blauwe lijnen op figuur 39 geven de stroming van de secundaire pomp en cycloon weer. Het systeem dat in de masterproef ontworpen wordt, vertoont een soortgelijke werking. De scalping unit is een zeef die zeer grote en grove delen uit de slurry weg filtert voordat deze slurry het systeem betreedt, vermits deze grote deeltjes ernstige slijtage van de hydrocycloon tot gevolg zouden hebben. De slurystromen die uit de cyclonen stromen worden over de ontwateringszeef gestuurd om de zanddeeltjes van 0,08 - 2 mm van de slurry te scheiden. De resterend slurystroom beland uiteindelijk in de opvangbak (sump) nadat deze door de ontwateringszeef is geweest. Een gedeelte van de slurry blijft dus recirculeren in het systeem totdat een betere scheiding bekomen is. Daarnaast zorgt deze recirculatie er ook voor dat de installatie nooit droogloopt. Vermits dit catastrofaal zou zijn voor componenten zoals de slurypompen die bij droog loop zeer snel verslijten. Bij een pomp zal droogloop ervoor zorgen dat dichtingen verbranden, omdat deze niet meer gekoeld/gesmeerd worden door de vloeistof. Een defecte dichting zal aanleiding geven tot lekkage van de pomp.

3.2 CDE

Een tweede installatie waar een blik naar geworpen wordt, is deze van CDE. CDE werkt niet met modulaire units, maar biedt een beperkt aantal discrete units aan, met bepaalde afmetingen en features. Dit wordt geïllustreerd in figuur 40, waar een aantal van deze discrete opties zichtbaar zijn.



Figuur 40: Discrete CDE FRU's [21]

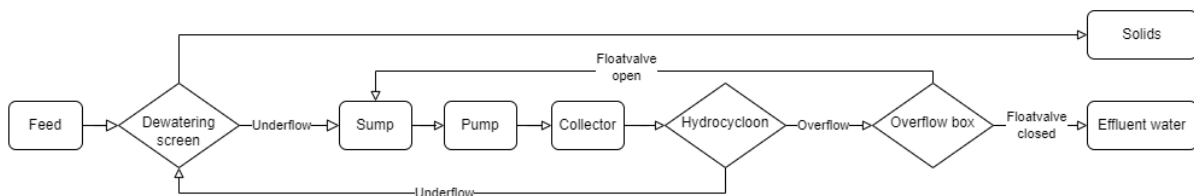
Er kan echter wel opgemerkt worden dat deze units bepaalde onderdelen onderling delen zoals het bordes van de eerste twee units. In vergelijking met modulaire units, waar eender welke componenten met hetzelfde doel maar andere afmetingen uitgewisseld kunnen worden, biedt de discrete aanpak minder vrijheid. Echter is dit op vlak van specialisatie wel beter, vermits er slechts een bepaald aantal mogelijke configuraties zijn met elk hun eigen stukken, zijn er ook minder reserveonderdelen nodig. Het kan dus nuttig blijken om in toekomst de meest voorkomende opties van de Vaikon FRU te verzamelen en te discretiseren.

4 Parametrisch model

De eerste fase in het ontwerpen van de modulaire fines recuperation unit is het opstellen van het parametrische model dat er achter verscholen gaat. Dit model zal Vaikon in staat stellen om op basis van de slurrys specificaties, procesinformatie en gewenste outputspecificaties de correcte componenten voor de unit te selecteren.

4.1 Process flow diagram

De eerste stap in het opstellen van dit parametrische model is het uittekenen van het FRU proces. Dit wordt gedaan aan de hand van een proces flow diagram (PFD), dit soort diagram is in feite een stappenplan voor alle processtappen die de slurry doorloopt in de FRU. Daarnaast geeft dit diagram een overzicht van alle componenten die in een FRU nodig zijn als ook welke van deze componenten uitwisselbaar moeten zijn. De PFD is dus de blauwdruk voor de unit. Figuur 41 toont het stroomdiagram voor de FRU.



Figuur 41: PFD voor een FRU

Vervolgens wordt het PFD toegelicht. De feed is de slurry instroom, deze wordt om te beginnen over de ontwateringszeef gestuurd. Waardoor de fractie van grote deeltjes onmiddellijk al uit de instroom gescheiden worden en naar het einde van de zeef getransporteerd worden, waar deze terechtkomen op een hoop solids naast de unit. De rest van de slurry passeert doorheen de zeef in de sump, waar deze tijdelijk opgeslagen wordt. Daarna wordt de slurry van de sump naar de collector gepompt. De collector is in feite een buffer die de slurry verdeeld over meerdere cyclonen, deze tank is echter niet altijd aanwezig en is overbodig bij het toepassen van één enkele cycloon. De hydrocycloon(en) scheiden dan de fines en de rest van de vaste deeltjes uit de slurry. De vaste deeltjes in suspensie verlaten de hydrocycloon langs de underflow en komen iets verder dan de feed terecht op de ontwateringszeef. Waarna deze underflow net zoals de feed afgezeefd wordt. De suspensie met de zeer kleine deeltjes wordt van uit de hydrocycloon naar de overflow box gestuurd. De overflow box is een buffertank die verbonden is met de sump via een leiding met aan het uiteinde een *float valve* of ook wel een vlotterklep. De vlotterklep zorgt ervoor dat als de sump niet voldoende vloeistof bevat de overflowbox terug leeg kan lopen in de sump, om ervoor te zorgen dat de slurrypomp nooit droog loopt. Het drooglopen van een pomp levert immers een korte levensduur van de pomp op, als ook hevige lagerschade. Als de vlotterklep echter toestaat, is er voldoende slurry in de sump aanwezig en kan het gefilterd effluent water weglopen. Een bijkomend voordeel van deze vlotterklep is dat als de FRU geen feed ontvangt deze de aanwezige slurry continue blijft filteren en dus telkens een betere scheiding oplevert.

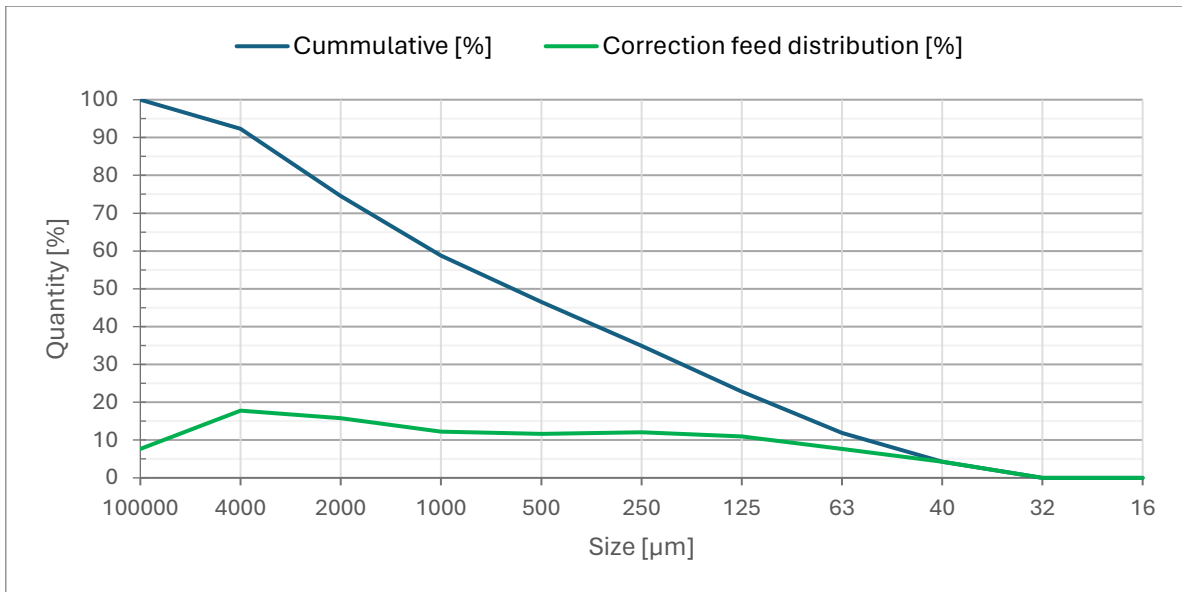
4.2 Particle size distribution

De slurrysificaties worden gegeven door het type vaste stofdeeltjes en de particle size distribution (PSD) of ook wel de korrelgrootteverdeling. Deze verdeling wordt typische gegeven in tabelvorm en geeft weer hoe de verhoudingen van de korrelgroottes in de slurry liggen. Dit gegeven samen met de gewenste output van de klant bepaalt dus welke korrels al door de ontwateringszeef weggezeefd worden en welke korrels afgesplitst worden in de hydrocyclonen. Het is dus een gegeven dat door de klant geleverd moet worden. Daarnaast is het PSD van een slurriestroom empirisch bepaald, dit houdt in dat er monsters van de feed genomen moeten worden, waarna deze vervolgens geanalyseerd worden om de verdeling te bepalen. Tabel 2 toont een voorbeeld van een mogelijke PSD.

Tabel 2: Voorbeeld PSD

Size [μm]	Feed distribution [%]	Correction feed distribution [%]	Cummulative [%]	Massaflow [ton/h]
10000	5,62	7,68	100	1,92
4000	15,71	17,77	92,32	4,44
2000	13,71	15,77	74,54	3,94
1000	10,17	12,23	58,77	3,06
500	9,58	11,64	46,54	2,91
250	10,02	12,08	34,89	3,02
125	8,87	10,93	22,81	2,73
63	5,55	7,61	11,88	1,90
40	2,2	4,26	4,26	1,07
32	0	0	0	0
TOTAL [%]	81,43	100	TOTAL [ton/h]	25,00
REST [%]	18,57	0	REST [ton/h]	0,00

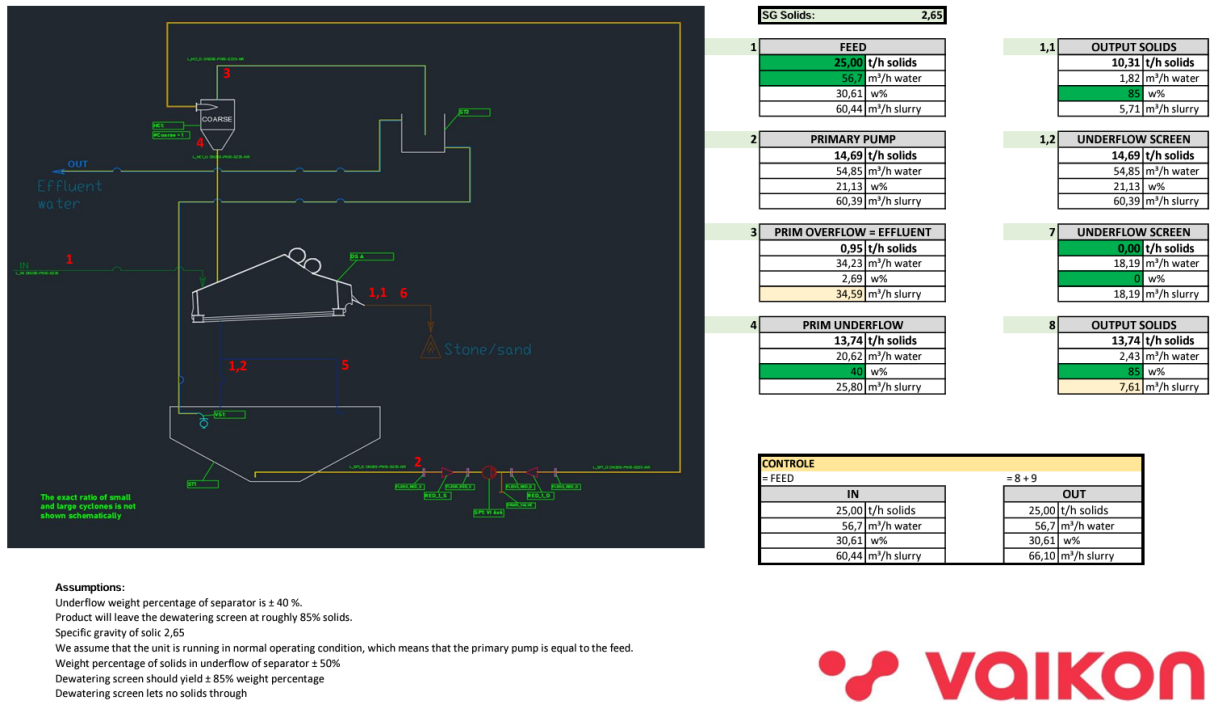
In bovenstaand PSD valt er op dat er in de tweede kolom een percentage rest aanwezig is. Deze hoeveelheid rest, geeft aan dat een gedeelte van de korrels niet zijn opgemeten. Dit kan eenvoudigweg gecorrigeerd worden door de rest evenredig te verdelen over alle aanwezige korrelgroottes. Dit gebeurt dan ook in de derde kolom van het PSD. In de vierde kolom worden deze percentage dan cumulatief opgeteld, beginnende bij de kleinste korrelgrootte. Deze cumulatieve weergave geeft een iets beter overzicht van de korrelverdeling in de slurriestroom, figuur 42 illustreert deze grafiek. Als de totale massastroom en de PSD gekend zijn, kan voor elke korrelgrootte het aandeel in de massastroom bepaald worden. De vijfde kolom geeft dus aan wat de massastroom voor elke korrelgrootte afzonderlijk is.



Figuur 42: Grafische weergave van PSD

4.3 Massa- & debietbalans

Vervolgens kan op basis van de PSD een massa- en debietbalans opgesteld worden. Dit is een eenvoudig schema dat een benadering van de samenstelling en het debiet van de slurry in de verschillende processtappen van de FRU weergeeft. Het is dus een overzicht waarmee de debieten per component zichtbaar worden. Daarnaast geeft dit overzicht ook een benadering van de output specificaties weer. Een voorbeeld voor een FRU die een massadebiet van 25 ton/u moet verwerken wordt weergegeven in figuur 43.

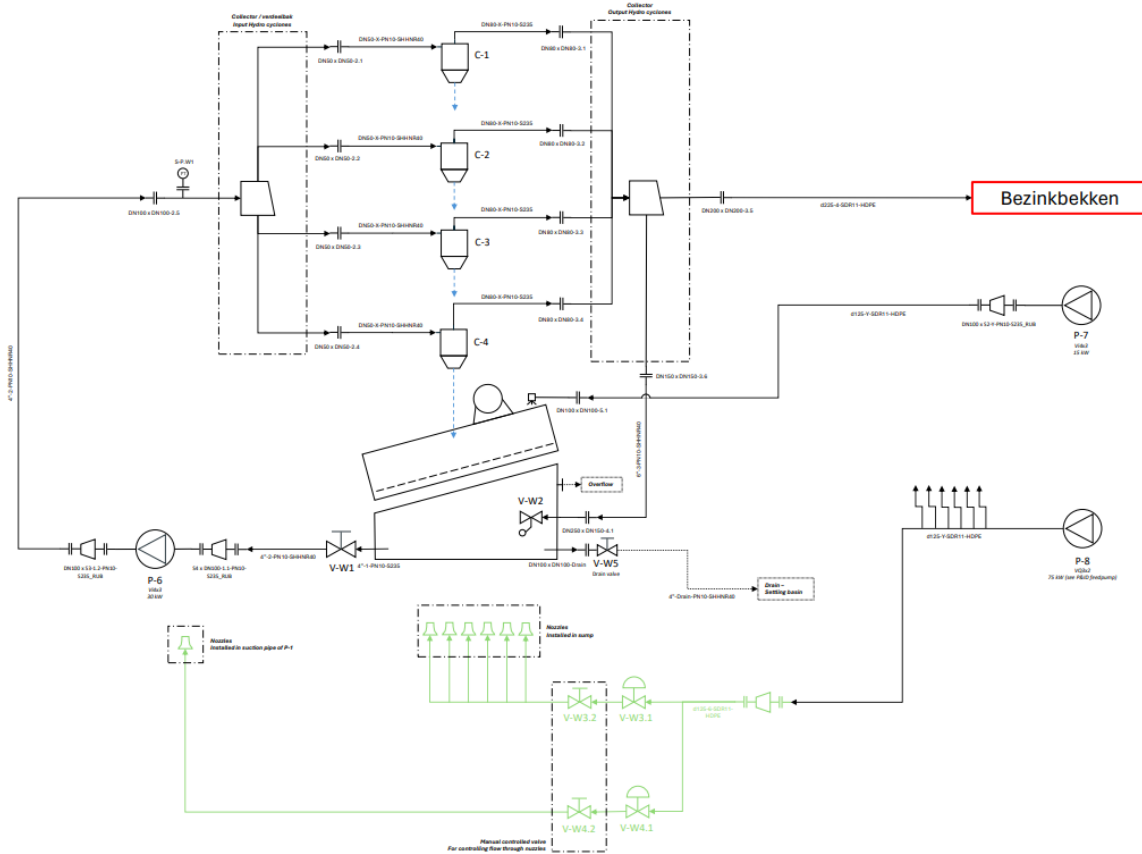


Figuur 43: Voorbeeld massa- en debietbalans

In figuur 43 zijn de groen gearceerde cellen de in te vullen waardes en de geel gearceerde de output slurry debieten. Ook wordt er in deze balans een controle uitgevoerd om ervoor te zorgen dat input en de output gelijk zijn aan elkaar, immers wat in de FRU binnenkomt en verlaat moet gelijk zijn. Er valt op te merken dat ondanks de relatief grote hoeveelheid solids die de zeef al verwerkt het slurry debiet amper afneemt. Dit is logisch vermits bijna al het water gewoon doorheen de zeef passeert.

4.4 Piping and instrumentation diagram

Nadat voorgaande analyses uitgevoerd zijn op basis van de klantspecificaties en de PFD-blauwdruk wordt het piping and instrumentation diagram (P&ID) opgesteld. Dit schema specificceert de FRU-configuratie volledig voor de klant. Zowel alle modulaire als niet-modulaire componenten zijn op de P&ID aanwezig. De P&ID voor de vooraanstaande speler in de grondremediëringsindustrie wordt in onderstaande figuur 44 weergegeven.



Figuur 44: P&ID van FRU-configuratie voor klant uit de grondremediëringsindustrie

Het P&ID dient als hulpmiddel. Het geeft een duidelijk overzicht van alle componenten die in de configuratie worden geïmplementeerd. De slurry instroom wordt door pomp P-7 aangevoerd aan de feedbox via een 4 inch *slurry hosing* aan de FRU. Slurry hosing is een flexibele, maar doch relatief stijve slang die toegepast wordt voor het transport van slurzystromen. De slang is vervaardigd uit rubber met een interne staaldraad ter versteviging. Via de feedbox wordt de slurry over de breedte van de ontwateringszeef verspreid. De grootste zandkorrels worden hierdoor al weggezeefd. De slurry komt dan in de sump terecht. Daarna wordt de slurry naar de collector gepompt met pomp P-6, dewelke een Schegler Vigor VI 4x3 is, via slurry hosing van 4 inch. In de collector wordt de slurzystroom verdeelt over vier Kinarox CVX150 hydrocyclonen. Hierbij stroomt de slurry via 2 inch slurry hosing van de collector naar de hydrocyclonen. De underflow van de hydrocyclonen komt terecht op de ontwateringszeef. Waarna de gezeefde slurry terug in de sump terechtkomt. De overflow van de hydrocycloon wordt naar de overflowtank geleid via buizen van 80 mm. Als de sump niet voldoende slurry bevat vloeit de overflow terug naar de sump van een 6 inch slurry hosing. Is er echter wel genoeg vloeistof in de sump aanwezig dan vloeit het effluent water weg via een 8 inch slurry hosing. De sump is voorzien van een vlotterklep, zodat de instromende slurry die van de overflowtank komt geblokkeerd wordt, wanneer er te veel slurry in de sump zit. Hierdoor moet al de slurry van de overflowtank uit de installatie stromen. De sump is ook voorzien van een aftapklep, om de sump te laten leeglopen indien er onderhoud nodig is.

Alle slurry hosing en buizen zijn zo gedimensioneerd dat de snelheid van de slurry in de buizen en hosing hoger is dan de kritische snelheid. De snelheid van de slurry in de buizen en de hosing worden bepaald met de volgende formule:

$$v_{slurry} = \frac{Q_{slurry}}{\frac{\pi \cdot D_{buis/hosing}^2}{4}} \quad (5)$$

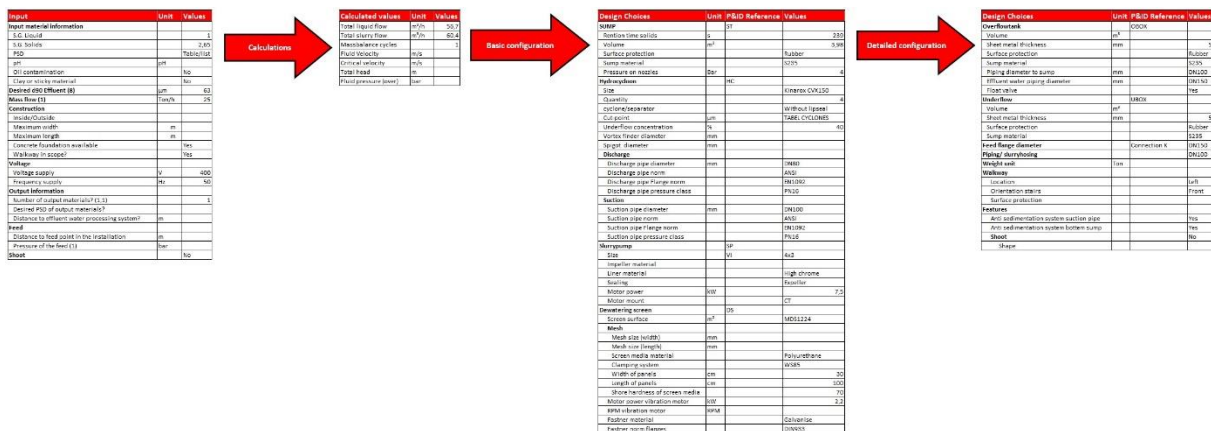
Met:

- v_{slurry} is de snelheid van de slurry in m/s²;
- Q_{slurry} is het debiet van de slurry die door de buis of hosing gaat in m³/s;
- $D_{buis/hosing}$ is de diameter van de buis of hosing in m.

Uniek aan deze configuratie is het spoelsysteem dat ervoor moet zorgen dat er geen ophoping aan de zuigleiding in de sump of in de zuigleiding zelf aan de pomp ontstaat. Dit systeem wordt in het groen aangeduid in figuur 44. Om ervoor te zorgen dat de ingang van de zuigleiding in de sump niet verstopt geraakt wordt er gewerkt met spray nozzels die de gesedimenteerde deeltjes terug kunnen opwoelen. Om de zuigleiding zelf vrij te kunnen houden wordt een Y-connector voor de pomp gemonteerd, op deze connector wordt het spoelsysteem tevens gemonteerd. Het spoelsysteem wordt door een Schegler Vigor VI 4x3 pomp op 8 bar gehouden.

4.5 Parametrisch model geïmplementeerd in Excel

Om uiteindelijk al de mogelijke configuratieopties overzichtelijk en duidelijk te maken worden deze opgemaakt in een Excelbestand. Daarnaast zal dit bestand ook enkele inputs vragen van de klant. Met deze gegevens en enkele eenvoudige berekeningen zullen vervolgens kritieke waardes bekomen worden. Deze berekende waardes bepalen de belangrijkste componenten voor de configuratie van de FRU. Dit bestand is dus in feite een uitgewerkte vereenvoudiging van het eerder opgestelde stappenplan van het parametrische model. Een mock-up van dit model wordt in onderstaande figuur 45 getoond.



Figuur 45: Mock-up van parametrisch model

Het bestand zal in de toekomst door het salesdepartement gebruikt worden om een configuratie met de klant op te stellen. Waarna het ingenieursdepartement het bestand ontvangt en de volledige FRU-configuratie tot in detail uitwerkt. Omdat de voornaamste niet-modulaire componenten met dit bestand bepaald worden, kan ook al een eerste raming van de kostprijs gemaakt worden.

4.5.1 Stappenplan parametrisch model

Vervolgens wordt het model nog even stap voor stap doorlopen om input en output tabellen te verduidelijken. Als ook de te volgen procedure van het model. Allereerst wordt samen met de klant alle eisen en wensen vastgelegd als ook de nodige gegevens om alle componenten van de FRU te bepalen. Dit gebeurt met behulp van de eerste inputgegevenstabel zichtbaar in tabel 3.

Tabel 3: Inputgegevens parametrisch model

Input	Unit	Values
Input material information		
S.G. Liquid		1
S.G. Solids		2,65
PSD		Table/list
pH	pH	
Oil contamination		No
Clay or sticky material		No
Desired d90 Effluent (8)	µm	63
Mass flow (1)	Ton/h	25
Construction		
Inside/Outside		
Maximum width	m	
Maximum length	m	
Concrete foundation available		Yes
Walkway in scope?		Yes
Voltage		
Voltage supply	V	400
Frequency supply	Hz	50
Output information		
Number of output materials? (1,1)		1
Desired PSD of output materials?		
Distance to effluent water processing system?	m	
Feed		
Distance to feed point in the installation	m	
Pressure of the feed (1)	bar	
Shoot		No

Vervolgens worden de bovengenoemde diagrammen en tabellen gebruikt om enkele cruciale waardes te bepalen met behulp van het Excelbestand. Deze gegevens zullen namelijk van belang zijn om de correcte componenten te bepalen en een goede efficiëntie te bereiken. De berekende waardes worden in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4: Berekende waardes parametrisch model

Calculated values	Unit	Values
Total liquid flow	m ³ /h	56,7
Total slurry flow	m ³ /h	60,4
Massbalance cycles		1
Fluid Velocity	m/s	
Critical velocity	m/s	
Total head	m	
Fluid pressure (over)	bar	

Zoals al aangehaald worden met deze berekende gegevens de nodige componenten bepaald. Een eerste basisconfiguratie wordt dus in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5: Basisconfiguratie FRU

Design Choices	Unit	P&ID Reference	Values
SUMP		ST	
Retention time solids	s		239
Volume	m ³		3,98
Surface protection			Rubber
Sump material			S235
Pressure on nozzles	Bar		4
Hydrocycloon		HC	
Size			Kinarox CVX150
Quantity			4
cyclone/separator			Without lipseal
Cut-point	µm		TABEL CYCLONES
Underflow concentration	%		40
Vortex finder diameter	mm		
Spigot diameter	mm		
Discharge			
Discharge pipe diameter	mm		DN80
Discharge pipe norm			ANSI
Discharge pipe Flange norm			EN1092
Discharge pipe pressure class			PN16
Suction			
Suction pipe diameter	mm		DN100
Suction pipe norm			ANSI
Suction pipe Flange norm			EN1092
Suction pipe pressure class			PN16
Slurrypump		SP	
Size		VI	4x3
Impeller material			
Liner material			High chrome
Sealing			Expeller
Motor power	kW		7,5
Motor mount			CT
Dewatering screen		DS	
Screen surface	m ²		MDS1224
Mesh			
Mesh size (width)	mm		
Mesh size (length)	mm		
Screen media material			Polyurethane
Clamping system			WS85
Width of panels	cm		30
Length of panels	cm		100
Shore hardness of screen media			70
Motor power vibration motor	kW		2,2
RPM vibration motor	RPM		
Fastner material			Galvanise
Fastner norm flanges			DIN933

Deze tabel bevat al heel wat belangrijke informatie over configuratie van de FRU, maar is nog niet compleet. Als deze gegevens geverifieerd zijn kan er overgegaan worden naar een meer gedetailleerde configuratie waar de laatste mogelijke opties uitgeklaard worden. Deze laatste stap is zichtbaar in tabel 6.

Tabel 6: Gedetailleerde configuratie FRU

Design Choices	Unit	P&ID Reference	Values
Overflowtank		OBOX	
Volume	m ³		
Sheet metal thickness	mm		5
Surface protection			Rubber
Sump material			S235
Piping diameter to sump	mm		DN100
Effluent water piping diameter	mm		DN150
Float valve			Yes
Underflow		UBOX	
Volume	m ³		
Sheet metal thickness	mm		5
Surface protection			Rubber
Sump material			S235
Feed flange diameter		Connection K	DN150
Piping/ slurryhosing			DN100
Weight unit	Ton		
Walkway			
Location			Left
Orientation stairs			Front
Surface protection			
Features			
Anti sedimentation system suction pipe			Yes
Anti sedimentation system bottem sump			Yes
Shoot			No
Shape			

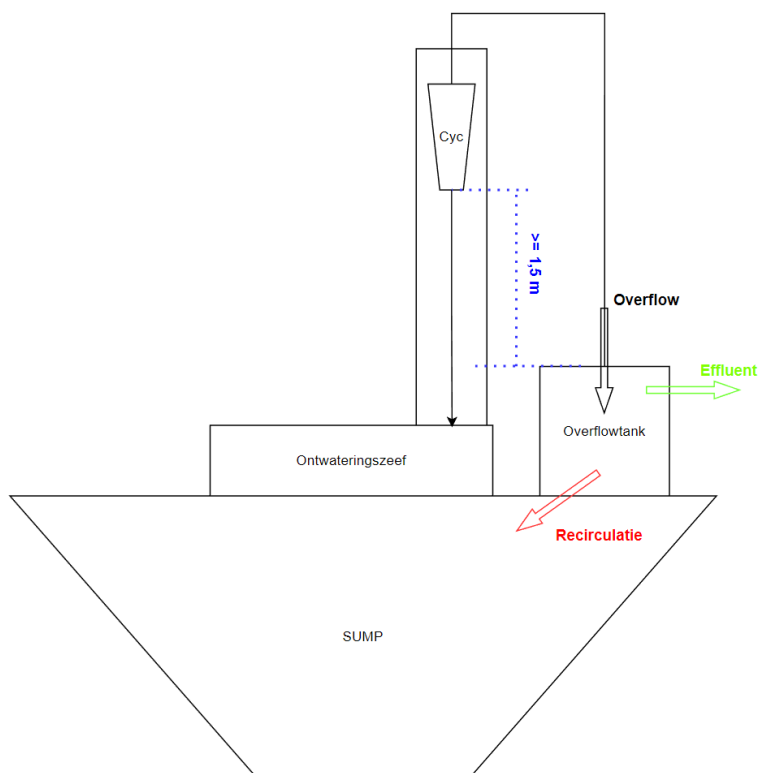
Met behulp van dit model worden de configuratie voor de FRU opgesteld. In bijlage A wordt de configuratie voor de klant in de grondremediëringsindustrie getoond. Bijlage B toont daarnaast een andere mogelijke configuratie.

5 Ontwerpbeslissingen

Het 5^{de} hoofdstuk documenteert alle aspecten van het ontwerp proces voor de modulaire FRU. Dit hoofdstuk omvat onder andere de belangrijkste ontwerpbeslissingen alsook documentatie over de gewone ontwerpkeuzes.

5.1 Hydrocycloon of separator

Een van de belangrijkste beslissingen is de keuze tussen een FRU met een standaard hydrocycloon implementatie of een separator implementatie. Uiteindelijk wordt er besloten om voor de standaard hydrocycloon werking te gaan. De hoofdreden is dat de spigot van de separator minstens 1,5 m boven de overflowtank bevestigd moet worden. Dit principe wordt geschetst in figuur 46 en verduidelijkt onmiddellijk het probleem. En vermits de overflowtank boven de sump gemonteerd moet worden, zal een separator werking leiden tot een degelijke verhoging van de unit en zal dus ook resulteren in een veel slechtere compactheid. De overflowtank moet boven de sump komen, zodat de slurry in de bovenste tank kan terugvloeien naar de sump zonder gebruik van een extra pomp. In vergelijking wordt bij een normale hydrocycloon de overflowtank boven de spigot geplaatst.



Figuur 46: Invloed van separator op de FRU-constructie

Het vochtgehalte in de underflow van een separator bedraagt ongeveer 75-79%, terwijl dit bij een standaard hydrocycloon ongeveer 70% is. Dit verschil is dus relatief klein. Daarnaast is volgens [7]

een hydrocycloon beter voor FRU's omdat hydrocyclonen hogere drukken aankunnen dan separatoren. De hogere druk zorgt voor een hogere snelheid van de korrels in de hydrocycloon, waardoor de korrels ook een grotere centrifugaalkracht ondervinden. Door deze grotere kracht worden ook de lichtere deeltjes meegenomen door de primaire vortex, waardoor er meer korrels in de underflow terechtkomen. Hydrocyclonen kunnen dus een betere cut size bereiken bij grotere debieten. Dit allemaal wijst er op dat de FRU's best gebruik maken van de standaard hydrocycloon werking.

5.2 Modulariteit

In hoofdstuk 4 zijn al enkele van de niet-modulaire componenten bepaald. Deze zijn:

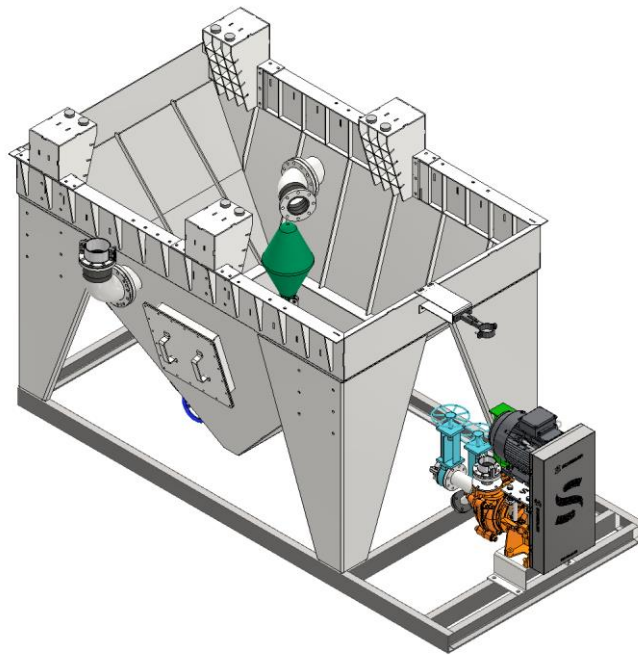
- het soort cyclonen,
- het aantal cyclonen,
- de ontwateringszeef,
- de pomp,
- de buisgroottes.

De andere componenten en delen van de FRU worden gedimensioneerd op basis van de uiterste mogelijke afmetingen van de bovenstaande componenten. Dit heeft als doel om ervoor te zorgen dat zowel de grootste als de kleinste componenten in de FRU geïmplementeerd kunnen worden. Dit wordt gerealiseerd door conversieplaten of conversieonderdelen te ontwerpen voor de kleinere afmetingen van de niet-modulaire componenten. Deze conversieonderdelen zijn namelijk niet voor alle componenten noodzakelijk. Voor de ontwateringszeven wordt er gebruik gemaakt van steunen als conversieonderdelen. Voor de cyclonen en pompen wordt er gebruik gemaakt van conversieplaten. Bij de cyclonen bezitten deze platen allemaal dezelfde externe afmetingen, maar andere interne vormen, zodat eender welke hydrocycloon met plaat op het frame geplaatst kan worden. Terwijl bij de pompen geplooide platen voorzien worden die de kleinere pompen dezelfde ashoogte geven als de grootste pompmaat. Om bepaalde buisdiameterverschillen te overbruggen wordt er gebruik gemaakt van reductors.

5.2.1 Basisframe

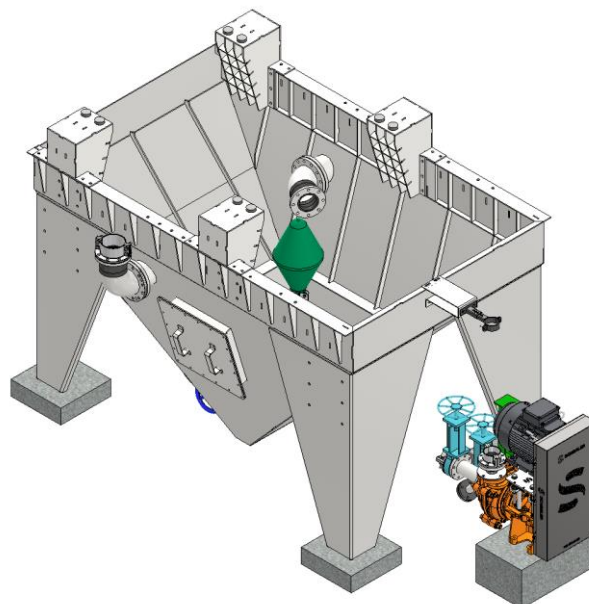
Het basisframe is het frame dat ervoor zorgt dat alle onderdelen van de FRU op één en dezelfde voet geplaatst worden. Het doel is dus om de sumpconstructie en de pomp constructief met elkaar te verbinden. Echter kan het een wens zijn voor bepaalde klanten om de unit op betonblokken te zetten in de plaats van op een basisframe. De klant in de grondremediëringsindustrie is één van deze klanten. Zoals al eerder aangehaald is, worden de verschillende pompmaten op dezelfde ashoogte gezet door het gebruik van conversie platen. Bij betonblokken is dit overbodig, de

betonsokkel van de pomp kan dan namelijk gewoon hoger gegoten worden. Figuur 47 illustreert de sump en een VI 4x3 pomp op een basisframe, terwijl figuur 48 de beton sokkel optie illustreert.



Figuur 47: Pomp op base frame gemonteerd

De conversieplaat voor de frame size 2 afmeting is zichtbaar onder de pomp in bovenstaande afbeelding. Om deze conversieplaten modulair en compatibel te houden, gebruiken deze platen allemaal dezelfde gatafmetingen met frame size 4 van de VI 8x6 pomp, de grootste optie voor de FRU.

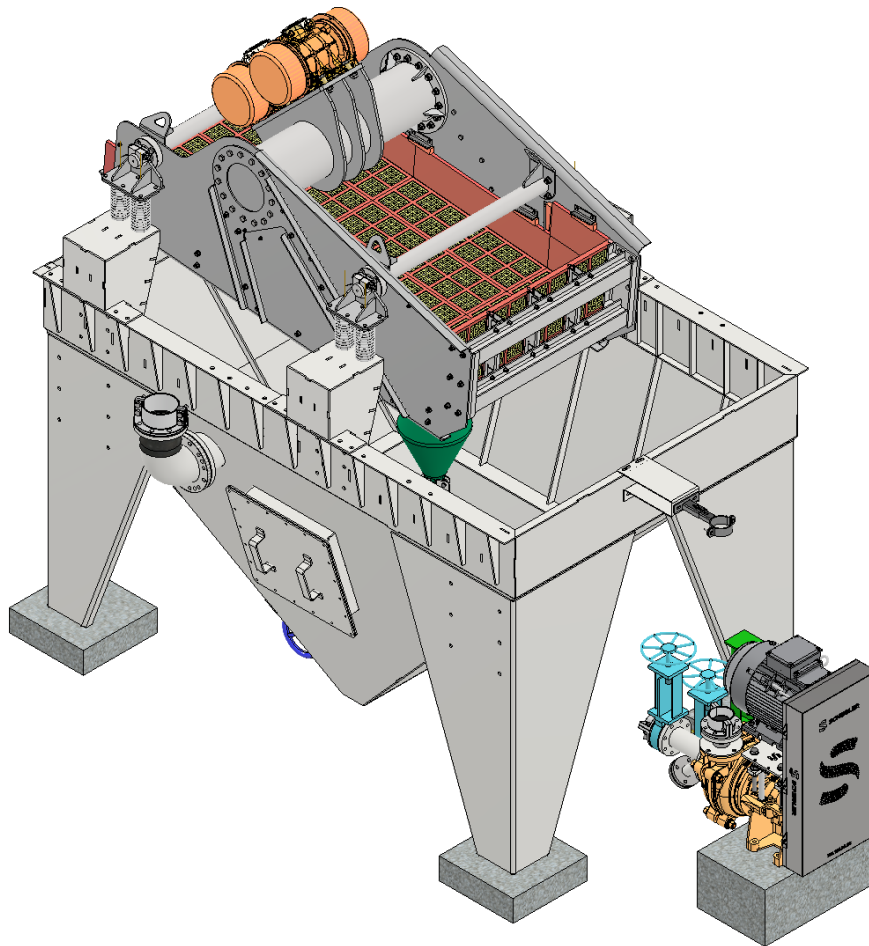


Figuur 48: Sump en pomp op beton sokkels

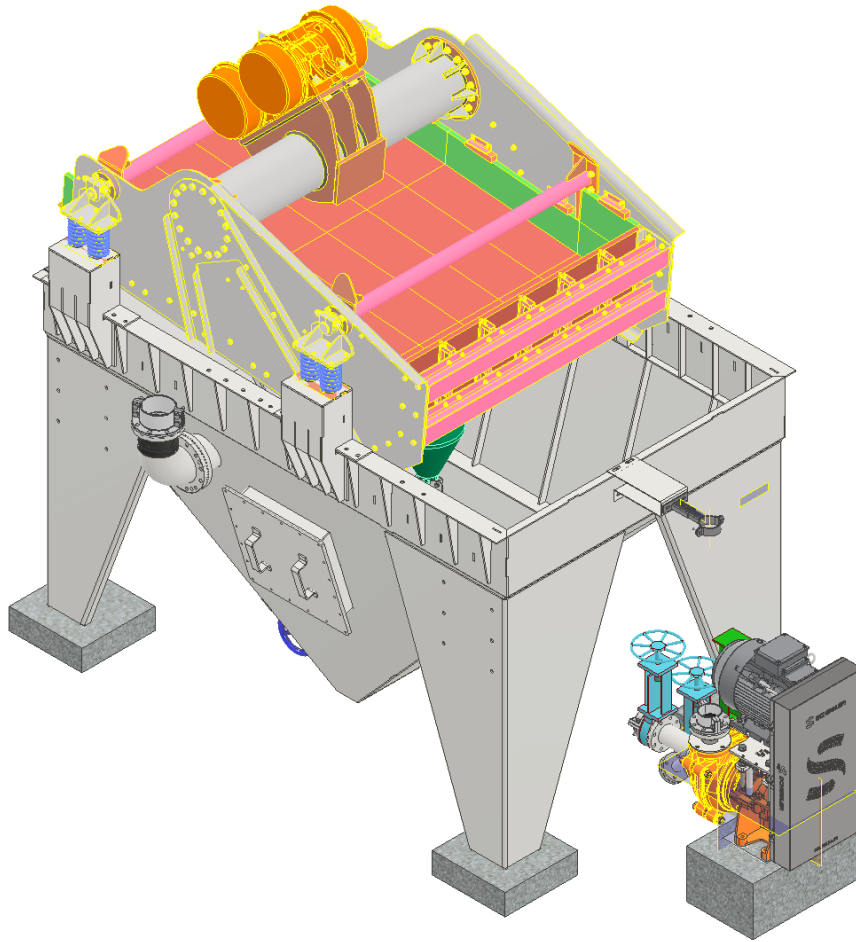
In bovenstaande figuur 48 kan opgemerkt worden dat de pomp sokkel hoger is als de sokkels voor de sump. Zodat bij de betonsokkels geen conversieplaten nodig zijn.

5.2.2 Sump

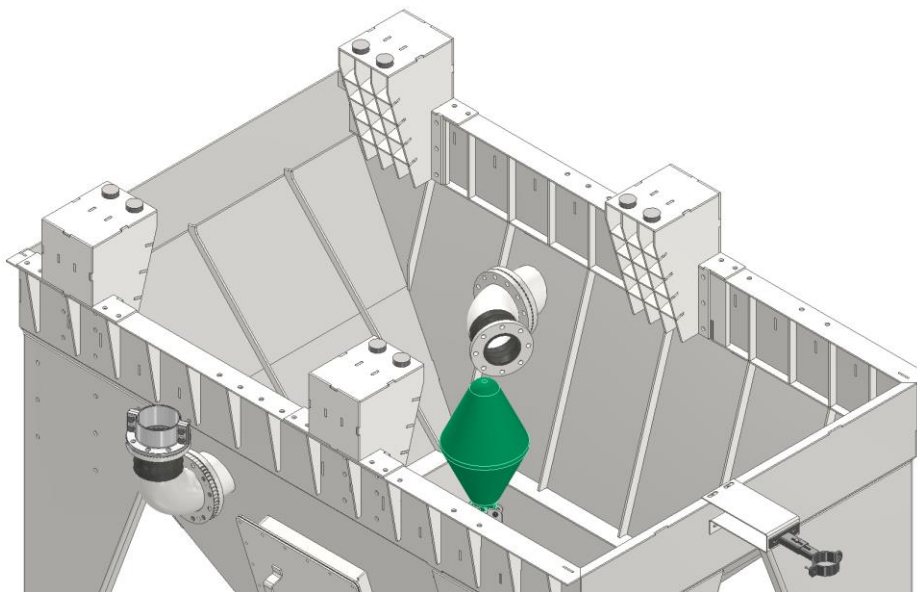
De sump of slurry tank is de hoofdconstructie van de FRU, waar alle andere componenten op gemonteerd worden. De eerste van deze componenten is de ontwateringszeef. Om deze zeef op de sump te monteren wordt er gebruik gemaakt van steunen. De steunen moeten genoeg speling voorzien zodat de zeef kan trillen zonder tegen de sump op te botsen. De steunen dienen tevens als conversieonderdelen om de verschillende zeefmaten te accommoderen. De afmetingen van het conversieonderdelen zijn afhankelijk van de gebruikte ontwateringszeef. De steunen aan de output zijde van de zeef worden op dezelfde locatie gemonteerd, terwijl de steunen aan de input zijde een verschillende montage locatie bezitten. Er worden dus meerdere gaten voorzien voor de verschillende uitwerkingen. Figuren 49 en 50 geven respectievelijk de MDS1224 en MDS1824 ontwateringszeven op de sump weer. Terwijl figuren 51 en 52 respectievelijk de steunen voor de MDS1224 en MDS1824 ontwateringszeven weergeven.



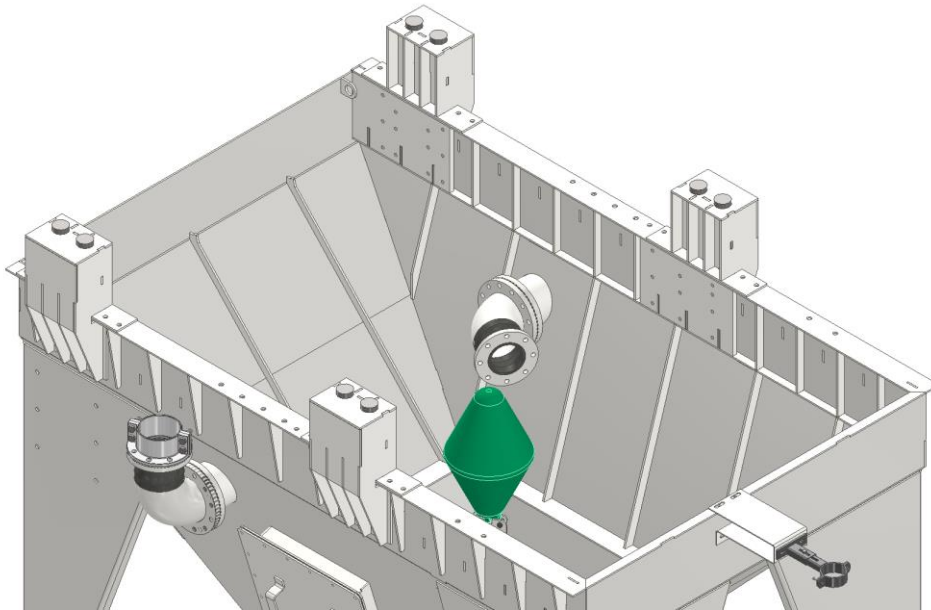
Figuur 49: MDS1224 ontwateringszeef op sump gemonteerd



Figuur 50: MDS1824 ontwateringszeef op sump gemonteerd

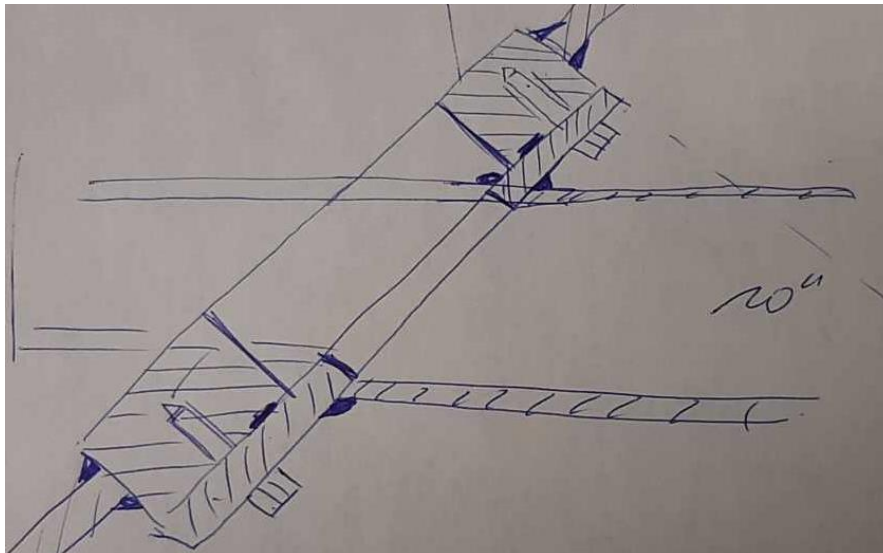


Figuur 51: MDS1224 zeefsteun op de sump

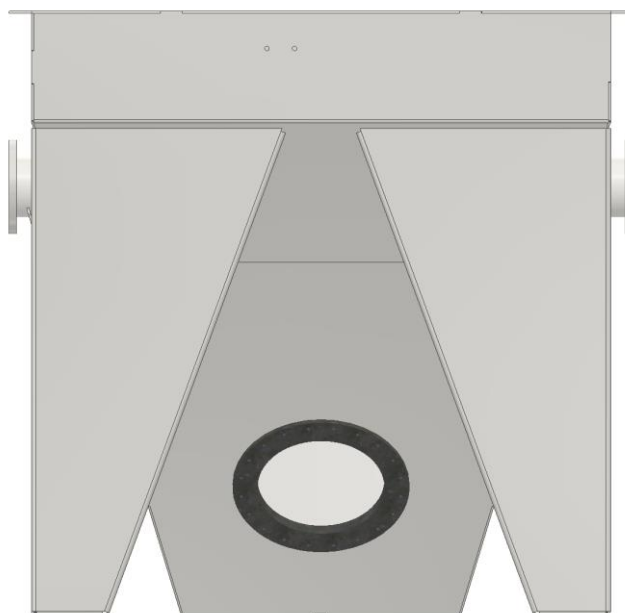


Figuur 52: MDS1824 zeefsteun op de sump

Omdat er verschillende pompmaten mogelijk zijn, zijn er ook verschillende zuigleidingdiameters. Om al deze zuigleidingdiameters te accommoderen wordt er gebruik gemaakt van een 18 inch blokflens die in de sump gelast wordt. Een blokflens is een gewone flens met een grotere dikte. Het idee voor het gebruik van de blokflens bestaat erin tevens gebruik te maken van een blindflens met dezelfde nominale afmetingen. In deze blindflens wordt dan een custom gat gelaserd, waardoor deze op eender welke zuigleiding gelast kan worden. Omdat de blindflens en blokflens dezelfde afmetingen bevatten kunnen deze dan aan elkaar gebout worden. Het principe wordt geïllustreerd in figuur 53. De blokflens zelf is zichtbaar in figuur 54.

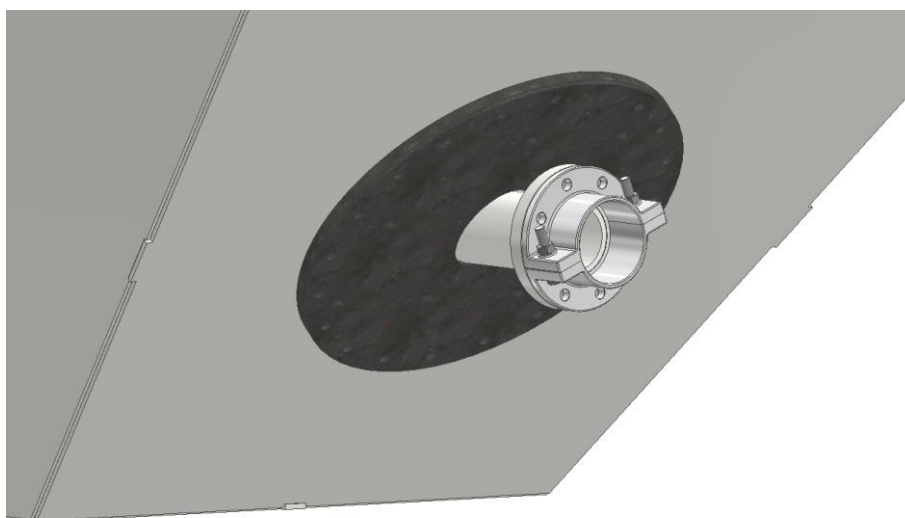


Figuur 53: Principe blokflens en blindflens



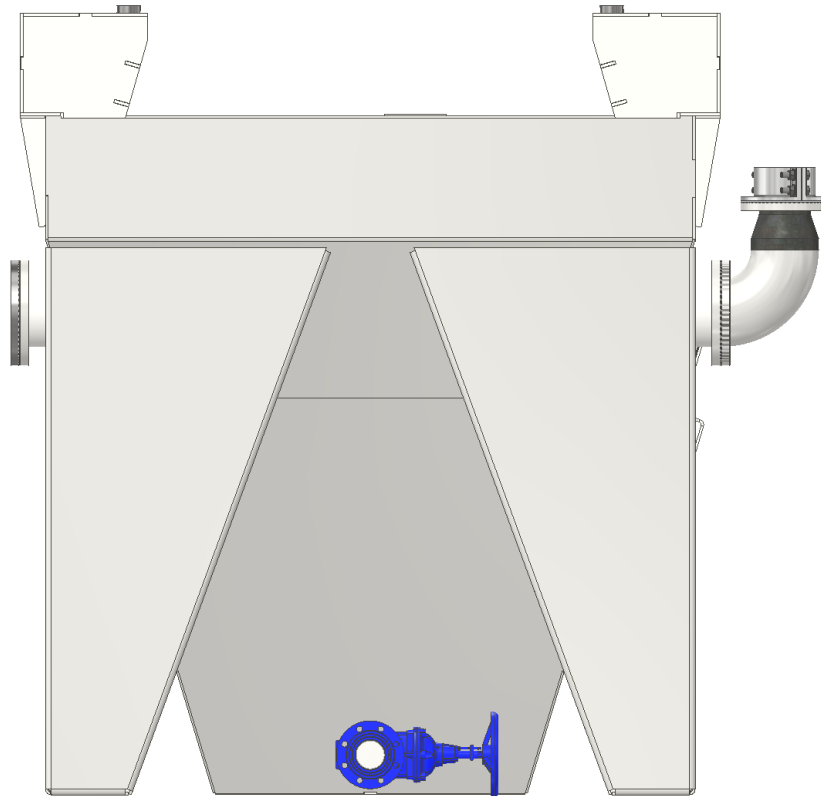
Figuur 54: Blokflens in sump

Omdat de 18 inch blokflens onder een hoek van +/- 43° staat, zijn er zuigleidingen tot 10 inch mogelijk. Figuur 55 toont de blindflens op de blokflens bij een 4 inch zuigleiding.



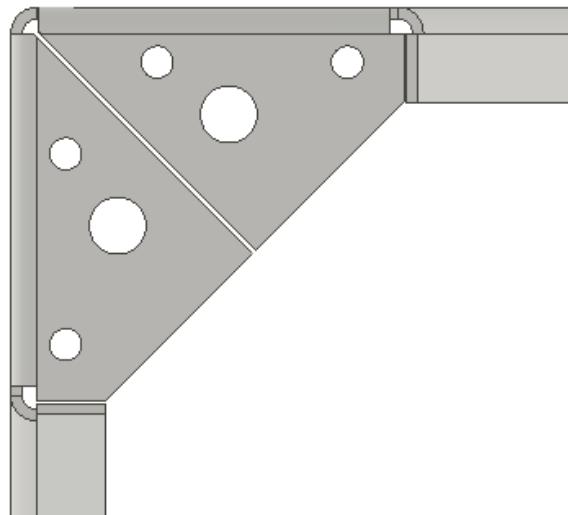
Figuur 55: Flens met 4 inch zuigleiding

Figuur 54 toont ook flensaansluiting vanboven op de zijwand. Deze dienen als aansluitingen voor de overflowtank. Deze worden omwille van modulariteit aan beide kanten voorzien zodat de klant kan kiezen aan welke kant de overflowleiding en later het bordes komt te staan. Figuur 56 geeft de achterzijde van de sump weer, waar deze overflowleiding aan de rechterkant wordt voorzien.



Figuur 56: Achterzijde van de sump

Omdat de sumppoten op zowel betonsokkels als UPN-profielen moeten staan worden er 2 verschillende gatenpatronen voorzien. Voor de UPN-profielen van het basisframe worden vier M20 gaten per poot voorzien. Bij de betonsokkels worden de poten eerst op schroefdraden van M36 gezet door middel van moeren. Waarna de betonsokkels gegoten worden. Er worden dus per poot twee M36 gaten voorzien. Deze gaten patronen zijn zichtbaar in figuur 57.

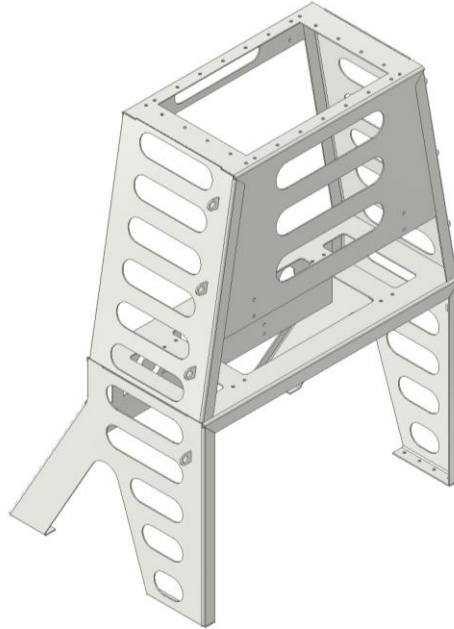


Figuur 57: Gaten in de poten van de sump

In bijlage D wordt de 2D-lastekening voor de sump getoond.

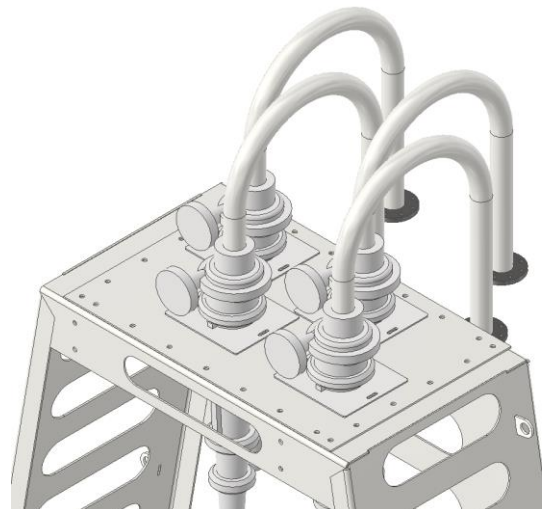
5.2.3 Cycloonframe

De hydrocyclonen worden gemonteerd in het cycloonframe. Het cycloonframe is voorzien van een rechthoekig gat aan de bovenzijde. Figuur 58 toont het cycloonframe.



Figuur 58: Cycloonframe

Om de hydrocyclonen op het cycloonframe te monteren, wordt er gebruik gemaakt van conversieplaten. De conversieplaten hebben allemaal dezelfde buitenmaten, zodat alle conversieplaten op het cycloonframe gemonteerd kunnen worden. De binnenste maten zijn afhankelijk van het aantal en type hydrocyclonen die gebruikt worden. Figuur 59 verduidelijkt de montage van de hydrocyclonen op het cycloonframe.

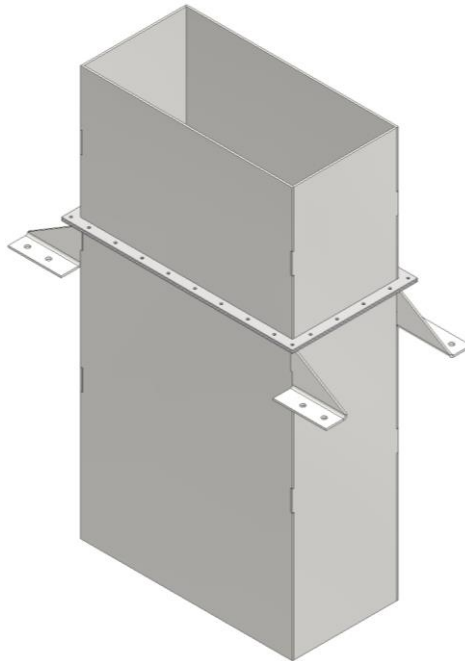


Figuur 59: Hydrocyclonen op het cycloonframe gemonteerd

Figuur 59 geeft een voorbeeld weer, waarbij vier Kinarox CVX150 hydrocyclonen gemonteerd zijn. Deze configuratie van hydrocyclonen wordt gebruikt voor de klant in de grondremediëringsindustrie.

5.2.4 Underflowtank

De underflowtank zorgt ervoor dat de underflow van de hydrocycloon op de ontwateringszeef terecht komt. De tank voorkomt dus het spatten van de underflow. De tank bestaat uit twee stukken. Één onderste deel wijzigt niet en is altijd aanwezig op de FRU. Het bovenste deel is afhankelijk van de cycloon, grotere cyclonen komen namelijk lager waardoor het bovenste gedeelte kort moet zijn. Om deze reden is er een flens voorzien op het onderste deel zodat het bovenste deel eenvoudig gewisseld kan worden. Figuur 60 geeft de underflowtank weer.



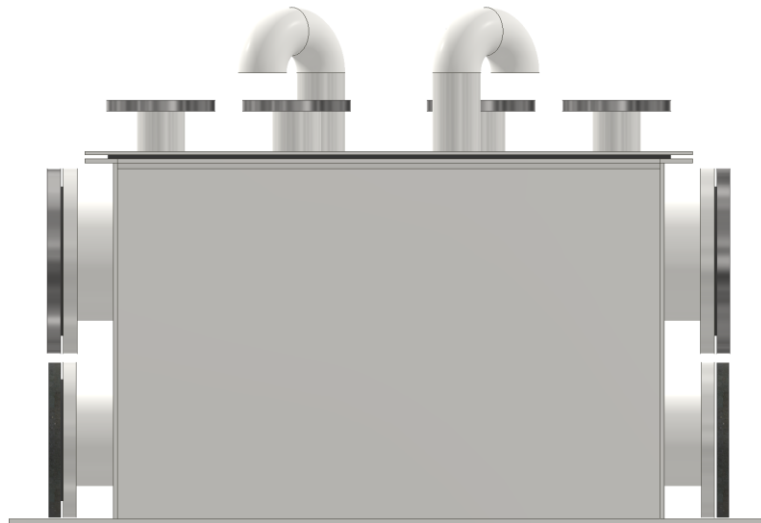
Figuur 60: Underflowtank

Het onderste deel in figuur 60 is het deel dat altijd hetzelfde blijft en het bovenste deel is het deel dat verandert afhankelijk van de soort cyclonen en de hoeveelheid van die cyclonen. Hierbij worden de twee delen verbonden met een rechthoekige flens.

5.2.5 Overflowtank

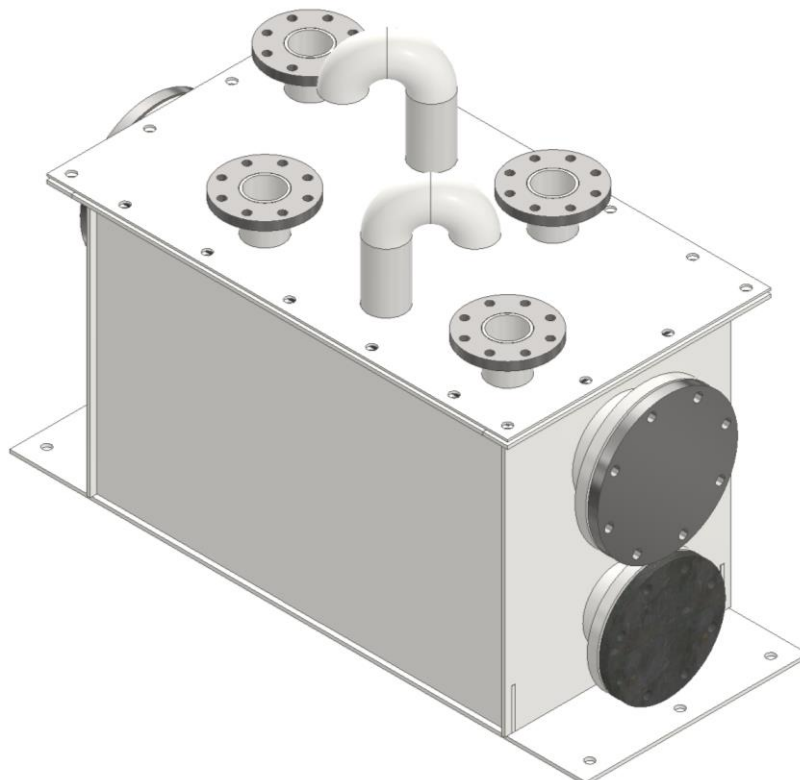
De overflowtank buffert de overflow van de hydrocyclonen, deze gefilterde uitstroom wordt ook wel het effluent water genoemd. Het effluent water wordt eerst langs de overflowtank geleid voordat deze de FRU verlaat, om ervoor te kunnen zorgen dat in geval van een lege sump er slurry in de unit aanwezig blijft. De overflowtank bezit dus twee verschillende outputs, één van 6 inch die terug naar de sump leidt en één van 8 inch die de installatie verlaat. De terugloop naar de sump wordt onder de systeemuitlaat geplaatst omdat als er bezinksel aanwezig is in de tank deze best terug naar de sump loopt voor verdere filtratie. Daarnaast worden deze beide typen outputs aan beide zijde van de overflowtank voorzien, zodat de slurry hosing aan eender welke zijde

geconnecteerd kan worden en aan de andere zijde het bordes bevestigd kan worden. Figuur 61 geeft het vooraanzicht van de overflowtank weer.



Figuur 61: Vooraanzicht van de overflowtank

De overflowtank wordt zo ontworpen dat enkel het deksel afhankelijk is van de soort en het aantal cyclonen. Figuur 62 geeft een isometrisch perspectief van de overflowtank weer, waar het deksel beter zichtbaar is.



Figuur 62: Isometrisch perspectief overflowtank

Ten slotte kan er nog opgemerkt worden dat er twee siphonnen op het deksel bevestigd zijn. Deze voorkomen dat er te grote drukken in de tank optreden.

5.2.6 Bordes

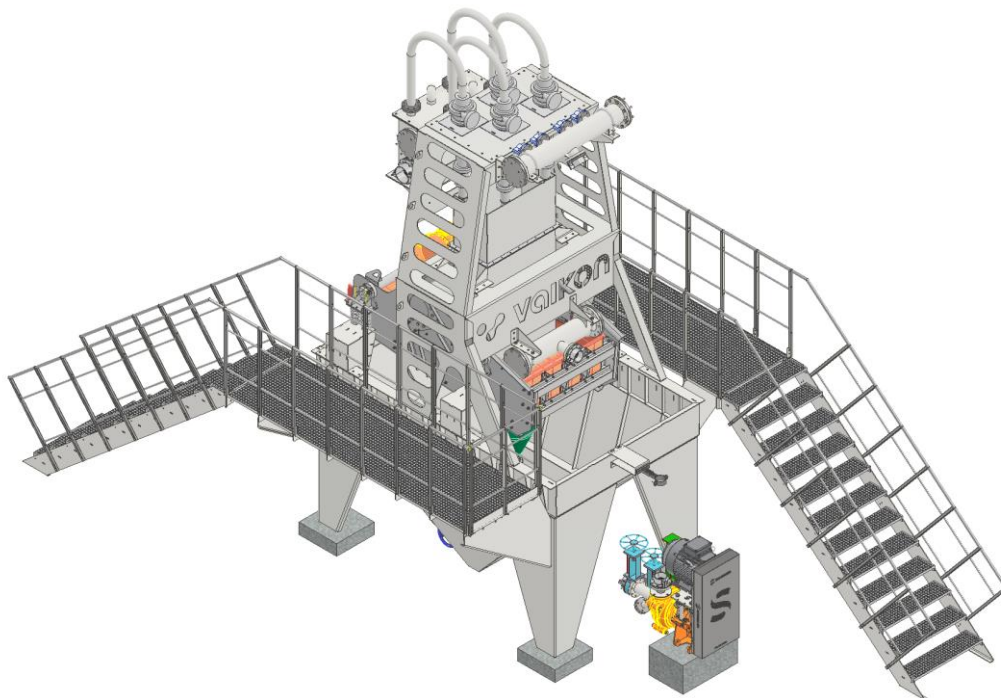
Ten slotte wordt de FRU nog voorzien van een bordes omwille van veiligheidsredenen. Het bordes wordt ontworpen volgens de normen van de “Safety by design” pocket guide van DEME. DEME is wereldleider op het gebied van offshore-energie, baggerwerken, maritieme infrastructuur en milieuwerken [22].

Het bordes wordt net zoals de rest van de FRU modulair ontworpen. Dit houdt in dat het bordes in verschillende locaties en oriëntaties gemonteerd kan worden. De verschillende montageopties zijn weergegeven in tabel 7. Locatie verwijst naar de linker- of rechterzijde van de FRU. Met oriëntatie wordt bedoeld of de trap naar de voor- of achterzijde van de FRU wijst.

Tabel 7: Bordes montage opties

Montage optie	Locatie	Oriëntatie
1	Rechterzijde	Voorzijde
2	Rechterzijde	Achterzijde
3	Linkerzijde	Achterzijde
4	Linkerzijde	Voorzijde

Optie 1 en 3 worden ter verduidelijking in figuur 63 geïllustreerd.



Figuur 63: Bordes montage optie 3 (links) & optie 1 (rechts)

Het bordes bestaat uit twee delen, de trap en de *walkway*, beide delen moeten een leuning bezitten voor de veiligheid. Om de hoeveelheid maakdelen te beperken, wordt de leuning in modules ontworpen die op alle delen van het bordes bruikbaar zijn. Het werken met modules van

500 mm zorgt ervoor dat het bordes eenvoudig in lengte aangepast kan worden door modules weg te nemen of toe te voegen. Figuur 64 geeft een enkele leuningsmodule weer.



Figuur 64: Leuningsmodule

Om de modules aan elkaar te bevestigingen worden deze eerst in elkaar geschoven waarna deze vast gebout worden.

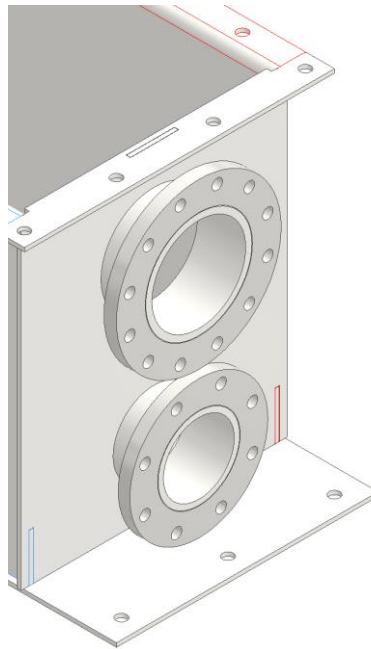
5.3 Vormgeslotenheid en poka yoke

Vormgeslotenheid is één van de voornaamste designprincipes bij het ontwerp van de FRU. Dit, in combinatie met het poka yoke principe, zal ervoor zorgen dat er geen misverstanden kunnen ontstaan bij het assembleren en lassen van de constructie. Vormgesloten betekent namelijk dat er gleuven en uitsteeksels voorzien worden op de maakdelen. De poka yoke techniek daarentegen houdt in dat assemblagedelen zo ontworpen worden deze, maar op één mogelijke manier in elkaar passen, het principe probeert dus menselijke fouten te vermijden. De technieken vereenvoudigen dan ook het werk voor de lassers.

Vermits de FRU grotendeels uit laswerk van plaatmateriaal en ploidelen bestaat zijn dit principes die veelvuldig toegepast worden. Enkele locaties waar deze worden toegepast worden hieronder vermeld:

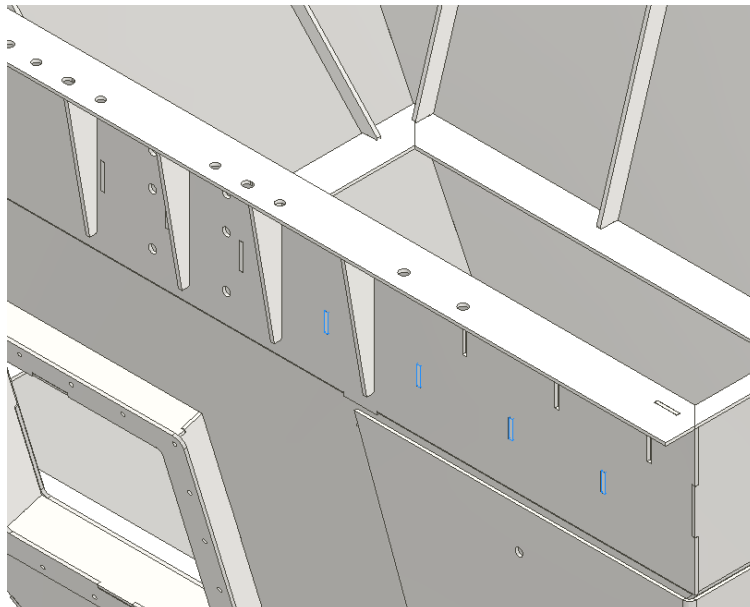
- de sump;
- het cycloonframe;
- de underflowtank;
- de overflowtank;
- het bordes;
- de zeefsteunen.

Figuur 65 geeft weer hoe de platen van één zijde van de overflowtank met gleuven en uitsteeksels verbonden zijn.



Figuur 65: Laswerk overflowtank

In figuur 65 worden de gleuven waar de platen in schuiven getoond. Deze gleuven zorgen voor de vormgeslotenheid van de platen. Omdat voor deze tank de voor- en achterplaat gelijk zijn, hoeft er geen poka yoke toegepast te worden. Figuur 66 daarentegen illustreert de gleuven in één van de bovenplaten van de sump.



Figuur 66: Close-up van linker bovenplaat van de sump

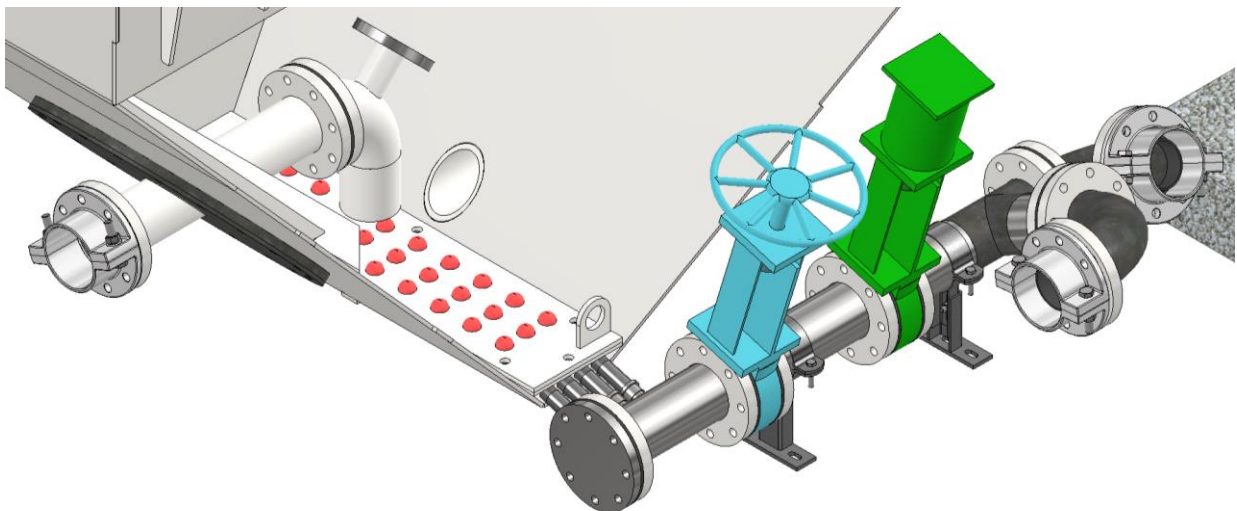
In bovenstaande figuur 66 wordt het principe van poka yoke verduidelijkt door de verschillende aanwezige gleuven. Er zijn namelijk drie sets van gleuven aanwezig, elk met andere afmetingen en een andere locatie. De blauw gekleurde set is deze van interne verstevigingsplaatjes. Dit zijn de

kleinste gleuven en zijn vanonder geplaatst. De bovenste gleuven zijn voor de externe ribben waarvan er enkele zichtbaar zijn in de afbeelding. Ten slotte is er nog de derde set die enkel aanwezig zijn rond de boutgaten voor de interne bevestigingsplaat van de zeef. De interne versterkingsribben voor deze bevestigingsplaat zijn verschillend van de eerder vernoemde interne versterkingsribben. Alle gleufsets zijn dus verschillende, waardoor enkel de correcte versterkingsrib gemonteerd kan worden.

5.4 Antisedimentatie systeem

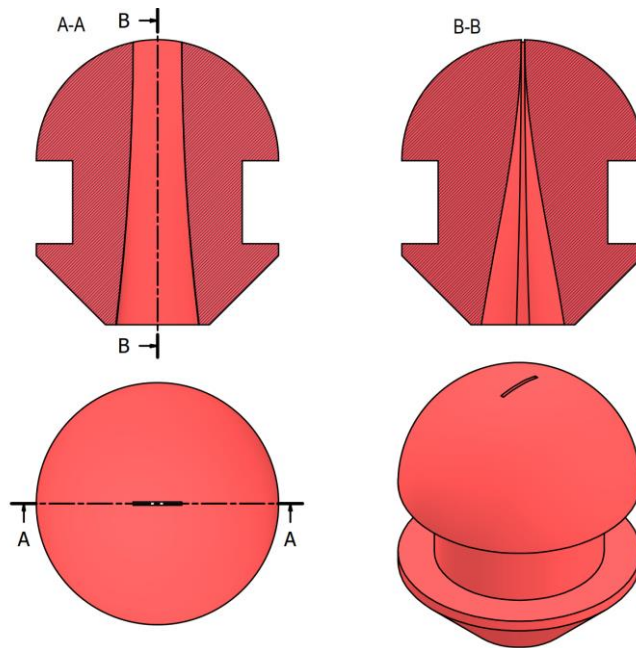
Uniek aan de FRU van Vaikon is dat er een spoelsysteemmogelijkheid voor de sump en aanzuigleiding moet komen. Dit spoelsysteem zal er voor zorgen dat gesedimenteerde deeltjes in de sump of de zuigleiding terug opgewoeld worden. Het spoelsysteem wordt via kleppen op beide plaatsen aangesloten. Bij beide aansluitingen zijn telkens één pneumatische en één handmatige klep aangesloten, waarbij de pneumatische klep van op afstand bestuurd kan worden. De handmatige klep is enkel voor veiligheidsredenen.

Het spoelen van de sump wordt gerealiseerd door een plaat met 30 nozzels vlak boven de bodem te bevestigen, vervolgens wordt de ruimte onder de nozzelplaat aangesloten op de spoelsysteemleiding via vier 1 inch BSP-leidingen. Figuur 67 geeft het spoelsysteem voor de sump weer.



Figuur 67: Spoelsysteem voor de nozzels in de sump

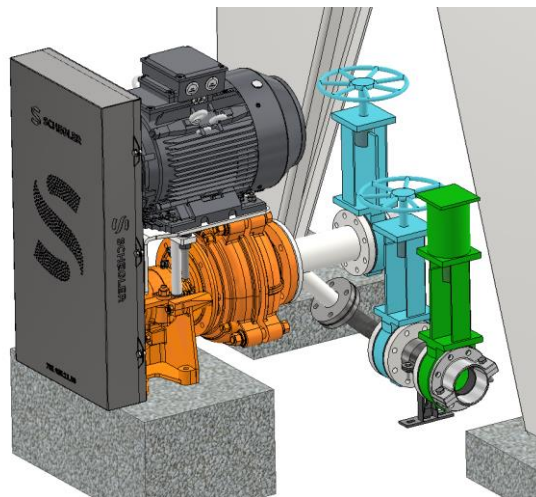
In figuur 67 zijn de 30 rode nozzels links onder de aanzuiging van de leiding zichtbaar. Een meer gedetailleerd zicht van de nozzel is zichtbaar in figuur 68.



Figuur 68: Doorsnede nozzels

De nozzel bezit een cirkelvormig gat aan de onderzijde waar water onder hoge druk de nozzel in kan. Aan de bovenzijde van de nozzel is een zeer smal rechthoekig gat aanwezig, door de reductie in doorsnede zal het water onder hogere druk de nozzel verlaten en beter in staat zijn om gesedimenteerde solids op te woelen. De vorm van de bovenste holte zorgt er tevens voor dat de kans zeer klein is dat solids vast kunnen komen te zitten in de nozzel. Gebeurt dit toch dan zal de druk van het spoelsysteem ervoor zorgen dat de solids terug los komen.

De zuigleiding en de slurrypomp worden gespoeld door het spoelsysteem aan te sluiten via een Y-connector. Deze aansluiting wordt geïllustreerd in figuur 69. Tevens worden beide spoelsystemen op een druk van 8 bar gehouden door een externe 4x3 Schegler Vigor pomp.



Figuur 69: Spoelsysteem voor zuigleiding

Daarnaast kan in bovenstaande afbeelding nog opgemerkt worden dat er een derde handmatige klep op de zuigleiding is gemonteerd. De klep dient voor het afsluiten van de zuigleiding wanneer er onderhoud op de pomp uitgevoerd moet worden.

5.5 Slijtage bestendigheid

Om de unit zo slijtagebestendig mogelijk te maken, wordt er gekozen om gebruik te maken van platen met een dikte van 8 mm, wanneer deze in contact komen met de slurry. De dikte van het plaatmateriaal wordt dus niet enkel bepaald op basis van de nodige sterkte, maar ook voor de nodige slijtagebestendigheid. Daarnaast worden nog enkele andere methode toegepast om te de bestendigheid verder te verbeteren. De mogelijke opties voor de FRU zijn:

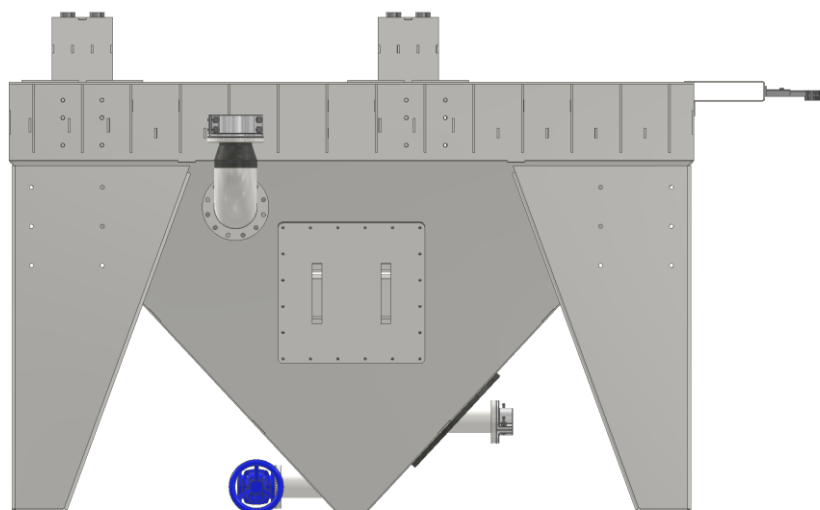
- lakken,
- galvaniseren,
- rubber linen.

Rubber linen is het bedekken van een oppervlak met rubberen matten, mogelijk met meerdere diktes, waarbij deze vast gebout worden aan het onderdeel. Het grote voordeel van deze techniek is het feit dat deze bij onderhoud eenvoudigweg vervangen kunnen worden door nieuwe maten en bouten.

De klant in de grondremediëringsindustrie wenst de FRU te lakken aan de buitenzijde, terwijl aan de binnenzijde van de sump gekozen wordt voor rubber lining. De binnenzijde lakken zal namelijk niet voldoende zijn, na korte tijd zal de lak al weggescheurd zijn, door de slurry.

5.5.1 Onderhoud

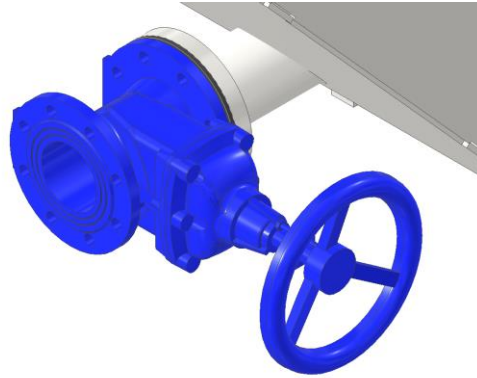
Bij onderhoud van de installatie is het belangrijk dat de onderhoudstechnicus overal aankan. Dit is onder andere een van de redenen waarom de eerder genoemde bordes voorzien moet worden. Daarnaast om de sump binnenzijde beter bereikbaar te maken als ook omwille van veiligheidsredenen moet een inspectieluik voorzien worden. Dit inspectieluik is zichtbaar aan de linkerkant van de sump in figuur 70.



Figuur 70: Linkerzijaanzicht sump

Om er echter voor te zorgen dat het luik waterdicht is, wordt dit volledig vast gebout op de sump. Het inspectieluik heeft een opening van 600x600 mm.

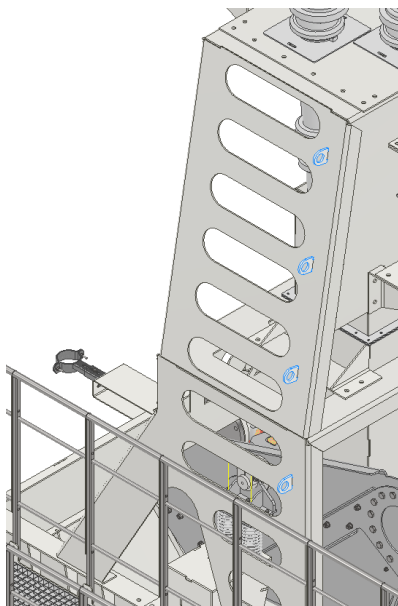
Wanneer er dan inspectie of onderhoud op de sump uitgevoerd moet worden, moet het mogelijk zijn om de sump te laten leeglopen. Om te voorkomen dat de pomp hierbij lucht zou trekken, wat zeer slecht is voor een pomp, wordt een aftapklep op de sump voorzien. Deze klep is links in figuur 70 zichtbaar en wordt tevens afgebeeld in figuur 71.



Figuur 71: Aftapklep van de sump

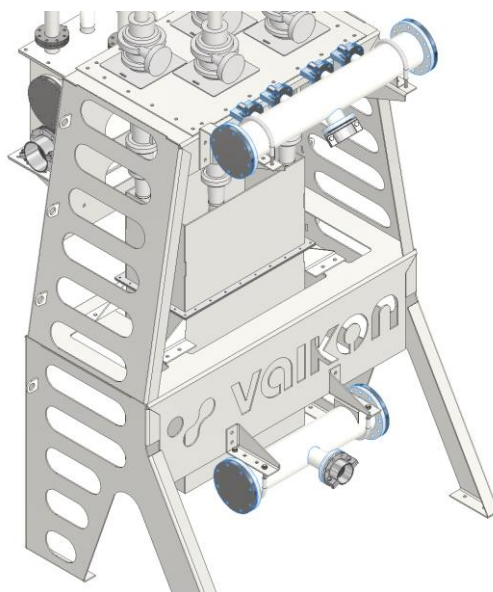
Het deksel van de overflowtank is niet alleen voor de modulariteit, maar ook voor het onderhoud. Het zorgt ervoor dat de onderhoudstechnicus ook aan de binnenzijde van de overflowtank kan geraken door enkel het deksel en de leidingen los te bouten.

Voor het onderhoud van de hydrocyclonen wordt het cycloonframe als ladder gebruikt. De uitsparingen in het cycloonframe zijn er dus niet alleen voor gewichtsbesparing, maar ook om als ladder te dienen. Langs deze uitsparingen zijn ook hijsogen voorzien. De onderhoudstechnicus kan bij het beklimmen van het 3,3 m hoge cycloonframe zijn valharnas hieraan bevestigen. De onderhoudstechnicus moet dus op een maximale hoogte van 5,5 m werken. De hijsogen dienen dus als valveiligheid voor de onderhoudstechnicus. In figuur 72 zijn de hijsogen blauw gemarkeerd.



Figuur 72: Verduidelijking hijsogen op cycloonframe

Ook de collector en feedbox moeten de mogelijkheid bezitten om intern geïnspecteerd te worden. Om deze reden zijn er blindflenzen op de zijdes van deze buizen voorzien. Figuur 73 illustreert de collector en feedbox op de cycloon ter verduidelijking van de inspectieflenzen.



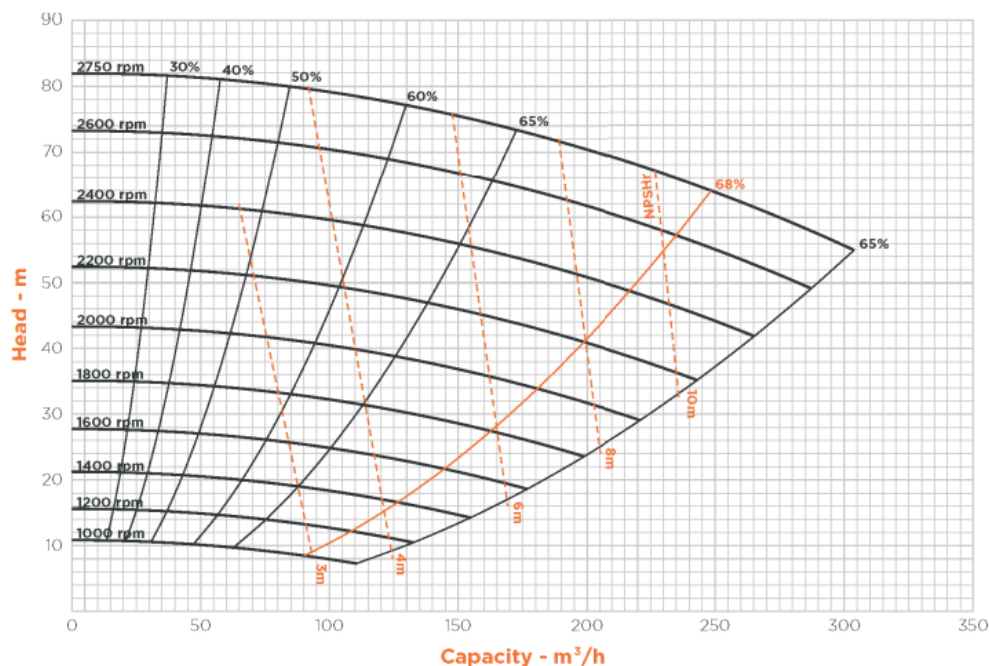
Figuur 73: Blindflenzen op de collector en feedbox voor inspectie

6 Sturing

In dit kort hoofdstuk wordt er nog even een blik geworpen op de mogelijk sturing van een FRU-systeem. Het kan namelijk zijn dat de klant zijn parameters wil aanpassen om een ander scheidingspunt te realiseren. Daarom wordt er gekeken in hoeverre de FRU bijgeregeld kan worden.

6.1 Directe regeling in operationeel gebruik

Allereerst is er een beperkte sturing mogelijk wanneer de unit al opgebouwd en operationeel is. In dit geval kan enkel de motor van de slurrypomp bijgestuurd worden. Een aanpassing van het toerental van de motor geeft een wijziging van de opvoerhoogte en het debiet van de pomp. Er kan gebruikt gemaakt worden van een frequentieregelaar om de motor te sturen. Figuur 74 geeft de pompkarakteristiek van de gebruikte pomp in de grondremediëringsconfiguratie weer.



Figuur 74: Pompkarakteristiek van de VI4x3-F2-CT-D000-BUTC9 [17]

Uit figuur 74 kan geconcludeerd worden dat als de motor sneller zal draaien ook de pomp sneller zal draaien waardoor deze een groter debiet en opvoerhoogte zal kunnen verwezenlijken. De opvoerhoogte komt tevens overeen met de druk. Het verband tussen de druk en de opvoerhoogte wordt in de volgende formule gegeven:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (6)$$

- P is de druk in Pa,
- ρ is de dichtheid in kg/m^3 ,
- g is de valversnelling in m/s^2 ,

- h is de opvoerhoogte in m.

Het veranderen van het toerental van de pomp zorgt ook voor een verandering in efficiëntie. Als de efficiëntie te laag wordt dan kan het voordeliger zijn om van pomp te veranderen. Ook als het bekomen werkpunt buiten de pompkarakteristiek valt, moet er een andere pomp gekozen worden.

6.2 Indirecte regeling door mechanische aanpassingen

Zoals uit vorige puntje blijkt, is de actuele sturing van een FRU zeer beperkt. Om echter drastischere wijzigingen door te voeren, kunnen er wijzigingen aan de gebruikte hydrocyclonen doorgevoerd worden of kan de hydrocycloon in zijn geheel vervangen worden door een andere. Zoals al in de literatuurstudie aangehaald werd zijn er enkele factoren die een grote invloed hebben op de scheiding van een hydrocycloon. Deze zijn [23]:

- diameter van de cycloon,
- input doorsnede,
- vortex finder diameter,
- underflow apex diameter,
- lengte van de cycloon,
- input debiet.

Deze factoren zijn dus stuk voor stuk de functionele afmetingen van de hydrocycloon, op het inputdebiet na. Deze laatste factor is echter al aangehaald in het vorig deel. Kort gezegd zal een hoger debiet, een hogere cycloondruk teweeg brengen en een fijnere splitsing opleveren. Al de factoren hebben dus een invloed op de scheiding. Van deze zijn er bepaalde factoren die aan één en dezelfde hydrocycloon aangepast kunnen worden, anderen kunnen niet gewijzigd worden zonder eerst een andere cycloon te selecteren [23].

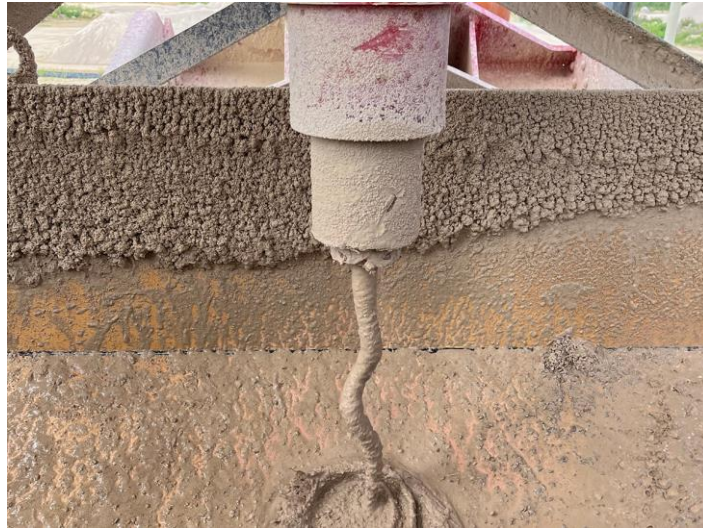
De diameter van de cycloon bepaalt het evenwicht tussen de drag kracht en de centrifugaalkracht die optreden op de deeltjes in de cycloon. Des te kleiner de diameter, des te groter de invloed van de centrifugaal kracht is, des te meer de deeltjes naar de primaire vortex getrokken worden en des te fijner het scheidingspunt is. Voor FRU's worden dus typische smallere cyclonen gekozen [23].

De input doorsnede bepaalt de capaciteit van de hydrocycloon. Deze kan gewijzigd worden zonder dat de druk verandert. Een verandering naar een grotere input doorsnede zal dus gewoon een grotere capaciteit opleveren [23].

De vortex finder is de buis die naar beneden uitsteekt en aan de overflow output bevestigd is, deze functioneert als een snijder. Ook deze afmeting kan aan een hydrocycloon gewijzigd worden. Dit onderdeel van de cycloon wijzigt de druk. Wanneer deze kleiner is, is de druk hoger en wordt er minder materiaal in de overflow toegelaten omdat de lucht kern van de secundaire vortex kleiner is. Een kleinere vortex finder diameter geeft dus een fijnere scheiding [23].

De underflow kan op verschillende manieren gewijzigd worden, waaronder ook door gebruik te maken van separator werking. Omdat er besloten is om met een standaard hydrocycloon te werken, wordt hier enkel rekening gehouden met de diameter van de underflow apex. Ook deze

component kan eenvoudig gewijzigd worden op één en dezelfde cycloon. Het belangrijkste bij de underflow apex is dat deze afgestemd is op de ton/u. Indien de apex te klein is zal de cycloon *ropen*. Dit is de slechts mogelijk efficiëntie van de cycloon. Dit wordt geïllustreerd met een voorbeeld van McLanahan in figuur 75 [23].



Figuur 75: Roping van een hydrocycloon [23]

In het geval van een te grote apex komt er te veel water en fines uit de underflow. Samengevat als er grote deeltjes in de overflow aanwezig zijn moet de apex groter zijn en als er te veel water en fines uit de underflow komen moet de apex kleiner worden [23].

Ten slotte is er dan nog de lengte van de hydrocycloon. De voornaamste invloed van deze factor is de prestatie van de cycloon. Langere cyclonen geven de deeltjes meer tijd om te bepalen in welke vortex deze terecht zullen komen, waardoor een langere cycloon een fijnere scheiding zal opleveren. Kortere cyclonen zullen dus een ruwere scheiding op leveren [23].

Als de feed, underflow en overflow opgemeten zijn en er is niet aan de wensen voldaan, kan eender welke van bovengenoemde factoren aangepast worden om toch de gewenste outputs te bekomen [23]. Dus naast de directe regeling van de motor kunnen ook de mechanische eigenschappen van de cyclonen indirect geregeld worden om de gewenste outputs te bereiken.

7 Oplevering en implementatie van de unit

7.1 Koopdelen

Alle niet-modulaire componenten en reeds bestaande normdelen zijn koopdelen. Deze stukken worden namelijk zo aangekocht en op de FRU gemonteerd. Deze onderdelen vergen namelijk geen nieuwe ontwerpstappen. De volgende onderdelen en componenten behoren dus tot de koopdelen:

- de hydrocyclonen,
- de ontwateringszeef,
- de pomp,
- de slurry hosing inclusief de klemmen,
- de persgrids,
- de bouten, moeren en sluitringen,
- de BSP-componenten
- de regelkleppen voor het spoelsysteem.

7.2 Maakdelen

Alle zelfontworpen stukken en onderdelen behoren tot de maakdelen. Hiervan worden de meeste onderdelen uit plaatmateriaal vervaardigd. Dit betekent dat al de platen bij dezelfde leverancier gelaserd en geplooid zullen worden. Ook het laswerk van deze onderdelen zal bij deze leverancier plaatsvinden. Daarnaast zullen ook bepaalde buizen en normprofielen wat extra bewerkingen moeten ondergaan. Dit houdt in dat er onder andere enkele extra gaten geboord moeten worden of dat deze onder een speciale hoek gelaserd of gezaagd moeten worden. De connectiegaten in de eerder besproken collectors zullen tevens gelaserd moeten worden met een buizenlaser. Ten slotte zijn er ook nog de nozzels van het antisedimentatie systeem, deze zullen vervaardigd worden door middel van spuitgieten.

7.3 Testen van FRU

Als toekomstige controle zullen er zeefanalyses uitgevoerd worden, omdat het testen van de unit buiten het looptermijn van deze thesis valt. Deze zeefanalyses starten telkens met steekproeven van de solids na de ontwateringszeef en van het effluent water na de hydrocyclonen. Daarna worden steekproeven van de feed genomen. Met deze monsters worden dan de effectieve PSD's van de solids, het effluent water en de feed opgesteld en met elkaar vergeleken. Op basis van de PSD's kan de efficiëntie van de installatie bepaald worden. Als ook de cut size van de hydrocycloon(-en) kan geverifieerd worden. Indien de efficiëntie lager is dan de gevraagde van de klant, moeten er wijzigingen aan de cycloon(-en) doorgevoerd worden. Bijlage A en C tonen de uiteindelijke configuratie van de klant uit de grondremediëringsindustrie.

8 Besluit

In deze thesis werd een modulaire fines recuperation unit ontworpen. Dit houdt in dat de unit een vaste constructie bevat waar enkele verschillende niet-modulaire componentafmetingen op mogelijk zijn. De niet-modulaire componenten zijn:

- het type en aantal hydrocyclonen,
- de ontwateringszeef,
- de pomp,
- de buisgroottes.

De andere onderdelen in de FRU zijn zo ontworpen dat alle mogelijke configuraties van de niet-modulaire componenten in de FRU mogelijk zijn. Om dit te bereiken wordt er gebruik gemaakt van conversieonderdelen. De niet-modulaire componenten en aanwezigheid van features worden bepaald met behulp van het parametrisch model. Hierbij worden de slurrys specificaties, de procesinformatie en de gewenste outputs specificaties gegeven door de klant. Voor het parametrisch model is er een algemeen PFD bepaald. Het PFD illustreert daarbij het algemeen procesverloop van de FRU. Daarna worden de massa- & debietbalans opgesteld met behulp van de PSD die door de klant is gegeven. Op basis van deze balansen en het PSD worden de niet-modulaire componenten bepaald. Vervolgens wordt de configuratie vastgelegd in het P&ID met alle gekozen componenten in vervat. Dit stappenplan wordt gehanteerd met behulp van een Excelbestand die het parametrische model visueel voorstelt. Het salesdepartement maakt gebruik van dit Excelbestand om samen met de klant alle nodige gegevens vast te leggen. Waarna een eerste schatting van de kostprijs gemaakt wordt. Vervolgens werkt het ingenieursdepartement verder met dit bestand om de configuratie volledig vast te leggen.

Eenmaal de FRU operationeel is kan deze direct geregeld worden door het toerental van de motor bij te sturen. Daarnaast kan de FRU indirect geregeld worden door onderstaande afmetingen van de hydrocycloon(en) te wijzigen:

- diameter van de cycloon,
- input doorsnede,
- vortex finder diameter,
- underflow apex diameter,
- lengte van de cycloon.

Een antisedimentatie systeem is aanwezig op de uitgewerkte FRU-configuratie voor de klant in de grondremediëringsindustrie. Dit uniek systeem zal er voor zorgen dat gesedimenteerde deeltjes in de sump of de zuigleiding terug opgewoeld worden, zodat mogelijke blokkages vermeden worden. Dit systeem is modulair ontworpen en kan dus op andere toekomstige FRU's toegepast worden.

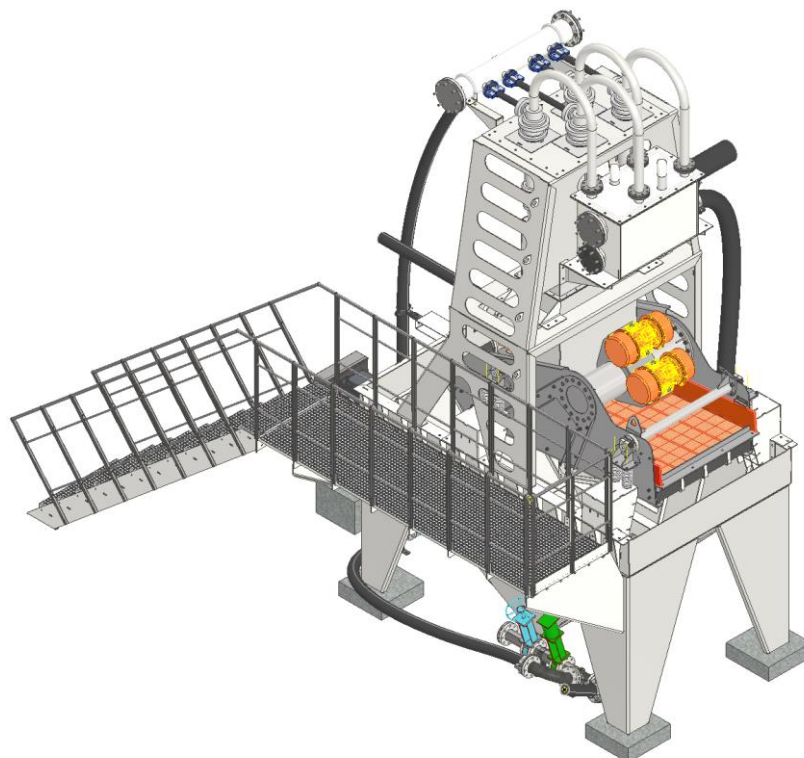
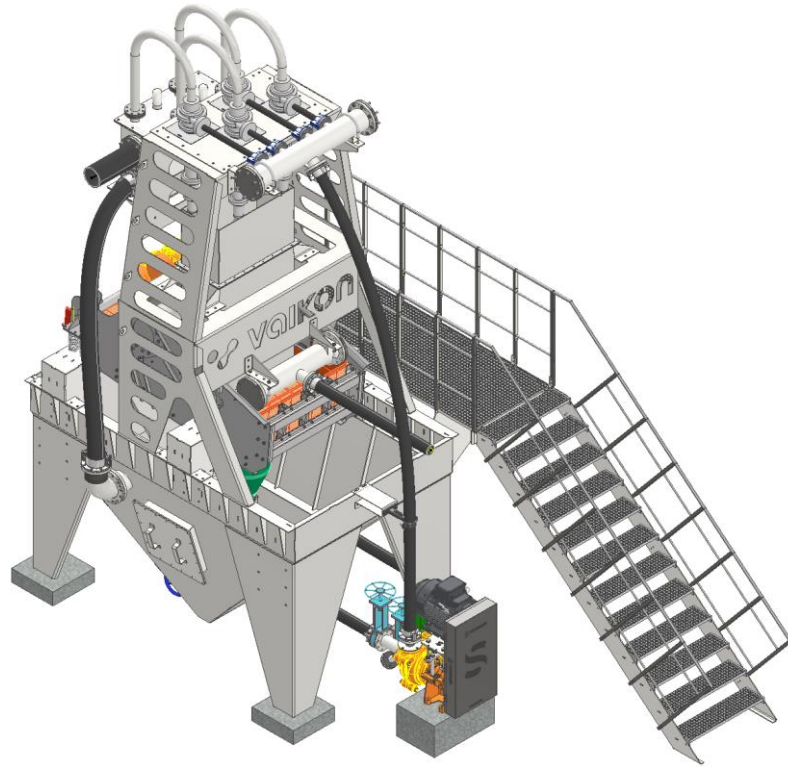
Referentielijst

- [1] Lenntech, “Waterbegrippenlijst,” <https://www.lenntech.nl/water-begrippenlijst.htm#Effluent>. Accessed: May 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.lenntech.nl/water-begrippenlijst.htm#Effluent>
- [2] Vaikon, “Products.” Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.vaikon.com/products>
- [3] MEKA, “Dewatering Screens – MEKA.” Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.mekaglobal.com/en/products/crushing-screening-plants/screens/dewatering-screen>
- [4] McLanahan, “Ultra Fines Recovery Plants.” Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.mclanahan.com/products/ultra-fines-recovery-systems>
- [5] M. K. Magwai and J. Bosman, “The effect of cyclone geometry and operating conditions on spigot capacity of dense medium cyclones,” *Int J Miner Process*, vol. 86, no. 1–4, pp. 94–103, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.minpro.2007.11.005.
- [6] C. Aldrich, “Hydrocyclones,” *Progress in Filtration and Separation*, pp. 1–24, Jan. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384746-1.00001-X>.
- [7] Alan Bennetts, “When To Use A Separator™ In Your Sand Plant.” Accessed: Nov. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.mclanahan.com/blog/when-to-use-a-hydrocyclone-and-when-to-use-a-separator-in-your-sand-plant>
- [8] D.Michaud, “Hydrocyclone Efficiency Curves,” <https://www.911metallurgist.com/blog/hydrocyclone-efficiency-curves>.
- [9] E. Schouterden, *Interview hydrocyclonen. [Interview]*. 2023.
- [10] Pass G, *Interview leverancier hydrocyclonen [Interview]*. 2023.
- [11] Smith Heather, “Hydrocyclone,” [https://help.syscad.net/Hydrocyclone#Example_Solid_Species_\(bypass\)_calculation](https://help.syscad.net/Hydrocyclone#Example_Solid_Species_(bypass)_calculation).
- [12] Bennetts Alan, “The Top 5 Things You Need To Know About Hydrocyclones,” <https://www.mclanahan.com/blog/the-top-5-things-you-need-to-know-about-hydrocyclones>.
- [13] McLahanan, “Dewatering Screens,” McLahanan. Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.mclanahan.com/products/dewatering-screens>
- [14] M. Pan *et al.*, “Effect of excitation parameters on the motion characteristics of the tailings slurry during vibration dewatering,” *Miner Eng*, vol. 204, p. 108407, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.mineng.2023.108407.

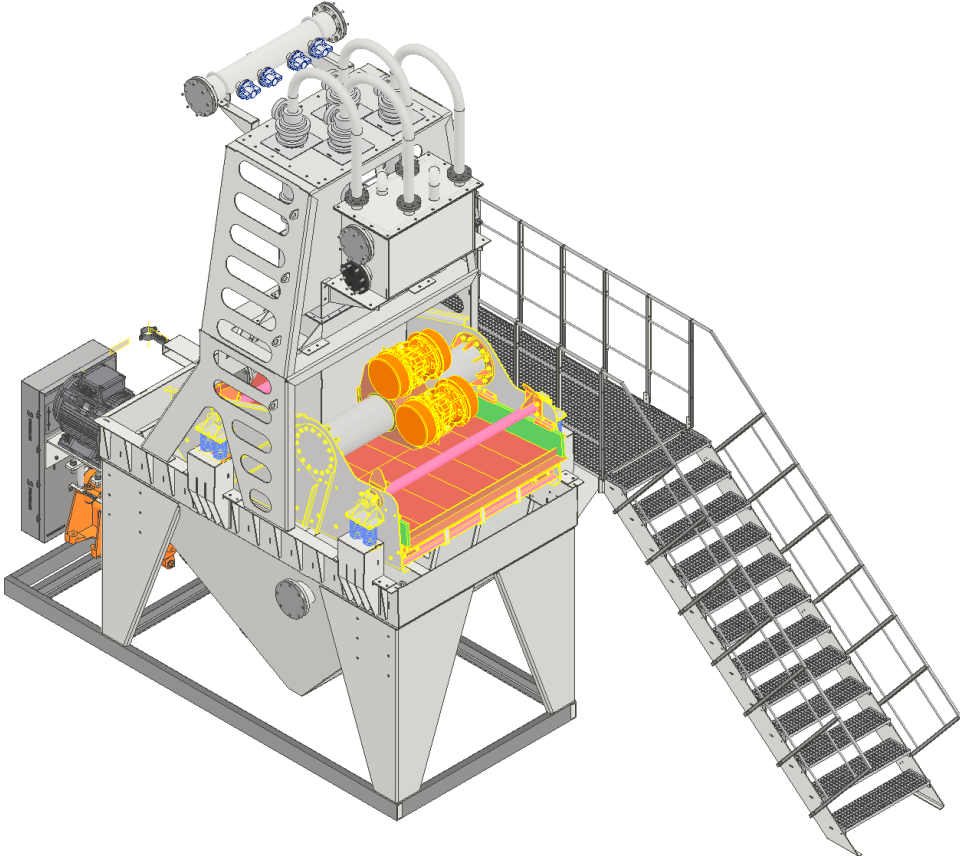
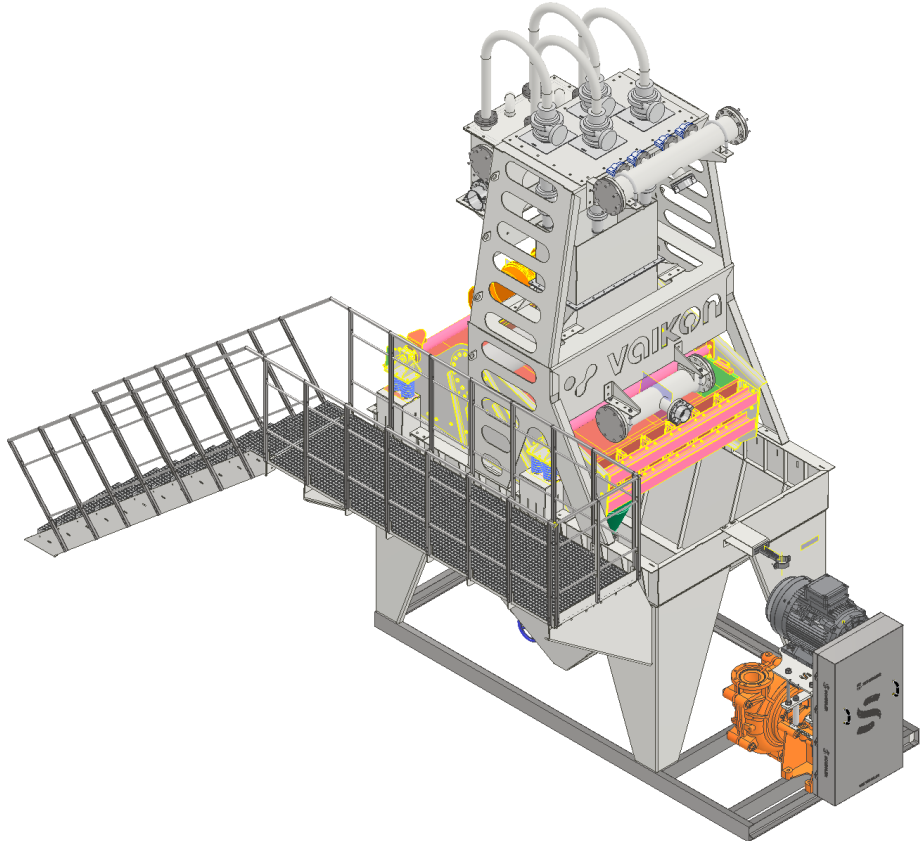
- [15] “McLanahan | How To Size a Dewatering Screen For Your Sand Plant.” Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.mclanahan.com/blog/how-to-size-a-dewatering-screen-for-your-sand-plant>
- [16] E. Deckers and S. Wouters, *Trillingsleer [cursus]*. Hasselt: UHasselt, 2024.
- [17] Schegler, “Schegler rock solid pumps,” 2023. Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.schegler.com/vigor/>
- [18] Hoogsteyns Ivan, “Introduction to slurry pump technology,” Apr. 20, 2023.
- [19] NBN, “MyNBN-EDU - EducationAll PdfMeta Standards.” Accessed: Nov. 22, 2023. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/pdfMeta/educationAll>
- [20] Sotres, “AC 16026 BIA DENUL Notice D250-120_FR_v03,” 2016.
- [21] CDE, “EVOWASH™ SAND WASHING SYSTEM.” Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.cdegroup.com/products/washing-classification/evowash-sand-wash-plant>
- [22] DEME, “SAFETY BY DESIGN POCKET GUIDE.”
- [23] McLanahan, “6 Factors That Affect Hydrocyclone Performance,” McLanahan. Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.mclanahan.com/blog/6-factors-that-affect-hydrocyclone-performance#:~:text=Separation%20occurs%20when%20the%20two,the%20D50%20or%200cut%20point.>

Bijlagelijst

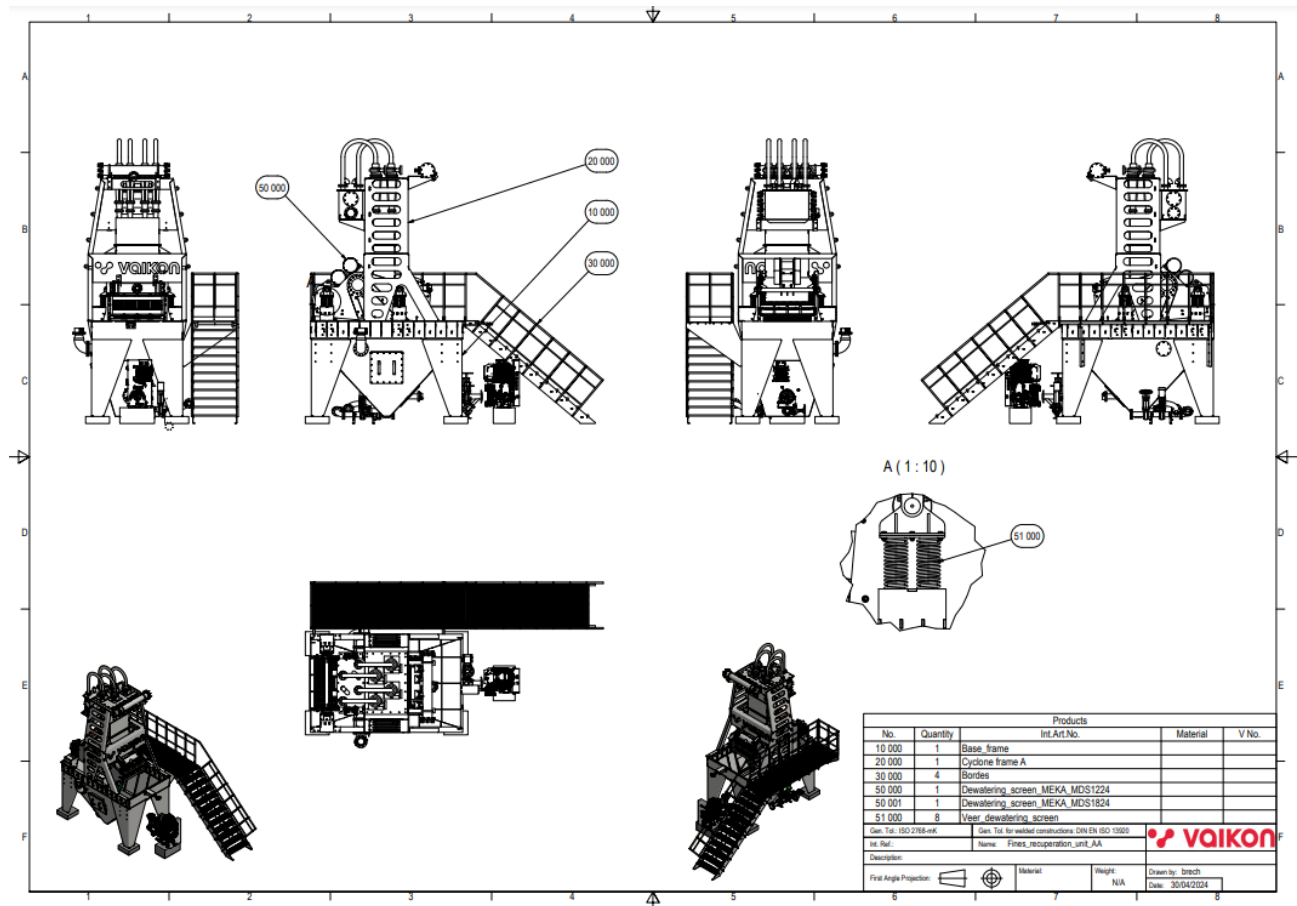
Bijlage A: Uiteindelijke configuratie van de klant in de grondremediëringsindustrie



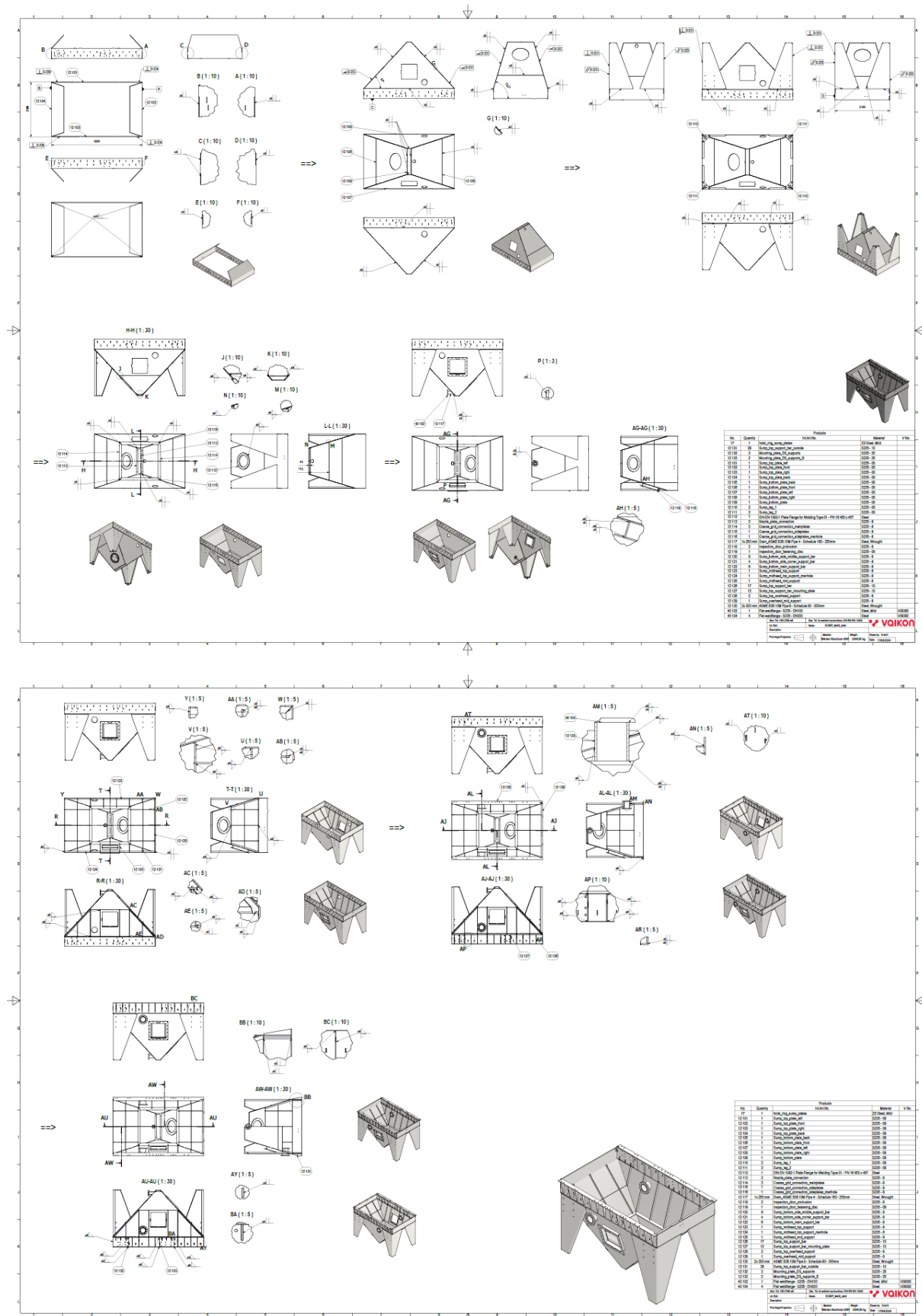
Bijlage B: Voorbeeld van een andere mogelijke configuratie



Bijlage C: 2D van de uiteindelijke configuratie van de klant in de grondremediëringsindustrie



Bijlage D: 2D lastekening van de sump



Design of a modular fines recuperation unit

Kaczmarczyk Brecht

Rutten Kaz

Master IW Elektromechanica

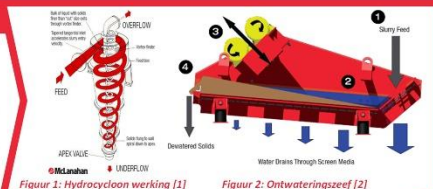
Master IW Elektromechanica

Situering & probleemstelling

Vaikon is gespecialiseerd in **slurry processing equipment**. Het recupereren van **finest** (partikels met een diameter van 0 - 2 mm) uit een slurriestroom is een uitdaging van veel slurryverwerkende bedrijven. Echter is er een groot verschil in **debieten** en **korrelverdelingen** van deze slurriestromen, één installatie vormt dus geen oplossing voor alle klanten. De doelstelling van deze thesis is dus de ontwikkeling van een **parametrisch model** wat Vaikon toelaat om een **modulaire finest recovery unit (FRU)** te configureren. De modulariteit stelt Vaikon in staat om dezelfde installatie naar verschillende klanten te specificeren. De FRU moet dus in staat zijn om de gewenste **efficiëntie** en **outputkarakteristieken** te bereiken. De unit moet ook een voldoende hoge **abrasiebestendigheid** bezitten, omdat het slurriestromen verwerkt. Naast de ontwikkeling van het parametrisch model wordt er ook één **specifieke configuratie** gerealiseerd voor een vooraanstaande speler in de grondremediëringindustrie.

Literatuurstudie

Nast centrifugaalpomptechnologie zijn ook verschillende scheidingstechnologieën bestudeerd. Een **hydrocycloon** (fig. 1) scheidt vaste delen uit een slurriestroom op basis van **centrifugaalkrachten**. Drukken, concentraties, geometrie en correcte integratie bepalen of een vooropgestelde **efficiëntie** en **scheiding** gerealiseerd worden. De underflow van een hydrocycloon heeft een massapercentage van slechts 40%. Om een efficiënte ontwatering te bekomen wordt een **ontwateringszeef** (fig. 2) toegepast. Deze gebruikt het **zeefmedium** en de **reeds ontwaterde partikels** om de underflow te filteren. Verder is er een grondige studie uitgevoerd naar materiaal- en designoverwegingen om **abrasie** ten gevolge van de **slurriestroom** te beperken. Ook op vlak van parametrisatie werd het nodige studiewerk verricht.



Figuur 1: Hydrocycloon werking [1]

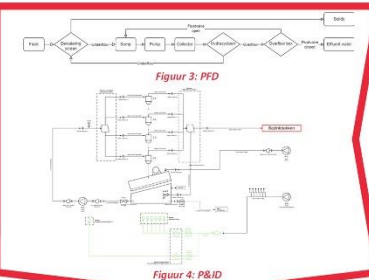
Figuur 2: Ontwateringszeef [2]

Parametrisch model

Slurryspecificaties, procesinformatie en gewenste outputspecificaties worden opgegeven door de eindgebruiker. De blauwdruk van de FRU wordt beschreven in een **proces flow diagram (PFD)** (fig. 3). Vanuit de inputs worden de **massa- en debietbalansen** bepaald. Met deze balansen wordt de **configuratie** van de FRU opgesteld. De configuratie omvat o.a.:

- **Hydrodynamisch design:** Vanuit een gewenst debiet worden leidingsdiameters en -lengtes berekend. Dit, in combinatie met de cyclondruk en statische opvoerhoogte beschrijft eenduidig de correcte pomp.
- **Mechanisch design:** de grote uitdaging is bestrijding van abrasie. Om de total life cycle cost (TLCC) van de unit te minimaliseren is de juiste oppervlaktebehandeling en materiaalkeuze noodzakelijk. Om modulariteit te garanderen is de unit zodanig ontworpen dat verschillende pompen, zeven en cyclonen gemonteerd kunnen worden.

Een bijkomende output is een volledig **pipng and instrumentation diagram (P&ID)** (fig. 4). Het parametrisch model breidt het PFD dus uit tot het P&ID, op basis van de geleverde input en gewenste output gegevens.



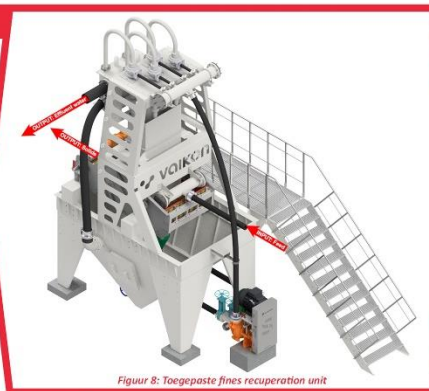
Figuur 3: PFD

Figuur 4: P&ID

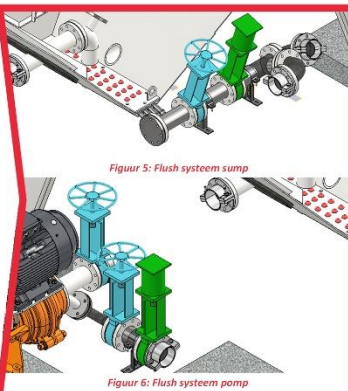
Use case

De eindgebruiker in de grondremediëringindustrie wil een slurriestroom van 150 m³/h met een d50 van 150 µm cycloneren tot op 63 µm. Uit het parametrisch model (fig. 7) volgt dat vier zesduimse Kinarox® cyclonen nodig zijn om de cut-off te realiseren. Een 4x3 Schegler Vigor® slurriepomp werd geselecteerd om de slurry te verpompen richting de cycloon cluster. Een Meka® MDS1224 ontwateringszeef wordt toegepast om de ontwatering bij een debiet van 150 m³/h te realiseren.

Daarnaast bezit deze FRU een **anti-sedimentatie feature**. Een dertigtal natuur rubberen **spray-nozzles** (fig. 5) laten de eindgebruiker toe om gesedimenteerde solids op te **wielen** d.m.v. waterdruk in de sump. Dit spoelsysteem is daarnaast ook verbonden met de pomp (fig. 6) om de zuigleiding vrij te kunnen maken. De unit zal operationeel zijn in oktober 2024.



Figuur 8: Toegepaste fines recuperation unit



Figuur 5: Flush system sump

Figuur 6: Flush system pump

Input	Unit	Values
Plant operational information		
SL Slurry	m ³ /h	150
SL Solids	%	2.00
PFD	Table(s)	1
SL Concentration	kg	150
SL or other material	kg	150
Dewatering media (mm)	µm	63
Meka Flow 12	m ³ /h	25
Compressor	kg	150
Water/Drainage	kg	150
Structure/width	kg	150



Calculated values	Unit	Values
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63
Design (mm)	mm	63



Design Choices	Unit	P&ID Reference Values
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63



Design Choices	Unit	P&ID Reference Values
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63
Design	mm	63

Figuur 7: Parametrische model in Excel

Supervisors / Co-supervisors / Advisors: Intern: Ir. Rogiers Frederik
Extern: Ir. Hoogsteyns Ivan
Ing. Vrolijkx Jeroen

Referentielijst

- [1] Alan Bennett, 'When To Use A Separator™ In Your Sand Plant'. Geraadpleegd: 29 november 2023. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.mclanahan.com/blog/when-to-use-a-hydrocyclone-and-when-to-use-a-separator-in-your-sand-plant>
- [2] McLanahan, 'Dewatering Screens'. McLanahan. Geraadpleegd: 25 oktober 2023. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.mclanahan.com/products/dewatering-screens>
- [3] Schegler, 'Schegler rock solid pumps', 2023.



De opleiding industriële ingenieur is een gezamenlijke opleiding van UHasselt en KU Leuven

