

Onderzoek naar de invloeden op de biogasproductie tijdens de afvalwaterzuivering Lamb Weston / Meijer V.O.F. Kruiningen.

Onderzoeksrapport



Onderzoek naar de invloeden op de biogasproductie tijdens de afvalwaterzuivering Lamb-Weston Meijer Kruiningen.

Onderzoeksrapport



Auteur:	J.R. de Kok
Uitgave:	Lamb Weston / Meijer V.O.F.
Organisatie:	HZ University of Applied Sciences
Studentnummer:	00062942
Semester:	9
Studiejaar:	5
Studieonderdeel:	Afstudeerstage
Stage begeleider:	J. Nieuwenhuijze
Stage docent:	B. Romboud
Versie:	1
Datum:	5 januari 2017
Plaats:	Kruiningen

Samenvatting

Dit onderzoeksrapport is geschreven voor een afstudeeronderzoek voor de opleiding energie- en procestechnologie. Het afstudeeronderzoek is verricht bij Lamb Weston / Meijer V.O.F. in Kruiningen. Dit onderzoek is verricht om te bepalen waarvan de biogasproductie afhankelijk is tijdens de afvalwaterzuivering en hoe deze biogasproductie eventueel verbeterd kan worden.

De biogasproductie bij Lamb Weston / Meijer V.O.F. is, in vergelijking met vorig jaar, achteruit gegaan. Er zijn verschillende parameters die de biogasproductie kunnen beïnvloeden. Lamb Weston Meijer V.O.F. wil weten welke parameters er zijn en of er meer invloed verkregen kan worden op deze verschillende parameters. De hoofdvraag die hoort bij dit onderzoek is: *“Op welke wijze kan LWM tijdens de voorzuivering van het afvalwaterzuiveringsproces meer invloed krijgen op verschillende parameters die de biogasproductie kunnen beïnvloeden?”*. Uit het vooronderzoek, dat voorafgaand aan het onderzoek is gedaan, kwamen verschillende parameters naar boven die een invloed kunnen hebben op de biogasproductie. Van deze verschillende parameters zijn de volgende verder onderzocht in het onderzoek:

1. De pH van het influent naar de UASB-reactoren.
2. De temperatuur van het influent naar de UASB-reactoren.
3. Onopgelost vet in de UASB-reactoren.

Uit de pH-resultaten bleek dat de pH te laag is in vergelijking met de opgestelde minimale pH-waarde. Verder bleek dat de pH in de mengtank gevoelig is voor verschillende verstoringen. De pH van het influent naar de UASB-reactoren dient geregeld te worden door middel van een, in dit onderzoeksrapport opgestelde, pH- regeling. Echter is deze regeling niet getest in de praktijk en dient daarom verder onderzocht te worden alvorens deze wordt toegepast in de praktijk.

Uit de temperatuurresultaten bleek dat de temperatuur in de mengtank afhankelijk is van een eerder ingesteld setpoint namelijk, de temperatuur na de koeltorens. Wanneer dit setpoint onder 38 °C wordt ingesteld, heeft de huidige temperatuurregeling van de mengtank een vermogen (in de vorm van warmte) tekort. Dit tekort aan vermogen bleek gelijk te zijn aan 885,7 kW. Stoominjectie in het effluent van voorbezinktank “1” samen met de huidige temperatuurregeling van de mengtank bleek, in vergelijking met de andere mogelijkheden die onderzocht zijn, de beste mogelijkheid te zijn om het tekort aan vermogen te compenseren. De beschikbaarheid van restwarmte binnen Lamb Weston / Meijer is buiten dit onderzoek gelaten en dient daarom verder onderzocht te worden.

Uit de waarnemingen die gedaan zijn tijdens de metingen bleek dat er in alle drie de UASB-reactoren te veel onopgelost vet aanwezig is. De oorzaken hiervan zijn een te hoge temperatuur van het influent van de DAF-units, een kapot luchtsysteem van de DAF-units en een te kleine capaciteit van de vethoudende waterput. Het gevolg is uitspoeling van biomassa en een verminderde biogasproductie. Er wordt aanbevolen om het influent dat naar de DAF-units gaat af te koelen tot een temperatuur onder de 40 °C, het luchtsysteem te laten repareren en een extra buffer te installeren bij de vethoudende waterput. In het onderzoek is er echter niet onderzocht of de huidige DAF-units vervangen kunnen worden door DAF-units die werken onder een hogere temperatuur en met een hoger debiet. Daarom wordt er aanbevolen om verder onderzoek te doen naar eventuele andere opties.

Abstract

This research report is written for a final research project, for the education Energy- and Process technology, which is conducted at Lamb Weston / Meijer V.O.F. in Kruiningen. This research project has been done to determine where the biogas production, during the wastewater purification process, is depending on and how this biogas production can be improved.

The biogas production at Lamb Weston / Meijer V.O.F. is, compared to last year, deteriorated. There are several parameters that could affect the biogas production. Lamb Weston / Meijer V.O.F. wants to know what these parameters are and if Lamb Weston / Meijer V.O.F. can obtain more influence on these parameters. The main question for this research is: *“How can LWM obtain more influence, during the pre-purification of the wastewater purification process, on several parameters that could affect the biogas production?”*. Literature review, that has been done before the applied research, showed different parameters that could affect the biogas production. The following parameters, a few of all the parameters that could affect the biogas production, are investigated in the applied research:

1. The pH of the influent to the UASB reactors.
2. The temperature of the influent to the UASB reactors.
3. Solid fat in the UASB reactors.

The pH results showed that the pH was too low compared to the established minimum pH value. Furthermore, the results showed that the pH in the mixing tank is sensitive for different distortions. The pH in the mixing tank should be controlled using a pH control which is designed in this research report. However this pH control has not been tested in practice, what should be done in further research before it is applied in practice.

The temperature results showed that the temperature in the mixing tank depends on a previously set-point, that is to say the temperature after the cooling towers. When this set-point is set below 38 °C, the current temperature control of the mixing tank suffers with a shortage of power (in the form of heat). This shortage of power turned out to be 885,7 kW. Steam injection, in the effluent of resettling tank “1” with the current temperature control of the mixing tank, turned out, compared to the other options that have been investigated, to be the best option to compensate for the shortage of power. The availability of residual heat within Lamb Weston / Meijer is not included in this research and therefore this should be done in further research.

The observations that have been done, during the research, showed that all three UASB reactors contain too much solved fat. The causes of this are a too high temperature of the influent of the DAF-units, a broken air system of the DAF-units and a too small capacity of the greasy water-well. The consequences are an increased leaching of biomass and a reduced biogas production. The recommendations are to cool down the influent of the DAF-units to a temperature below 40 °C, to repair the air system of the DAF units and to install an extra buffer for the greasy water-well. However there has yet not been investigated whether the current DAF units can be replaced with new DAF units. New DAF units could operate at higher temperatures and higher load rates. Therefore, the recommendation for the DAF units is to further investigate possible other options.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Abstract	4
Figurenlijst	6
Tabellenlijst	6
1. Inleiding	7
2. Theoretisch kader	9
2.1 Afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI)	9
2.1.1 De voorzuivering	9
2.1.2 De anaerobe zuivering	12
2.2 Beïnvloedbare parameters	16
3. Onderzoeksmethode	19
4. Resultaten	21
4.1 De pH van het influent naar de UASB-reactoren	21
4.1.1 Metingen pH week 45	21
4.1.2 Metingen pH week 46	22
4.1.3 pH regeling influent UASB-reactoren	24
4.2 De temperatuur van het influent naar de UASB-reactoren	26
4.2.1 Metingen temperatuur week 45	26
4.2.2 Metingen temperatuur week 46	28
4.2.3 Huidige temperatuurregeling mengtank	29
4.2.4 Nieuwe warmtewisselaar	31
4.2.5 Stoominjectie	32
4.3 Onopgelost vet in de UASB-reactoren	34
4.3.1 Oorzaak vetdoorslag tijdens de voorzuivering.	36
4.3.2 Gevolg vetdoorslag op de biogasproductie	38
5. Conclusie	40
6. Aanbevelingen	42
7. Referenties en bibliografie	43
8. Bijlage	46
I. Biogasproductie vorig jaar en huidige biogasproductie	46
II. Screenshots FactoryTalk en gemaakte foto's	48
III. Overzicht 70/90 watersysteem	55
IV. Resultaten metingen	56
V. Berekeningen tekort aan vermogen in de mengtank	62
VI. Pompcurve en typeplaatje pomp effluent voorbezinktank "1"	68

Figurenlijst

Figuur 1: Schematische weergave niet-vethoudende influent voorzuivering.	9
Figuur 2: Schematische weergave voorbezinktank (Appropedia).	10
Figuur 3: Schematische weergave vethoudend influent voorzuivering.	11
Figuur 4: Schematische weergave DAF unit (SA Water, 2013).	11
Figuur 5: Overzicht gebruikte reactoren 2002 tot 2007 (Jules B. van Lier, 2002).	12
Figuur 6: Schematische weergave IC reactor (Gomez, 2011).	13
Figuur 7: Schematische weergave UASB (Tilley, Ulrich, Luethi, Reymond, & Zurbruegg, 2014).	14
Figuur 8: Schematische weergave EGSB reactor (Gomez, 2011).	14
Figuur 9: Schematische weergave anaerobe zuiveringsproces.	15
Figuur 10: Resultaten metingen pH week 45.	21
Figuur 11: Resultaten metingen pH week 46.	22
Figuur 12: pH mengtank week 45 en 46.	23
Figuur 13: Witte schuimlaag afkomstig van de vlokkenlijn in voorbezinktank "1".	24
Figuur 14: Mogelijke pH regeling voor de mengtank.	25
Figuur 15: Resultaten metingen temperatuur week 45.	26
Figuur 16: Invloed setpoint koeltorens op temperatuur mengtank week 45.	27
Figuur 17: Resultaten temperatuur metingen week 46.	28
Figuur 18: Schematische weergave huidige temperatuurregeling mengtank.	29
Figuur 19: Gedrag huidige temperatuurregeling mengtank in week 45 bij een setpoint van 38 °C na de koeltorens.	30
Figuur 20: Gedrag huidige temperatuurregeling mengtank in week 46 bij een setpoint van 33 °C na de koeltorens.	31
Figuur 21: Schematische weergave toepassing stoominjectie.	32
Figuur 22: Overloop UASB reactor "2".	34
Figuur 23: Ander stuk overloop UASB reactor "2".	34
Figuur 24: Overloop reactor "4" (links) en doorblaasleiding reactor "3" (rechts).	35
Figuur 25: Vetophoping in het overloop van voorbezinktank "2" (links) en uitspoeling van vetten (rechts).	35
Figuur 26: Procesomstandigheden vethoudende waterput tijdens schoonmaakweekend in week 47.	36
Figuur 27: Samengeklonterd vet en biomassa.	38
Figuur 28: Biogasproductie na toevoegen extra slib.	38

Tabellenlijst

Tabel 1: Overzicht metingen.	20
Tabel 2: Overzicht metingen niet-vethoudende waterput.	22
Tabel 3: Overzicht metingen niet-vethoudende waterput.	23
Tabel 4: Uitkomsten berekeningen voor de verschillende opties.....	32
Tabel 5: Resultaten temperatuurmetingen DAF-units.....	37

1. Inleiding

Dit rapport is geschreven op basis van een onderzoek dat verricht is bij Lamb Weston / Meijer V.O.F. (hierna te noemen LWM) in Kruiningen. Dit onderzoek is verricht voor een afstudeeropdracht voor de opleiding Energie en Procestechologie aan de HZ University of Applied Sciences.

De waterzuivering van LWM Kruiningen wordt op locatie gedaan door een afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) die bij de plant staat. In Nederland kost het namelijk veel geld¹ om dit te laten doen door een waterzuiveringsbedrijf. Verder beschikt LWM, door de waterzuivering op locatie te doen, over biogas dat bij deze waterzuivering wordt geproduceerd. Door biogas te gebruiken wordt er bespaard op fossiele brandstoffen.

Aanleiding voor het onderzoek.

Het probleem dat LWM op dit moment ondervindt, is dat het proces van de biogasproductie niet optimaal verloopt. Men denkt namelijk bij LWM dat de productie van biogas beter kan. Met beter wordt bedoeld dat er meer biogas geproduceerd kan worden uit het afvalwater dan dat er op dit moment wordt gedaan. In bijlage I zijn twee grafieken opgenomen, één laat de biogasproductie zien van vorig jaar en de ander laat de huidige biogasproductie zien. Uit deze grafieken is te concluderen dat er daadwerkelijk meer biogas geproduceerd kan worden dan dat er op dit moment wordt gedaan. De vermindering van de biogasproductie in een jaar tijd kan gezien worden als energieverlies, er had namelijk meer biogas gewonnen kunnen worden uit het afvalwater. Verder kan er, wanneer er meer biogas geproduceerd wordt uit het afvalwater, bespaard worden op aardgas omdat hiervoor dan biogas gebruikt kan worden.

De biogasproductie is afhankelijk van verschillende parameters, bijvoorbeeld de temperatuur van het influent² dat gezuiverd moet worden. Het biogas dat geproduceerd wordt, wordt tijdens het gehele afvalwaterzuiveringsproces in een deelproces gedaan, namelijk tijdens de anaerobe zuivering. Voor deze anaerobe zuivering zit echter maar één ander deelproces, namelijk de voorzuivering. De voorzuivering en de anaerobe zuivering kunnen één of meerdere invloeden hebben op de verschillende parameters waar de biogasproductie van afhankelijk is. Welke invloeden en welke parameters dit kunnen zijn is echter niet bekend bij LWM. Verder is LWM ervan overtuigd dat er tijdens de voorzuivering en/of de anaerobe zuivering verstoringen kunnen optreden die een nadelig effect hebben op de biogasproductie. Wat deze verstoringen precies zijn, is ook niet duidelijk voor LWM.

LWM wil weten welke invloeden er kunnen zijn. Te denken valt aan regelingen of procesvoering die bepaalde parameters kunnen beïnvloeden en eventueel verstoringen in het proces kunnen verhelpen tijdens de voorzuivering en anaerobe zuivering. Dit kan dan uiteindelijk leiden tot een betere productie van biogas tijdens het afvalwaterzuiveringsproces.

¹ Ongeveer 17 miljoen euro per jaar.

² Afvalwater voor een bepaalde behandeling.

Doel van het onderzoek.

Het doel van dit onderzoek is om LWM van advies te voorzien hoe de biogasproductie wordt beïnvloed en wat LWM eventueel hieraan zou kunnen doen. Hierdoor kan wellicht de biogasproductie bij LWM verbeterd worden waardoor er meer bespaard kan worden op fossiele brandstoffen.

De hoofdvraag die bij dit onderzoek hoort en wordt beantwoord is als volgt:

“Op welke wijze kan LWM tijdens de voorzuivering van het afvalwaterzuiveringsproces meer invloed krijgen op verschillende parameters die de biogasproductie kunnen beïnvloeden?”

Met invloed wordt bedoeld of er een eventuele regeling, of een eventueel andere procesvoering, gerealiseerd kan worden zodat bepaalde parameters gehandhaafd worden of dat een verstoring niet meer kan optreden tijdens de voorzuivering.

Met parameters wordt bedoeld of er variabelen zijn die een gevolg kunnen hebben op de hoeveelheid van de biogasproductie, bijvoorbeeld de temperatuur.

Uit deze probleemstelling zijn de volgende deelvragen geformuleerd die betrekking hebben op de onderzoeksvraag:

1. Op welke manier(en) wordt er bij LWM biogas geproduceerd uit het afvalwater?
2. Welke parameters hebben een effect op de biogasproductie?
3. Op welke wijze beïnvloedt elke parameter de biogasproductie?
4. Op welke wijze wordt elke parameter beïnvloed tijdens de voorzuivering bij LWM?
5. In hoeverre voldoet elke parameter die invloed heeft op de biogasproductie, in het huidige voorzuiveringsproces?
6. Op welke wijze kan elke parameter (beter) beïnvloed worden tijdens de voorzuivering bij LWM?

Leeswijzer.

In het onderzoeksrapport zal in hoofdstuk 2 de theorie, die voorafgaand aan dit onderzoek nodig was, worden toegelicht. Hierna zal, in hoofdstuk 3, de methode worden toegelicht die gebruikt is voor het onderzoek. Vervolgens zal hoofdstuk 4 de resultaten van het uitgevoerde onderzoek weergeven en toelichten. Uiteindelijk leiden de resultaten tot de conclusie en aanbevelingen die zijn onderverdeeld in hoofdstuk 5 en 6. Het onderzoeksrapport wordt afgesloten met de referenties en daarbij behorende bibliografie en de bijlagen.

2. Theoretisch kader

Dit theoretisch kader is geschreven met behulp van voorafgaand literatuuronderzoek, bedrijfsreferenties zoals interviews met operators van de afvalwaterzuiveringsinstallatie en andere interne documentatie. Alle referenties zijn terug te vinden in hoofdstuk 3: Referenties. Het theoretisch kader zal kennis verschaffen over de afvalwaterzuiveringsinstallatie en de verschillende parameters die de biogasproductie kunnen beïnvloeden. Deze kennis is namelijk voorhand nodig om later verder onderzoek te kunnen doen.

2.1 Afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI)

Zoals eerder vermeld in de inleiding van dit onderzoeksrapport heeft LWM een eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie. Deze AWZI bestaat uit de volgende (deel)processen:

- De voorzuivering;
- De anaerobe zuivering;
- De struvietplant;
- De aerobe zuivering;
- De slibverwerking.

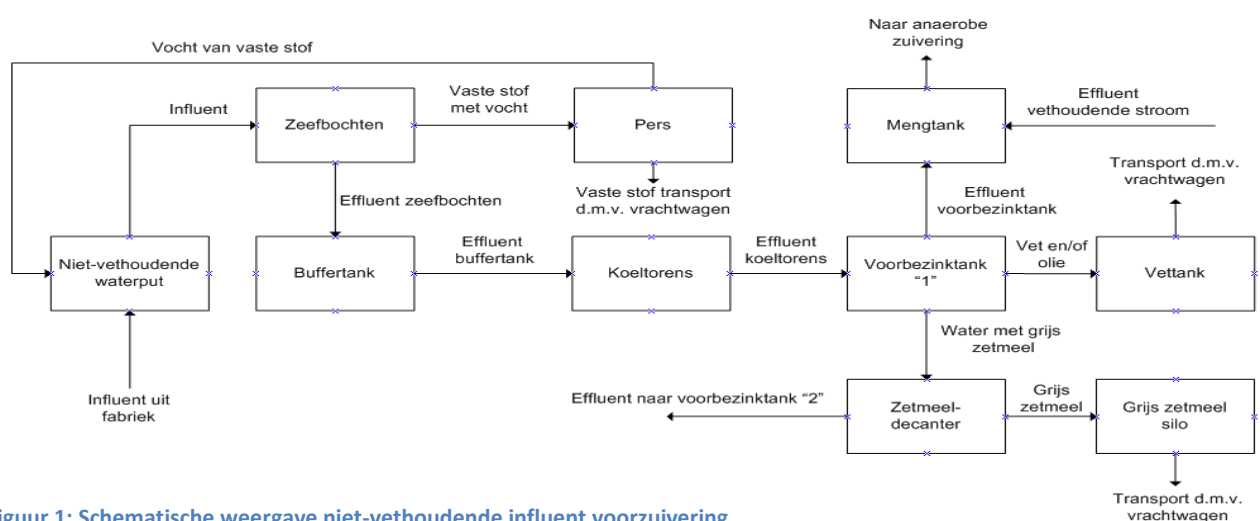
Omdat er alleen onderzoek gedaan zal worden naar de voorzuivering en de anaerobe zuivering zullen alleen deze (deel)processen worden toegelicht.

2.1.1 De voorzuivering

De voorzuivering bestaat uit twee primaire hoofdstromen namelijk: een stroom met niet-vethoudend water en een stroom met vethoudend water. Beide stromen zijn afkomstig van de fabriek en komen beide in een aparte waterput terecht.

Niet-vethoudende water

De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de niet-vethoudende hoofdstroom:



Figuur 1: Schematische weergave niet-vethoudende influent voorzuivering.

Vanuit de niet-vethoudende waterput wordt het niet-vethoudende water verpompt naar een aantal zeefbochten waar grote vaste stoffen worden gescheiden, bijvoorbeeld kleine stukjes aardappels of frites. De grote vaste stoffen worden getransporteerd naar een pers waar het vastzittende vocht wordt gescheiden van de grote vaste stoffen.

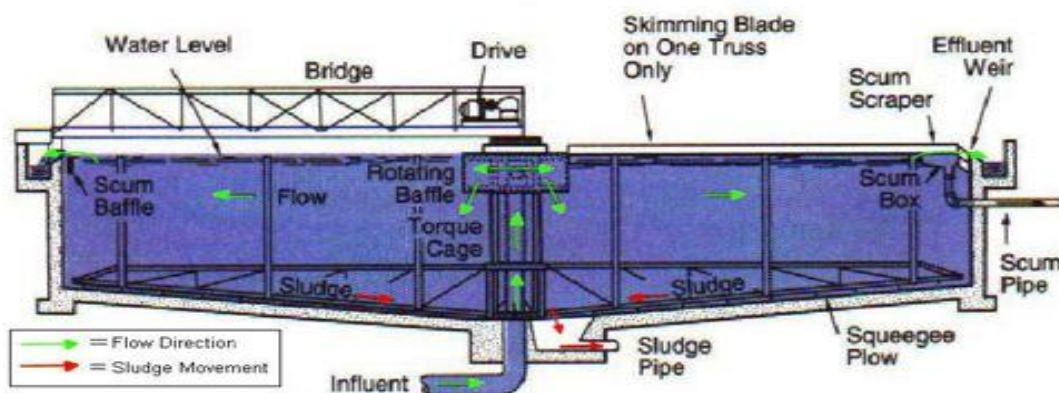
Het vocht dat hiervan is gescheiden wordt vervolgens terug afgevoerd naar de waterput van het niet-vethoudende water. De grote stoffen die hier zijn gescheiden worden verkocht aan derden, bijvoorbeeld een veehouderij, en worden getransporteerd door middel van vrachtwagens.

Nadat het influent de zeefbochten is gepasseerd, komt het effluent³ van de zeefbochten in een grote buffertank terecht. Deze buffertank vangt de debietschommelingen vanuit de fabriek op. Vanuit de buffertank wordt het effluent van de zeefbochten verpompt naar drie koeltorens waar het influent van de koeltorens afgekoeld wordt tot een bepaalde temperatuur (een ingesteld setpoint na de koeltorens).

Dit setpoint is afhankelijk van het CZV⁴ dat van te voren wordt gemeten in de niet-vethoudende waterput, de mengtank en na de reactoren. Wanneer bijvoorbeeld na de reactoren het CZV gehalte te hoog is zal het setpoint lager worden ingesteld. Hierdoor valt het grijze zetmeel, wat in het effluent van de koeltorens zit, minder uit elkaar waardoor er later meer bezinkt in voorbezinktank "1". Doordat er meer grijze zetmeel bezinkt in deze voorbezinktank zal het CZV van het effluent van de voorbezinktank afnemen en zo ook van het influent dat naar de reactoren gaat. Hierdoor zal uiteindelijk het CZV na de reactoren afnemen (Lamb Weston Meijer, 2016).

Wanneer het influent van de koeltorens is afgekoeld tot een bepaalde temperatuur, komt het in voorbezinktank "1" terecht. In deze voorbezinktank worden niet-opgeloste organische stoffen gescheiden van het influent, een voorbeeld hiervan is het grijze zetmeel. Het grijze zetmeel wordt naar een zetmeeldecanner verpompt waar het gescheiden wordt van eventueel nog aanwezig water. Het effluent van de decanter wordt verpompt naar een tweede voorbezinktank (voorbezinktank "2") waar eventueel nog aanwezig grijs zetmeel kan bezinken. Het grijze zetmeel wordt opgeslagen in een silo die om een bepaalde tijd wordt leeggehaald. Door middel van een vrachtwagen zal het grijze zetmeel getransporteerd worden.

Verder worden er in voorbezinktank "1" eventuele vetten en/of oliën verwijderd, mocht het influent van deze voorbezinktank hier toch mee zijn vervuild. Dit vet en/of deze olie zal als een schuimlaagje op de oppervlakte van het water liggen en wordt met een schraapsysteem gescheiden. Het vet en/of de olie zal vervolgens verpompt worden naar een vet-tank. Het vet en/of de olie wordt om een bepaalde tijd uit deze vet-tank gehaald en getransporteerd naar derden door middel van vrachtwagens. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de voorbezinktank:



Figuur 2: Schematische weergave voorbezinktank (Appropedia).

³ Afvalwater na een bepaalde behandeling.

⁴ CZV: Chemisch zuurstof verbruik, geeft een maat van het energie potentieel van organisch materiaal (T.Z.D. de Mes, 2003).

Het influent van de voorbezinktank wordt aan de onderkant van de voorbezinktank ingebracht. In deze voorbezinktank zullen deeltjes die een grotere dichtheid hebben dan het influent van de voorbezinktank bezinken naar de bodem. Deze bezinking is afhankelijk van de bezinksnelheid. Om de bezinksnelheid te kunnen bepalen wordt gebruikgemaakt van de wet van Stokes:

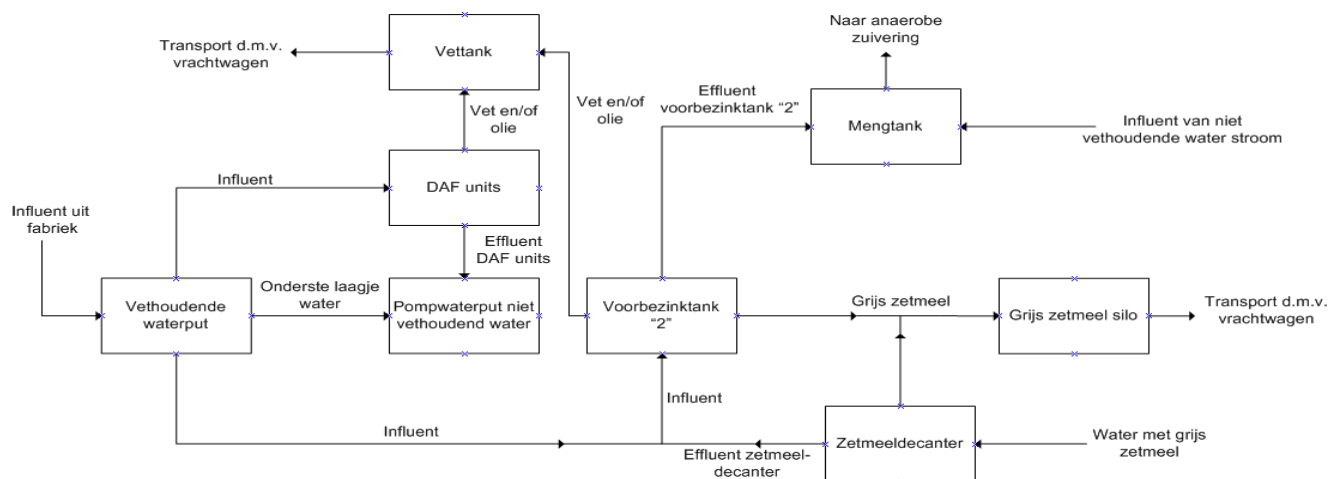
$$v = \frac{2}{9} r^2 g \frac{(\rho_s - \rho_l)}{\mu} \quad [1]$$

De bezinksnelheid is afhankelijk van de straal van het deeltje, de dichtheid van het deeltje, de dichtheid van het fluïdum en de viscositeit van het fluïdum. Wanneer de dichtheid bijvoorbeeld kleiner is dan de dichtheid van het fluïdum zal de snelheid negatief worden. Dit betekent dat het deeltje zal drijven op het fluïdum in plaats van bezinken.

Het effluent van de voorbezinktank komt in een mengtank terecht waar het samen komt met de andere hoofdstroom, de vethoudende stroom.

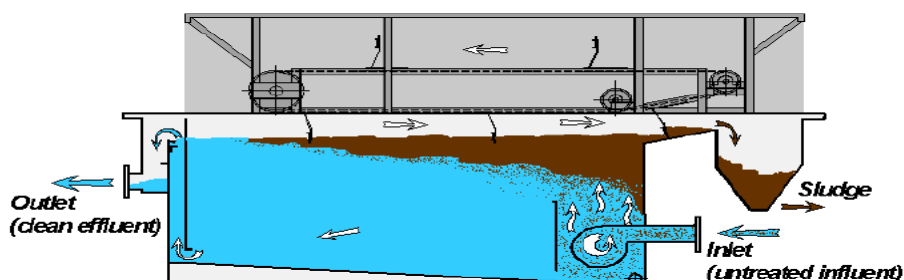
Vethoudend water

De andere hoofdstroom, het vethoudende water, is afkomstig van onder andere de bakovens uit de fabriek en begaat een ander voorzuiveringsproces dan het niet-vethoudende water. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de vethoudende stroom:



Figuur 3: Schematische weergave vethoudend influent voorzuivering.

Vanuit de vethoudende waterput wordt het vethoudende influent verpompt naar twee DAF- (Dissolved Air Flotation) units. Wanneer het niveau in de vethoudende waterput te hoog wordt, zal er een deel worden verpompt naar voorbezinktank "2". In de DAF-units zal door middel van flotatie het vet worden gescheiden van het influent (SA Water, 2013). Het effluent van de DAF-units komt vervolgens in de niet-vethoudende waterput terecht. Het vet en/of de olie wordt verpompt naar de vet-tank. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de DAF-unit:



Figuur 4: Schematische weergave DAF unit (SA Water, 2013).

Het onbehandelde influent komt de DAF- unit binnen in een goed gemixt gebied waar lucht in de vorm van microbelletjes omhoog stromen. De vet- en/of oliedeeltjes plakken aan deze luchtbelletjes vast en drijven vervolgens naar de oppervlakte van het water. Ook zullen eventueel aanwezige vaste stoffen hierdoor naar de oppervlakte drijven. Een schraapsysteem gaat vervolgens over deze oppervlakte heen en schraapt steeds een deel van deze oppervlakte in een bak. Het vet en/of de olie zijn nog niet geheel gescheiden van het water en er zal dus nog een ontwateringstap volgen.

Deze stap is echter niet te zien in figuur 4. Verder moet er opgelet worden dat er in de bak niet te veel vaste stoffen terechtkomen omdat ze verstoppingen kunnen veroorzaken (SA Water, 2013). Het behandelde effluent verlaat vervolgens de DAF-unit via de uitlaat.

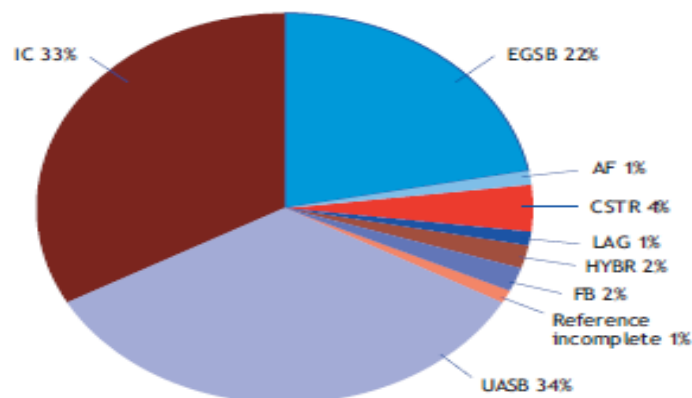
Vet en olie kunnen niet oplossen in water en hebben een kleinere dichtheid dan water. Hierdoor drijft het vet en/of de olie op het water⁵. In de vethoudende waterput gebeurt dit ook waardoor er een laagje water ontstaat op de bodem van deze put. Dit water wordt verpompt naar de niet-vethoudende waterput. Ook in voorbezinktank "2" drijft het vet en/of de olie op het water. Hier wordt door middel van een schraapsysteem het laagje vet en/of de olie van het influent gescheiden, net zoals dat bij voorbezinktank "1" het geval is. Vervolgens wordt het verpompt naar de vet-tank.

Verder bezinkt er nog aanwezig grijs zetmeel in voorbezinktank "2" naar de bodem. Het influent waar nog grijs zetmeel in kan zitten, is afkomstig van de zetmeeldecanter. Op de bodem van voorbezinktank "2" zal ingedikt grijs zetmeel liggen in de vorm van slib, dat direct verpompt zal worden naar de grijszetmeelsilo.

Het effluent dat overloopt uit voorbezinktank "2" zal uiteindelijk worden verpompt naar de mengtank waar het samenkomt met de andere primaire hoofdstroom, namelijk het niet-vethoudende effluent. Vanaf deze mengtank begint het volgende (deel)proces van de AWZI.

2.1.2 De anaerobe zuivering

De eerste biologische zuiveringsstap van de waterzuivering is de anaerobe⁶ zuivering die plaatsvindt in de anaerobe reactoren. Tijdens de anaerobe zuivering wordt organisch materiaal, wat in het influent zit, omgezet in biogas door middel van micro-organismen. Dit gebeurt in een daarvoor ontworpen reactor. De volgende afbeelding geeft een overzicht van de gebruikte reactoren voor het behandelen van industrieel afvalwater in de periode van 2002 tot 2007 (Jules B. van Lier, 2002):



Figuur 5: Overzicht gebruikte reactoren 2002 tot 2007 (Jules B. van Lier, 2002).

⁵ Wanneer dit wordt toegepast in de wet van Stokes zal de snelheid negatief worden en dus zal het vet en/of olie drijven op het fluïdum.

⁶ Zonder zuurstof plaatsvindend.

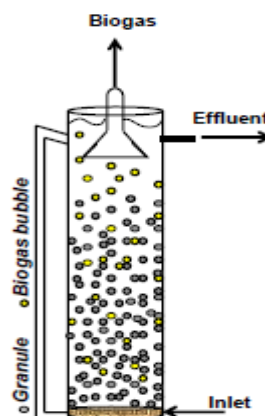
Uit figuur 5 zijn de volgende reactoren af te lezen:

- UASB: Up flow anaerobic sludge blanket;
- IC: Internal circulation reactor;
- EGSB: Expanded granular sludge bed;
- AF: Anaerobic filter;
- CSTR: Continuously stirred tank reactor;
- LAG: Anaerobic lagoon (anaerobe vijver);
- HYBR: Gecombineerd hybridesysteem met een korrel bed op de bodem en een filter bovenop;
- FB: Fluidized bed reactor.

De Internal circulation reactor (IC), de Up flow anaerobic sludge blanket (UASB), en de Expanded granular sludge bed (EGSB) zullen verder toegelicht worden. De andere reactoren worden niet veel toegepast om industrieel afvalwater te zuiveren en worden om die reden buiten het theoretisch kader gelaten.

The internal Circulation reactor (IC)

De IC is een opwaartse anaerobe reactor bestaande uit twee fasen, waar het hoofddoel het produceren van biogas is. Het slib-bed⁷ is te vinden onderaan de reactor waar biogas samen met het influent naar boven wordt getransporteerd via een kleine buis. Bovenin wordt het gas gescheiden van de vloeistof. Door de zwaartekracht zal het influent weer terug naar de bodem van de reactor bezinken. De tweede fase, die hoger gelegen is in de reactor, laat sedimentatie⁸ toe van organisch materiaal en vermindert hierdoor de kans op uitspoeling⁹ (Jules B. van Lier, 2002). Een klein gedeelte van de biogasproductie vindt hier plaats. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de IC:



Figuur 6: Schematische weergave IC reactor (Gomez, 2011).

Up flow anaerobic sludge blanket (UASB)

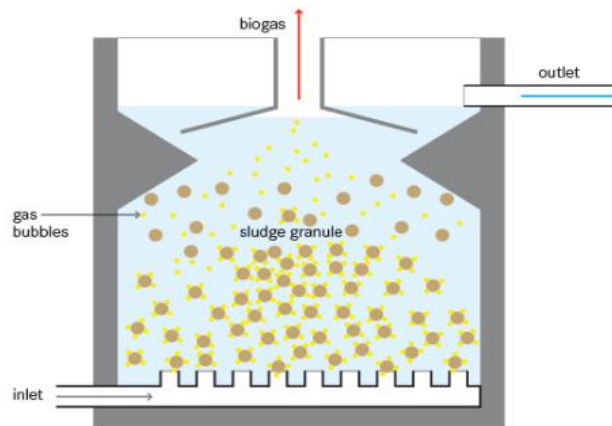
De UASB is de reactor die bij LWM Kruiningen gebruikt wordt. Deze reactor is in feite een grote tank waarin ook een slib-bed ligt die organisch materiaal afbreekt uit het influent. Door deze afbraak van organisch materiaal wordt er biogas geproduceerd. Aan de bovenkant van de UASB, boven het slib-bed, wordt er een gebied gecreëerd waar deeltjes biogas als gasbelletjes in het influent zitten.

⁷ Dit is een laag met de biomassa waar het influent langs zal stromen.

⁸ Sedimentatie is het bezinken of ophopen van sedimenten, in dit geval biomassa.

⁹ Met uitspoeling wordt er bedoeld dat er biomassa met het effluent mee kan stromen en dit is ongewenst.

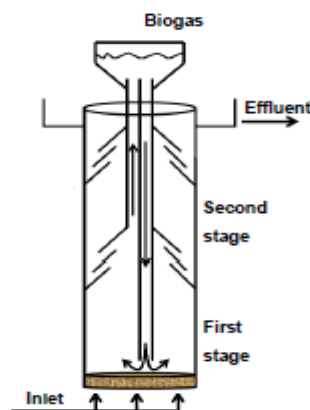
Dit gebied vormt zo een scheiding tussen het influent dat naar boven stroomt en het geproduceerde biogas (Tilley, Ulrich, Luethi, Reymond, & Zurbruegg, 2014). Een groot voordeel van de UASB is de slome productie van nieuw slib in de reactor (Jules B. van Lier, 2002). Dit nieuwe slib ontstaat in de vorm van korrels (korrelslib) en bezinkt naar de bodem van de UASB. Om de zoveel tijd zal er aan de onderkant een deel van het slib verwijderd moeten worden omdat anders de reactor verstopt kan raken. Dit korrelslib kan verkocht worden aan derden die ook gebruikmaken van een anaerobe zuivering of eventueel voor andere doeleinden. Een UASB werkt beter onder een mesofiel¹⁰ milieu (Gomez, 2011). De UASB wordt veelal gebruikt om afvalwater te zuiveren dat veel organisch materiaal bevat. Dit is ook de belangrijkste reden dat deze bij LWM gebruikt wordt. Het afvalwater van LWM bevat namelijk veel organisch materiaal. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de UASB:



Figuur 7: Schematische weergave UASB (Tilley, Ulrich, Luethi, Reymond, & Zurbruegg, 2014).

Expanded granular sludge bed (EGSB)

De EGSB is een modificatie van de UASB-reactor. De EGSB werkt met een hogere opwaartse snelheid en een hogere laadsnelheid dan een UASB. De EGSB heeft gewoonlijk een effluent recirculatie, wat het mixen van het influent bij de bodem van de reactor verbetert. Het slib in deze reactor zal zich meer uitzetten dan in de UASB waardoor er minder dode ruimtes ontstaan. De prestaties van een EGSB zijn ook goed bij een lagere temperatuur (4-20°C) (Jules B. van Lier, 2002) (Gomez, 2011). Het verwijderen van organisch materiaal is goed bij een hoog organische laadsnelheid maar de CZV-conversie tot biogas is minder dan 50%. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de EGSB:

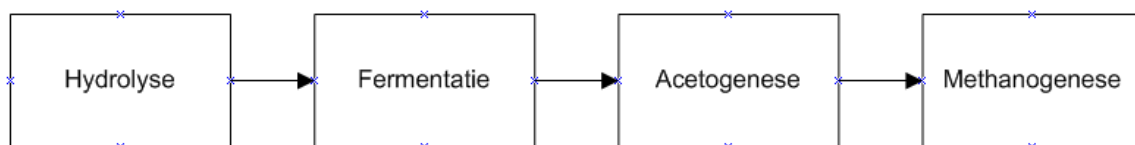


Figuur 8: Schematische weergave EGSB reactor (Gomez, 2011).

¹⁰ Een mesofiel milieu is een milieu die een temperatuur heeft van 20 tot ca. 45 °C. Er zal hier verder worden op in gegaan in de volgende paragraaf: Beïnvloedbare parameters.

Het anaerobe zuiveringsproces

Het anaerobe zuiveringsproces dat in de reactoren plaatsvindt, bestaat uit vier verschillende stappen: Hydrolyse, fermentatie, acetogenese en methanogenese (Kharagpur, 2012). De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de vier eerder genoemde stappen:



Figuur 9: Schematische weergave anaerobe zuiveringsproces.

De totale biologische omzetting is een complex proces waarbij een aantal verschillende micro-organismen met elkaar verbonden zijn. Iedere stap in figuur 9 heeft zo zijn eigen soort micro-organisme. Tussen de stappen moet een goed evenwicht zijn omdat het product van de ene stap, bijvoorbeeld van hydrolyse, een substraat is voor de volgende stap; in dit geval dus voor de fermentatie. Het aantal micro-organismen en de substraatconcentraties moeten daarom worden gehandhaafd (Kharagpur, 2012).

Hydrolyse

Hydrolyse is de eerste fase van het anaerobe zuiveringsproces. Tijdens deze fase worden complexe organische verbindingen, niet-opgeloste biopolymeren, omgezet in oplosbare stoffen zoals aminozuren en suikers. Fermentatieve micro-organismen nemen deze opgeloste stoffen door hun celwand en celmembraan op. Hierdoor worden er extracellulaire enzymen gevormd die van invloed zijn op de omzetting van het hydrolyseproces (Depuydt, 2007) (Lausund, 2014).

Fermentatie (Acidogenese)

Tijdens deze fase dienen de producten van de hydrolyse als substraat voor de fermentatie. Het substraat zal dan, door middel van de acidogenese micro-organismen, worden omgezet in vrije vetzuren (bijvoorbeeld azijnzuur), alcohol, koolstofdioxide en waterstof. De bijproducten die hierbij eventueel kunnen ontstaan zijn ammonium en waterstofsulfide (Zehnder, 1983). Het gevormde waterstof en de vrije vetzuren, die in deze fase zijn geproduceerd, zullen uiteindelijk tijdens de laatste stap gebruikt worden om methaan te vormen. De andere producten zullen in de volgende fase eerst nog een andere processtap ondergaan (Lausund, 2014).

Acetogenese

De volgende stap van de anaerobe zuivering is de acetogenese. In deze fase zullen de producten van de acidogenese, op de vrije vetzuren en waterstof na, worden omgezet in vrije vetzuren, koolstofdioxide en waterstof door middel van acetogenese micro-organismen. De vrije vetzuren en waterstof vormen het substraat voor de laatste fase, de methanogenese (Henze, 2008) (Lausund, 2014).

Methanogenese

De productie van methaangas zal pas plaatsvinden wanneer vrijwel al het organisch materiaal dat omgezet kan worden, is omgezet in vrije verzuren en waterstof. De andere bijproducten, zoals koolstofdioxide, worden in deze fase niet meer omgezet.

Er zijn twee substraten waaruit het methaangas gevormd kan worden, namelijk vrije vetzuren en waterstof. Er zijn dus ook twee verschillende methanogenese micro-organismen: één voor de vrije vetzuren en de andere voor waterstof. In totaal wordt 70% van het methaangas gevormd door de micro-organismen die de vrije vetzuren als substraat gebruiken. De reden hiervan is de beperkte hoeveelheid waterstof dat tijdens de vergisting is ontstaan. De methaangasproductie is dus het meest afhankelijk van de vrije vetzuren (Lausund, 2014).

Voor een optimaal verloop van de biogasproductie in de reactoren, en dus van de verschillende fasen, zijn verschillende parameters belangrijk. Deze parameters zullen in de volgende paragraaf behandeld worden.

2.2 Beïnvloedbare parameters

Er zijn verschillende parameters die invloed hebben op de hoeveelheid biogas dat geproduceerd kan worden tijdens de anaerobe zuivering. De volgende parameters hebben een invloed op de biogasproductie:

- De temperatuur;
- De zuurgraad;
- De organische droge stofbelasting;
- De verblijftijd;
- Proces remmende stoffen;
- Aanwezigheid van onopgeloste vetten.

Elke parameter zal verder toegelicht worden.

De temperatuur

De temperatuur heeft een grote invloed op het anaerobe proces. De temperatuur beïnvloedt zowel de snelheid van het proces als de mate van afbraak van het organisch materiaal dat aanwezig is in het influent. Het effect van de temperatuur wordt voornamelijk bepaald door verschillende fysische, chemische en biologische processen die plaatsvinden in de reactor. Bij een hogere temperatuur zal het proces sneller verlopen waardoor er meer biogas vrijkomt in eenzelfde tijd. De totale hoeveelheid van het biogas dat vrijkomt, blijft echter wel gelijk (Abdullah Yasar, 2009).

Afhankelijk van de temperatuur zijn er drie verschillende gistingsprocessen te onderscheiden (Depuydt, 2007):

- Het psychrofile gistingsproces, van 0 tot ca. 20 °C;
- Het mesofiele gistingsproces, van 20 tot ca. 45 °C;
- Het thermofiele gistingsproces, van 45 tot ca. 70 °C.

Over het algemeen wordt het mesofiele gistingsproces in de industrie toegepast (Depuydt, 2007). Zo ook bij LWM in Kruiningen. Een mesofiel proces is namelijk minder gevoelig voor verstoringen.

Het mesofiele proces kan slecht tegen temperatuurschommelingen; dit kan namelijk leiden tot afsterving van de methanogenese micro-organismen en een afname van activiteit van deze bacteriën. Dit laatste gebeurt door afkoeling en is een omkeerbaar proces (Depuydt, 2007). De temperatuur van het influent zal om bovenstaande redenen ook constant gehouden moeten worden wat extra energie kost. De ideale temperatuur voor het mesofiele gistingsproces is 35 °C tot 37 °C (Gooch) (J.B. van Lier, 1997) (Kharagpur, 2012).

De zuurgraad

Het anaerobe zuiveringsproces bestaat, zoals eerder vermeld, uit verschillende stappen. Elke van deze stappen hebben eigen micro-organismen. In principe zijn er drie soorten micro-organismen die zorgen voor de productie van biogas. Deze verschillende micro-organismen werken het beste bij een bepaalde pH-waarde. Een daling van de pH-waarde kan bijvoorbeeld leiden tot een verminderde consumptie van waterstof tijdens het vergistingsproces wat kan leiden tot verstoring in dit vergistingsproces. Wanneer de pH steeds verder daalt, is de kans groter dat de methaanvorming stil zal gaan liggen. Als dit gebeurt, spreekt men over een verzuurde reactor (Depuydt, 2007).

Over het algemeen moet de pH altijd hoger zijn dan 6,5 en kleiner dan 8,0 (Abdullah Yasar, 2009) (Depuydt, 2007) (Gomez, 2011), pH-waarde onder of boven deze waarde zullen leiden tot een verminderde gasproductiesnelheid. Het is dus belangrijk de pH van het influent zo constant mogelijk te houden voordat het de reactoren ingaat.

De organische droge stofbelasting

De organische stofbelasting geeft het aantal te voeden kilogrammen droge organische stof per kubieke meter vergistingsvolume per dag weer (L. Zhou, 2007). Deze belasting is een belangrijke operationele factor voor de reactor. Wanneer deze bijvoorbeeld te hoog is, kan er potentieel biogas, dat nog in het effluent zit, uitspoelen uit de reactor wat gezien kan worden als energieverlies. Wanneer de organische droge stofbelasting te laag is, kan dit leiden tot een mindere omzetting van de organische stoffen naar biogas. Bovendien zullen grotere reactoren oneconomisch worden omdat deze te weinig biogas zullen produceren. Om deze redenen zal er een optimale belastinggraad vastgesteld moeten worden (Anaerobic digestion process parameters).

De verblijftijd

De verblijftijd, of hydraulische verblijftijd, is net als de organische droge stofbelasting een operationele factor voor de reactor. De hydraulische verblijftijd beschrijft de theoretische periode dat het influent in de reactor aanwezig is en waarbij de micro-organismen biogas blijven produceren uit het influent (Bachmann, 2015). Wanneer deze tijd te kort is, zal dit leiden tot incomplete vergisting¹¹ wat leidt tot een mindere biogasproductie.

In het ergste geval kan er zelf uitspoeling van biomassa voorkomen wat leidt tot een complete biologische verstoring van het vergistingsproces (Bachmann, 2015). Wanneer de verblijftijd te groot is, leidt dit tot een te lage biogasproductie. Hierdoor wordt de warmtebehoefte van de reactor groter dan de calorische waarde van het geproduceerde biogas, wat dus als energieverlies beschouwd kan worden (Depuydt, 2007).

¹¹ Met incomplete vergisting wordt bedoeld dat er nog potentieel biogas aanwezig is in het effluent van de reactor.

De verblijftijd kan met de volgende formule bepaald worden (Gomez, 2011):

$$HRT [d] = \frac{V_{reactor} [m^3]}{Q_{influent} [\frac{m^3}{d}]} \quad [2]$$

Uit de bovenstaande formule is af te leiden dat de verblijftijd afhankelijk is van het volume van de reactor en het debiet van het influent. Mocht nu bijvoorbeeld de verblijftijd te groot zijn, dan zal óf het volume van de reactor verkleind moeten worden, óf het debiet van het influent verhoogd moeten worden.

Proces remmende stoffen

Onder proces remmende stoffen worden alle stoffen verstaan die een negatieve invloed kunnen hebben op het anaerobe vergistingsproces. Deze stoffen remmen het vergistingsproces dusdanig af, dat de biogasproductie zal afnemen. (Depuydt, 2007). De volgende stoffen hebben, bij een te hoge concentratie, een remmende werking op het anaerobe vergistingsproces en blijven in de biomassa van de reactor achter (T.Z.D. de Mes, 2003) (Jules B. van Lier, 2002):

- Vrije vetzuren;
- Ammonia;
- Kationen¹² zoals Na⁺, K⁺ en Ca⁺⁺;
- Zware metalen;
- Sulfiden;
- Xenobiotica¹³.

Een instabiele reactor is doorgaans te herkennen aan een duidelijke en snelle toename van vrije vetzuren in het effluent van de reactor. Dit geeft een indicatie dat er een probleem optreedt tijdens de methanogenese omdat hier normaal gesproken vrijwel alle vrije vetzuren worden omgezet in methaangas. De vrije vetzuur concentratie in de reactor moet op elk moment onder de 500 milligram per één liter effluent blijven, het liefst zelfs onder de 200 milligram per liter effluent voor een optimaal verloop (Kharagpur, 2012). Een te hoge concentratie van ammonia geeft als gevolg een te hoge productie van vrije verzuren in de reactor en leidt dus tot het bovenstaande probleem (Kharagpur, 2012). Omgekeerd, als de concentratie van de vrije vetzuren te hoog is, kan een te hoge concentratie van ammonia een oorzaak hiervan zijn.

Aanwezigheid van onopgeloste vetten

Wanneer er in het influent dat naar de reactor gaat onopgelost vet aanwezig is, heeft dit nadelige effecten. Ten eerste kan het gevormde korrelslib hierdoor niet meer bezinken en plakt door het onopgeloste vet als het ware aan elkaar. Hierdoor is de kans op uitspoeling van dit korrelslib veel groter omdat het wordt meegenomen in het effluent door het onopgeloste vet (McPhail, 2015). In de UASB-reactor kan dit leiden tot verstoppingen bovenin wat op den duur de gehele anaerobe zuivering kan stopzetten. Ten tweede heeft het een remmende werking op de acetogenese en methagonese micro-organismen (McPhail, 2015). Dit zal weer leiden tot een te hoge vrije vetzuur concentratie wat weer andere problemen kan geven die hier eerder zijn uitgelegd.

¹² Kation is een ander woord voor een positief geladen ion.

¹³ Een substraat dat vreemd zijn voor een ecosysteem, in dit geval voor de micro-organismen tijdens de anaerobe vergisting.

3. Onderzoeksmethode

In dit hoofdstuk zal de methode worden toegelicht die is gebruikt om conclusies en aanbevelingen te formuleren.

Er is eerst een relatie gelegd met de gevonden theorie (theoretisch kader) en de praktijk bij LWM. Zo kon er namelijk voorhand bepaald worden waar een bepaalde parameter eventueel gemeten kon worden. Daarnaast is er uit het theoretische kader bekend welke parameters een invloed kunnen hebben op de biogasproductie. Van deze parameters zijn de volgende verder onderzocht:

- De pH van het influent voorzuivering en anaerobe zuivering;
- De Temperatuur van het influent voorzuivering en anaerobe zuivering;
- Onopgelost vet in het influent anaerobe zuivering.

Van deze parameters is er bekeken welke er voldeed en welke niet voldeed aan de in het theoretisch kader vastgelegde, minimale optimale eisen. Dit is gedaan door verschillende metingen uit te voeren op de voorzuivering en anaerobe zuivering en deze te vergelijken met deze eisen. Er zal per parameter worden toegelicht hoe deze na de metingen verder is onderzocht.

De pH van het influent voorzuivering en anaerobe zuivering.

De pH werd op meerdere plaatsen van het voorzuiveringsproces en anaerobe zuivering gemeten. De pH werd als het ware per deelproces gevolgd door het gehele voorzuiveringsproces tot aan de anaerobe zuivering. Er is bepaald of de pH tijdens week 45 en 46 voldeed aan de gestelde eisen en of er eventuele verstoringen zijn opgetreden tijdens deze weken. Toen bekend was of de pH wel of niet voldeed aan de gestelde eisen en of er wel of geen verstoringen opgetreden waren, is er met behulp van verdere literatuurstudie onderzocht hoe de pH van het influent dat naar de reactoren gaat, beïnvloed kon worden om zo te voldoen aan de gestelde eisen en om eventuele verstoringen te voorkomen.

De temperatuur van het influent voorzuivering en anaerobe zuivering.

De temperatuur is, net als de pH, op meerdere plaatsen van het voorzuiveringsproces en anaerobe zuivering gemeten. Ook de temperatuur werd als het ware per deelproces gevolgd door het gehele voorzuiveringsproces. Er is bepaald of de temperatuur tijdens week 45 en 46 voldeed aan de gestelde eisen en of er eventuele verstoringen zijn opgetreden tijdens deze weken. Toen bekend was of de temperatuur wel of niet voldeed aan de gestelde eisen en of er wel of geen verstoringen opgetreden waren, is er met behulp van berekeningen onderzocht of er een tekort aan vermogen, in de vorm van warmte, was bij de mengtank en hoe groot dit tekort aan vermogen was. Toen bekend was of er een tekort aan vermogen is, is er verder onderzocht, door middel van berekeningen en verdere literatuuronderzoek, hoe dit eventueel opgelost kon worden. De berekeningen die gemaakt zijn, zijn verwerkt in MS Excel zodat beïnvloedbare parameters aangepast kunnen worden.

Onopgelost vet in het influent anaerobe zuivering.

Tijdens de metingen die verricht zijn in week 45 en 46 is er optisch bekeken of er te veel vet aanwezig was in de UASB-reactoren. Toen bekend was of er te veel vet aanwezig was, is er onderzocht wat hiervan de oorzaken konden zijn door procesanalyse, verdere literatuurstudie en metingen. Deze procesanalyse is met behulp van het softwareprogramma FactoryTalk gemaakt.

Uit de verdere literatuurstudie kwamen andere parameters naar voren die invloed konden hebben op het vetverwijderingsrendement van de DAF-units; deze zijn verder onderzocht door metingen.

Toen de oorzaken eenmaal bekend waren, is er vastgelegd of de vermindering van biomassa leidt tot een verminderde biogasproductie. Dit is gedaan door middel van procesanalyses in het softwareprogramma FactoryTalk en door verbanden te leggen tussen de praktijk en het theoretisch kader.

De volgende tabel geeft een overzicht van alle metingen die gedaan zijn gedurende week 45 en 46 op de voorzuivering en anaerobe zuivering.

Tabel 1: Overzicht metingen.

Plaats	Parameter	
	Zuurgraad	Temperatuur
DAF unit "1" en "2"		
DAF "1" en "2" influent	Niet gemeten	Wel gemeten
DAF "1" en "2" effluent	Niet gemeten	Wel gemeten
Zeefbochten		
Influent zeefbochten	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent zeefbochten	Wel gemeten	Wel gemeten
Voorbezinktank "1"		
Influent voorbezinktank "1"	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent voorbezinktank "1"	Wel gemeten	Wel gemeten
Voorbezinktank "2"		
Influent voorbezinktank "2"	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent voorbezinktank "2"	Wel gemeten	Wel gemeten
Grijs zetmeel decanter		
Influent decanter	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent decanter	Wel gemeten	Wel gemeten
Anaerobe zuivering		
Mengtank	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent reactor "2"	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent reactor "3"	Wel gemeten	Wel gemeten
Effluent reactor "4"	Wel gemeten	Wel gemeten

4. Resultaten

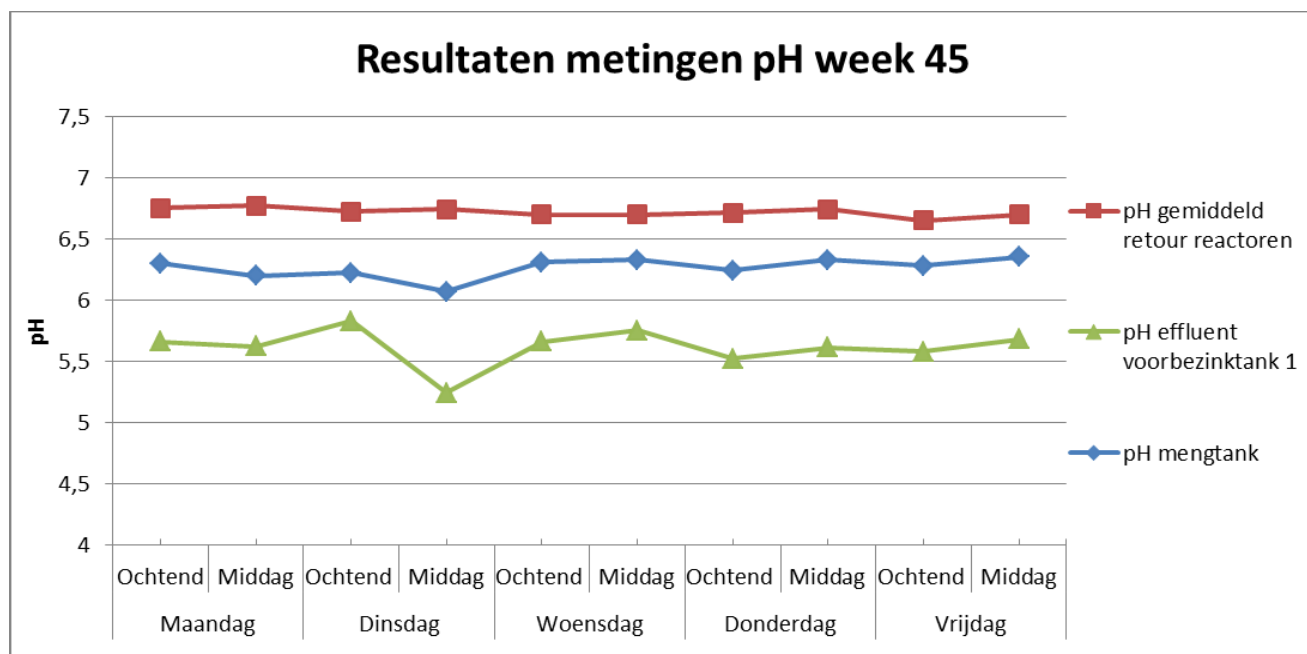
In dit hoofdstuk zullen de resultaten van het onderzoek worden samengevat en worden toegelicht. Deze resultaten zijn op basis van metingen, verdere literatuuronderzoek, interviews, waarnemingen, procesanalyses en berekeningen. Omdat er verschillende parameters zijn die de biogasproductie kunnen beïnvloeden is dit hoofdstuk onderverdeeld in meerdere paragrafen. Elke paragraaf zal de resultaten weergeven van de desbetreffende parameter.

4.1 De pH van het influent naar de UASB-reactoren

De pH is op meerdere plaatsen gemeten in de voorzuivering en de anaerobe zuivering. Er is gemeten in week 45 en in week 46. Week 45 is de week voor het schoonmaakweekend en week 46 de week na het schoonmaakweekend. Dit is bewust zo gedaan om te kijken of er hier nog een verschil in kon zitten.

4.1.1 Metingen pH week 45

De volgende grafiek laat de uitkomsten zien van de belangrijkste pH-metingen in week 45:



Figuur 10: Resultaten metingen pH week 45.

In de bovenstaande figuur zijn de resultaten weergegeven van de pH in de mengtank, van het effluent van voorbezinktank "1" en van de gemiddelde pH die afkomstig is van het retour van de verschillende reactoren. Er zijn meerdere metingen gedaan op de voorzuivering, echter wordt de pH in de mengtank voor het grootste deel beïnvloed door de twee eerder genoemde stromen.

Uit figuur 10 is af te leiden dat de pH in de mengtank in week 45 redelijk constant is gebleven. De pH in de mengtank wordt zowel door de pH van het effluent van voorbezinktank "1" als de gemiddelde pH van het retour van de reactoren beïnvloed.

Van dinsdagochtend naar de middag is een groter pH verschil te zien in het effluent van voorbezinktank "1" in vergelijking met de andere metingen. Echter, het effect hiervan op de pH in mengtank is gering.

Verder is uit de grafiek af te leiden dat de pH in de mengtank de pH van het effluent van voorbezinktank "1" volgt. Hiermee wordt bedoeld dat wanneer de pH van het effluent bijvoorbeeld daalt, de pH in de mengtank dit ook zal doen.

De pH van het influent dat naar de reactoren gaat, zou moeten voldoen aan de opgestelde eisen die voorafgaand zijn opgesteld in het theoretisch kader. De pH van de mengtank zou altijd hoger dan 6,5 moeten zijn voor een optimaal verloop. Uit figuur 10 is af te lezen dat deze pH tijdens week 45 geen één keer is bereikt. Uit de metingen die zijn verricht aan het afvalwater in de niet-vethoudende waterput, wat in feite het afvalwater uit de fabriek is, blijkt dat dit afvalwater ook in deze week geen hogere pH-waarde heeft dan 6,5.

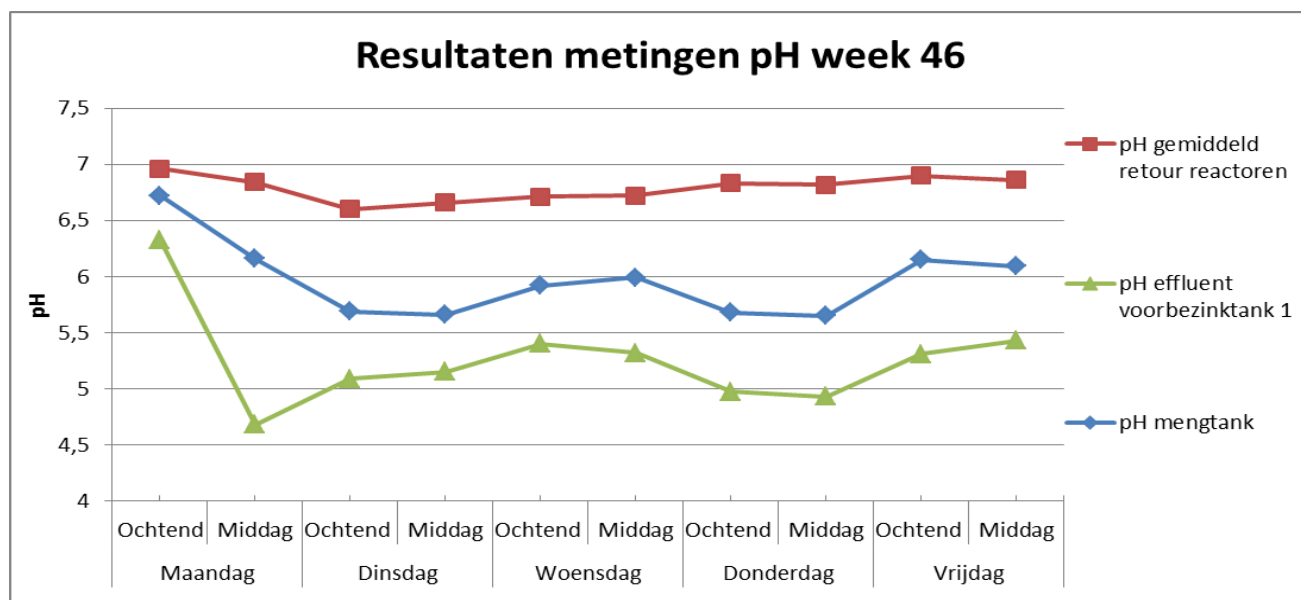
Tabel 2: Overzicht metingen niet-vethoudende waterput.

Dag	pH
Maandag	5,15
Dinsdag	5,02
Woensdag	5,26
Donderdag	5,12
Vrijdag	5,19

De metingen die zijn gedaan zijn afkomstig van 24-uurs monsters. Deze werden elke ochtend gemeten op ongeveer hetzelfde tijdstip. Uit deze metingen blijkt dat de pH van de niet-vethoudende waterput in week 45 niet de gewenste 6,5 heeft bereikt.

4.1.2 Metingen pH week 46

In week 46 zijn dezelfde metingen uitgevoerd als in week 45. De volgende grafiek laat de belangrijkste pH-metingen zien van week 46:



Figuur 11: Resultaten metingen pH week 46.

Uit figuur 11 is af te leiden dat in deze week de pH aan het begin van de week hoger is dan de rest van de week. Dit komt door het schoonmaakweekend voorafgaand aan deze week. Tijdens deze schoonmaak wordt er veel gebruikgemaakt van allerlei schoonmaakmiddelen die een hogere pH-waarde hebben.

Ook staat de fabriek stil tijdens dit schoonmaakweekend en er is dan geen aanvoer van afvalwater (normaalgesproken afkomstig uit de fabriek) naar de waterzuivering toe. Maandagochtend werd de fabriek opgestart en dit verklaart deels de pH-daling van maandagochtend op maandagmiddag van het effluent van voorbezinktank "1". Daarnaast was maandagochtend de zetmeeldecanner uit bedrijf. Deze zetmeeldecanner haalt grijs zetmeel uit het afvalwater zoals eerder beschreven in het theoretische kader. Grijs zetmeel heeft een pH van ongeveer 4 (Depuydt, 2007) en wanneer dit niet wordt verwijderd, zal dit leiden tot een grotere pH-daling in het effluent van voorbezinktank "1". Dit verklaart de pH-daling op maandag.

Door de beschreven pH-daling in het effluent van de voorbezinktank "1" werd de pH in de mengtank ook lager. Deze werd echter nog deels in stand gehouden door de hogere gemiddelde pH van het retour van de reactoren.

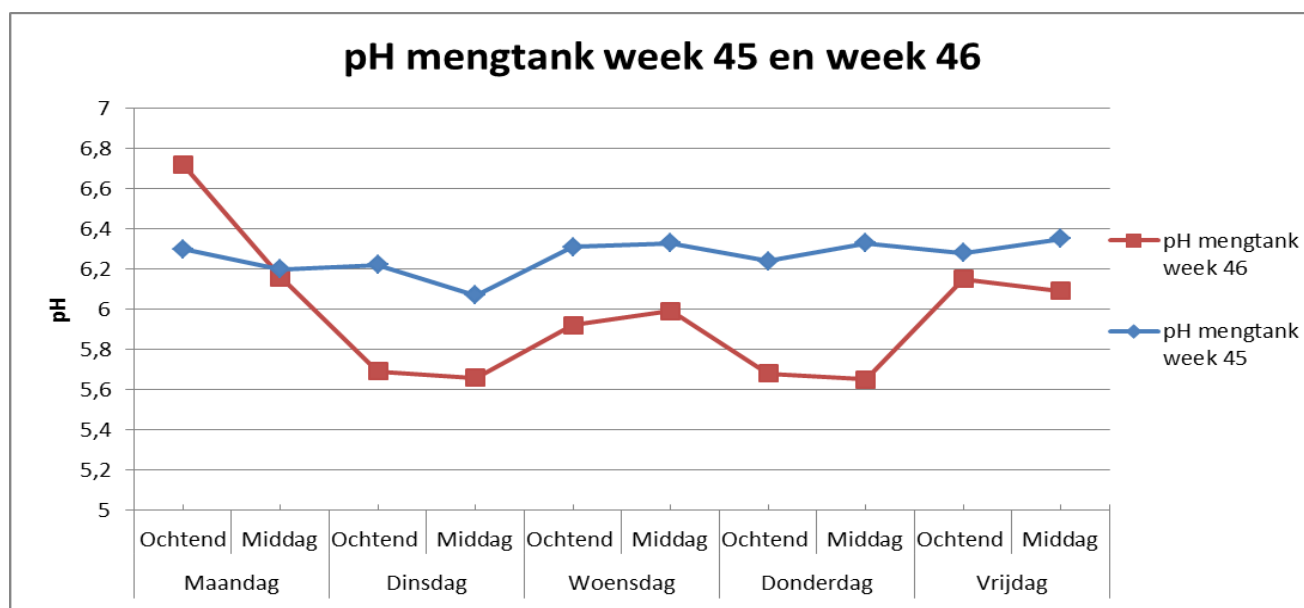
Ook in week 46 zijn er 24-uurs monsters genomen van waterput drie om te bekijken of de pH in deze week hier een waarde van 6,5 heeft bereikt.

Tabel 3: Overzicht metingen niet-vethoudende waterput.

Dag	pH
Dinsdag	4,81
Woensdag	5,05
Donderdag	4,85
Vrijdag	5,11

In tabel 3 zijn maar vier metingen opgenomen. Dit komt doordat de monsternamen uit stond tijdens het schoonmaakweekend en pas in de loop van maandag werd aangezet. Vanaf dinsdagochtend is de pH elke ochtend van de 24-uur monsters gemeten. Ook uit deze metingen blijkt, dat in week 46 de pH van waterput drie de gewenste waarde van 6,5 niet heeft bereikt.

Verder is er een vergelijking gemaakt tussen de pH van de mengtank in week 45 en week 46. Dit is gedaan om na te gaan of het verdere verloop van de pH in de mengtank in week 46 hetzelfde verloopt als in week 45. De volgende grafiek geeft de pH in mengtank weer van week 45 en week 46:



Figuur 12: pH mengtank week 45 en 46.

Uit de grafiek in figuur 12 is af te leiden dat het verloop van de pH in de mengtank in week 46 anders is dan die in week 45. De eerste metingen zijn hiervoor al toegelicht. Na de desbetreffende daling aan het begin van de week, wil de pH in de mengtank zich weer gaan stabiliseren in het verdere verloop van week 46. Echter, van woensdagmiddag op donderdagochtend zakt de pH weer plotseling naar een lagere waarde. Dit komt doordat er op woensdagnacht een verstoring was op de vlokkenlijn.

Door deze verstoring kwam er meer afvalwater, afkomstig van de vlokkenlijn, naar de waterzuivering. Het afvalwater van de vlokkenlijn is ten opzichte van andere afvalstromen zuurder (Kort, 2015). Deze verstoring leidde uiteindelijk tot een pH-daling in de mengtank later op de dag (donderdagochtend). De verstoring was tevens ook optisch waar te nemen omdat het afvalwater van de vlokkenlijn zich kenmerkt door een witte schuimlaag (Eijk, 2016). Deze schuimlaag was goed waar te nemen in onder andere voorbezinktank "1":



Figuur 13: Witte schuimlaag afkomstig van de vlokkenlijn in voorbezinktank "1".

Wanneer deze verstoring niet was opgetreden, was waarschijnlijk de pH op donderdag verder opgelopen en zo ook op vrijdag. Uit de praktijk blijkt dat de pH in de mengtank zich normaalgesproken na maandag gedurende de week zich zal herstellen en hetzelfde gedrag zal gaan vertonen als in week 45 (Eijk, 2016) (Ertem, 2016).

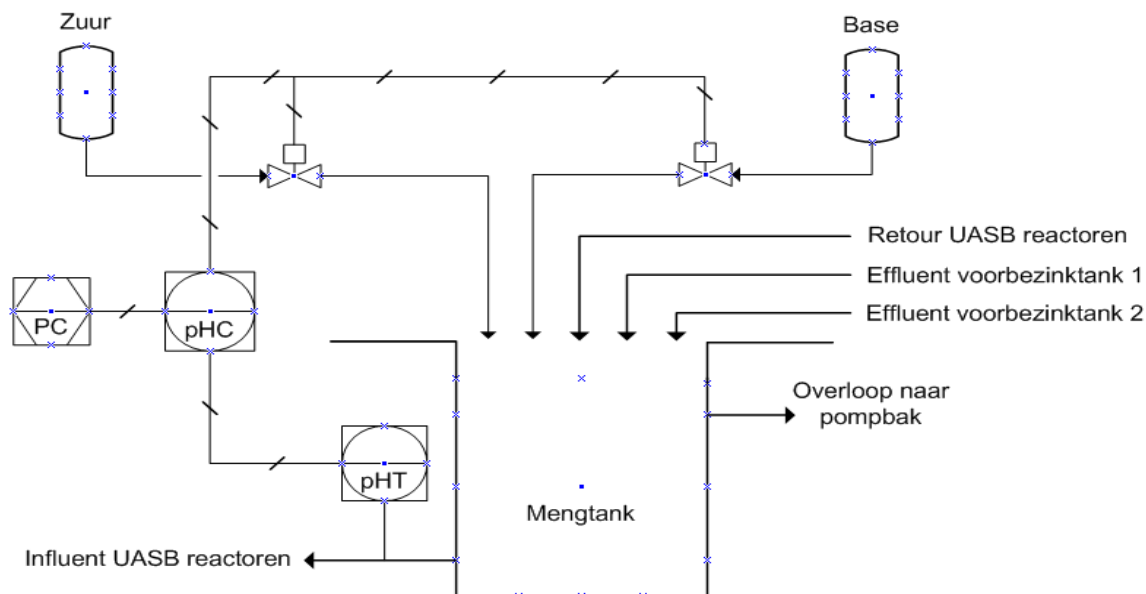
4.1.3 pH regeling influent UASB-reactoren

Om de gewenste minimale pH te verkrijgen en te behouden in de mengtank, is er verdere literatuurstudie uitgevoerd om duidelijk te krijgen wat hiervoor een oplossing zou kunnen zijn. In deze paragraaf zal deze literatuurstudie worden samengevat.

De pH in de mengtank kan worden geregeld door een pH-regelaar die gebruikmaakt van een zuur en een base. Wanneer de mengtank een te lage pH heeft, zal deze regelaar een base toevoegen in de mengtank en andersom, wanneer de pH te hoog is, zal deze regelaar een zuur toevoegen in de mengtank. Zolang het afvalwater in de mengtank geen grote pH-buffer¹⁴ heeft, zal de pH goed te beïnvloeden zijn en zo dus goed regelbaar zijn (Aldo Pardo Garcia, 2005).

¹⁴ Een pH buffer is een waterige oplossing van twee stoffen die zich in een bepaald evenwicht bevinden en een bepaalde pH waarde aannemen. Bij verdunning, toevoeging van een zuur of base zal deze pH nagenoeg constant blijven.

De volgende afbeelding geeft een mogelijke pH-regeling die toegepast kan worden bij de mengtank:



Figuur 14: Mogelijke pH regeling voor de mengtank.

De pH-regeling in figuur 14 zal werken met een zuur en een base. Voor het zuur kan zwavelzuur gebruikt worden en voor de base kan natronloog gebruikt worden. Beide stoffen zullen de pH beïnvloeden en geen negatieve invloeden hebben op de micro-organismen in de reactoren. (Aldo Pardo Garcia, 2005) (RE Moosbrugger, 1993). In figuur 14 is te zien dat de pH van het influent naar de UASB-reactoren constant gemeten wordt.

De pH-transmitter zal, op basis van de meting, een signaal doorgeven aan een pH controller. Deze pH-controller zal, op basis van het signaal dat de transmitter geeft, geen of één afsluiter openen en werkt dus als een pulsregelaar. Wanneer de pH van het influent het setpoint heeft bereikt, zullen beide afsluiters gesloten zijn. Mocht de pH van het influent lager zijn dan het setpoint dan zal de afsluiter van de base geopend worden totdat het setpoint bereikt wordt.

Mocht de pH van het influent hoger zijn dan het setpoint dan zal de afsluiter van het zuur geopend worden totdat het setpoint bereikt wordt. Op deze manier kan de pH van het influent gehandhaafd worden.

Er zijn echter enkele parameters die invloed kunnen hebben op de mogelijke pH-regeling die zojuist beschreven is. Wanneer het afvalwater namelijk een hoge pH-buffer heeft zal de pH van dit afvalwater moeilijk te regelen zijn zoals eerder aangegeven. Andersom is het mogelijk dat dit afvalwater nauwelijks een pH-buffer heeft waardoor de pH te sterk zal variëren wanneer er een zuur of een base bij wordt gemengd. Hierdoor kan het regeltechnisch onmogelijk zijn om de pH op het setpoint te behouden. Als laatste kan de alkaliniteit¹⁵ van het afvalwater nog een invloed hebben op de mogelijke pH-regeling. Wanneer deze hoog is, zal bij menging van een sterk zuur, dit nauwelijks effect hebben op de pH van dit afvalwater (RE Moosbrugger, 1993).

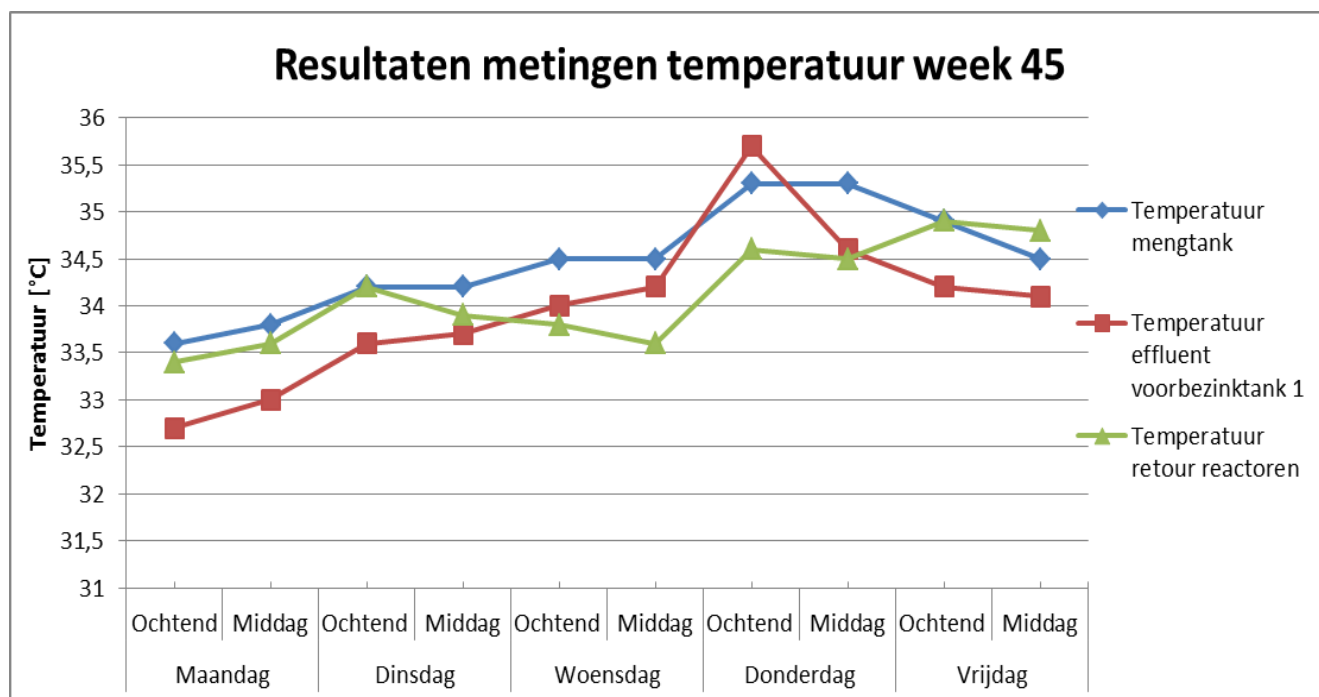
¹⁵ De alkaliniteit is een chemische eigenschap van het water. Het geeft aan hoeveel capaciteit het water heeft om zuren te neutraliseren.

4.2 De temperatuur van het influent naar de UASB-reactoren

De temperatuur is, net zoals de pH, op meerdere plaatsen gemeten in de voorzuivering en de anaerobe zuivering. Ook de temperatuur is in week 45 en week 46 gemeten om te bepalen of hier eventueel een verschil in kon zitten.

4.2.1 Metingen temperatuur week 45

De volgende grafiek laat de uitkomsten zien van de belangrijkste temperatuurmetingen in week 45:

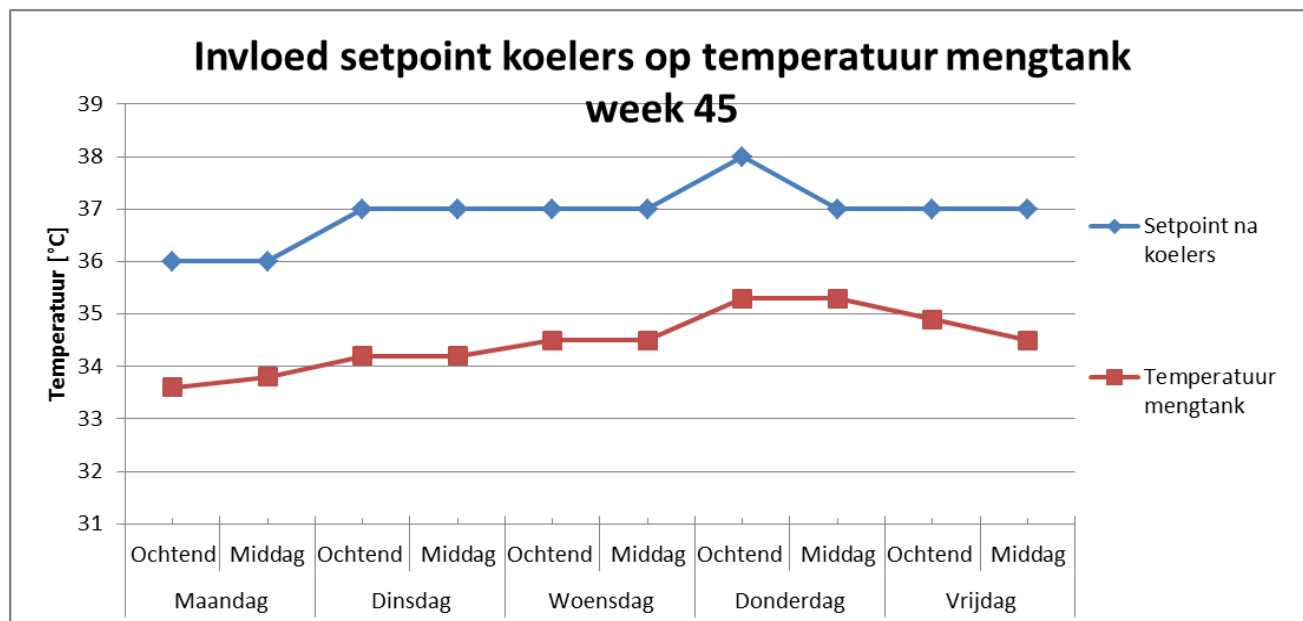


Figuur 15: Resultaten metingen temperatuur week 45.

In figuur 15 zijn de temperaturen van het effluent van voorbezinktank “1”, de mengtank en van het retour van de reactoren weergegeven. Ook zijn hier, net als bij de pH-metingen, meerdere metingen gedaan. Echter, de temperaturen van het effluent van voorbezinktank “1” en het retour van de reactoren hebben de meeste invloed op de temperatuur in de mengtank omdat beide stromen een vele male groter debiet hebben dan andere (ongeveer 220 m³/h tegenover 10-20 m³/h).

Op basis van de metingen in week 45 is te zien dat de temperatuur in de mengtank wordt beïnvloed door de temperatuur van het effluent van voorbezinktank “1”. De temperatuur van de reactoren is nagenoeg gelijk aan de temperatuur in de mengtank. Dit is te verklaren doordat er weinig warmteverlies is tijdens de anaerobe zuivering. Wanneer de temperatuur van voorbezinktank “1” toeneemt, zal de temperatuur in de mengtank toenemen en zo ook het retour van de reactoren. De temperatuur van het effluent van voorbezinktank “1” varieert in week 45. Dit kan een nadelig effect hebben op de micro-organisme in de reactoren zoals beschreven in het theoretische kader. Deze variatie in temperatuur is het gevolg van wijzigingen in het setpoint na de koeltorens in deze week.

De volgende afbeelding geeft een overzicht van de temperatuur in de mengtank en het setpoint na de koeltorens:



Figuur 16: Invloed setpoint koeltorens op temperatuur mengtank week 45.

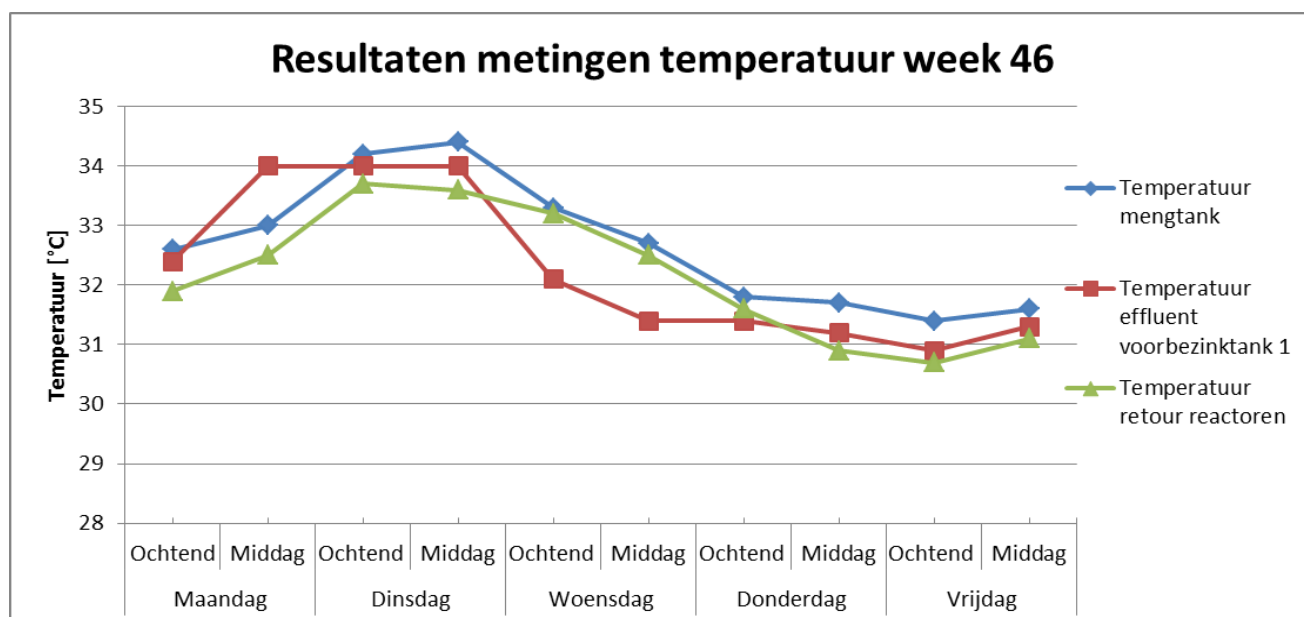
In figuur 16 is te zien dat wanneer het setpoint na de koeltorens verhoogd wordt, de temperatuur in de mengtank ook langzaam zal toenemen. In de loop van de week is steeds het setpoint verhoogd om na te kunnen gaan bij welk setpoint, de temperatuur in de mengtank, de optimale temperatuur van 35°C zou behalen. Dit gebeurde bij het setpoint na de koeltorens van 38°C en hierbij was, op het moment van meten, de temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1" gelijk aan 35,7 °C en in de mengtank gelijk aan 35,3 °C. De temperatuur van effluent van voorbezinktank "1" was echter zo hoog omdat op het moment van meten de koeltorens uitstonden. De koeltorens gingen, door de aanwezige PID -regeling van de koeltorens, kort na het meten weer aan. Hierdoor nam de temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1" in de loop van de dag langzaam af.

Bij een setpoint na de koeltorens van 38 °C werd de temperatuur in de mengtank geregeld door de huidige temperatuurregeling die hierin aanwezig is. Deze huidige temperatuurregeling zal later toegelicht worden.

Zoals eerder beschreven in het theoretisch kader worden er metingen gedaan om te bepalen hoe hoog het CZV is in de niet-vethoudende waterput, de mengtank en na de reactoren. Omdat het CZV in week 46 na de reactoren hoger was dan de gestelde eisen, moest het setpoint na de koeltorens zo laag mogelijk ingesteld worden. Dit setpoint is gelijk aan 33 °C omdat de capaciteit van de koeltorens te klein is om het afvalwater verder te kunnen koelen. In de loop van week 46 is het setpoint teruggezet op het setpoint van 33 °C na de koeltorens.

4.2.2 Metingen temperatuur week 46

In week 46 zijn dezelfde metingen uitgevoerd als in week 45. De volgende grafiek laat de belangrijkste temperatuurmetingen zien van week 46:



Figuur 17: Resultaten temperatuur metingen week 46.

Uit figuur 17 is af te leiden dat ook de temperatuur, net als de pH, in het begin van deze week beïnvloed is door het schoonmaakweekend. De temperatuur ligt namelijk in het begin van de week lager en neemt in de loop van de week weer toe. Het setpoint na de koeltorens was tot en met dinsdagmiddag nog 37 °C en werd hierna op 33 °C gezet, de reden hiervan is reeds uitgelegd. Het verlagen van dit setpoint is goed terug te zien in figuur 17 omdat na dinsdagmiddag zowel de temperatuur van het effluent van voorbezinktank “1”, de mengtank en het retour van de reactoren afneemt.

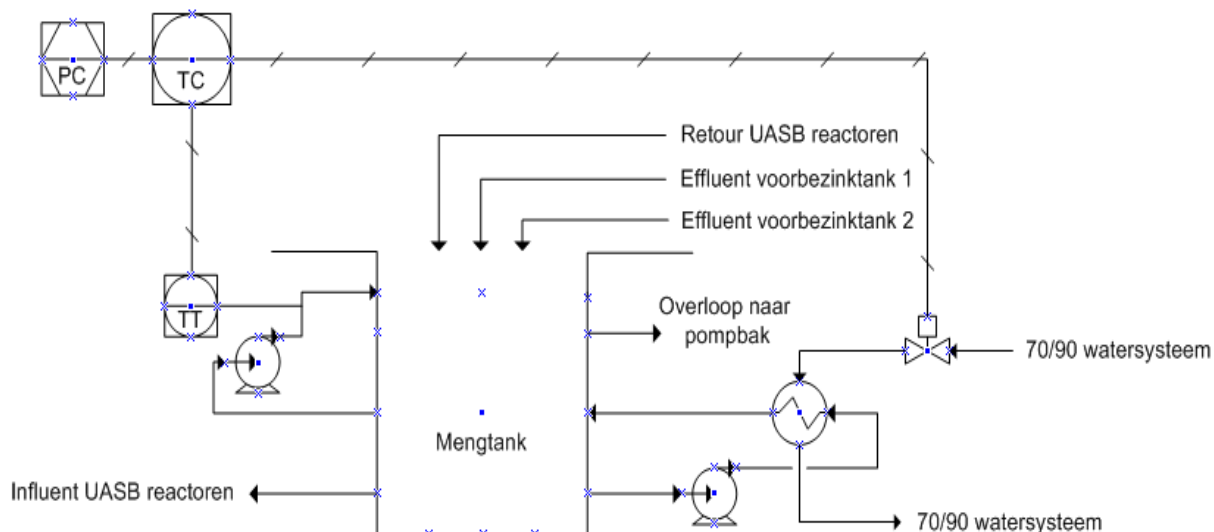
Ook tijdens deze week is op basis van de metingen te zien dat de temperatuur in de mengtank wordt beïnvloed door het effluent van voorbezinktank “1”. Verder is ook tijdens deze week de temperatuur van het retour van de reactoren nagenoeg gelijk aan de temperatuur van de mengtank. De verschillen tussen week 45 en week 46 zijn enkel de eerste dag na het schoonmaakweekend en het verlaagde setpoint na de koeltorens gedurende week 46.

Het setpoint van 33 °C na de koeltorens is na week 46 aangehouden en vervolgens is de temperatuur van zowel het effluent van voorbezinktank “1” als de mengtank nog een week gemeten zodat de gemiddelde temperatuur van beide bepaald kon worden. Uit deze metingen bleek de gemiddelde temperatuur van het effluent van voorbezinktank “1” gelijk te zijn aan 31,2 °C en de gemiddelde temperatuur van de mengtank gelijk aan 31,9 °C.

Er is bepaald wat de gemiddelde temperatuur was van het effluent van voorbezinktank “1” en de mengtank toen het setpoint na de koeltorens op 38 °C stond. De gemiddelde temperatuur van het effluent van voorbezinktank “1” bleek toen 34,8 °C te zijn en de gemiddelde temperatuur van de mengtank gelijk aan 35,1 °C. Verder was de maximale flow van het effluent van voorbezinktank “1” gelijk aan 220 m³/h. Met deze gegevens kon het tekort aan vermogen, in de vorm van warmte, berekend worden die de huidige temperatuurregeling heeft in de mengtank. De berekening wordt toegelicht in bijlage V.

4.2.3 Huidige temperatuurregeling mengtank

De volgende afbeelding geeft een schematische weergave van de huidige temperatuurregeling van de mengtank:



Figuur 18: Schematische weergave huidige temperatuurregeling mengtank.

In figuur 18 is te zien dat de temperatuur continu gemeten wordt in een aparte leiding. In deze leiding circuleert het water van de mengtank met behulp van een centrifugaalpomp. De temperatuur wordt in deze leiding gemeten. De transmitter zal op basis van de meting een signaal sturen naar een controller. Deze controller zal op basis van dit signaal en het setpoint van de mengtank¹⁶, een regelklep meer open of dicht sturen. De controller werkt op basis van een PID-regeling. Bij een bepaald signaal van de transmitter en het setpoint van de mengtank, zal de controller bepalen op hoeveel procent de klep open moet staan.

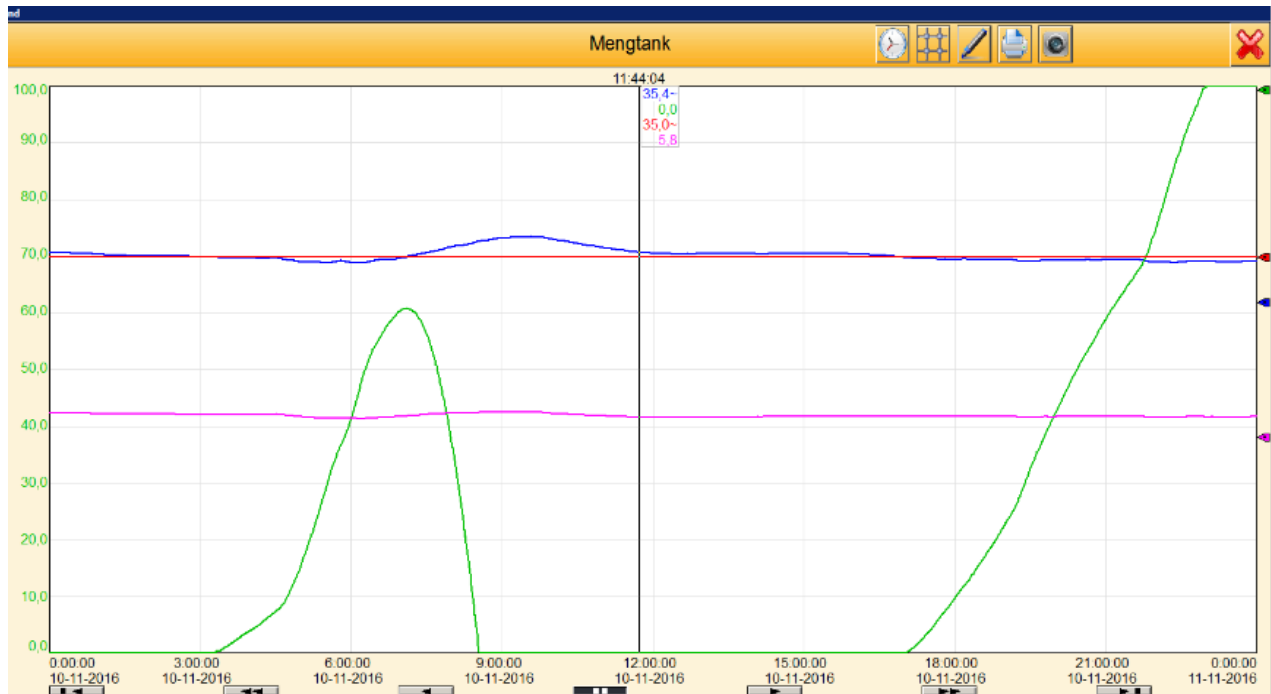
De warmte van het 70/90 watersysteem wordt gebruikt om een hoeveelheid vermogen, in de vorm van warmte, af te geven in een warmtewisselaar. Het water uit de mengtank zal worden verwarmd door deze warmtewisselaar. De specificaties van deze warmtewisselaar ontbreken in het dossier van LWM. Er is berekend dat de warmtewisselaar ten minste een vermogen van 315 kW¹⁷ moet hebben, deze berekening wordt toegelicht in bijlage V.

Tijdens de metingen in week 45 en week 46 is het setpoint na de koeltorens een aantal keer gewijzigd. Dit had invloed op de, in figuur 18 beschreven, temperatuurregeling.

¹⁶ Het setpoint van de mengtank is ingesteld op 35 °C.

¹⁷ Berekend op basis van meetgegevens: Flow door warmtewisselaar, medium door de warmtewisselaar en temperatuurverschil over de warmtewisselaar.

De volgende afbeelding geeft weer hoe de temperatuurregeling van de mengtank reageerde in week 45 toen het setpoint na de koeltorens op 38 °C stond:



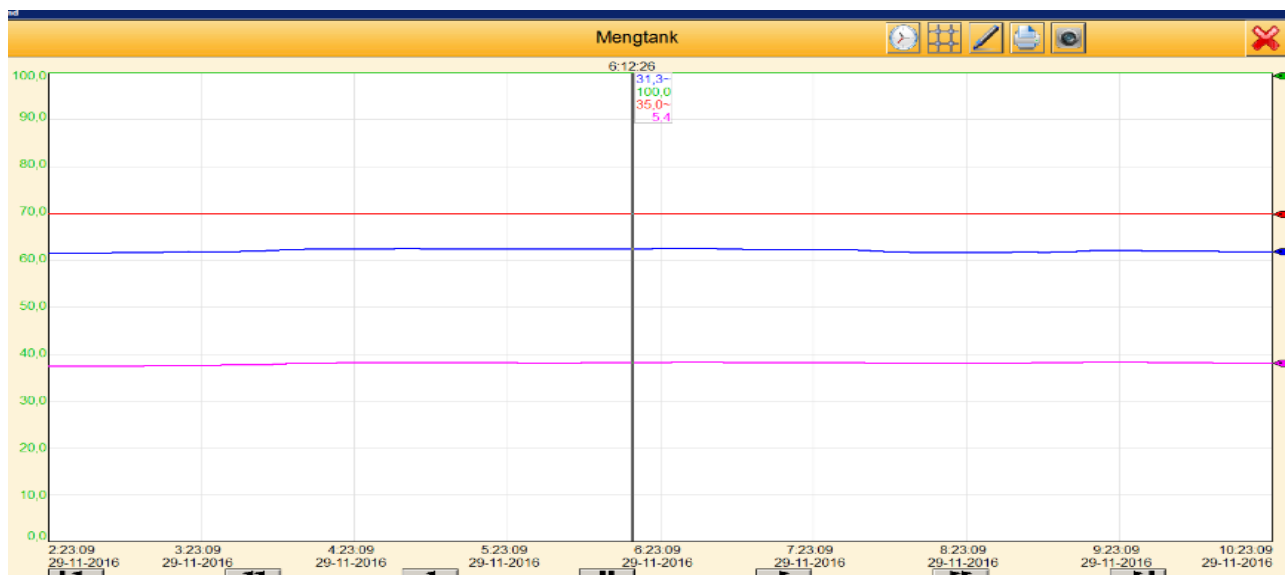
Figuur 19: Gedrag huidige temperatuurregeling mengtank in week 45 bij een setpoint van 38 °C na de koeltorens.

In figuur 19 stelt de groene lijn de klepstand voor van de regelklep van 0% (gesloten) tot 100% (open). De blauwe lijn stelt de temperatuur voor in de mengtank en de rode lijn is het setpoint voor de temperatuurregeling van de mengtank. In figuur 19 is te zien dat wanneer de temperatuur boven het setpoint komt, de klep verder dicht zal gaan; dit gebeurt rond 9:00 uur. Wanneer de temperatuur onder het setpoint komt, rond 18:00 uur, is te zien dat de klep verder open gaat. Bij een setpoint na de koeltorens van 38 °C kan de huidige temperatuurregeling van de mengtank de temperatuur van het water in de mengtank op het setpoint van 35 °C behouden.

Figuur 19 geeft echter een dag weer waarbij de gemiddelde buitentemperatuur gelijk was aan 4°C en een gemiddelde windsnelheid van 2,3 m/s (KNMI). Het warmteverlies van de mengtank is afhankelijk van deze parameters. Er is berekend hoe groot de warmteverliezen van de mengtank zijn wanneer het water in de mengtank 35 °C is. In deze berekening zijn aannamen gedaan. Deze aannamen zijn worst-case scenario's condities. Zowel de berekening als de aannamen worden toegelicht in bijlage V.

Met de opgestelde aannamen, die opgenomen zijn in de bijlage, is er berekend dat het warmteverlies van de mengtank 296,8 kW zal zijn. Het vermogen van de huidige warmtewisselaar heeft, zoals eerder vermeld, een vermogen van ten minste 315 kW. De huidige temperatuurregeling van de mengtank zal, tijdens de gestelde worst-case scenario, de mengtank op het setpoint van 35 °C kunnen houden en zo de warmteverliezen kunnen compenseren.

In week 46 werd het setpoint na de koeltorens verlaagd naar 33 °C, de volgende afbeelding geeft weer hoe de huidige temperatuurregeling van de mengtank hierop reageerde:



Figuur 20: Gedrag huidige temperatuurregeling mengtank in week 46 bij een setpoint van 33 °C na de koeltorens.

In figuur 20 is te zien dat de temperatuur van de mengtank onder het setpoint van 35 °C blijft terwijl de regelklep vol open staat (op 100%). Wanneer het setpoint na de koeltorens wordt ingesteld op 33 °C, komt de huidige temperatuurregeling van de mengtank een hoeveelheid vermogen te kort. Uit verdere analyses bleek dit het geval te zijn bij elk setpoint na de koeltorens van minder dan 38 °C.

De huidige temperatuurregeling van de mengtank komt dus bij een setpoint lager dan 38 °C na de koeltorens een hoeveelheid vermogen te kort.

Het tekort aan vermogen is bepaald op basis van eerdergenoemde gegevens aan het eind van de vorige paragraaf. Het tekort aan vermogen bleek na deze berekening 885,7 KW te zijn. Dit tekort aan vermogen kan op verschillende manieren geleverd worden, deze verschillende mogelijkheden zullen in de volgende paragrafen besproken worden.

4.2.4 Nieuwe warmtewisselaar

De huidige warmtewisselaar die nu gebruikt wordt, heeft een te klein vermogen om bij de huidige temperatuurregeling de temperatuur in de mengtank op het setpoint te behouden wanneer het setpoint na de koelers lager is dan 38 °C. Met het tekort aan vermogen, het vermogen van de huidige warmtewisselaar en een extra percentage¹⁸ is berekend dat de nieuwe warmtewisselaar ten minste een vermogen nodig heeft van 1320,7 kW.

Er zijn drie opties voor een nieuwe warmtewisselaar om het berekende vermogen te realiseren:

1. Een nieuwe warmtewisselaar op dezelfde plaats in het 70/90 watersysteem met dezelfde flow maar met een groter temperatuurverschil over de warmtewisselaar.
2. Een nieuwe warmtewisselaar op dezelfde plaats in het 70/90 watersysteem met hetzelfde temperatuurverschil over de warmtewisselaar maar met een grotere flow.
3. Een nieuwe warmtewisselaar op een andere plaats in het 70/90 watersysteem met een andere flow en ander temperatuurverschil over de warmtewisselaar.

¹⁸ Er is gekozen voor een extra percentage om zeker te zijn dat het tekort aan vermogen geheel gecompenseerd kan worden door de nieuwe warmtewisselaar.

Voor alle opties zijn berekeningen gemaakt, al deze berekeningen worden toegelicht in bijlage V. De uitkomsten van deze berekeningen zijn weergegeven in de volgende tabel:

Tabel 4: Uitkomsten berekeningen voor de verschillende opties.

Optie	Temperatuurverschil [°C]	Flow [m ³ /h]
1	27,4	42,5
2	6,5	178,2
3	15	77,7

Voor alle bovengenoemde opties geldt dat de extra warmte die geleverd moet worden aan het 70/90 watersysteem, gerealiseerd moet worden door middel van stoom. Deze stoom zal moeten worden bijgestookt in de stoomketels. Door de stoom vervolgens te laten condenseren en dit condensaat verder te laten afkoelen, in eenzelfde warmtewisselaar, wordt er warmte overgedragen aan het 70/90 watersysteem. Er is berekend, op basis van de kostprijs van een ton stoom, dat de extra warmte voor alle drie de opties per uur € 23,75 zal kosten.

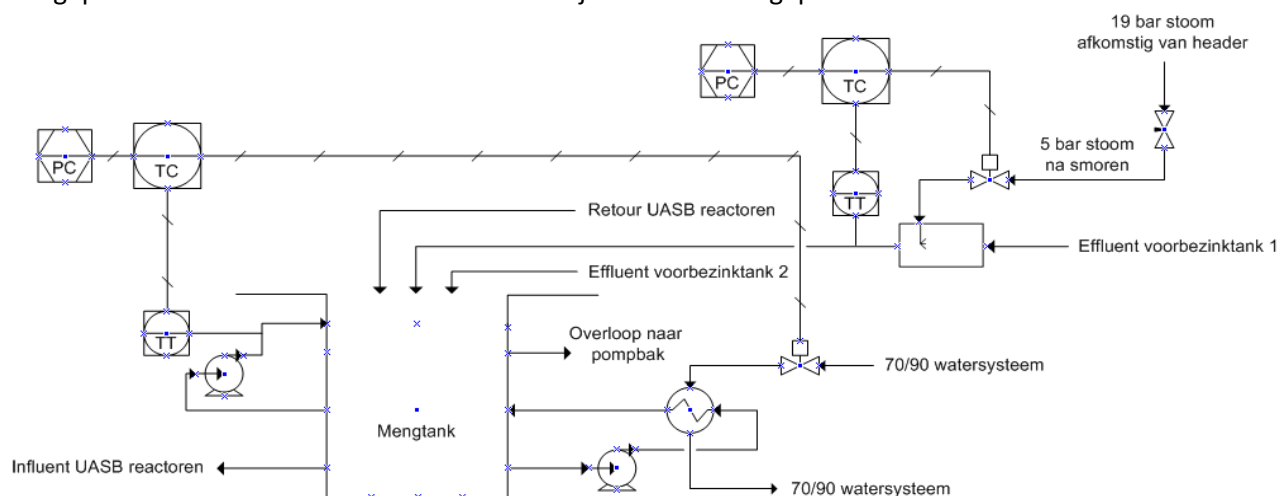
Voor optie “2” en optie “3” zal er extra water moeten worden toegevoegd aan het 70/90 watersysteem, de kosten van dit water zijn te verwaarlozen¹⁹. Echter, is er de kans dat pompen, in het 70/90 watersysteem, vervangen moeten worden omdat het debiet zal toenemen.

In het ergste geval zal het gehele leidingnetwerk aangepast moeten worden om het nieuwe debiet te kunnen realiseren. Bij optie “1” is dit niet het geval, echter zal wel de temperatuur, dat terug wordt verpompt aan het 70/90 watersysteem, afnemen. Dit kan invloed hebben op de overige warmteafnemers op dit 70/90 watersysteem. Verder zal voor alle drie de opties de huidige temperatuurregeling van de mengtank aangepast moeten worden.

Omdat er onzekerheden zijn in de technische haalbaarheid van alle drie de opties, is er nog een andere optie onderzocht. Deze optie zal worden toegelicht in de volgende paragraaf.

4.2.5 Stoominjectie

De andere optie die onderzocht is, is het tekort aan vermogen te compenseren door stoominjectie. De volgende afbeelding geeft een schematische weergave hoe de huidige temperatuurregeling aangepast dient te worden wanneer er stoominjectie wordt toegepast:



Figuur 21: Schematische weergave toepassing stoominjectie.

¹⁹ Eén kuub 70/90 water kost € 1,-

Uit eerdere resultaten bleek dat wanneer de gemiddelde temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1" gelijk is aan 34,8 °C, de gemiddelde temperatuur in de mengtank 35,1 °C is. Op basis van deze resultaten is bovenstaande regeling ontworpen. Het effluent van voorbezinktank "1" zal, voordat het de mengtank ingaat, opgewarmd moeten worden tot een setpoint van 35 °C. De temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1" continu regelen op 34,8 °C zal praktisch onmogelijk zijn.

De flow van het effluent zal in de praktijk variëren en de regeling zal een bepaalde tijd nodig hebben om hier op te reageren waardoor er schommelingen in de temperatuur kunnen ontstaan. Dit is de reden is dat er gekozen is voor een setpoint van 35 °C.

De temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1" zal, na de stoominjectie, continu gemeten worden. Op basis van deze meting zal de transmitter een signaal doorgeven aan een controller.

Deze controller zal op basis van dit signaal en het setpoint de stoomregelklep meer open of dichters sturen. De controller werkt op basis van een PID-regeling. Bij een bepaald signaal van de transmitter en het setpoint na de stoominjectie, zal de controller bepalen op hoeveel procent de klep open moet staan.

Er is bewust gekozen om de stoom te injecteren in het effluent van voorbezinktank "1" omdat uit de metingen (en zo dus uit de praktijk) is vastgesteld dat, wanneer het effluent van voorbezinktank "1" een gemiddelde temperatuur heeft van 34,8 °C, de temperatuur in de mengtank gehouden kan worden op gemiddeld 35,1 °C. Daarnaast zal de huidige warmtewisselaar genoeg vermogen hebben om de mengtank op temperatuur te kunnen houden en ook de warmteverliezen in worst-case scenario, zoals eerder besproken, te kunnen beperken.

Verder is te zien dat de stoom, afkomstig van de header, 19 bar (verzadigde) stoom is. Wanneer deze 19 bar stoom direct geïnjecteerd wordt in de waterleiding, is er een grote kans op waterslag²⁰. Dit is de reden waarom de stoom gesmoord wordt naar 5 bar alvorens het geïnjecteerd wordt.

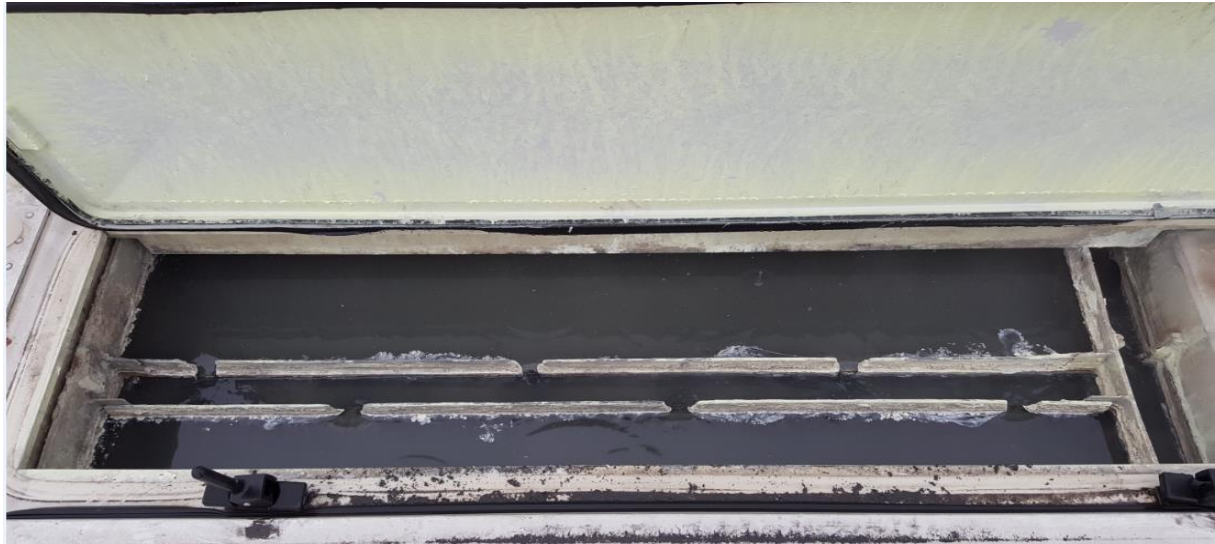
Voor de stoominjectie-optie is er ook een extra percentage²¹ gebruikt om zeker te weten dat het tekort aan vermogen wordt gecompenseerd. De totale warmte die de stoominjectie moet gaan leveren is gelijk aan 974,3 kW. Wanneer dit wordt gerealiseerd met 5 bar verzadigde stoom, zal de totale hoeveelheid stoom overeenkomen met 1,28 ton stoom per uur. Dit kan door de stoomketels extra geleverd worden omdat er nog voldoende capaciteit over is. De stoomkosten per uur zullen bij deze optie € 19,14 bedragen. Verder ligt de technische haalbaarheid van deze optie vrij hoog in vergelijking met de vorige opties omdat er hier geen rekening gehouden moet worden met andere warmtegebruikers op hetzelfde systeem.

²⁰ Bij waterslag treden er verschillende drukverschillen op in een waterleiding wat trillingen als gevolg kan hebben.

²¹ Dit percentage is hetzelfde percentage als bij de nieuwe warmtewisselaar optie.

4.3 Onopgelost vet in de UASB-reactoren

Tijdens de metingen die verricht zijn in week 45 en week 46 is er onderzocht of er (te veel) onopgelost vet aanwezig was in het influent van de UASB-reactoren. Hiervoor zijn echter geen metingen uitgevoerd. Op basis van waarnemingen kon er bepaald worden of er daadwerkelijk (te veel) onopgelost vet aanwezig was in het influent dat naar de UASB-reactoren gaat. De volgende afbeelding laat het overloop zien van een UASB reactor:



Figuur 22: Overloop UASB reactor "2".

Figuur 22 geeft weer hoe het overloop er onder de juiste omstandigheden uit hoort te zien. Het water kan hier namelijk gemakkelijk uitstromen in het overloop van de reactor. Figuur 22 is een foto die gemaakt is van een stuk overloop van reactor "2". De volgende afbeelding geeft een ander stuk overloop weer van dezelfde reactor:



Figuur 23: Ander stuk overloop UASB reactor "2".

In figuur 23 is duidelijk te zien dat hier het overloop verstopt zit. Deze verstopping wordt veroorzaakt door biomassa dat uitspoelt (zwart) en onopgeloste vetten (bruin/geel). De onopgeloste vetten zijn meegekomen in het influent naar de UASB-reactoren. De biomassa zal hier als het ware aanplakken en zo mee uitstromen.

Om zeker te zijn of alle reactoren hier last van hebben, zijn de gaskappen van reactor “4” opengemaakt en de gasleiding van reactor “3” is doorgeblazen:



Figuur 24: Overloop reactor “4” (links) en doorblaasleiding reactor “3” (rechts).

In figuur 24 is te zien dat reactor “4” ook last heeft van verstoppingen in het overloop van de reactor. Verder is duidelijk te zien dat er biomassa opgehoopt zit in de gasleiding samen met samengeklonterd vet. Toen de leiding namelijk werd doorgeblazen, kwamen er brokken samengeklonterd vet en biomassa, die te zien zijn in figuur 24, uit de leiding.

Om geheel zeker te zijn dat er daadwerkelijk te veel vet naar de reactoren wordt gestuurd is, er bekeken waar dit vandaan zou kunnen komen. De volgende afbeelding laat het overloop van voorbezinktank “2” zien een aantal dagen na het schoonmaakweekend:



Figuur 25: Vetophoping in het overloop van voorbezinktank “2” (links) en uitspoeling van vetten (rechts).

In figuur 25 is duidelijk te zien dat er vet doorslaat van de voorbezinktank naar de anaerobe zuivering, wat vervolgens problemen geeft in de reactoren zoals eerder beschreven.

Onder normale procesomstandigheden mag er nauwelijks vet in voorbezinktank “2” terechtkomen. In theorie zou er, op het schoonmaakweekend na, helemaal geen vethoudend water moeten zijn. In de praktijk blijkt dit echter anders.

4.3.1 Oorzaak vetdoorslag tijdens de voorzuivering.

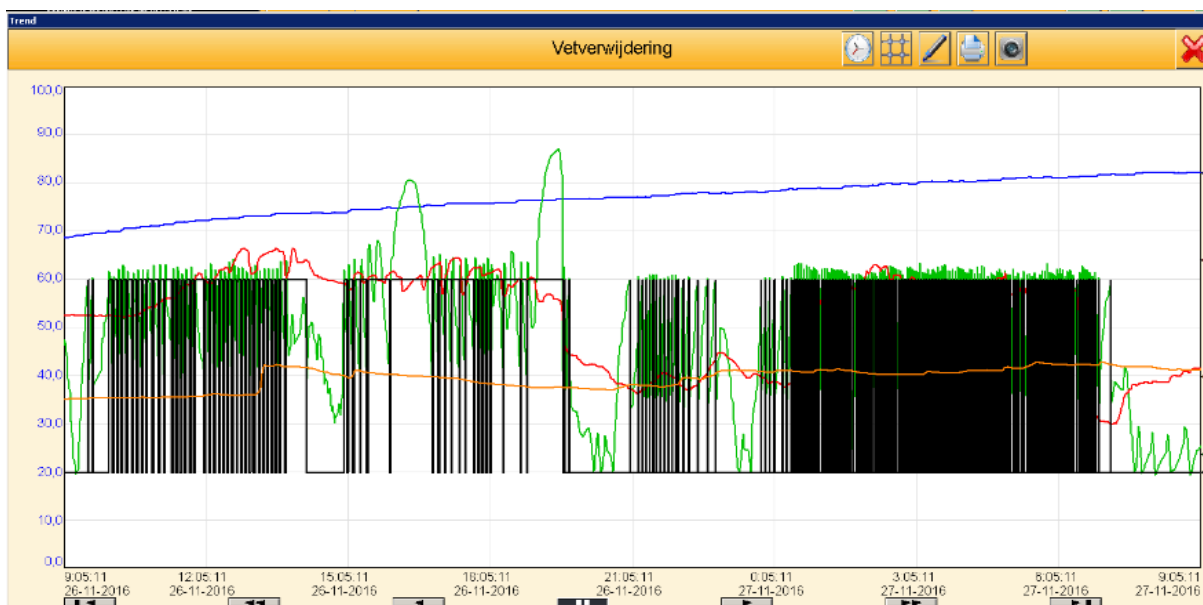
Het vet kan op twee manieren terechtkomen in voorbezinktank "2" namelijk:

1. Direct vanaf de vethoudende waterput. Dit gebeurt door twee aan/uit pompen die automatisch aan gaan bij een bepaald niveau van de vethoudende waterput.
2. Via het effluent van de zetmeeldecanner. Dit wordt veroorzaakt doordat het vet zich aan het grijze zetmeel gaat hechten in voorbezinktank "1". Dit grijze zetmeel zal gaan bezinken en zo ook het vet. Vervolgens wordt dit afgevoerd naar de zetmeeldecanner. Het effluent van deze decanter komt vervolgens in voorbezinktank "2" terecht.

Voor beide manieren is onderzocht of dit de mogelijke oorzaak kan zijn van het vet dat doorslaat van voorbezinktank "2" naar de anaerobe zuivering.

Aan/uit pompen vethoudende waterput

De aan/uit pompen van de vethoudende pomp zorgen ervoor dat de vethoudende put niet zal overstromen. Dit kan gebeuren wanneer er meer vethoudend water, afkomstig uit de fabriek, in de put terechtkomt dan dat er verpompt kan worden naar de DAF-units. Hierdoor zal het niveau in de vethoudende waterput stijgen. Bij een bepaald niveau zullen de aan/uit pompen direct aangaan op vol vermogen en verpompen zij vethoudend water direct naar voorbezinktank "2". Dit zal voornamelijk in een schoonmaakweekend kunnen gebeuren aangezien er dan veel vethoudend water uit de fabriek zal zijn. De volgende afbeelding laat het niveau in de vethoudende waterput zien en of de aan/uit pompen aan of uit stonden op een bepaald tijdstip tijdens het schoonmaakweekend van week 47:



Figuur 26: Procesomstandigheden vethoudende waterput tijdens schoonmaakweekend in week 47.

In figuur 26 stelt de groene lijn het niveau voor van de vethoudende waterput en de zwarte lijn de aan/uit pompen. Er is te zien dat het niveau tijdens het schoonmaakweekend erg fluctueert en zo ook de aan/uit pompen.

Figuur 26 bevestigt de eerste oorzaak, er komt namelijk direct vethoudend water vanuit de vethoudende waterput in voorbezinktank "2" terecht. Figuur 26 geeft het schoonmaakweekend weer van week 47, echter ditzelfde patroon komt elk schoonmaakweekend voor.

Effluent grijs zetmeel decanter

De andere oorzaak van vet in voorbezinktank “2” kan zijn via het effluent van de zetmeeldecanner. Echter, de hoofdoorzaak hierbij zal slecht functionerende DAF-units zijn. Als het vet niet voldoende uit het afvalwater verwijderd wordt, zal het doorslaan naar voorbezinktank “1” en uiteindelijk naar de zetmeeldecanner.

Uit verdere literatuurstudie bleek dat het rendement van de DAF-units afneemt bij een ingaande temperatuur van het influent van 40 °C (SA Water, 2013) (McPhail, 2015). De temperatuur van het influent van de DAF-units is gedurende week 45 en week 46 gemeten.

De volgende tabel geeft de resultaten van deze metingen:

Tabel 5: Resultaten temperatuurmetingen DAF-units.

	Temperatuur influent DAF unit [°C]		Temperatuur influent DAF unit [°C]
Week 45		Week 46	
Maandagochtend	49,1	Maandagochtend	52,7
Maandagmiddag	49,5	Maandagmiddag	52,6
Dinsdagochtend	58,2	Dinsdagochtend	58,1
Dinsdagmiddag	58	Dinsdagmiddag	62,5
Woensdagochtend	52,8	Woensdagochtend	57,5
Woensdagmiddag	41,4	Woensdagmiddag	68,5
Donderdagochtend	46	Donderdagochtend	70,9
Donderdagmiddag	57,9	Donderdagmiddag	65,9
Vrijdagochtend	59	Vrijdagochtend	62,5
Vrijdagmiddag	62,6	Vrijdagmiddag	55,3

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de temperatuur van het influent van de DAF-units gedurende twee weken erg varieert. Dit komt doordat het influent afhankelijk is van verschillende afvalstromen uit de fabriek en die afvalstromen hebben een verschillende temperatuur ten opzichte van elkaar. Verder blijkt uit de metingen dat de temperatuur van het influent dat naar de DAF-units gaat, niet onder de 40 °C is geweest gedurende week 45 en 46. Door de hoge temperaturen zal het vetverwijderingsrendement van de DAF-units niet behaald worden.

Het influent van de DAF-units is afkomstig uit de vethoudende waterput. In de vethoudende waterput komen meerdere afvalstromen bij elkaar die elk een eigen temperatuur hebben. Het debiet van deze afvalstromen varieert, waardoor ook de temperatuur zal variëren in de vethoudende waterput. Er is echter één vaste afvalstroom aanwezig en dat is die van de brudencondensor. Deze afvalstroom heeft een temperatuur van ca. 80 °C en een debiet van ca. 8 m³ per uur. Wanneer er nu bijvoorbeeld meer afvalwater uit de fabriek in de vethoudende waterput terechtkomt die kouder is, zal de temperatuur afnemen.

Niet alleen de te hoge temperatuur van het influent van de DAF-units heeft een nadelig effect op het vetverwijderingsrendement van deze DAF-units. Ook werkt het luchtsysteem, dat zorgt voor de microbelletjes in de DAF-units, niet meer (Eijk, 2016) (Ertem, 2016). In feite zijn de DAF-units bij LWM nu twee bakken met water waar schrapers overheen gaan die nog wat drijvend vet scheiden van het afvalwater.

4.3.2 Gevolg vetdoorslag op de biogasproductie

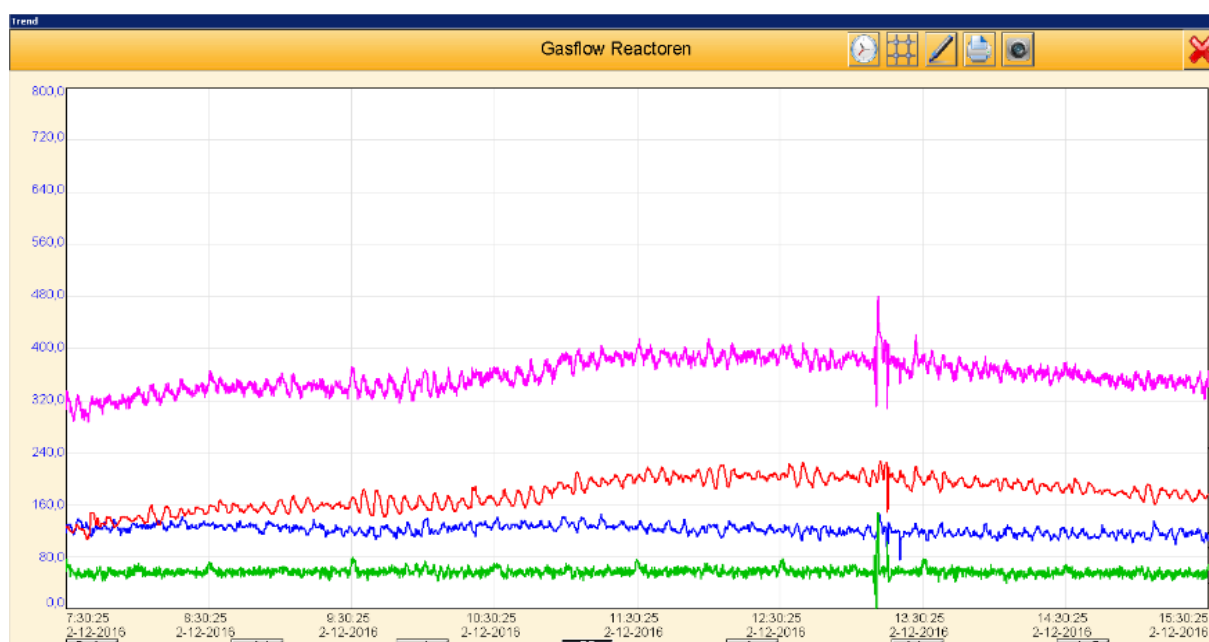
Het gevolg van de bovenstaande oorzaken is dat er onopgelost vet in de UASB-reactoren terechtkomt zoals eerder beschreven. Dit zal ook een gevolg hebben op de micro-organismen in de reactoren en zo ook op de biogasproductie. Doordat bepaalde stukken van de reactoren verstopt komen te zitten met biomassa en vet ontstaat er binnenin de reactor, op deze stukken, meer weerstand. Deze verhoging in weerstand leidt tot voorkeurstromen van het afvalwater in de reactor. Het afvalwater zal zo op sommige plaatsten sneller uitstromen waardoor de hydraulische verblijftijd van dit afvalwater zal afnemen. Doordat de hydraulische verblijftijd afneemt, neemt de kans op uitspoeling van biomassa toe en zo neemt de biogasproductie af.

Verder kan, zoals eerder beschreven in het theoretisch kader, de biomassa vast komen te plakken aan het onopgeloste vet en zo mee-uitspoelen. Tijdens de metingen die gedaan zijn in week 45 en 46 werd dit bevestigd door onderstaande waarneming:



Figuur 27: Samengeklonterd vet en biomassa.

In figuur 27 is een aantal bolletjes vet te zien met daarin biomassa afkomstig uit de mengtank. Het onopgelost vet, wat doorslaat, zorgt voor uitspoeling van biomassa in de UASB-reactoren. Deze uitspoeling van biomassa heeft een nadelig effect op de biogasproductie:



Figuur 28: Biogasproductie na toevoegen extra slib.

In de figuur 28 is de biogasproductie te zien van vrijdag 2 december 2016. Op deze dag is er in de ochtend extra slib toegevoegd aan reactor “4”. Door deze toevoeging nam de biogasproductie van reactor “4” (rode lijn in figuur 28) in de loop van de dag toe en zo ook de totale biogasproductie (paarse lijn in figuur 28). Normaal gesproken zou deze extra toevoeging overbodig zijn omdat het slib in de reactor, onder goede condities, zal groeien en zo dus in totaliteit zal toenemen. Een ander nadeel van uitspoeling van biomassa is dat het extra slib, wat toegevoerd moet worden, geld kost. De toevoeging op vrijdag 2 december 2016 kostte € 4.900, -.

5. Conclusie

De conclusie valt uiteen in drie delen omdat ook de resultaten van het onderzoek in drie delen is verdeeld. Deze drie delen zijn de verschillende parameters die onderzocht zijn. Elke parameter heeft zo zijn eigen conclusie.

De pH van het influent naar de UASB-reactoren.

Op basis van de metingen die verricht zijn in week 45 en 46 kan er geconcludeerd worden dat de pH tijdens de voorzuivering en anaerobe zuivering te laag is. De pH in de mengtank kwam slechts één keer boven een, de in het theoretisch kader vastgelegde, optimale minimale waarde van 6,5. Deze waarde werd echter bereikt toen er een schoonmaakweekend aan de meting vooraf ging. In dit schoonmaakweekend is de fabriek uit bedrijf en wordt er schoongemaakt met veel alkalische stoffen waardoor de pH hoger ligt. De pH daalde dezelfde dag nog onder de optimale minimale waarde van 6,5.

Verder kan er geconcludeerd worden dat de pH in de mengtank gevoelig is voor verstoringen. In week 46 was er een verstoring in de fabriek op de vlokkenlijn. Door deze verstoring kwam er meer afvalwater van de vlokkenlijn op de waterzuivering. Hierdoor daalde de pH in de mengtank aanzienlijk in vergelijking met de andere metingen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het afvalwater in de mengtank geen hoge pH-buffer heeft. Ook toen de zetmeeldecanter uit bedrijf was, daalde de pH aanzienlijk in vergelijking met de andere metingen. Dit bevestigt des te meer dat de pH in de mengtank geen hoge pH-buffer heeft en dus gevoelig is voor verstoringen.

Omdat zowel de pH-waarde van het afvalwater te laag is en geen hoge pH-buffer heeft kan er geconcludeerd worden dat er een pH-regeling nodig is. Deze pH-regeling zou dan gerealiseerd kunnen worden in de mengtank zoals eerder toegelicht in de resultaten van dit onderzoeksrapport.

De temperatuur van het influent naar de UASB-reactoren.

Uit de metingen die zijn verricht in week 45 en week 46 kan er geconcludeerd worden dat de temperatuur in de mengtank afhankelijk is van het setpoint na de koeltorens. Wanneer dit setpoint is ingesteld op 38 °C zal de temperatuur in de mengtank geregeld worden op, de in het theoretisch vastgelegde, optimale waarde van 35 °C.

Omdat het setpoint na de koeltorens op basis van CZV handmatig ingesteld wordt, is ook de temperatuur in de mengtank van het CZV afhankelijk. Wanneer dit setpoint wordt ingesteld op de laagste waarde, 33 °C, zal de temperatuur in de mengtank niet de optimale temperatuur van 35 °C bereiken. Ook bij andere waarde lager dan een setpoint van 38 °C na de koeltorens zal de mengtank niet de optimale temperatuur van 35 °C bereiken. Bij een setpoint lager dan 38 °C na de koeltorens is er dus een tekort aan vermogen van de huidige temperatuurregeling van de mengtank.

Er kan geconcludeerd worden dat er een tekort aan vermogen is bij de huidige temperatuurregeling van de mengtank, bij een setpoint lager dan 38 °C na de koeltorens.

Dit tekort aan vermogen dient te worden toegevoegd om de optimale temperatuur van 35 °C te kunnen behouden in de mengtank en om temperatuurschommelingen tegen te kunnen gaan.

Onopgelost vet in de UASB-reactoren

Uit de bevindingen in week 45 en week 46 kan er geconcludeerd worden dat er te veel onopgelost vet doorslaat naar de UASB-reactoren. Tijdens een schoonmaakweekend wordt er te veel afvalwater over de waterzuivering gestuurd. Dit afvalwater, dat veel onopgelost vet bevat, komt hierdoor direct in voorbezinktank "2". Dit teveel aan afvalwater is zo groot, dat er onopgelost vet zal doorslaan naar de mengtank en zo in de UASB-reactoren terechtkomt.

Verder was de temperatuur van het influent dat naar de DAF-units gaat gedurende week 45 en 46 te hoog. Verder werkt het luchtsysteem, wat zorgt voor de microbelletjes in de DAF-units, niet meer. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het vetverwijderingsrendement van de DAF-units niet behaald zal worden. Hierdoor neemt de kans op vetdoorslag in het effluent van de DAF-units toe.

Omdat er in week 48 in een reactor nieuw slib werd toegevoegd en hierdoor de biogasproductie toenam, kan er geconcludeerd worden dat er, tijdens normaal bedrijf, te veel slib mee-uitspoelt door het onopgeloste vet. Verder zorgt het onopgeloste vet voor allerlei verstopping in de UASB-reactoren wat ook nadelige gevolgen heeft op de biogasproductie zoals eerder toegelicht in de resultaten van dit onderzoeksrapport. Het onopgeloste vet dient te worden verwijderd uit het influent wat naar de UASB-reactoren gaat om eerdergenoemde problemen te voorkomen.

6. Aanbevelingen

De aanbeveling bestaat ook hier uit drie delen omdat er per parameter een conclusie gemaakt is. Bij elke conclusie hoort een eigen aanbeveling voor de desbetreffende parameter. Ook kan elke parameter op een andere manier beïnvloed worden.

De pH van het influent naar de UASB-reactoren

Er wordt aanbevolen om de pH in mengtank te regelen op een setpoint van minimaal een waarde van 6,5. Zo kunnen eventuele verstoringen verholpen worden en wordt eventuele verzuring van de reactoren voorkomen. De mogelijke pH-regeling die opgesteld is in figuur 14 zou hiervoor geschikt kunnen zijn.

De mogelijke pH-regeling is echter op basis van literatuuronderzoek. Of deze pH-regeling in de praktijk werkt is niet onderzocht. In de praktijk kan het zijn dat deze pH-regeling niet werkt omdat er nog allerlei andere parameters zijn, onder andere het bufferend vermogen van het afvalwater, die de regeling kan beïnvloeden. Hier zal dus verder onderzoek naar moeten worden gedaan. Ook zal er op basis van experimenten bepaald moeten worden of de pH-regeling in de praktijk zou kunnen werken. Zowel het verdere onderzoek als het experiment valt buiten het kennisgebied van dit onderzoek. Er wordt aangeraden om de mogelijke pH-regeling verder te onderzoeken.

De temperatuur van het influent naar de UASB-reactoren

Er wordt aanbevolen om de temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1", dat naar de mengtank gaat, te regelen op een setpoint van 35 °C. Hierdoor zal een lager setpoint dan 38 °C na de koeltorens, geen effect meer hebben op de temperatuur in de mengtank.

De regeling die hiervoor gebruikt kan worden, kan, op basis van dit onderzoek, het beste worden gedaan door middel van stoominjectie zoals eerder besproken in de resultaten. Echter, er is niet onderzocht of er bij LWM nog een bron van restwarmte beschikbaar is en of dit economisch rendabeler kan zijn dan stoominjectie. Wanneer er geen restwarmte beschikbaar is binnen LWM, is stoominjectie de beste optie. Er zal verder onderzoek gedaan moeten om te bekijken of er restwarmte beschikbaar is binnen LWM, of deze restwarmte voldoende is om het tekort aan vermogen te kunnen compenseren en of dit economisch rendabeler is dan stoominjectie.

Onopgelost vet in de UASB-reactoren

Er wordt aanbevolen om het influent dat naar de DAF-units gaat, af te koelen tot een temperatuur onder de 40 °C en het luchtsysteem van de DAF-units te laten repareren. Hierdoor zal het vetverwijderingsrendement van beide DAF-units verbeterd worden en zal er minder vet doorslaan in het effluent van deze DAF-units. Verder wordt er aanbevolen om een extra buffer te installeren bij de vethoudende waterput. Hierdoor zal er tijdens een schoonmaakweekend geen grote hoeveelheid vethoudend water verpompt worden naar voorbezinktank "2".

Een andere optie is om de huidige DAF-units te vervangen door nieuwe DAF-units die onder hogere temperatuur werken en met een hoger debiet. Er wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen of dit economisch rendabeler is dan de DAF-units te repareren en aan te passen.

7. Referenties en bibliografie

Referenties

Om het onderzoek voor LWM zo goed mogelijk te laten verlopen, was er verdere informatie nodig. Waar deze informatie vandaan gehaald is, zal in deze paragraaf worden toegelicht.

Interne referenties:

Be-SMART Academy:	Deze afdeling beschikt over documentatie dat veelal de processen beschrijft binnen LWM. Verder biedt deze afdeling allerlei cursussen voor trainingsdoeleinden van werknemers. Deze afdeling kan dus gebruikt worden als goede bron van informatie voor de bestaande procesvoering bij LWM. Ook kan deze afdeling advies geven waar bepaalde informatie gevonden kan worden.
Werknemers LWM:	Omdat niet alle processen gedocumenteerd zijn binnen LWM kan er met behulp van interviews met werknemers informatie vergaard worden over een bepaald proces. Verder zijn werknemers een belangrijke referentie om doorverwezen te kunnen worden naar een juiste persoon of document.
Interne documentatie:	Naast de Be-SMART documenten beschikt LWM over ander onderzoek gerelateerde documenten, te denken valt aan eerdere onderzoeksrapporten die gemaakt zijn of adviesrapporten van een ingenieurbureau. De theorie en resultaten (meetgegevens) die gebruikt worden in deze documenten kunnen wellicht worden toegepast in het huidige onderzoek. Verder beschikt LWM ook nog over verschillende applicaties (intranet, FactoryTalk en SAP) die ook als referentie geraadpleegd kunnen worden.

Internetbronnen:

Google, Sciencedirect:	Met behulp van zoektermen gezocht worden naar wetenschappelijke literatuur. De gevonden wetenschappelijke literatuur bevat dan weer andere referenties die gebruikt kunnen worden, de zogeheten sneeuwbalmethode zal hier dus worden toegepast om informatie te verzamelen.
------------------------	---

Bibliografie

(sd). Opgeroepen op 2016, van Appropedia:

http://www.appropedia.org/index.php?title=Arcata_Marsh_clarifiers_2&mobileaction=toggle_view_mobile

Abdullah Yasar, A. B. (2009). *Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater by UASB Reactor Integrated with Chemical Oxidation Processes; an Overview*. Sustainable Development Study Center GC University Lahore Pakistan.

Aldo Pardo Garcia, J. I. (2005). *Design of the control and monitoring of an anaerobic biological reactor in university of pamplona, Colombia*. Pamplona: University of Pamplona.

Anaerobic digestion process parameters. (sd). Opgeroepen op 2017, van The Ecoambassador:
<http://www.theecoambassador.com/AnaerobicDigestionProcessParameters.html>

Bachmann, N. (2015). *Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants*. IEA BioEnergy.

Depuydt, V. (2007). *Anaerobe vergisting in nevenstromen*. Agristo NV.

Eijk, H. v. (2016, November). Informatie verkrijgen proces AWZI. (J. d. Kok, Interviewer)

Ertem, U. (2016, November). Informatie verkrijgen proces AWZI. (J. d. Kok, Interviewer)

Gomez, R. R. (2011). *Upflow anaerobic sludge blanket reactor modelling*. Stockholm.

Gooch, R. L. (sd). *Monitoring of anaerobic digestion process to optimize performance and prevent system failure*. New York: Cornell University, department of biological and environmental engineering.

Henze, M. (2008). *Biological wastewater treatment: Principles, modeling and design*. Londen: IWA.

J.B. van Lier, S. R. (1997). *High-rate anaerobic wastewater treatment under psychrophilic and thermophilic conditions*. Water Science and technology.

Jules B. van Lier, N. M. (2002). *Anaerobic Wastewater Treatment*.

Kharagpur, I. (2012, Juli 5). *NPTEL, course anaerobic wastewater treatment processes*. Opgeroepen op 2016, van NPTEL: <http://nptel.ac.in/courses/105105048/M21L33.pdf>

KNMI. (sd). Opgeroepen op 12 2016, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut:
www.knmi.nl

Kort, S. (2015). *Onderzoek naar water hergebruik in opdracht van de HZ onderzoeksgroep Water Technology bij aardappelverwerker Lamb-Weston/Meijer*. Vlissingen.

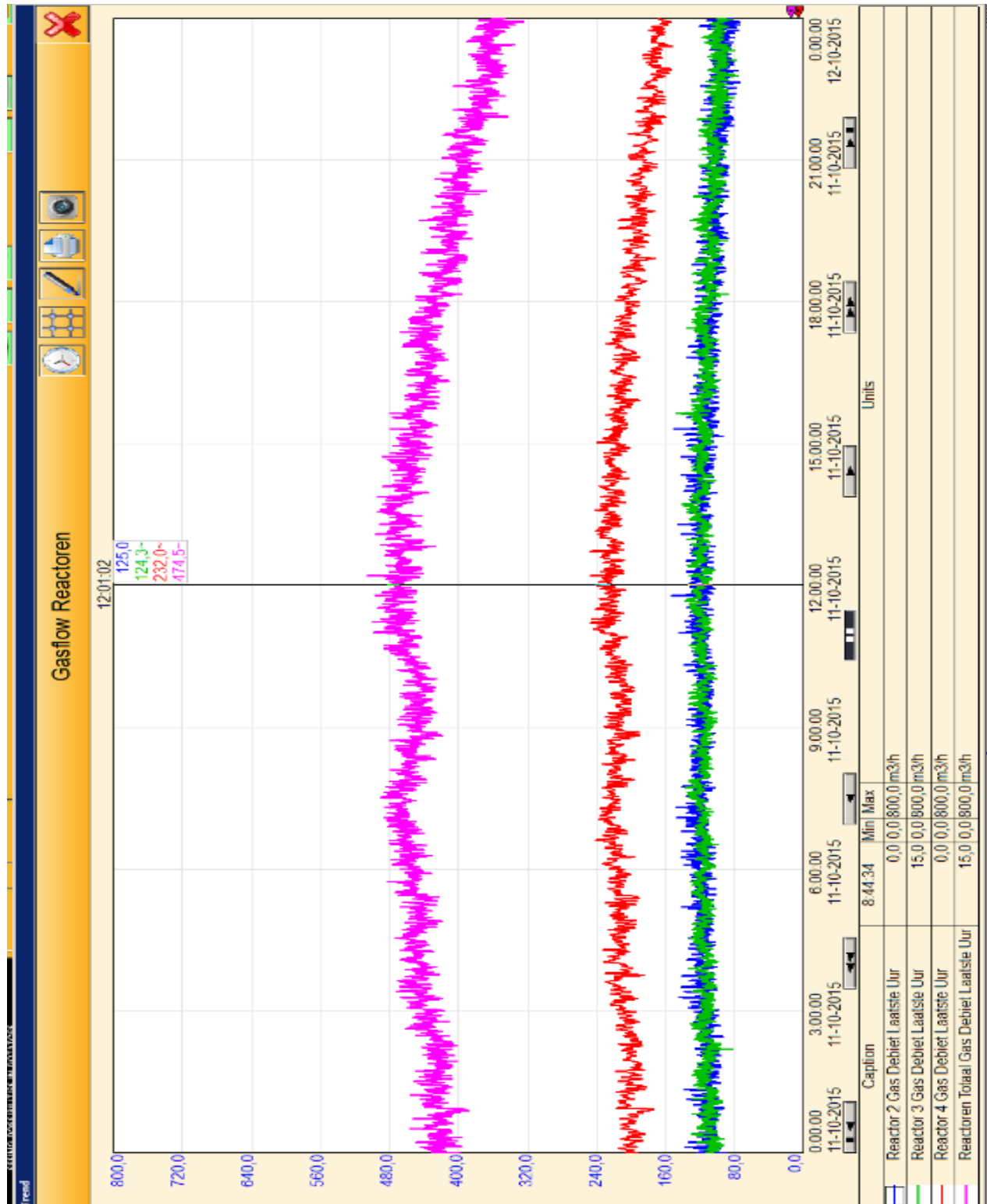
L. Zhou, K. M. (2007). *Calculating Loading Rates for Design of Small Flow Onsite Wastewater Treatment System Hydraulic Vs. Organic Loading*. The Ohio State University Extension .

Lamb Weston Meijer. (2016). Factorytalk.

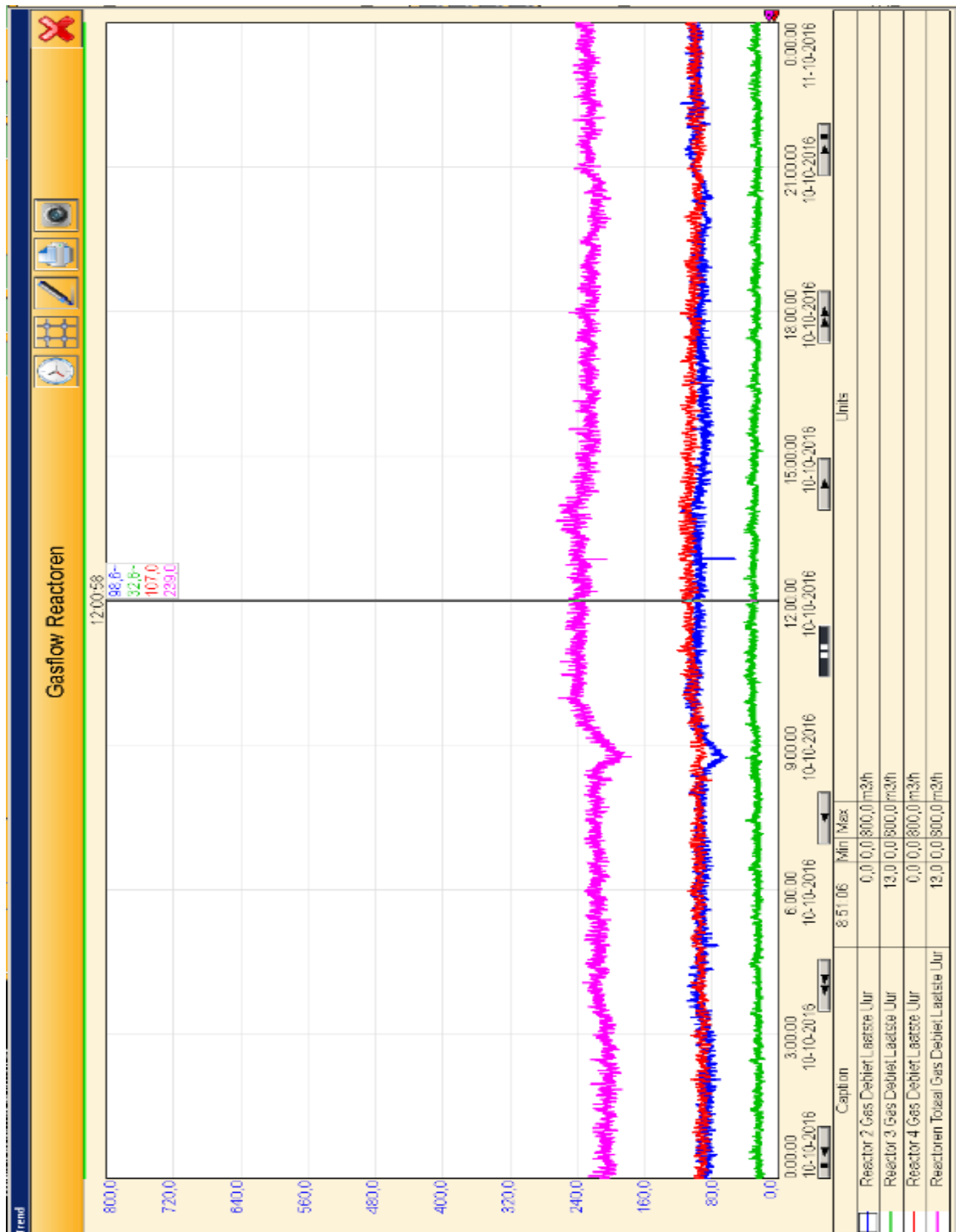
- Lamb Weston Meijer. (2016). *SPPEQ: Safety, Product, Process, Environment en Quality*.
- Lausund, E. (2014). *Anaerobic digestion: biodegradability and biogas production of model wastes*.
Noorwegen: Norwegian University of Sciences and Technology.
- McPhail, N. (2015). *Review of Removal of Fats, Oil and Greases from Effluents from Meat Processing Plants*. Australian Meat Processor Corporation.
- RE Moosbrugger, M. W. (1993). *Lautur tun (brewery) waste in UASB systems - Feasibility, alkalinity requirements and pH control*. SA Water.
- SA Water. (2013). *Dissolved Air Flotation (DAF)*.
- T.Z.D. de Mes, A. S. (2003). Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. Wageningen.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luethi, C., Reymond, P., & Zurbruegg, C. (2014). Opgeroepen op 2016, van SSWM: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology:
<http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/u>
- Zehnder, W. G. (1983). *Conversion processes in anaerobic digestion*. IWA.

8. Bijlage

I. Biogasproductie vorig jaar en huidige biogasproductie



Biogasflow reactoren vorig jaar (2015) (Lamb Weston Meijer, 2016).

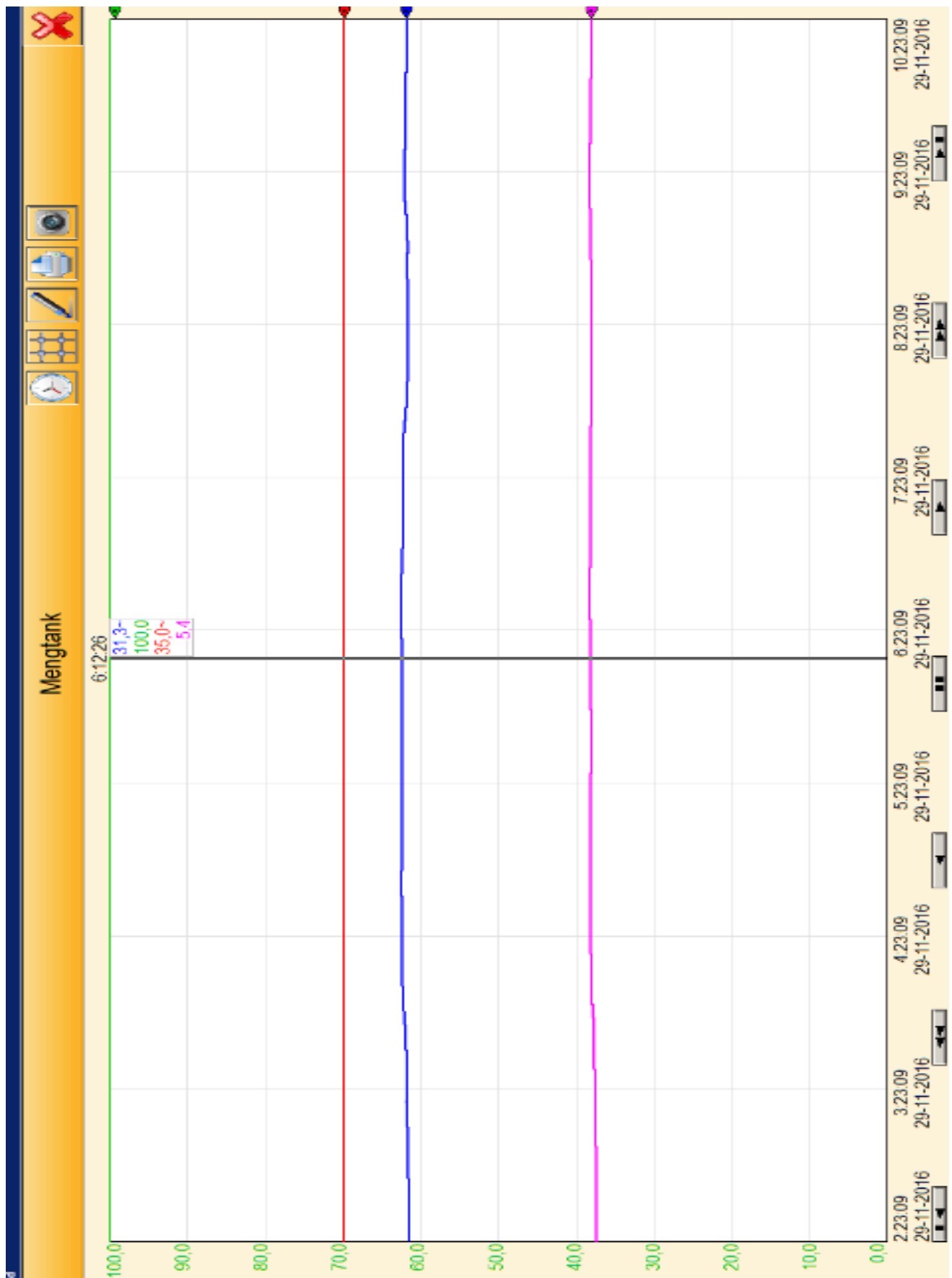


Biogasflow reactoren huidig jaar (2016) (Lamb Weston Meijer, 2016).

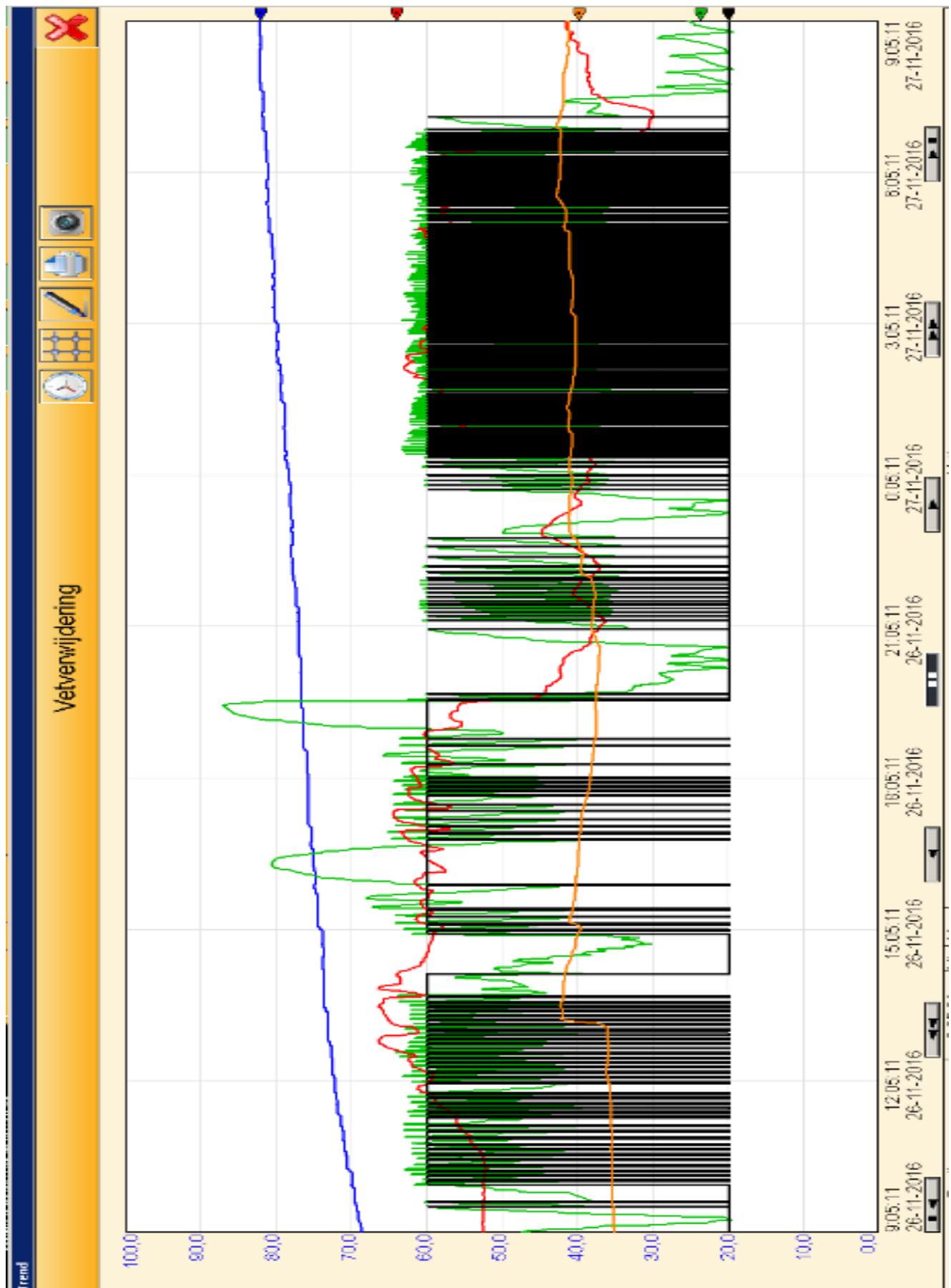
II. Screenshots FactoryTalk en gemaakte foto's



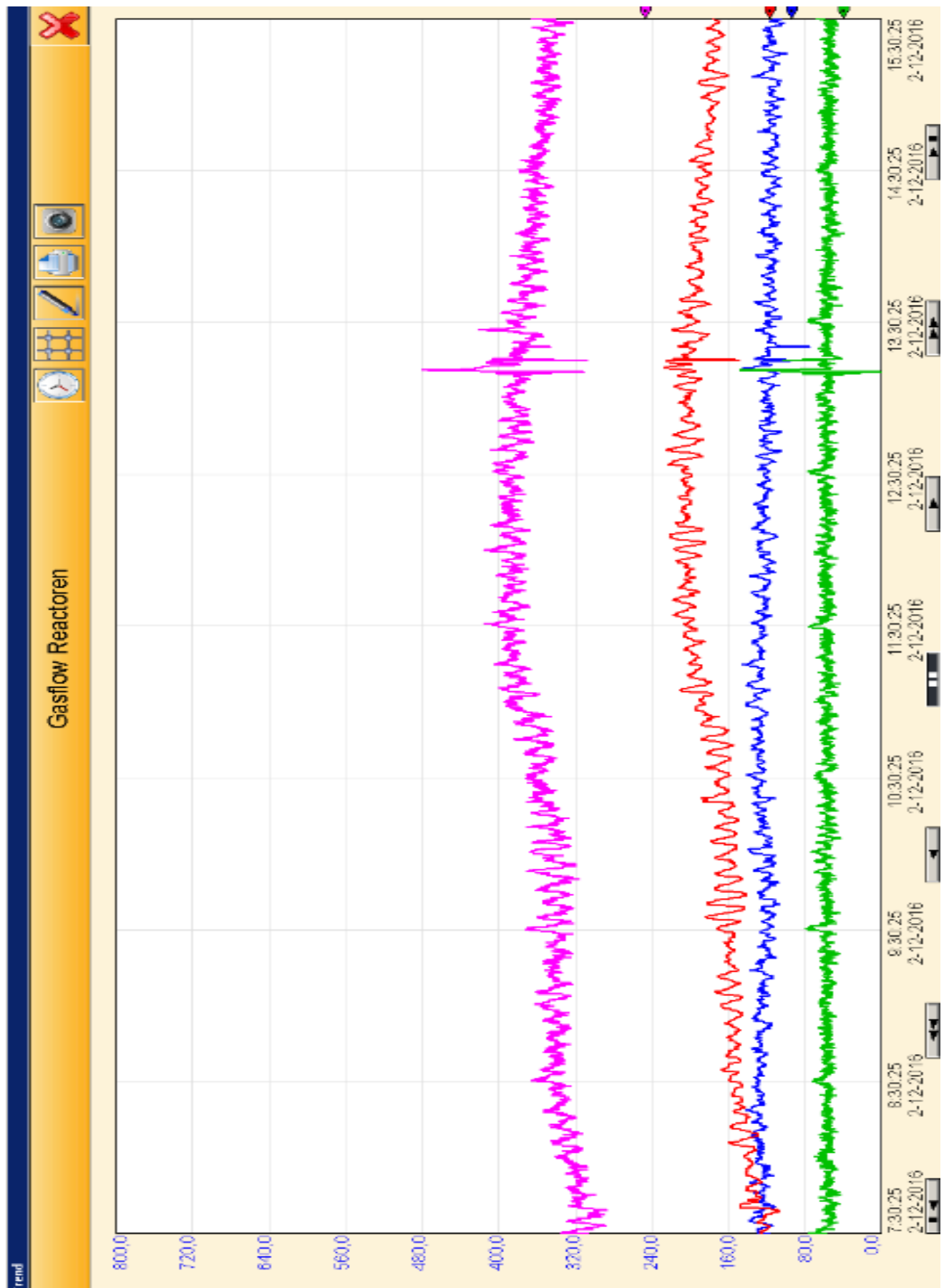
Gedrag huidige temperatuurregeling mengtank in week 45 bij een setpoint van 38 °C na de koeltorens.



Gedrag huidige temperatuurregeling mengtank in week 46 bij een setpoint van 33 °C na de koeltorens.



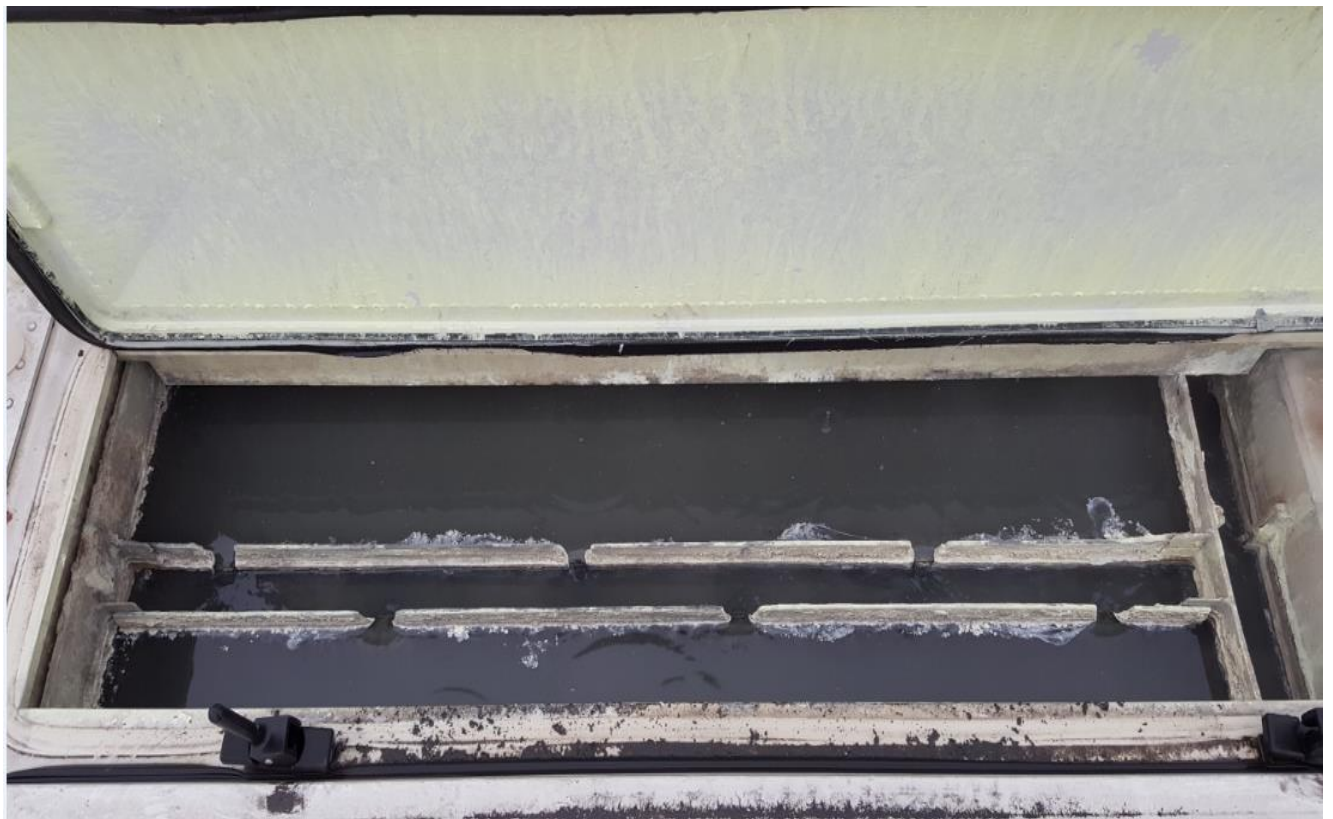
Procesomstandigheden vethoudende waterput tijdens schoonmaakweekend in week 47.



Biogasproductie na toevoegen extra slib.



Witte schuimlaag afkomstig van de vlokkenlijn in voorbezinktank "1".



Overloop UASB-reactor twee.



Ander stuk overloop UASB-reactor twee.



Overloop reactor 4 (links) en doorblaasleiding reactor 3 (rechts).



Vetophoping in het overloop van voorbezinktank “2” (links) en uitspoeling van vetten (rechts).



Samengeklonterd vet en biomassa

IV. Resultaten metingen

Week	45							
	Influent DAF Units			Effluent DAF units overloop				
		pH	Temp (°C)		pH	Temp (°C)		
Maandag	Ochtend	5,82	49,1	Ochtend	5,61	46,5		
	Middag	5,06	49,5	Middag	5,11	48,3		
Dinsdag	Ochtend	4,98	58,2	Ochtend	4,85	52,8		
	Middag	4,96	58	Middag	4,85	53,4		
Woensdag	Ochtend	4,86	52,8	Ochtend	4,8	48		
	Middag	4,63	41,4	Middag	4,73	41,8		
Donderdag	Ochtend	4,69	46	Ochtend	4,93	34,7		
	Middag	5,11	57,9	Middag	4,93	42,5		
Vrijdag	Ochtend	4,6	59	Ochtend	4,55	48,9		
	Middag	5,26	62,6	Middag	5,11	54,5		
Week	46							
	Influent DAF Units			Effluent DAF units overloop				
		pH	Temp (°C)		pH	Temp (°C)		
Maandag	Ochtend	4,49	52,7	Ochtend	4,7	45,6		
	Middag	5,71	52,6	Middag	5,42	35,3		
Dinsdag	Ochtend	5,05	58,1	Ochtend	4,98	53,6		
	Middag	5,25	62,5	Middag	5,12	54,1		
Woensdag	Ochtend	5,09	57,5	Ochtend	5,06	57,5		
	Middag	4,9	68,5	Middag	4,85	61,8		
Donderdag	Ochtend	5,05	70,9	Ochtend	4,92	67,8		
	Middag	4,91	65,9	Middag	4,93	59		
Vrijdag	Ochtend	4,93	62,5	Ochtend	4,95	59,6		
	Middag	4,91	55,3	Middag	4,92	52,4		

Metingen DAF-units.

Week	45							
Influent Zeefbochten				Effluent zeefbochten				
		pH	Temp (°C)			pH	Temp (°C)	
Maandag	Ochtend	6,12	41,8		Ochtend	5,84	41,6	
	Middag	6,11	40,9		Middag	6	40,8	
Dinsdag	Ochtend	6,07	44,3		Ochtend	5,8	43,6	
	Middag	5,96	43,8		Middag	5,7	42,9	
Woensdag	Ochtend	6,14	43,9		Ochtend	6,05	43,6	
	Middag	6,35	42,1		Middag	6,22	41,8	
Donderdag	Ochtend	6,23	42,5		Ochtend	6,08	42,2	
	Middag	6,11	43,6		Middag	5,87	42,2	
Vrijdag	Ochtend	5,95	43,2		Ochtend	5,88	42,2	
	Middag	6,15	46,5		Middag	6,03	44,3	
Week	46							
Influent Zeefbochten				Effluent zeefbochten				
		pH	Temp (°C)			pH	Temp (°C)	
Maandag	Ochtend	6,48	33,7		Ochtend	6,44	33,4	
	Middag	6,23	39,6		Middag	6,39	39,3	
Dinsdag	Ochtend	5,89	45,5		Ochtend	5,75	46	
	Middag	5,74	45,9		Middag	5,49	45,3	
Woensdag	Ochtend	6,58	44,1		Ochtend	6,1	43,5	
	Middag	6,19	46		Middag	6,02	45,7	
Donderdag	Ochtend	5,31	48,9		Ochtend	5,21	47,2	
	Middag	5,23	45,5		Middag	5,15	46	
Vrijdag	Ochtend	5,71	41,4		Ochtend	5,42	42,3	
	Middag	5,76	42,8		Middag	5,48	43,2	

Metingen zeefbochten.

Week	45								
	Influent VB 1					Effluent VB 1			
		pH steek	pH 24h	Temp (°C)			pH steek	pH 24h	Temp (°C)
Maandag	Ochtend	5,7	5,15	32,4		Ochtend	5,66	5,96	32,4
	Middag	5,62	5,15	32,9		Middag	5,62	5,96	32,9
Dinsdag	Ochtend	5,42	5,02	33,6		Ochtend	5,83	5,65	33,6
	Middag	5,23	5,02	33		Middag	5,24	5,65	32,9
Woensdag	Ochtend	5,6	5,26	34,1		Ochtend	5,66	5,26	32,6
	Middag	5,7	5,26	34,3		Middag	5,75	5,82	32,9
Donderdag	Ochtend	5,44	5,12	37		Ochtend	5,52	5,8	33,1
	Middag	5,57	5,12	35		Middag	5,61	5,8	33,5
Vrijdag	Ochtend	5,69	5,19	34		Ochtend	5,58	5,83	33,8
	Middag	5,59	5,19	34,6		Middag	5,68	5,83	34,1
Week	46								
	Influent VB 1					Effluent VB 1			
		pH steek	pH 24h	Temp (°C)			pH steek	pH 24h	Temp (°C)
Maandag	Ochtend	6,53	NVT	32,1		Ochtend	6,33	NVT	31,1
	Middag	4,77	NVT	34,5		Middag	4,68	NVT	32,5
Dinsdag	Ochtend	5,07	4,81	33,7		Ochtend	5,09	5,3	33,2
	Middag	5,12	4,81	33,7		Middag	5,15	5,3	33,1
Woensdag	Ochtend	5,36	5,05	32,4		Ochtend	5,4	5,42	31,3
	Middag	5,28	5,05	30,9		Middag	5,32	5,42	30,7
Donderdag	Ochtend	5	4,85	30,6		Ochtend	4,97	5,45	30,8
	Middag	4,92	4,85	30,7		Middag	4,93	5,45	30,2
Vrijdag	Ochtend	5,3	5,11	30,1		Ochtend	5,31	5,46	29,6
	Middag	5,36	5,11	30,6		Middag	5,43	5,46	30,4

Metingen voorbezinktank "1".

Week	45							
	Influent VB 2				Effluent VB 2			
		pH steek	Temp (°C)		pH steek	pH 24h	Temp (°C)	
Maandag	Ochtend	5,38	28,4		Ochtend	5,38	5,45	28,4
	Middag	5,16	29,3		Middag	5,16	5,45	29,3
Dinsdag	Ochtend	5,57	29,8		Ochtend	5,44	5,45	27,8
	Middag	5,2	32,7		Middag	5,32	5,48	29,1
Woensdag	Ochtend	5,85	32,1		Ochtend	5,53	5,78	28,2
	Middag	5,8	33		Middag	5,65	5,78	28,3
Donderdag	Ochtend	5,32	33,2		Ochtend	5,62	5,85	28,4
	Middag	5,83	33,2		Middag	5,79	5,85	28,6
Vrijdag	Ochtend	5,42	32,4		Ochtend	5,81	6,1	28,4
	Middag	5,6	32,4		Middag	5,95	6,1	28,4
Week	46							
	Influent VB 2				Effluent VB 2			
		pH steek	Temp (°C)		pH steek	pH 24h	Temp (°C)	
Maandag	Ochtend	6,31	28,1		Ochtend	5,97	NVT	25,1
	Middag	5,66	25,3		Middag	5,78	NVT	25
Dinsdag	Ochtend	5,01	28,2		Ochtend	5,22	5,75	26,6
	Middag	4,76	29,7		Middag	5,15	5,75	26,9
Woensdag	Ochtend	5,16	30,5		Ochtend	5,02	5,05	28,5
	Middag	5,08	30,6		Middag	5,06	5,05	28,7
Donderdag	Ochtend	4,98	29,8		Ochtend	5,03	5,04	27,8
	Middag	4,96	29,6		Middag	5,04	5,04	27,9
Vrijdag	Ochtend	5,37	28,8		Ochtend	5,18	5,09	26,1
	Middag	5,27	28,7		Middag	5,26	5,09	26,2

Metingen voorbezinktank "2".

Week	45												
	Mengtank											Retour reactoren gemiddeld	
			pH	Temp (°C)	Temp	Temp effluent VB	SP na koelertorens				pH	Temp (°C)	
Maandag	Ochtend	1	6,3	30,6	33,6	32,7	36			Ochtend	6,75	30,4	33,4
	Middag	2	6,2	31,8	33,8	33	36			Middag	6,77	31,6	33,6
Dinsdag	Ochtend	3	6,22	32,5	34,2	33,6	37			Ochtend	6,72	32,5	34,2
	Middag	4	6,07	32,3	34,2	33,7	37			Middag	6,74	32	33,9
Woensdag	Ochtend	5	6,31	32,5	34,5	34	37			Ochtend	6,7	31,8	33,8
	Middag	6	6,33	33,1	34,5	34,2	37			Middag	6,7	32,2	33,6
Donderdag	Ochtend	7	6,24	33,9	35,3	35,7	38			Ochtend	6,71	33,2	34,6
	Middag	8	6,33	33,6	35,3	34,6	37			Middag	6,74	32,8	34,5
Vrijdag	Ochtend	9	6,28	32,8	34,9	34,2	37			Ochtend	6,65	32,8	34,9
	Middag	10	6,35	33,5	34,5	34,1	37			Middag	6,7	33	34,8
Week	46												
	Mengtank											Retour reactoren gemiddeld	
			pH	Temp (°C)	Temp	Temp effluent VB	SP na koelertorens				pH	Temp (°C)	
Maandag	Ochtend	1	6,72	30,7	32,6	32,4	37			Ochtend	6,96	30	31,9
	Middag	2	6,16	31,2	33	34	37			Middag	6,84	30,7	32,5
Dinsdag	Ochtend	3	5,69	32	34,2	34	37			Ochtend	6,6	31,5	33,7
	Middag	4	5,66	32,8	34,4	34	37			Middag	6,66	32	33,6
Woensdag	Ochtend	5	5,92	32,1	33,3	32,1	33			Ochtend	6,71	32	33,2
	Middag	6	5,99	31,5	32,7	31,4	33			Middag	6,72	32	32,5
Donderdag	Ochtend	7	5,68	30,4	31,8	31,4	33			Ochtend	6,83	30,2	31,6
	Middag	8	5,65	30,4	31,7	31,2	33			Middag	6,82	29,6	30,9
Vrijdag	Ochtend	9	6,15	29,7	31,4	30,9	33			Ochtend	6,9	29	30,7
	Middag	10	6,09	29,7	31,6	31,3	33			Middag	6,86	29,2	31,1

Metingen mengtank, retour reactoren, setpoint na de koelers en de temperatuur van het effluent van voorbezinktank "1".

Week 47						Week 49					
SP na koeltorens 33 °C						SP na koeltorens 38 °C					
Meetnummer	VB 1 [°C]	Mengtank [°C]	Meetnummer	VB 1 [°C]	Mengtank [°C]	Meetnummer	VB 1 [°C]	Mengtank [°C]	Meetnummer	VB 1 [°C]	Mengtank [°C]
1	31,9	32,1	11	30,6	31,6	1	34,7	34,7	11	35	35,3
2	31,9	32,1	12	31,1	31,7	2	35	35	12	35,2	35,6
3	31,6	32	13	31,3	32	3	35,1	35,3	13	34,8	35,4
4	31,4	31,9	14	31,5	32	4	35	35,3	14	34,5	35,2
5	31,2	31,9	15	31,6	32,2	5	34,9	35,2	15	34,6	35,2
6	30,8	31,9	16	31,4	32,1	6	34,7	35,1	16	34,4	34,9
7	30,7	31,9	17	31,6	32,2	7	34,8	34,8	17	34,4	35
8	30,8	32	18	31,4	32	8	34,9	35	18	34,1	34,8
9	30,7	31,9	19	31,2	31,8	9	35	35,1	19	34,2	34,9
10	30,6	31,8	20	31,3	31,8	10	35,1	35,4	20	34,6	35,2
Gemiddelde [°C]: 31,2 31,9						Gemiddelde [°C]: 34,8 35,1					

Extra metingen temperatuur mengtank en voorbezinktank "1" om de gemiddelde temperatuur te bepalen die nodig waren om het tekort aan vermogen te bepalen.

CZV metingen	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 4	Pompbakmengtank	
Week 44	1187	1675	1697	1731	kg/dag
Week 45	798	1456	1628	1565	kg/dag
Week 46	1005	1639	1948	1957	kg/dag

CZV metingen.

Toen eenmaal dit warmtetekort berekend was, zijn verschillende opties bekeken om dit tekort aan vermogen te compenseren. Hierbij zijn ook verschillende berekeningen gemaakt. De beïnvloedbare parameters kunnen hierop een invloed hebben.

Nieuwe warmtewisselaar

De eerste optie die onderzocht is, is om de huidige warmtewisselaar te vervangen. Hiervoor was echter wel het huidige vermogen van de huidige warmtewisselaar nodig:

Huidige vermogen WW	T1	T2	
	75	68,5	
Drukverschil over WW	1		bar
Druk	3	2	bar
Enthalpie	314,2	286,9	KJ/Kg
Debiet naar en van WW	42,5	42,5	m3/h
Dichtheid water	974,9	978,7	Kg/m3
Dichtheid gemiddeld	976,8	976,8	Kg/m3
Massaflow naar en van WW	11,5	11,5	Kg/s
Totaal warmte inhoud water	3623,1	3308,2	KJ/s = kW
Vermogen huidige WW	314,9	kW	
Vermogen WW nieuw	1200,6	kW	
Extra percentage:	10,00%		
Vermogen WW nieuw totaal:	1320,7	kW	

Parameters huidige warmtewisselaar.

In de bovenstaande figuur is te zien dat het drukverschil over de warmtewisselaar en de druk variabel zijn. Deze waarden zijn in de praktijk afgelezen, de druk voor de warmtewisselaar bleek 3 bar te zijn en na de warmtewisselaar 2 bar. Zowel de temperatuur in, van het 70/90 watersysteem, als de temperatuur uit, als het debiet zijn afgelezen uit FactoryTalk. Vervolgens is de enthalpie bepaald voor en na de warmtewisselaar en kon met eerdergenoemde formule het vermogen van de warmtewisselaar bepaald worden. Dit vermogen bleek gelijk te zijn aan 314,9 kW. Het tekort aan vermogen is vervolgens opgeteld aan het huidige vermogen van de warmtewisselaars. Het vermogen van de nieuwe warmtewisselaar zou dan 1200,6 kW bedragen. Op dit nieuwe vermogen is nog een extra percentage opgeteld van, een gestelde, 10% om zeker te zijn dat er genoeg warmte geleverd kan worden aan de mengtank. Het totale vermogen van de nieuwe warmtewisselaar is dan 1320,7 kW.

Zoals eerder beschreven in de resultaten van dit onderzoeksrapport zijn er drie verschillende opties bekeken voor een nieuwe warmtewisselaar. De eerste optie was om de huidige warmtewisselaar te vervangen door één met hetzelfde temperatuurverschil over de warmtewisselaar:

Nieuwe WW	T1	T2	
	75	68,5	
Drukverschil over WW	1		bar
Druk	3	2	bar
Enthalpie	314,2	286,9	KJ/Kg
Dichtheid water	974,9	978,7	Kg/m ³
Dichtheid gemiddeld	976,8	976,8	Kg/m ³
Nieuw vermogen	1320,7		KW
Massaflow	48,4		Kg/s
Vermogen berekend	1320,7		KW
Verschil	0,0		KW
Debiet nieuwe WW	178,2		m ³ /h
Extra water nodig	135,73		m ³ /h
Kostprijs 1 m ³ water	€ 1,00		
Totaalprijs extra water	€ 135,73		
Prijs 1 ton stoom	€ 15,00		
Enthalpie stoom	2748,108		KJ/kg
Enthalpie water na condenseren	896,8435		KJ/kg
Condensaat af laten koelen tot	110		°C
Enthalpie afgekoeld condensaat	461,3634		KJ/kg
Benodigd stoom	0,44		kg/s
Kostprijs stoom	€ 23,75		per uur

Overzicht uitkomsten nieuwe warmtewisselaar met eenzelfde ΔT .

Bij deze keuze is de massaflow aangepast, ten opzichte van de huidige warmtewisselaar, waaruit een vermogen berekend kan worden met behulp van formule 3. Dit berekende vermogen moet gelijk zijn aan het eerder berekende nieuwe vermogen (1320,7 kW). De massaflow bleek toen gelijk te zijn aan 48,4 kg/s.

Er is bepaald hoeveel stoom er nodig is om het 70/90 water te verwarmen nadat het de warmte heeft afgegeven aan de mengtank. Er is gerekend met verzadigde stoom en deze stoom te laten condenseren tot 110 °C condensaat. Met behulp van formule 3 is er berekend dat in totaal 0,44 kg/s aan stoom nodig is, wat € 23,75 per uur zal kosten. Deze kosten zullen bij elke optie voor een nieuwe warmtewisselaar van toepassing zijn omdat het nieuwe vermogen (1320,7 kW) voor elke optie gelijk blijft.

De tweede optie was om de massaflow gelijk te houden maar het temperatuurverschil over de warmtewisselaar te vergroten:

Nieuwe ww			
zelfde plek andere T2	T1	T2	
	75	47,6	
Drukverschil over WW	1		bar
Druk	3	2	bar
Enthalpie	314,2	199,7	KJ/Kg
Dichtheid water	974,9	989,1	Kg/m ³
Dichtheid gemiddeld	982,0	982,0	Kg/m ³
Nieuw vermogen	1320,7		KW
Massaflow	11,5		Kg/s
Vermogen berekend	1320,7		KW
Verschil	0,0		KW

Overzicht nieuwe warmtewisselaar met eenzelfde massaflow.

Bij deze optie is de temperatuur veranderd om zo de enthalpie te beïnvloeden. Met eerder formule 3 kon zo het vermogen bepaald worden, die gelijk moet zijn aan het nieuwe berekende vermogen van de warmtewisselaar (1320,7 kW). De eindtemperatuur van het water bleek gelijk te zijn aan 47,6 °C.

De laatste optie was om de warmtewisselaar te verplaatsen in het 70/90 watersysteem zodat er warmer water beschikbaar is. Hierdoor zal zowel het temperatuurverschil als de massaflow veranderen:

Nieuwe WW andere plek	T1	T2	
	90	75	
Drukverschil over WW	1		bar
Druk	3	2	bar
Enthalpie	377,1	314,1	KJ/Kg
Dichtheid water	965,4	974,9	Kg/m ³
Dichtheid gemiddeld	970,2	970,2	Kg/m ³
Nieuw vermogen	1320,7		KW
Massaflow	20,9		Kg/s
Vermogen berekend	1320,7		KW
Verschil	0,0		KW
Debiet nieuwe WW	77,7		m ³ /h
Extra water nodig	35,24		m ³ /h
Kostprijs 1 m ³ water	€ 1,00		
Totaalprijs extra water	€ 35,24		

Overzicht nieuwe warmtewisselaar andere plek in het 70/90 watersysteem.

Bij deze optie zijn zowel de ingaande temperatuur als uitgaande temperatuur van het 70/90 water van tevoren gesteld en zijn dus hier de beïnvloedbare parameters. Ook hier geldt dat het berekende vermogen, die met formule 3 berekend is, gelijk moet zijn aan het nieuwe vermogen (1320,7 kW). Dat wordt bij deze optie gedaan door de massaflow te variëren. Bij een temperatuurverschil van 15 °C bleek de massaflow gelijk te zijn aan 20,9 kg/s.

Stoominjectie.

Een andere optie, in plaats van een nieuwe warmtewisselaar, is om stoom te injecteren in het effluent van voorbezinktank “1”:

Stoominjectie		
Gegevens verzadigde stoom		
Druk	5	bar
Temperatuur	151,8	°C
Enthalpie	2748,1	KJ/Kg
Massaflow stoom	0,35	kg/s
Omgerekend naar ton/h	1,28	ton/h
Kostprijs één ton stoom	€ 15,00	
Totaal prijs per uur	€ 19,14	
Totale warmte inhoud stoom	974,3	KJ/s = KW
Benodigde warmte mengtank:	974,3	KW
Verschil:	0,0	KW

Overzicht stoominjectie.

Bij deze optie wordt er verzadigde stoom geïnjecteerd in het effluent van voorbezinktank “1” waardoor de temperatuur toe zal nemen. Voor de berekening is gebruikgemaakt van de volgende warmtebalans:

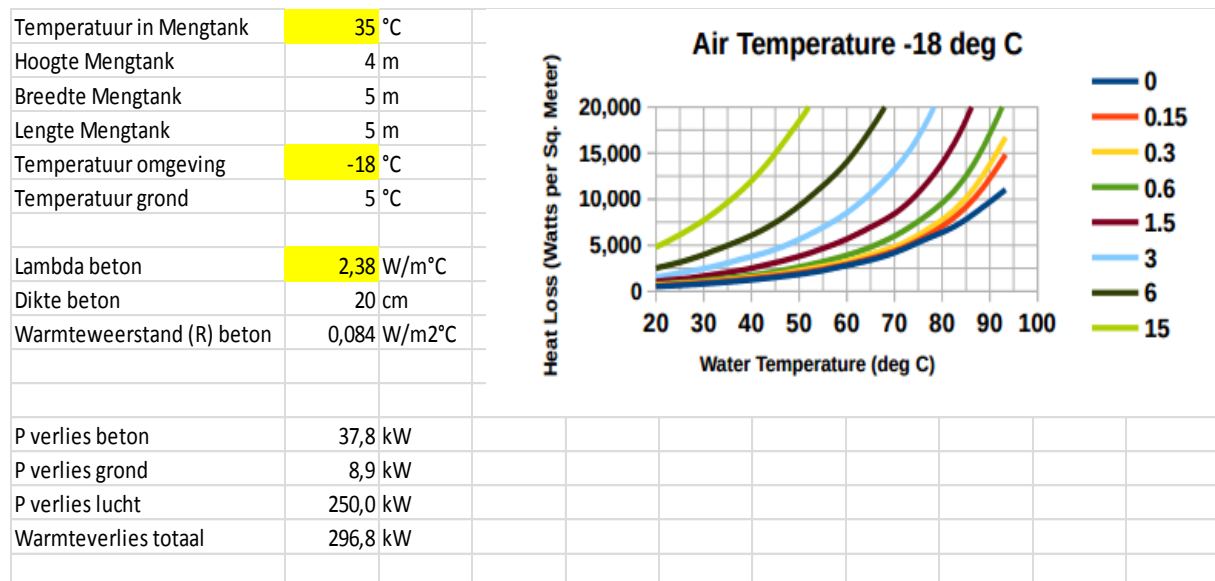
$$m_1 * h_1 + m_2 * h_2 = (m_1 + m_2) * h_3 \quad [4]$$

Hierin is m_1 de massastroom van het effluent van voorbezinktank “1”, h_1 de enthalpie van deze massastroom, m_2 de massastroom van de stoom, h_2 de enthalpie van deze stoom en h_3 de enthalpie van het effluent van voorbezinktank “1” na stoominjectie. Door de bovenstaande warmtebalans toe te passen kon zo de massaflow bepaald worden van de stoom. Ook hier is een extra percentage gebruikt om zeker te zijn dat het tekort aan vermogen gecompenseerd wordt. Hierdoor is de massaflow van stoom uiteindelijk hoger. Na de berekeningen bleek de massaflow van de stoom gelijk te zijn aan 0,35 kg/s wat € 19,14 per uur zal kosten.

Warmteverlies mengtank

De warmteverliezen van de mengtank zijn afhankelijk van een aantal parameters. Hiervan zijn de buitentemperatuur en de windsnelheid parameters die niet beïnvloed kunnen worden en die van de één op andere dag kunnen veranderen. Om zeker te zijn dat de huidige temperatuurregeling voldoende vermogen heeft om de mengtank op temperatuur te houden, is er van een worst-case scenario uitgegaan. Bij deze worst-case scenario moet de huidige temperatuurregeling van de mengtank voldoende vermogen hebben om het warmteverlies te kunnen compenseren.

De volgende afbeelding geeft een overzicht van de warmteverliesberekening met daarbij gestelde worst-case scenario parameters en daarbij behorende uitkomsten:



Overzicht warmteverliezen mengtank met gestelde worst-case scenario parameters.

In bovenstaande grafiek zijn de volgende worst-case scenario parameters te zien:

1. Temperatuur omgeving, deze is gelijk aan -18 °C
2. Lambda (warmtegeleidingscoëfficiënt) beton, hoogst gevonden waarde: 2,38 W/m°C
3. P verlies lucht, bij een buitentemperatuur van -18 °C en windsnelheden van 15 m/s, uitgelezen uit de bijgevoegde grafiek.

De temperatuur in de mengtank is gesteld op 35 °C, de grondtemperatuur op 5 °C en de overige parameters zijn opgemeten in de praktijk. Met de volgende formule is het warmteverlies bepaald:

$$P_{\text{verlies}} = P_{\text{beton}} + P_{\text{grond}} + P_{\text{lucht}} \quad [5]$$

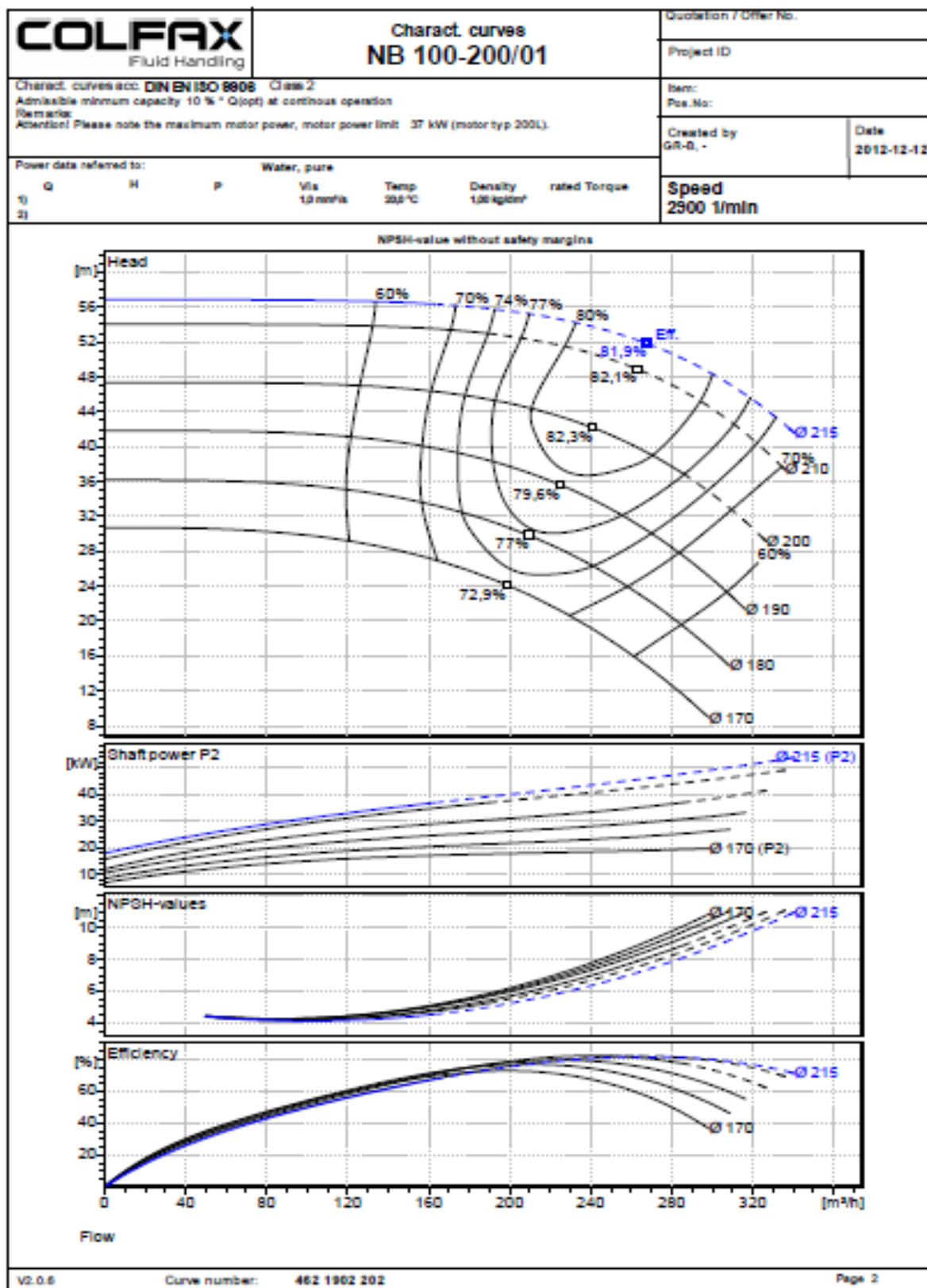
Het warmteverlies van beton is met de volgende formule bepaald:

$$P_{\text{beton}} = \frac{1}{\frac{\text{dikte beton}}{\text{Lambda}}} * A_{\text{beton}} * (T_{\text{mengtank}} - T_{\text{omgeving}}) \quad [6]$$

Het warmteverlies van de betonnen zijwanden bleek, na het toepassen van formule 6, gelijk te zijn aan 37,8 kW. Het warmteverlies van de grond is met dezelfde formule bepaald echter met de oppervlakte van de grond en het temperatuurverschil tussen de mengtank en de grond. Hieruit bleek het warmteverlies naar de grond gelijk te zijn aan 8,9 kW.

Het warmteverlies naar de lucht toe is bepaald met de grafiek die is bijgevoegd. Wanneer deze wordt afgelezen bij een watertemperatuur van 35 °C, een omgevingstemperatuur van -18 °C en een windsnelheid van 15 m/s bleek het warmteverlies naar de lucht toe gelijk te zijn aan 250 kW. Het totale warmteverlies van de mengtank is dan gelijk aan 296,8 kW.

VI. Pompcurve en typeplaatje pomp effluent voorbezinktank "1"



Pompcurve pomp effluent voorbezinktank "1".



Typeplaatje pomp effluent voorbezinktank "1".