

## TurboTec<sup>®</sup> Pilot onderzoek op RWZI Amersfoort

Naar het effect van thermische slib ontsluiting op secundair zuiveringslib

Datum: 09-09-2011  
Opdrachtgever: Waterschap Vallei en Eem  
Aannemer/Uitvoerder: Sustec Consulting & Contracting BV



Projectleden:

- Alex Hol (Sustec)
- Lex van Dijk (Sustec)
- Yuanchuan Zhang (Sustec)
- Karin Boterman (Waterschap Vallei & Eem)
- David Berkhof (DHV/STOWA)
- Ruud van Dalen (Waterschap Veluwe)
- Victor Claessen (Waterschap de Dommel)
- Erik Rekswinkel (HDSR)
- Jeroen Goverde (HHNK)

## Inhoudsopgave

|  |    |
|--|----|
| Samenvatting   | 4  |
| 1 Inleiding  | 6  |
| 2 Achtergrondinformatie                                | 7  |
| 3 Proefomschrijving                                    | 8  |
| 3.1 Pilot opzet gedurende fase 1&2                     | 8  |
| 3.2 Voeding gedurende fase 1&2                         | 9  |
| 3.3 Pilot opzet gedurende fase 3                       | 9  |
| 3.4 Voeding gedurende fase 3                           | 10 |
| 3.5 Het TurboTec proces                                | 10 |
| 3.6 De vergistingunit                                  | 10 |
| 3.7 Bemonstering                                       | 11 |
| 3.8 Analyses   | 11 |
| 3.9 Nitrificatietesten                                 | 13 |
| 4 Resultaten en discussie fase 1                       | 14 |
| 4.1 Drogestofgehaltenes van de in en uitgaande stromen | 14 |
| 4.2 Biogasproductie van de vergisters                  | 15 |
| 4.3 CZV balansen                                       | 17 |
| 4.4 Nutriëntenoverzicht                                | 19 |
| 4.5 Ontwaterbaarheid proeven                           | 20 |
| 4.6 Nitrificatietesten                                 | 22 |
| 4.7 Viscositeitmetingen                                | 23 |
| 5 Resultaten en discussie fase 2                       | 24 |
| 5.1 Drogestofgehaltenes van de in en uitgaande stromen | 24 |
| 5.2 Biogasproductie van de vergisters                  | 25 |
| 5.3 CZV balansen                                       | 27 |
| 5.4 Nutriëntenoverzicht                                | 29 |
| 5.5 Ontwaterbaarheid proeven                           | 29 |
| 6 Resultaten en discussie fase 3                       | 31 |
| 6.1 Drogestofgehaltenes van de in en uitgaande stromen | 31 |
| 6.2 Biogasproductie van de vergisters                  | 33 |
| 6.3 CZV balansen                                       | 35 |
| 6.4 Nutriëntenoverzicht                                | 37 |
| 6.5 Ontwaterbaarheid proeven                           | 37 |
| 6.6 Viscositeit Geestmerambacht slib                   | 39 |

|    |  |           |
|----|--|-----------|
| 7  | Verlenging fase 3B   | 40        |
| 8  | Stabiliteit primair en secundair slib                            | 41        |
| 9  | Pilot versus full scale  | 42        |
|    | 9.1 Voorbehandeling  | 42        |
|    | 9.2 Het TurboTec proces  | 42        |
|    | 9.3 Vergisters   | 43        |
| 10 | Conclusie  | 44        |
|    | <b>Bijlagen</b>  | <b>45</b> |
|    | Bijlage 1: Overzicht van de gemeten DS gehalten gedurende fase 1 | 45        |
|    | Bijlage 2: Iteratie biogaswaarden TT en REF vergister (fase 1)   | 46        |
|    | Bijlage 3: Overzicht van de gemeten DS gehalten gedurende fase 2 | 47        |
|    | Bijlage 4: Overzicht van de gemeten DS gehalten gedurende fase 3 | 48        |

## Samenvatting

Waterschap Vallei & Eem heeft de ambitie om voor 2015 een energie neutrale afvalwaterzuivering te bewerkstelligen. Om dit te kunnen realiseren is een uitgebreid onderzoeksprogramma opgezet, waarbij ondermeer wordt gekeken naar de toepassing van Thermische Slib Ontsluiting (TSO) op secundair zuiverings-slib. Om dit te onderzoeken is in samenwerking met Sustec een pilot onderzoek opgestart op RWZI Amersfoort. Hierbij is enerzijds gekeken naar de effecten die TSO van secundair slib met zich meebrengt op de vergisting en ontwaterbaarheid en anderzijds gekeken of door toepassing van TSO de verwerkingscapaciteit van vergisters kan worden verhoogd. De resultaten van dit onderzoek zijn opgenomen in het voorliggende rapport en kort samengevat in dit hoofdstuk.

Het pilot onderzoek is opgedeeld in drie verschillende fasen. Het effect van TSO op secundair slib is onderzocht gedurende fase 1 met secundair slib (6%) afkomstig van RWZI Amersfoort bij een verblijftijd van 21 dagen. Voor het verhogen van de verwerkingscapaciteit is in fase 2 de verblijftijd verlaagd en in fase 3 de DS belasting van de vergister verhoogd. Fase 2 is eveneens uitgevoerd met secundair slib afkomstig van RWZI Amersfoort. Gedurende deze fase is de verblijftijd van de vergister stapsgewijs verlaagd van 21 naar 12 dagen. Fase 3 is uitgevoerd met secundair slib afkomstig van RWZI Geestmerambacht, waarbij de DS belasting van de vergister is verhoogd van 6% naar 10% bij een verblijftijd van 21 dagen.

De resultaten voor fase 1 kunnen worden benaderd via twee scenario's. In het eerste scenario wordt gekeken naar het effect dat wordt verkregen door toepassing van thermische ontsluiting van secundair slib op het totale slib afkomstig van RWZI Amersfoort (primair + secundair). Deze resultaten zijn samengevat in Tabel 1.

**Tabel 1:** Effect van TSO op het totale slib van Amersfoort (primair + secundair)

| Proces parameter                                 | TT   | REF  | TT/REF |
|--|------|------|--------|
| Gemiddelde DS verwijdering (%)                   | 46,9 | 36,0 | 1,30   |
| Berekende biogasproductie (L/h)                  | 111  | 95   | 1,17   |
| CZV <sub>(totaal)</sub> omgezet naar methaan (%) | 37,6 | 33,0 | 1,14   |
| CZV <sub>(totaal)</sub> aanwezig na gisting (%)  | 39,4 | 47,3 | 0,83   |
| N in centraat (g/L)                              | 1,8  | 1,5  | 1,20   |
| P in centraat (g/L)                              | 0,2  | 0,2  | 1,00   |

Uit deze tabel blijkt dat door toepassing van TSO op secundair slib het overall vergistingsrendement, gebaseerd op de DS verwijdering, biogasproductie en CZV omzetting, van het totale slib (primair + secundair) met een factor ~1,20 toeneemt. Daarnaast is zowel op labschaal als op pilot schaal vastgesteld dat door TSO de ontwaterbaarheid van het uitgestigte slib verbetert met een factor 1,22.

In het tweede scenario wordt het effect van thermische ontsluiting uitsluitend gerelateerd aan secundair slib. Daarbij is er vanuit gegaan dat de biogasproductie van primair slib niet beïnvloed wordt door de thermische behandeling van het secundair slib. Door toepassing van TSO neemt de specifieke biogasproductie van secundair slib namelijk met een factor 1,35 toe:

|  |     |        |
|--|-----|--------|
| Secundair slib Amersfoort niet ontsloten:      | 231 | L/kgDS |
| Thermisch ontsloten secundair slib Amersfoort: | 311 | L/kgDS |

Door de toevoeging van primair slib gedurende fase 1 werd dit effect als een toename van 1,17 op de totale biogasproductie terug gemeten. Naast een verhoogde biogasproductie neemt door TSO de viscositeit van het secundaire slib met maar liefst een factor 7 af, wat de mogelijkheid biedt om hogere DS percentages te gaan voeden aan de vergisters zonder dat dit problemen oplevert met de verpomikbaarheid en menging. Verder laten nitrificatietesten zien dat TSO nagenoeg geen effect heeft op de nitrificatiesnelheid. Dit betekent dat er geen problemen verwacht worden als het centraat wordt teruggevoerd naar de AT van de RWZI of in de centraat waterbehandeling.

Belangrijkste bevinding van fase 2 is dat een verlaging van de verblijftijd van 21 naar 12 dagen geen verschil oplevert als TSO wordt toegepast. De specifieke biogasproductie blijft onveranderd, er komen niet meer of minder nutriënten in oplossing, en de ontwaterbaarheid blijft in dezelfde range.

In fase 3 is getest met uitsluitend secundair slib afkomstig van RWZI Geestmerambacht. Fase 3A is van start gegaan met een DS belasting van 6% voor beide vergisters, welk in fase 3B voor de TT vergister is verhoogd naar 10%. Uit fase 3B blijkt dat een verhoging van de DS belasting resulteert in een vergelijkbare toename in biogas (door gelijke procentuele verwijdering van DS en CZV) en nutriënten. De volgende specifieke biogasproducties zijn bepaald:

|   |            |
|---|------------|
| Secundair slib Geestmerambacht niet ontsloten:      | 257 L/kgDS |
| Thermisch ontsloten secundair slib Geestmerambacht: | 344 L/kgDS |

Deze waarden zijn vergelijkbaar met de waarden die in fase 1 zijn bepaald voor het secundaire slib afkomstig van RWZI Amersfoort. Verder heeft een verhoging van de DS belasting (1,8x) geen effect op de ontwaterbaarheid, die door toepassing van TSO met een factor 1,37 toeneemt voor secundair Geestmerambacht slib. Wel bestaat er het gevaar dat door verhoging van de DS belasting de ammoniak concentratie toeneemt met verhoogd risico op verzuring. Bij het toepassen van hogere DS percentages is het dus belangrijk om anaerobe biomassa te gebruiken die geadopteerd is aan ammoniak concentraties hoger dan 2,3 g/L of om het ontsloten slib te verdunnen in combinatie met een verlaging van de verblijftijd.

# 1 Inleiding

Waterschap Vallei & Eem heeft in haar integraal zuiveringsplan voor de komende vijf jaar haar ambities vastgelegd. Een van deze ambities is het bewerkstelligen van een energieneutrale afvalwaterzuivering voor 2015. Om dit te kunnen realiseren is een uitgebreid onderzoeksprogramma opgezet, met daarin verschillende onderzoeken. Een van deze onderzoeken is gericht op de toepassing van Thermische Slib Ontsluiting (TSO) op het secundaire slib van RWZI Amersfoort. Door TSO wordt een hogere slibafbraak verwacht wat zal resulteren in een hogere biogas opbrengst waardoor de RWZI zijn externe energie behoefte verlaagd. Tevens wordt een verbetering voor de slibontwatering van het uitgegiste slib verwacht, waardoor een hoger drogestof gehalte kan worden behaald wat resulteert in minder transportkosten en eindverwerkingskosten.

Om het effect van TSO op secundair slib van RWZI Amersfoort te onderzoeken heeft Sustec in samenwerking met Waterschap Vallei & Eem, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Waterschap de Dommel, Waterschap Veluwe, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en STOWA een onderzoeksprogramma opgesteld. Voor dit onderzoek heeft Sustec een pilot onderzoek uitgevoerd op de RWZI van Amersfoort. Deze pilot installatie bestaat grofweg uit de volgende onderdelen:

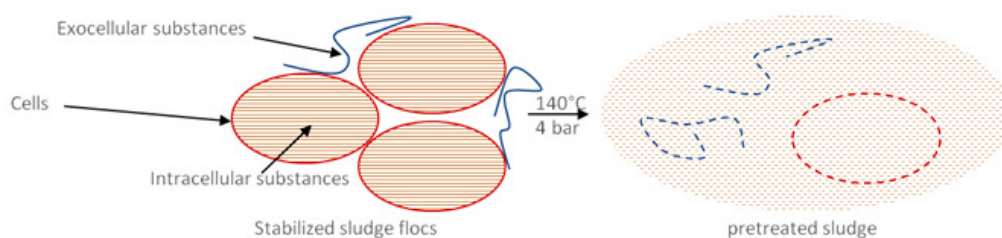
- Ontvangstank met voorzeving
- Mechanische voorontwatering met polymeerdosering
- Ontsluitingsreactor met stoominjectie en warmtewisselaars
- Vergistingsunit met 2 reactoren

Het doel van het opgestelde onderzoek is tweedelig. Enerzijds is gekeken naar de positieve effecten die TSO van secundair slib met zich meebrengt op de vergisting en ontwaterbaarheid, anderzijds is gekeken of door toepassing van TSO de verwerkingscapaciteit van vergisters kan worden verhoogd. Het effect van TSO op secundair slib is onderzocht gedurende fase 1 met secundair slib afkomstig van RWZI Amersfoort bij een verblijftijd van 21 dagen. Voor het verhogen van de verwerkingscapaciteit is in fase 2 de verblijftijd verlaagd en in fase 3 de DS belasting van de vergister verhoogd. Fase 2 is eveneens uitgevoerd met secundair slib afkomstig van RWZI Amersfoort. Gedurende deze fase is de verblijftijd van de vergister stapsgewijs verlaagd van 21 naar 12 dagen. Fase 3 is uitgevoerd met secundair slib afkomstig van RWZI Geestmerambacht, waarbij de DS belasting van de vergister is verhoogd van 6% naar 12% bij een verblijftijd van 21 dagen.

## 2 Achtergrondinformatie

Biogas wordt gevormd door de afbraak van organisch materiaal onder anaerobe omstandigheden. Dit anaerobe afbraakproces kan in principe worden onderverdeeld in vier verschillende fasen:

1. Hydrolyse, waarbij complexe, niet opgeloste materialen onder invloed van fermentatieve bacteriën uitgescheiden enzymen (zgn. exo-enzymen) worden omgezet in minder complexe, opgeloste stoffen.
2. Fermentatie of zuurvorming, waarbij opgeloste stoffen in de cellen van fermentatieve bacteriën worden omgezet in een reeks eenvoudigere verbindingen die weer worden uitgescheiden. Producten van deze fase zijn o.a. vluchtige vetzuren, alcoholen, melkzuur, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>S.
3. Acetogenese (intermediaire zuurvorming) waarbij de fermentatieproducten worden omgezet in azijnzuur, H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>, alsmede nieuw celmateriaal.
4. Methanogenese, waarbij azijnzuur, H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> en mierenzuur worden omgezet in methaan, CO<sub>2</sub> en nieuw celmateriaal.



**Figuur 1:** Principe thermische slib ontsluiting.

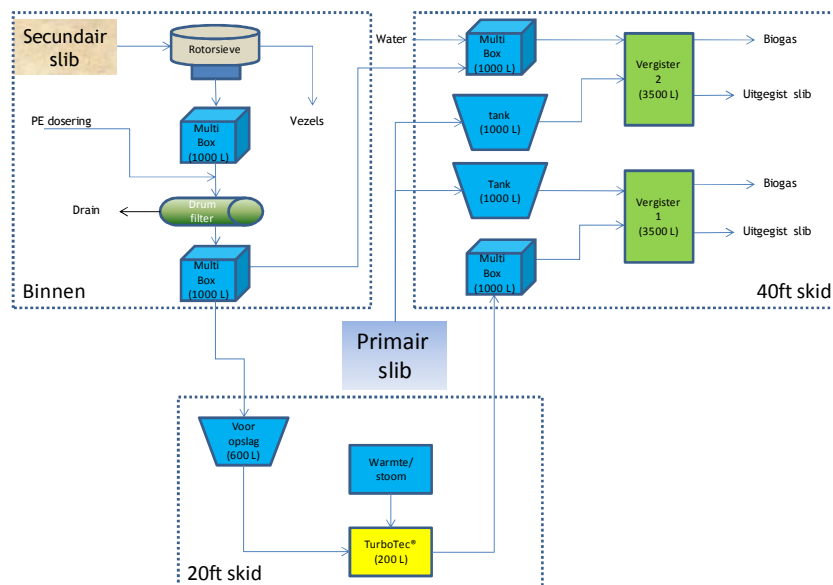
De hydrolyse van organisch materiaal is een langzaam proces en daarmee de snelheidsbepalende stap, waarbij de bereikbaarheid van het te hydrolyseren substraat voor de exo-enzymen een belangrijke rol speelt. Door de toepassing van TSO op secundair zuiverings-slib wordt de bereikbaarheid van het substraat verbeterd doordat celstructuren, organisch materiaal en extracellulaire polymeer substanties (EPS) door de combinatie van hoge druk en temperatuur uiteenvallen (zie Figuur 1). Door deze ontsluiting van slib neemt de biogasproductie toe. Bijkomende positieve effecten zijn dat door TSO de viscositeit van het slib afneemt en dat de ontwaterbaarheid toeneemt door de afbraak van EPS (EPS bindt 4-5 gram water per gram EPS).

### 3 Proefomschrijving

Om het effect van TSO op secundair zuiveringslib te onderzoeken is door Sustec een pilot onderzoek uitgevoerd op RWZI Amersfoort. Dit hoofdstuk omschrijft de opzet van het pilot onderzoek gedurende de drie verschillende fasen. Daarnaast wordt de bemonstering omschreven en een overzicht gegeven van de analyses die zijn uitgevoerd.

#### 3.1 Pilot opzet gedurende fase 1&2

Een overzicht van de pilot opzet zoals deze is toegepast gedurende fase 1 en 2 is weergegeven in Figuur 2.



**Figuur 2:** Schematische weergave van het pilot onderzoek met gescheiden primaire en secundaire voeding zoals toegepast gedurende fase 1 en 2.

In de opzet zoals weergegeven in Figuur 2 wordt secundair slib afkomstig van RWZI Amersfoort (DS gehalte ~1%) na het passeren van een rotorzeef (vezelafscheiding < 2 promille op DS basis bij 2mm poriegrootte) mechanisch verder ingedikt tot ~6%. Hiervoor is gebruik gemaakt van een trommelzeef en polymeer van het type SNF 794. Het ingedikte secundaire slib, wordt vervolgens vanuit een multibox verpompt naar de vooropslag van de TurboTec installatie of naar de secundaire voedingsopslag (multibox) van de referentie vergister (vergister 2). In de TurboTec installatie vindt de TSO plaats, waarna het ontsloten slib wordt verzameld in een multibox die dient als secundaire voeding voor de Turbotec vergister (vergister 1).



Omdat tijdens TSO stoom (water) wordt toegevoegd aan het proces treedt verdunning op. Daarom is aan de secundaire voeding van de referentie vergister ook water (-10 a 20%) toegevoegd om hiervoor te compenseren.

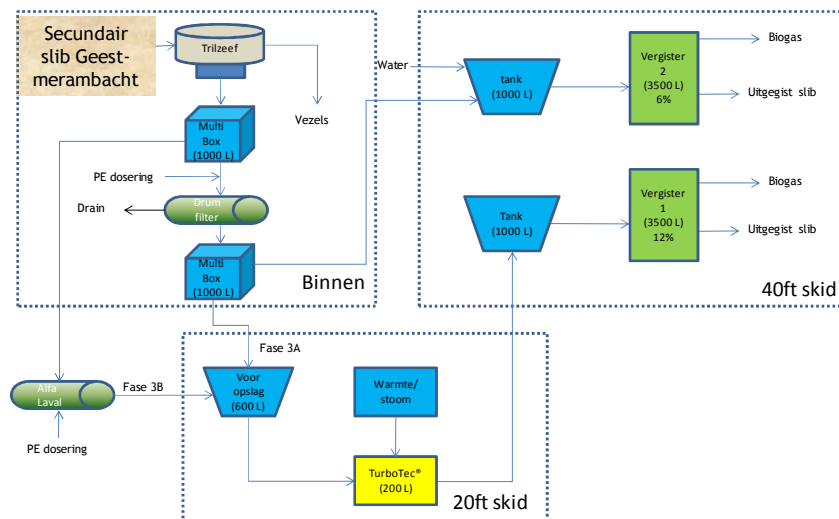
Naast secundair slib is gedurende fase 1 en 2 ook primair slib afkomstig van Amersfoort gevoed aan beide vergisters. Het primaire slib is, na een zandcyloon te zijn gepasseerd, gravitair ingedikt tot 4,5 a 5,0%. Alvorens het aan de vergisters werd gevoed werd het primaire slib in de juiste verhouding opgemengd met het secundaire slib en tijdelijk opgeslagen in de opslag tanks. Al snel bleek dat tijdens deze opslag omzetting optrad. Vanaf 3 november is daarom het primaire en secundaire slib separaat gevoed aan de vergisters, zoals is weergegeven in Figuur 2.

### 3.2 Voeding gedurende fase 1&2

Gedurende fase 1 (29 september 2010 tot 3 januari 2011) is de voeding gecontroleerd op 7 L/h, wat overeenkomt met een verblijftijd van 21 dagen. Deze verblijftijd is voor de TT (TurboTec) vergister gedurende fase 2 (3 t/m 31 januari 2011) stapsgewijs verlaagd van 21 naar 16, van 16 naar 14, en van 14 naar 12 dagen. De verblijftijd van de REF (referentie) vergister is gedurende fase 2 constant gehouden op 21 dagen. De samenstelling van de voeding bestond voor beide fasen uit 35% primair slib en 65% secundair slib (op volumebasis).

### 3.3 Pilot opzet gedurende fase 3

Fase 3 (1 februari 2011 t/m 5 mei 2011) is uitgevoerd met secundair slib afkomstig van Geestmerambacht. De pilot installatie is voor deze fase aangepast en de opzet van deze fase is weergegeven in Figuur 3.



**Figuur 3:** Schematische weergave van het pilot onderzoek zoals toegepast voor fase 3.

In de opzet zoals weergegeven in Figuur 3 wordt secundair slib afkomstig van RWZI Geestmerambacht (DS gehalte ~2%) na het passeren van een rotorzeef (en vanaf 22 maart na het passeren van een trilzeef) mechanisch verder ingedikt tot ~6%. Deze 6% diende in fase 3A als voeding voor beide vergisters. In fase 3B is het secundaire slib na passage van de trilzeef met behulp van de Alfa Laval decanter ingedikt naar 12% voordat het naar de TurboTec werd getransporteerd. Voor de REF vergister is het secundaire slib in fase 3B, evenals in fase 3A, op circa 6% gehandhaafd.

### 3.4 Voeding gedurende fase 3

Gedurende fase 3 is de voeding gecontroleerd op 7 L/h (tenzij anders vermeld), wat overeenkomt met een verblijftijd van 21 dagen. De voeding tijdens deze fase bestond uitsluitend uit secundair slib afkomstig van RWZI Geestmerambacht. Tijdens fase 3 is er dus geen primair slib gevoed aan beide vergisters.

### 3.5 Het TurboTec proces

Vanuit de vooropslag (600 L), voorzien van mixer, wordt het ingedikte secundaire slib via een versnijder en monopomp (capaciteit: 70-200 L/h x 5 bar) gevoed aan de ontsluitingsreactor. Deze reactor met een volume van 200 L is voorzien van warmtewisselaars, een circulatiepomp: 500-2500 L/h, verwarming van de circulatie d.m.v. thermische olie, en een stoomgenerator met waterstandmeter. Door de toevoeging van stoom dient er rekening mee te worden gehouden dat de uitgaande stroom is verdund met water (~10%). De TSO wordt standaard uitgevoerd bij een druk van 4 bar, een temperatuur van 140°C en een gemiddelde verblijftijd van 1,4 uur. Gemiddeld is twee keer per week een voorraad ontsloten slib aangemaakt en daarna opgeslagen in een multibox.

### 3.6 De vergistingunit

De vergistingunit bestaat uit twee opslagtanks (met mixers) van 1000 L en twee anaerobe reactoren. Vanuit de opslagtanks wordt het slib verpompt naar de vergisters m.b.v. een slangenpomp (0 - 20 L/uur). Voor fase 1 en 2 is deze unit verder uitgebreid met twee multiboxen (voorzien van mixers) en twee extra voedingspompen. Secundair slib is vanuit de multibox gevoed aan de TT vergister met een slangenpomp en aan de REF vergister met een monopomp.

De geïsoleerde reactoren hebben per stuk een volume van 4000 L, werkvolume 3500 L, en zijn voorzien van temperatuur regeling (ondergedompelde spiraal) en een circulatie flow. Waarden die gelogd/genoteerd worden zijn de pH, temperatuur en biogasproductie (gasklok). De vergisters hebben alle 3 fasen gedraaid bij een temperatuur van 37°C.

### 3.7 Bemonstering

Tijdens de 3 fasen zijn op verschillende locaties monsters genomen. Tabel 2 geeft een overzicht van het aantal monsters en om wat voor type monster het gaat.

**Tabel 2:** Bemonsterschema (in aantal per week) voor de 3 verschillende fasen

| Monster                              | Fase 1&2 | Fase 3 | Type monster                  |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------------------------|
| Voeding primair TT&REF               | 2        | -      | Gemengd uit voorraadtank      |
| Secundair (ruw)                      | 2        | 2      | Steekmonster voor rotorzeef   |
| Secundair ingedikt                   | 2        | 2      | Steekmonster na trommelfilter |
| Secundair centrifuge                 | -        | 2      | Steekmonster na centrifuge    |
| TurboTec in                          | 2        | 2      | Gemengd uit voorraad tank     |
| TurboTec uit                         | 2        | 2      | Steekmonster                  |
| Voeding secundair TT&REF             | 2        | 2      | Gemengd uit opslag tank       |
| Voeding pr+sec TT&REF <sup>[1]</sup> | 2        | -      | Gemengd uit opslag tank       |
| Uitgegist slib TT&REF                | 2        | 2      | Gemengd uit reactor           |
| Biogas                               | 1        | 1      | Afgas                         |

[1] Monsters genomen t/m 3 november, daarna is primair en secundair gescheiden gevoed (fase 1)

### 3.8 Analyses

Een overzicht van de analyses die zijn uitgevoerd gedurende de 3 verschillende fasen is weergegeven in tabel 3 t/m 5.

**Tabel 3:** Analyses uitgevoerd gedurende fase 1

| Monster                  | DS | CZV <sub>T</sub> | CZV <sub>F</sub> | OS | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | VZ | OBH |
|--------------------------|----|------------------|------------------|----|----------------|----------------|----|-----|
| Voeding primair TT&REF   | X  | X                |                  |    |                |                |    |     |
| Secundair (ruw)          | X  |                  |                  |    |                |                |    |     |
| Secundair ingedikt       | X  |                  |                  |    |                |                |    |     |
| TurboTec in              | X  | X                | X                |    | X              | X              | X  | X   |
| TurboTec uit             | X  | X                | X                |    | X              | X              | X  | X   |
| Voeding secundair TT&REF | X  | X                |                  |    |                |                |    |     |
| Voeding pr+sec TT&REF    | X  | X                |                  |    |                |                |    |     |
| Uitgegist slib TT&REF    | X  | X                |                  | X  | X              | X              |    | X   |

**Tabel 4: Analyses uitgevoerd gedurende fase 2**

| Monster                  | DS | CZV <sub>T</sub> | OS | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | OBH* |
|--------------------------|----|------------------|----|----------------|----------------|------|
| Voeding primair TT&REF   | X  | X                | X  |                |                |      |
| Secundair (ruw)          | X  |                  |    |                |                |      |
| Secundair ingedikt       | X  |                  |    |                |                |      |
| TurboTec in              | X  | X                |    |                |                | X    |
| TurboTec uit             | X  | X                |    |                |                | X    |
| Voeding secundair TT&REF | X  | X                | X  |                |                |      |
| Uitgegist slib TT&REF    | X  | X                | X  | X              | X              | X    |

\* Ontwaterbaarheid

**Tabel 5: Analyses uitgevoerd gedurende fase 3**

| Monster                  | DS | CZV <sub>T</sub> | OS | N <sub>T</sub> | P <sub>T</sub> | OBH |
|--------------------------|----|------------------|----|----------------|----------------|-----|
| Secundair (ruw)          | X  |                  |    |                |                |     |
| Secundair ingedikt       | X  |                  |    |                |                |     |
| Secundair centrifuge     | X  |                  |    |                |                |     |
| TurboTec in              | X  | X                |    |                |                | X   |
| TurboTec uit             | X  | X                |    |                |                | X   |
| Voeding secundair TT&REF | X  | X                | X  |                |                |     |
| Uitgegist slib TT&REF    | X  | X                | X  | X              | X              | X   |

Voor het bepalen van het drogestof (DS) gehalte zijn de (slib) monsters ingedroogd bij 105°C (overnacht). De organische stof (OS) fractie is bepaald als het verschil tussen indrogen bij 105°C en 550°C. Indrogen bij 550°C zorgt ervoor dat al het organische stof verbrand, waarna alleen nog de zouten en zand gemeten worden.

Chemisch zuurstof verbruik (CZV), Stikstof totaal (N<sub>T</sub>), fosfaat totaal (P<sub>T</sub>), en vetzuren (VZ) zijn bepaald aan de hand van Hach Lange cuvet testen. Omdat er geen nitriet en nitraat wordt verwacht in het secundaire slib en in het uitgegiste slib kan er ook vanuit worden gegaan dat het totaal gemeten stikstof representatief is voor Kjeldahl stikstof. Verdunningen voor de cuvet testen zijn gemaakt op basis van gewicht en voor het filtreren van monsters is om praktische redenen gebruik gemaakt van Whatman 589/2 filters (poriën grootte 4-12 µm).

Ontwaterbaarheid (OBH) is op labschaal bepaald door de monsters te behandelen met polymeer (SNF 944<sup>F</sup>) en vervolgens te centrifugeren bij 2500 g gedurende 1 minuut. De slibkoek is daarna verder ontwaterd met een handpers waarna het DS gehalte is gemeten. Door gebruik van een centrifuge was het ook mogelijk om het centraat af te vangen en hierop N en P metingen uit te voeren. Hiervoor zijn de ongefiltreerde monsters gebruikt.

Naast labschaal zijn er ook ontwateringstesten uitgevoerd op pilot schaal. Hiervoor is gebruik gemaakt van een pilot centrifuge (Alfa Laval) met een maximale capaciteit van 400 L/h. Voor fase 1&2 is de pilot centrifuge bedreven bij een doorstroomsnelheid van ~120 L/h, een bowl speed van 5500 rpm (2500 g) en een differential speed van 9. Voor fase 3 is de pilot centrifuge bedreven bij een doorstroomsnelheid van ~200 L/h, een bowl speed van 5000 rpm en een differential speed van 2.

### 3.9 Nitrificatietesten

Nitrificatietesten zijn uitgevoerd op het centraat dat is verkregen tijdens de Alfa Laval centrifugetest aan het einde van fase 1. De testen zijn uitgevoerd met slib afkomstig van de RWZI Amersfoort en hadden de volgende samenstelling:

- 25 mL centraat
- 50 mL (bezonken) zuiveringsslib
- 50 mM fosfaat buffer (pH 7,4)
- 425 mL water

Op  $t = 0$  is de beluchting gestart, waarna om de 2 uur een monster is genomen om de afname in  $\text{NH}_4\text{-N}$  te bepalen. De testen zijn uitgevoerd bij kamertemperatuur ( $\sim 21^\circ\text{C}$ ).

## 4 Resultaten en discussie fase 1

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten die behaald zijn voor fase 1 die gestart is op 29 september 2010 en is beëindigd op 3 januari 2011. De eerste 4 weken van deze fase (tot 27 oktober 2010) wordt beschouwd als opstartperiode. De data die verzameld is in deze opstartperiode is, indien bepaald, opgenomen in de grafieken, maar niet meegenomen in de berekeningen.

### 4.1 Drogestofgehaltenes van de in en uitgaande stromen

Een overzicht van de gemiddelde drogestofgehaltenes voor de in en uitgaande stromen van fase 1 staat weergegeven in tabel 6. Voor het verloop van de DS gehaltenes in de tijd gedurende fase 1 wordt verwezen naar bijlage 1.

**Tabel 6:** Overzicht van de gemiddelde drogestofgehaltenes voor fase 1

| Monster                    | Aantal | Gemiddeld DS (%) |
|----------------------------|--------|------------------|
| Primair TT                 | 18     | 4,7 ± 0,6        |
| Primair REF                | 18     | 4,8 ± 0,5        |
| Secundair (ruw)            | 15     | 1,1 ± 0,4        |
| Secundair (dik)            | 15     | 6,0 ± 0,5        |
| TurboTec in                | 17     | 6,1 ± 0,6        |
| TurboTec uit               | 17     | 4,8 ± 0,2        |
| Secundair TT               | 15     | 5,1 ± 0,5        |
| Secundair REF              | 17     | 5,2 ± 0,5        |
| Voeding <sup>[1]</sup> TT  | 3      | 4,5 ± 0,3        |
| Voeding <sup>[1]</sup> REF | 3      | 4,9 ± 0,5        |
| Uitgestigt slib TT         | 21     | 2,6 ± 0,1        |
| Uitgestigt slib REF        | 21     | 3,2 ± 0,2        |

[1] Voeding (primair+secundair) van 27 oktober t/m 3 november

Uit tabel 6 blijkt dat gedurende fase 1 het drogestofgehalte van het primaire slib voor beide vergisters hetzelfde is geweest. Het secundaire slib wordt na de rotorzeef (vezelafscheiding < 2 promille op DS basis) ingedikt via een trommelzeef van 1,1% naar 6,0%. Na de trommelzeef wordt het ingedikte secundaire slib verpompt naar de vooropslag van de TurboTec installatie waar 6,1% DS wordt gemeten. Door de toevoeging van stoom tijdens het TurboTec proces wordt het slib verdund, waardoor een lager DS gehalte gemeten wordt voor TurboTec uit. TurboTec uit zou gelijk moeten zijn aan secundair TT, maar wordt mogelijk lager gemeten omdat dit een steekmonster betreft. Ook secundair REF is verdund met water om zo tot een gelijk DS gehalte te komen voor beide vergisters. Als secundair TT en REF worden gecorrigeerd voor het waterverbruik worden de volgende waarden verkregen:

DS secundair TT gecorrigeerd: 5,9%  
 DS secundair REF gecorrigeerd: 6,0%

Voor de REF vergister komt het gecorrigeerde secundaire drogestof percentage overeen met secundair ingedikt. Voor de TT vergister komt het gecorrigeerde secundaire drogestof percentage iets te laag uit, maar valt nog wel binnen de gemeten afwijking voor TurboTec in. Omdat de gecorrigeerde waarden van het secundaire slib dicht bij de gemeten ingaande DS gehalten komt wordt ervan uitgegaan dat er geen correctie hoeft te worden toegepast op de voeding van de TT en REF vergister. Tot 3 november bestond de voeding uit primair + secundair, welke daarna gescheiden zijn toegevoegd. Als de voeding wordt berekend over de gehele fase (27 oktober - 3 januari) worden de volgende waarden verkregen:

DS voeding TT fase 1:           4,9 ± 0,4%  
 DS voeding REF fase 1:       5,0 ± 0,4%

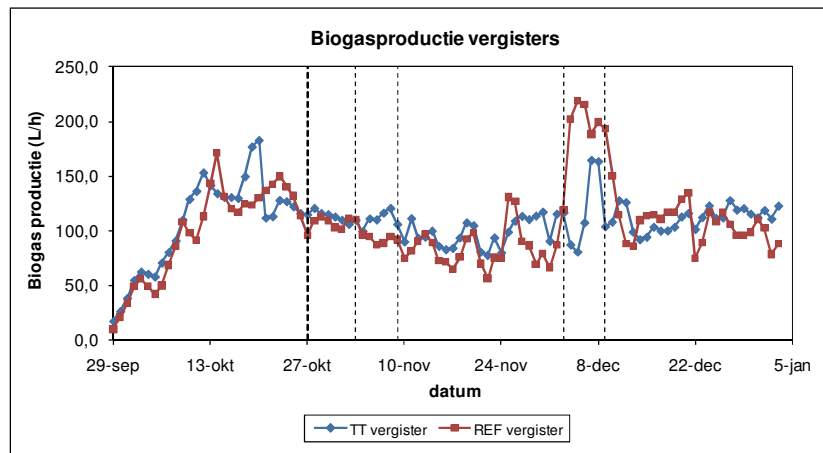
Vanuit deze waarden kan vervolgens worden berekend dat door toepassing van TSO de DS verwijdering met een factor 1,30 toeneemt voor de TT vergister t.o.v. de REF vergister:

$$\text{Factor TT/REF} = ((4,9-2,6)/4,9)/((5,0-3,2)/5,0) = 1,30$$

Organische stof fracties zijn alleen bepaald voor het uitgegiste slib tijdens fase 1. Omdat deze waarden niet gerelateerd kunnen aan de voeding kan er geen TT/REF factor worden berekend, maar door TSO lijkt de gemiddelde OS fractie van het uitgegiste slib iets lager uit te komen: 61,0 ± 1,5 (TT) versus 62,3 ± 2,1 (REF).

## 4.2 Biogasproductie van de vergisters

Gedurende fase 1 is de biogasproductie van beide vergisters continue gelogd (per 75 sec). Vanuit deze data is de gemiddelde biogasproductie per dag berekend en uitgezet in Figuur 4. Tot 27 oktober wordt beschouwd als opstartperiode en na 27 oktober hebben beide vergisters hun steady state behaald. Gedurende de steady state fase zijn er twee perioden geweest waarbij de voeding afweek van het geplande schema (7 L/h, 35% primair, 65% secundair). Deze perioden zijn aangegeven met gestreepte lijnen. Gedurende periode 1, 3 t/m 9 november, is er alleen secundair slib gevoed (7 L/h), omdat er nog geen pompen aanwezig waren om primair slib separaat toe te gaan voegen. Voor periode 2, 3 t/m 9 december, heeft de REF vergister teveel voeding gehad. Hierbij is van 3-5 december 3x te veel primair slib gevoed naast de normale secundaire voeding. Om dit te compenseren is van 6-9 december 3x te veel secundair slib gevoed naast de normale primaire slib voeding. Deze overmaat aan voeding resulteerde in een verhoogde biogas opbrengst, zie Figuur 4.



**Figuur 4:** Gemiddelde biogasproductie per dag voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 1.

Wat opvalt aan Figuur 4 is dat tijdens periode 1, waarbij tijdelijk alleen secundair slib is gevoed, een duidelijk verschil wordt verkregen tussen de biogasproducties en dat dit verschil minder wordt zodra primair slib wordt toegevoegd. Hieruit wordt duidelijk dat door de toevoeging van primair slib het zichtbare effect van TSO op secundair slib wordt verkleind. Om een beter beeld te krijgen van het netto TSO effect op het secundaire slib is daarom voor beide vergisters een iteratie (met behulp van de kleinste kwadraten methode) uitgevoerd op de gemiddelde biogasproducties (Figuur 4), zie bijlage 2. Uit deze iteratie, uitgevoerd vanaf 27 oktober, zijn de volgende specifieke biogasproducties voor het primaire en secundaire slib naar voren gekomen:

|  |     |        |
|--|-----|--------|
| Primair slib Amersfoort:                       | 350 | L/kgDS |
| Secundair slib Amersfoort:                     | 231 | L/kgDS |
| Thermisch ontsloten secundair slib Amersfoort: | 311 | L/kgDS |

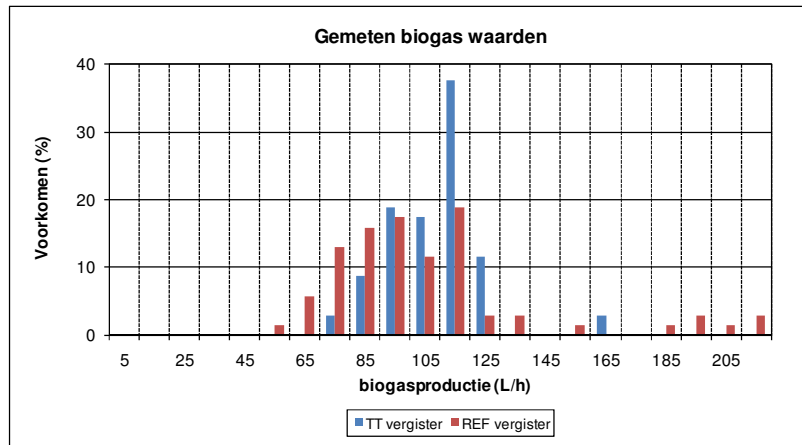
Met behulp van de specifieke biogasproducties en de gemiddelde voeding is het ook mogelijk om de bijbehorende biogasproducties voor de TT vergister en de REF vergister te berekenen:

$$\text{TT vergister: } (2,45 \cdot 0,049 \cdot 350) + (4,55 \cdot 0,049 \cdot 311) = 111 \text{ L/h}$$

$$\text{REF vergister: } (2,45 \cdot 0,050 \cdot 350) + (4,55 \cdot 0,050 \cdot 231) = 95 \text{ L/h}$$

Voor de TT vergister wordt deze waarde bevestigd als wordt gekeken naar de biogasproducties die zijn gemeten binnen een bepaald interval (0-10, 10-20, etc) gedurende fase 1, zie Figuur 5. Voor de REF vergister wordt zowel een hoge piek verkregen bij 95 L/h als bij 115 L/h.





**Figuur 5:** Gemeten biogasproducties binnen een bepaald interval voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 1 (27 oktober t/m 3 januari).

Omdat de piek bij 115 L/h deels wordt veroorzaakt door de uitloop van overtollig primaire voeding (5-22 december) blijkt dat 95 L/h representatief is voor de REF vergister. Wanneer de biogasproducties worden gecorrigeerd voor de voeding kan worden berekend dat door TSO de biogasproductie voor de TT vergister een factor 1,19 hoger uitkomt dan die van de REF vergister. Als alleen wordt gekeken naar het effect van TSO op secundair slib wordt een factor van 1,35 gevonden.

### 4.3 CZV balansen

Een overzicht van de gemiddelde gemeten CZV waarden is weergegeven in Tabel 7.

**Tabel 7:** Gemiddelde gemeten CZV waarden gedurende fase 1

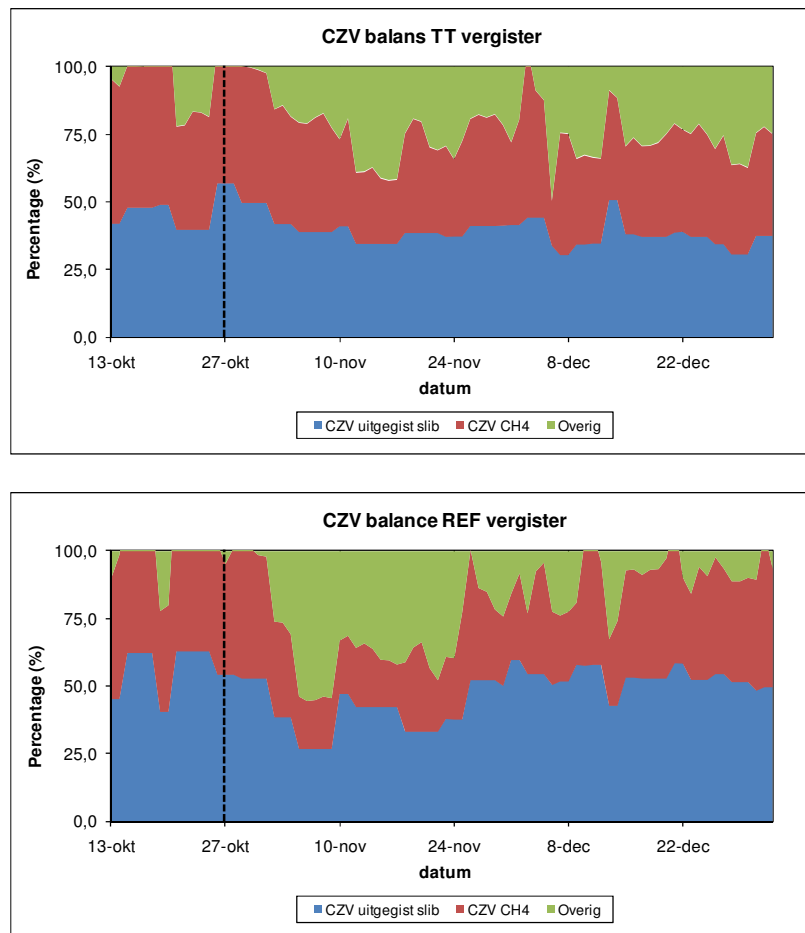
| Monster                    | Aantal | CZV <sub>(Totaal)</sub> (g/L) |
|----------------------------|--------|-------------------------------|
| Primair TT                 | 16     | 81,2 ± 17,7                   |
| Primair REF                | 16     | 77,1 ± 15,9                   |
| TurboTec in                | 16     | 77,9 ± 19,3                   |
| TurboTec uit               | 16     | 64,9 ± 6,2                    |
| Secundair TT               | 15     | 71,5 ± 9,6                    |
| Secundair REF              | 17     | 75,2 ± 16,3                   |
| Voeding <sup>[1]</sup> TT  | 2      | 59,7 ± 2,6                    |
| Voeding <sup>[1]</sup> REF | 2      | 66,6 ± 11,0                   |
| Uitgegist slib TT          | 18     | 28,2 ± 1,9                    |
| Uitgegist slib REF         | 18     | 35,7 ± 5,4                    |

[1] Voeding (primair+secundair) van 27 oktober t/m 3 november

Uit tabel 7 blijkt dat gedurende fase 1 het CZV gehalte voor primair slib voor beide vergisters nagenoeg hetzelfde is geweest. Van ingedikt secundair slib (TurboTec in)

ligt de waarde rond 78 g/L, wat na het TurboTec proces door verdunning met stoom uitkomt op 65 g/L. Na correctie voor het toegevoegde stoom komt deze waarde uit op 73 g/L, wat overeenkomt met TurboTec in. De voeding van beide vergisters lag tot 3 november rond de 60 g/L en wordt daarna berekend op 75 g/L. Uit de uitgegiste slib waarden blijkt dat een hogere CZV omzetting heeft plaatsgevonden in de TT vergister.

Vanuit de gemeten CZV waarden in combinatie met de gemeten biogasproducties is het mogelijk om een CZV balans op te stellen (Figuur 4). Hierbij is voor methaan een CZV gehalte gebruikt van 2,75 g/L<sub>(methaan)</sub> (10°C). Verder is rekening gehouden met een gemiddeld biogas methaan gehalte van 63%, welk voor beide vergisters hetzelfde was gedurende fase 1.



Figuur 6: CZV balansen voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 1.

Wat opvalt aan de CZV balansen (Figuur 6) is dat een groot gedeelte niet kan worden opgevuld met hetgeen dat als CZV wordt teruggemeten in het uitgegiste slib en als biogas. De hoeveelheid CZV die is omgezet naar biogas kan ook worden berekend aan de hand van het DS percentage van de voeding en de specifieke biogasproducties met behulp van de volgende formule:

$$CZV_{(biogas)} \text{ (g/L)} = DS \text{ gehalte (g/L)} * biogas \text{ (L}_{(gas)}/gDS) * \%CH_4 * CZV_{(methaan)} \text{ (g/L}_{(gas)})$$

Met deze formule wordt de hoeveelheid CZV die is omgezet naar biogas voor de TT vergister berekend op 28 g/L en voor de REF vergister op 24 g/L. Als deze waarden vervolgens worden opgeteld bij het CZV gehalte van het uitgegiste slib is de balans redelijk sluitend met de voeding gemeten tot 3 november. Na 3 november wordt het CZV van de voeding, berekend uit primair en secundair, hoger wat mogelijk de aanleiding geeft tot een slechter sluitende balans (zie ook Hoofdstuk 8).

Om een waarde toe te kennen aan het effect van TSO op de CZV balans wordt gekeken naar de gemiddelde methaanproductie en het gemiddelde CZV gehalte dat nog aanwezig is in het uitgegiste slib, zie Tabel 8.

**Tabel 8:** Methaan productie en CZV gehalte van uitgegist slib voor fase 1

| <b>CZV omzetting t.o.v. voeding</b> | <b>TT Vergister</b> | <b>REF vergister</b> | <b>TT/REF</b> |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| CZV omgezet naar methaan            | 37,6%               | 33,0%                | 1,14          |
| CZV gehalte uitgegist slib          | 39,4%               | 47,3%                | 0,83          |

Uit tabel 8 blijkt dat door TSO de methaan productie toeneemt en dat een lager percentage aan CZV wordt verkregen in het uitgegiste slib. Dit positieve effect van TSO op de CZV verwijdering kan worden toegeschreven aan de verbetering in opgelost CZV. Door de TurboTec neemt het opgelost CZV toe van 6,1 naar 22,3 g/L. Ook het vetzuur gehalte neemt toe van 3,3 naar 4,5 g/L.

#### 4.4 Nutriëntenoverzicht

Nutriënten (N&P) zijn gemeten voor en na TSO. Daarnaast zijn ze ook bepaald voor het uitgegiste slib van beide vergisters. Voor TT(in), zie Tabel 9, zijn de N&P concentraties hoger in het centraat dan verwacht. Deze N&P waarden zouden immers overeen moeten komen met de effluent concentraties van RWZI Amersfoort. Dat deze waarden hoger worden gemeten komt mogelijk door de monster behandeling (centraat is verkregen door polymeer aan het monster toe te voegen en vervolgens te centrifugeren) of door de toegepaste analyse methode waarbij kleurstorage een rol kan spelen. Daarnaast wordt het niet uitgesloten dat door opslag de samenstelling van het monster kan worden beïnvloed. Doordat alle monsters op dezelfde manier zijn behandeld en geanalyseerd wordt ervan uit gegaan dat de monsters onderling wel vergeleken kunnen worden.

**Tabel 9:** Overzicht van de gemeten nutriënten (in g/L) gedurende fase 1

| Meting                                    | Aantal | TT<br>in  | TT<br>uit | Uitgegist<br>Slib TT | Uitgegist<br>slib REF |
|---|--------|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|
| N <sub>(Totaal)</sub>                     | 17     | 3,5 ± 0,5 | 3,3 ± 0,6 | 3,0 ± 0,5            | 3,1 ± 0,5             |
| P <sub>(Totaal)</sub>                     | 17     | 2,1 ± 0,4 | 2,1 ± 0,4 | 1,6 ± 0,2            | 1,7 ± 0,3             |
| N <sub>(centraat)*</sub>                  | 9      | 0,6 ± 0,2 | 1,9 ± 0,2 | 1,8 ± 0,1            | 1,5 ± 0,3             |
| NH <sub>4</sub> -N <sub>(centraat)*</sub> | 9      | 0,3 ± 0,1 | 0,9 ± 0,3 | 1,3 ± 0,2            | 1,2 ± 0,2             |
| P <sub>(centraat)*</sub>                  | 9      | 0,2 ± 0,1 | 0,3 ± 0,0 | 0,2 ± 0,1            | 0,2 ± 0,0             |

\* Centraat = supernatant wordt verkregen door het monster te behandelen met polymeer en vervolgens te centrifugereren.

Uit tabel 9 blijkt dat TSO nagenoeg geen effect heeft op het totale N&P gehalte aanwezig in het secundaire slib. Door de toevoeging van stoom zouden er zelfs lagere waarden worden verwacht voor N<sub>(Totaal)</sub> en P<sub>(Totaal)</sub> na de TurboTec. Door TSO komt er wel meer N&P in het centraat terecht. Voor N bestaat een deel van deze toename uit NH<sub>4</sub>-N. Door het vrijmaken van N als NH<sub>4</sub>-N zal ook de pH toenemen door consumptie van H<sup>+</sup>. Dit verschil zie je dan ook terug tussen de pH waarden van beide vergisters:

- TT vergister: 7,8 ± 0,2
- REF vergister: 7,0 ± 0,1

Verder ziet het ernaar uit dat het door TT vrijgemaakte fosfaat weer wordt vastgelegd tijdens de vergisting. Immers de P<sub>(centraat)</sub> waarden zijn voor beiden vergisters hetzelfde. De N<sub>(Totaal)</sub> en P<sub>(Totaal)</sub> liggen voor het uitgegiste slib van beide vergisters ook rond dezelfde waarde. Wel is het zo dat voor de TT vergister de N<sub>(centraat)</sub> een factor 1,20 hoger ligt wat weer overeenkomt met de afname in DS en CZV zoals eerder bepaald.

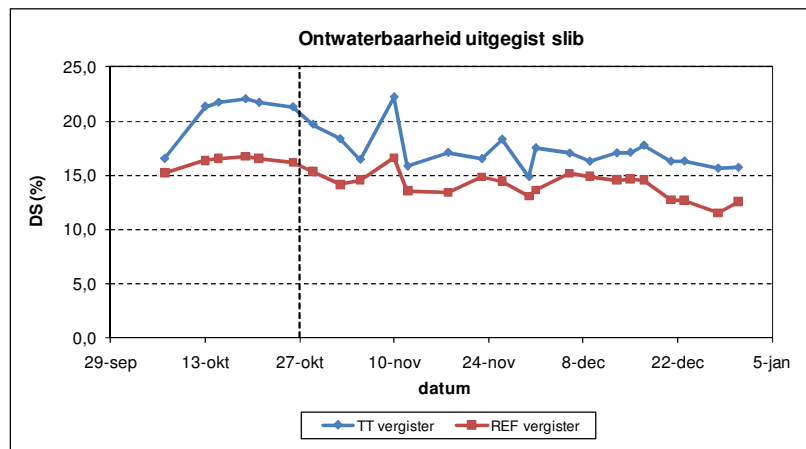
#### 4.5 Ontwaterbaarheid proeven

Om het effect van TSO te bestuderen op de ontwaterbaarheid van het verkregen uitgegiste slib zijn er zowel op labschaal als op pilotschaal centrifuge testen uitgevoerd. De resultaten die verkregen zijn uit de testen op labschaal zijn weergegeven in Figuur 7.

Uit Figuur 7 blijkt dat de ontwaterbaarheid voor de TT vergister gedurende fase 1 hoger is geweest. De volgende gemiddelde DS waarden zijn gemeten:

TT vergister: 17,1 ± 1,6 %  
REF vergister: 14,0 ± 1,2 %

Uit de gemiddelde DS waarden blijkt dat op labschaal de ontwaterbaarheid met een factor 1,22 verbeterd voor de TT vergister t.o.v. de REF vergister.



**Figuur 7:** Ontwaterbaarheid gemeten voor het uitgegiste slib van de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 1.

Voor de pilot proef aan het einde van fase 1 is gebruik gemaakt van een 400 L/h decanter (Alfa Laval). Uitgegiste slib is direct (na ophoping) vanuit de vergisters naar de centrifuge verpompt met een debiet van ~120 L/h onder toevoeging van polymeer. Polymeer (SNF 944<sup>E</sup>) wordt toegevoegd aan de pijplijn ~1 meter voor de centrifuge. Verschillende polymeerdoseringen zijn getest en het DS gehalte van de slibkoek is bepaald voor de polymeerdosering waarbij het meest heldere concentraat (visueel) werd verkregen:

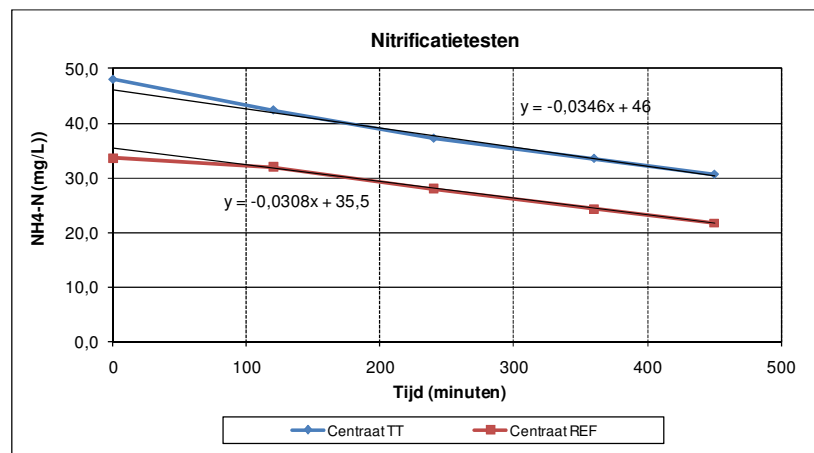
|                           |       |
|---------------------------|-------|
| Slibkoek TT vergister:    | 21,8% |
| Slibkoek REF vergister:   | 17,9% |
| Slibkoek RWZI Amersfoort: | 16,1% |

Hieruit blijkt dat ook op pilot schaal voor de TT vergister een verbeterde ontwaterbaarheid t.o.v. de REF vergister wordt gevonden. Met een factor van 1,22 ligt dit resultaat in dezelfde orde van grootte als de testen op labschaal.

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de pilot decanter en de full scale installatie op Amersfoort is ook met de pilot decanter de ontwaterbaarheid bepaald van het uitgegiste slib wat van deze RWZI afkomt. Met 16% wordt voor dit uitgegiste slib op pilot schaal een lagere ontwaterbaarheid gevonden dan in de praktijk wordt gerealiseerd (~24%). De pilot decanter is daarom niet representatief voor de absolute DS-gehalten die mogelijk in de praktijk te behalen zijn. Uit aanvullend onderzoek is gebleken dat een verandering van de instellingen (differential speed van 9 naar 4) weinig verbetering oplevert. Mogelijk is het geselecteerde polymeer (SNF 944<sup>E</sup>) niet helemaal geschikt en/of is de temperatuur van het polymeer te koud geweest (5-10°C) waardoor de effectiviteit van het PE is afgenomen.

## 4.6 Nitrificatietesten

Om het effect van TSO op de nitrificatiesnelheid te bepalen zijn er nitrificatietesten uitgevoerd op het centraat dat is verkregen met de pilot decanter aan het einde van fase 1. Voor het uitvoeren van de testen is het centraat 20x verdund met water (+ slib). De 50 mM fosfaat buffer was voldoende om tijdens de gehele test de pH constant te houden op 7,4. De resultaten van de NH<sub>4</sub>-N metingen zijn opgenomen in Figuur 8.

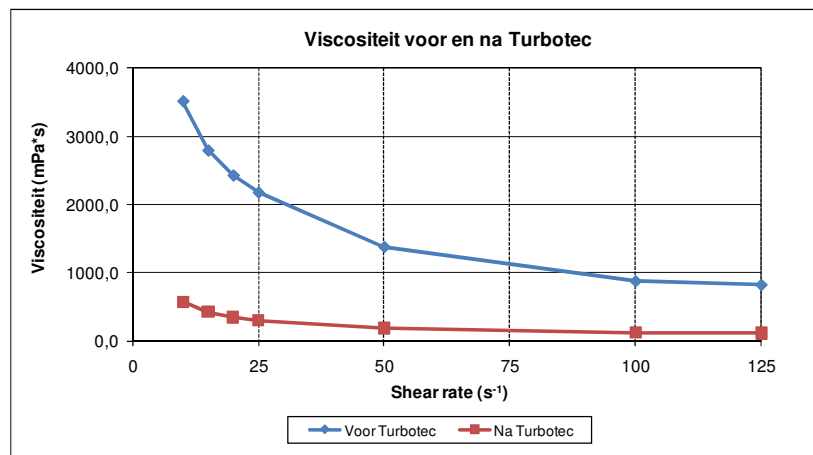


**Figuur 8:** Nitrificatietesten uitgevoerd op het centraat verkregen van de pilot centrifuge aan het einde van fase 1.

Uit Figuur 8 blijkt dat TSO nagenoeg geen effect heeft op de nitrificatiesnelheid, omdat de helling van beide lijnen vergelijkbaar is. Dit betekent dat er geen problemen verwacht worden als het centraat wordt teruggevoerd naar de AT van de RWZI of in de centraat waterbehandeling.

## 4.7 Viscositeitmetingen

Tijdens fase 1 is ook het effect van TSO op de viscositeit van het secundaire slib van Amersfoort vastgesteld. Deze metingen zijn uitgevoerd met een Lamy Rheology viscositeitmeter.



**Figuur 9:** Viscositeit (bij kamer temperatuur) van secundair slib voor en na TurboTec.

Uit Figuur 9 blijkt dat door TSO de viscositeit van het secundaire slib met een factor 6,7 afneemt. Deze vervloeiing van slib maakt het dus goed mogelijk om tot hogere DS waarden in te gaan dikken zonder dat dit problemen op gaat leveren m.b.t. verpompaarheid en menging. Verder blijkt uit Figuur 9 dat bij hogere toerentallen het secundaire slib ook afneemt in viscositeit (shear thinning).

## 5 Resultaten en discussie fase 2

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten die zijn behaald gedurende fase 2, 3 t/m 31 januari 2011, waarbij is gekeken naar het effect van een lagere verblijftijd op de TT vergister.

### 5.1 Drogestofgehaltenes van de in en uitgaande stromen

Een overzicht van de gemeten drogestofgehaltenes voor de in en uitgaande stromen gedurende fase 2 staat weergegeven in tabel 10.

**Tabel 10:** Gemeten gemiddelde drogestofgehaltenes voor fase 2

| Monster            | Aantal | Gemiddeld DS (%) |
|--------------------|--------|------------------|
| Primair TT         | 9      | 4,9 ± 0,8        |
| Primair REF        | 9      | 4,5 ± 0,5        |
| Secundair (ruw)    | 6      | 0,9 ± 0,2        |
| Secundair (dik)    | 6      | 6,3 ± 0,3        |
| TurboTec in        | 8      | 5,7 ± 0,5        |
| TurboTec uit       | 8      | 4,9 ± 0,6        |
| Secundair TT       | 8      | 5,6 ± 0,7        |
| Secundair REF      | 8      | 5,2 ± 0,3        |
| Uitgegist slib TT  | 9      | 2,6 ± 0,1        |
| Uitgegist slib REF | 9      | 3,1 ± 0,0        |

Het verloop van de DS gehaltenes (zie bijlage 3) en bijbehorende gemiddelden (Tabel 10) komen redelijk overeen met de waarden die gemeten zijn gedurende fase 1. Uitgaand van de verhouding, 35% primair/65% secundair, wordt voor fase 2 de voeding berekend op:

- DS voeding TT vergister fase 2: 5,4 ± 0,5%
- DS voeding REF vergister fase 2: 5,0 ± 0,3%

Deze waarden laten zien dat de voeding van fase 2 niet veel verschilt met die van fase 1. Het is dan ook niet nodig om correcties toe te passen om een vergelijking te kunnen maken tussen beide fasen. Vanuit de voeding kan vervolgens worden berekend dat voor fase 2 de DS verwijdering voor de TT vergister met een factor 1,36 toeneemt:

$$\text{Factor TT/REF} = ((5,4-2,6)/5,4)/((5,0-3,1)/5,0) = 1,36$$

Organische stof fracties zijn voor fase 2 zowel bepaald voor de voeding als voor het uitgegiste slib. Uitgaand van de verhouding, 35% primair/65% secundair, wordt voor fase 2 de OS fractie van de voeding berekend op:



- OS fractie voeding TT vergister fase 2:  $67,6 \pm 3,0\%$
- OS fractie voeding REF vergister fase 2:  $71,3 \pm 2,6\%$

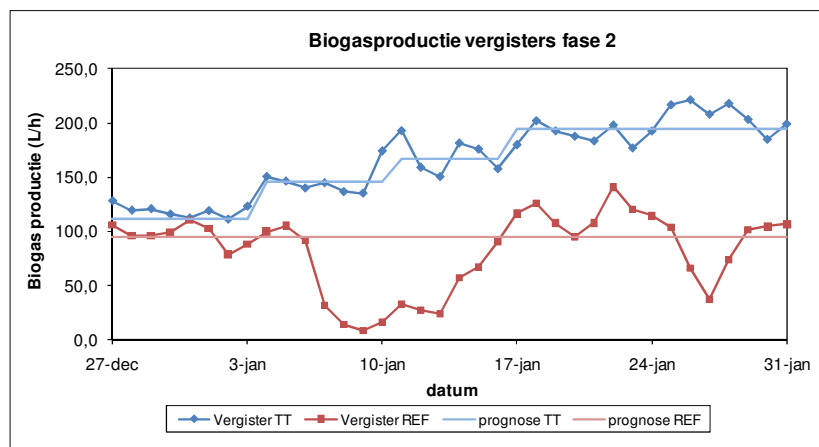
Voor het uitgegiste slib zijn de volgende waarden bepaald: TT  $59,4 \pm 0,8$ , REF  $61,4 \pm 0,7$ , waarbij de OS fractie net als in fase 1 voor de TT vergister iets lager uitkomt. Als de DS van de voeding wordt gecorrigeerd voor de aanwezige OS kan de volgende factor worden berekend:

$$\text{Factor TT/REF} = ((3,7-1,5)/3,7)/((3,6-2,2)/3,6) = 1,53$$

Door toepassing van TSO wordt dus 1,53x meer organische stof afgebroken dan zonder TSO.

## 5.2 Biogasproductie van de vergisters

Net als in fase 1 is gedurende fase 2 de biogasproductie van beide vergisters continue gelogd waarvan de gemiddelde waarden (berekend over 24 uur) zijn uitgezet in Figuur 10.

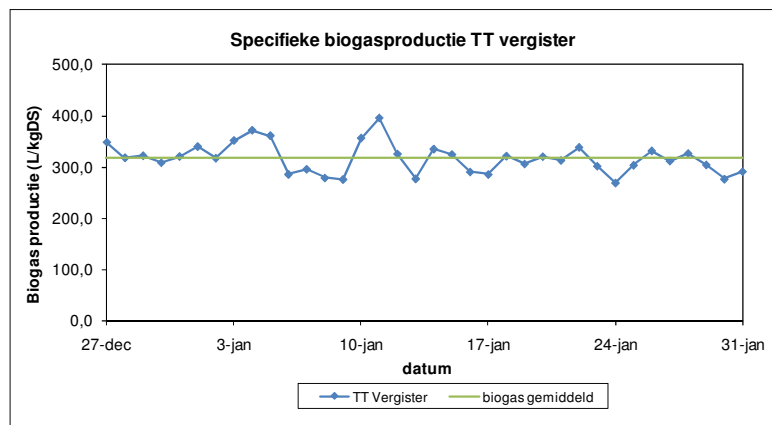


**Figuur 10:** Gemiddelde biogasproductie per dag voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 2 (plus de laatste week van fase 1).

Figuur 10 laat naast de gemiddelde biogasproducties per dag ook twee prognose lijnen zien. Deze lijnen zijn gebaseerd op de biogasproducties die zijn vastgesteld in fase 1 (TT; 111 L/h, REF; 95 L/h). Voor de REF vergister is deze prognose lijn horizontaal, omdat de verblijftijd constant is gehouden op 21 dagen. Voor de TT vergister loopt deze prognose lijn trapsgewijs omhoog, omdat de verblijftijd in stappen is verlaagd van 21 naar 16, van 16 naar 14, en van 14 naar 12 dagen. Zoals te zien is in Figuur 10 volgt de gemeten biogasproductie van de TT vergister netjes de prognose lijn, maar voor de REF vergister worden afwijkingen gevonden.

Deze afwijkingen zijn het gevolg van storingen in de temperatuurregeling. Deze storingen hebben niet plaatsgevonden in de TT vergister, waardoor deze constant op 37°C is geweest. De temperatuurstoringen van de REF vergister zijn te herkennen in Figuur 10 als een dip onder de REF prognose lijn. De eerste dip van 6 t/m 13 januari is veroorzaakt door een temperatuur stijging van 37 naar 41°C. De tweede dip op 27 januari (probleem opgelost 28 januari) is veroorzaakt door een daling van de temperatuur naar 28°C. Dat de temperatuurstoringen niet alleen effect hebben gehad op de biogasproductie van de REF vergister wordt ook duidelijk uit de factor bepaald voor de DS verwijdering (Hoofdstuk 5.1). Op basis van fase 1, zou je namelijk een TT/REF factor van 1,30 verwachten, maar er wordt een factor van 1,36 gevonden. Ook dit geeft aan dat tijdens fase 2 voor de REF vergister minder omzetting heeft plaatsgevonden als gevolg van de storingen in temperatuur.

Uit Figuur 10 blijkt eveneens dat de gemeten biogaswaarden van de TT vergister hetzelfde trappenpatroon volgen als de prognoselijn. Hieruit kan worden geconcludeerd dat door toepassing van TSO een verlaging van de verblijftijd van 21 naar 12 dagen geen nadelig effect heeft op de biogasproductie. Daarbij blijft de specifieke biogasproductie in dezelfde range, zie Figuur 11.



**Figuur 11:** Specifieke biogasproductie TT vergister gedurende fase 2.

Uit Figuur 11 blijkt dat de gemiddelde specifieke biogasproductie voor de TT vergister gedurende fase 2 rond de 317 L/kgDS lag. Deze waarde komt overeen met de 325 L/kgDS die je zou verwachten op basis van de specifieke biogasproducties die gevonden zijn gedurende fase 1.

### 5.3 CZV balansen

Een overzicht van de gemiddelde gemeten CZV waarden gedurende fase 2 is weergegeven in Tabel 11.

**Tabel 11: Gemiddelde gemeten CZV waarden gedurende fase 2**

| Monster            | Aantal | CZV <sub>(Totaal)</sub> (g/L) |
|--------------------|--------|-------------------------------|
| Primair TT         | 9      | 77,3 ± 9,0                    |
| Primair REF        | 9      | 79,6 ± 9,3                    |
| TurboTec in        | 7      | 91,2 ± 12,6                   |
| TurboTec uit       | 7      | 75,0 ± 7,5                    |
| Secundair TT       | 8      | 84,2 ± 8,9                    |
| Secundair REF      | 8      | 78,2 ± 9,1                    |
| Uitgegist slib TT  | 9      | 29,8 ± 2,6                    |
| Uitgegist slib REF | 9      | 35,8 ± 3,2                    |

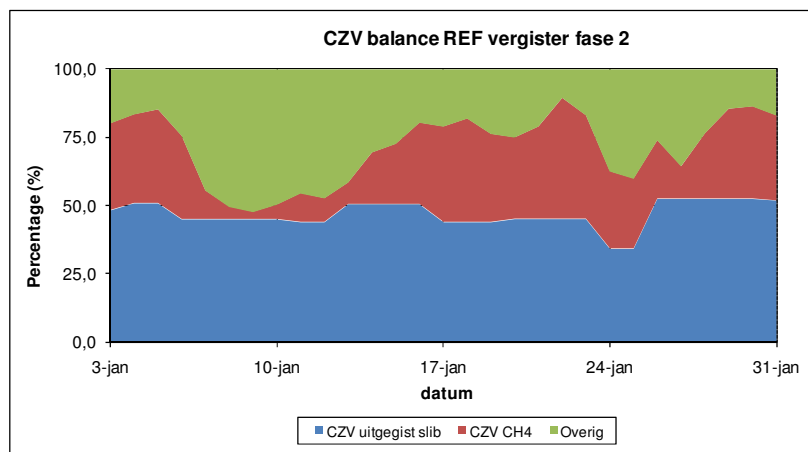
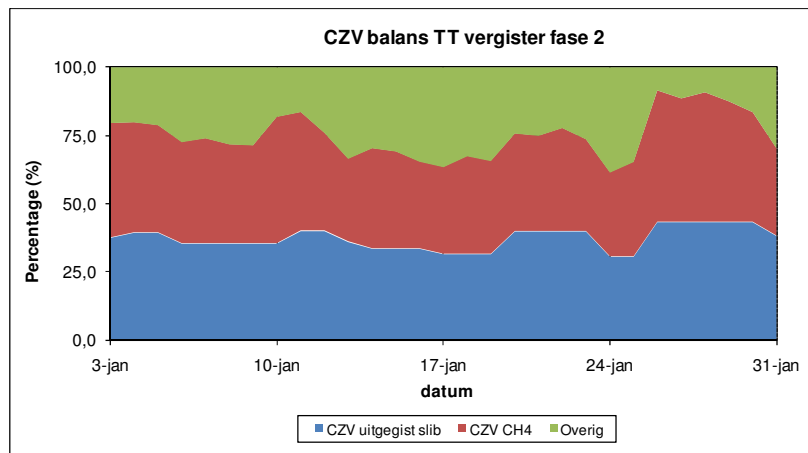
Vergelijkbaar met de DS gehalten komen ook de CZV waarden redelijk (binnen de standaarddeviaties) overeen met de waarden die zijn gemeten gedurende fase 1. Uit deze waarden kan worden berekend dat de voeding van de vergisters gedurende fase 2 de volgende CZV gehalten bevatte:

- TT vergister: 82 g/L
- REF vergister: 78 g/L

Ook voor fase 2 is een CZV balans opgesteld waarbij voor methaan eveneens een CZV gehalte is gebruikt van 2,75 g/L (10°C) en rekening is gehouden met de volgende gemiddelde gemeten methaan gehalten van het biogas:

- Methaangehalte biogas TT vergister fase 2: 64%
- Methaangehalte biogas REF vergister fase 2: 61%

Vergelijkbaar met fase 1, kan ook voor fase 2 een aanzienlijk deel (~25%) van CZV balans niet worden opgevuld met het CZV dat wordt teruggemeten in het uitgegiste slib en biogas. Omdat de gelogde biogasproducties van zowel fase 1 als 2 overeenkomen met de geregistreerde gasklokstanden kan er van worden uitgegaan dat er geen fouten zijn opgetreden bij het registreren van de biogasproducties. Omdat biogaslekkages zijn uitgesloten, zal de verklaring dus elders gezocht moeten worden.



Figuur 12: CZV balansen voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 2.

Onderzoek naar de monsternamen van het effluent, uitgevoerd tijdens fase 3 voor de REF vergister, laat zien dat er geen verschil in CZV wordt gemeten als het effluent monster op verschillende punten wordt genomen (bodem, recycle, overflow). De standaard monsternamen via de recycle loop zou dus geen problemen moeten opleveren. Wat resteert is de voeding. Naast de fout die kan optreden tijdens de CZV meting van de voeding (door aanwezigheid van grovere delen) kan ook de stabiliteit van het opgeslagen slijb een belangrijke rol spelen. Of de stabiliteit van het slijb inderdaad het gat in de balans kan opvullen wordt verder bediscussieerd in hoofdstuk 8.

Tabel 12: Methaan productie en CZV gehalte van uitgest slijb voor fase 2

| CZV omzetting t.o.v. voeding | TT Vergister | REF vergister | TT/REF |
|------------------------------|--------------|---------------|--------|
| CZV omgezet naar methaan     | 37,9%        | 24,5%         | 1,55   |
| CZV gehalte uitgest slijb    | 37,3%        | 47,0%         | 0,79   |

Vergelijkbaar met fase 1 wordt voor fase 2 ook gevonden dat door TSO de methaan productie toeneemt en dat een lager percentage aan CZV wordt verkregen in het uitgegiste slib, zie tabel 12. Door de temperatuurstoringen van de REF vergister liggen de verhoudingen TT/REF niet hetzelfde als voor fase 1, maar het ziet ernaar uit dat een verlaging van de verblijftijd naar 12 dagen geen nadelig effect heeft gehad op de CZV omzetting.

#### 5.4 Nutriëntenoverzicht

Een overzicht van de nutriënten die zijn gemeten gedurende fase 2 is opgenomen in Tabel 13.

**Tabel 13: Overzicht van de gemeten nutriënten (in g/L) gedurende fase 2**

| Meting                                    | Aantal | Uitgelist slib TT | Uitgelist slib REF |
|---|--------|-------------------|--------------------|
| N <sub>(Totaal)</sub>                     | 5      | 4,4 ± 1,4         | 4,7 ± 1,3          |
| P <sub>(Totaal)</sub>                     | 5      | 1,5 ± 0,2         | 1,7 ± 0,2          |
| N <sub>(centraat)*</sub>                  | 5      | 1,8 ± 0,1         | 1,7 ± 0,1          |
| NH <sub>4</sub> -N <sub>(centraat)*</sub> | 5      | 1,5 ± 0,0         | 1,4 ± 0,1          |
| P <sub>(centraat)*</sub>                  | 5      | 0,2 ± 0,0         | 0,2 ± 0,0          |

\* Centraat = supernatant wordt verkregen door het monster te behandelen met polymeer en vervolgens te centrifugereren.

Uit dit overzicht (Tabel 13) blijkt dat een verlaging van de verblijftijd geen verandering heeft opgeleverd in de N<sub>(totaal)</sub> en P<sub>(totaal)</sub> gehalten van beide vergisters. Beide getallen liggen immers nog dicht bij elkaar wat overeenkomt met fase 1. Wel worden er wat hogere waarden voor N<sub>(totaal)</sub> gevonden. Ook voor de centraat waarden zijn geen duidelijke verschillen waarneembaar vergeleken met fase 1.

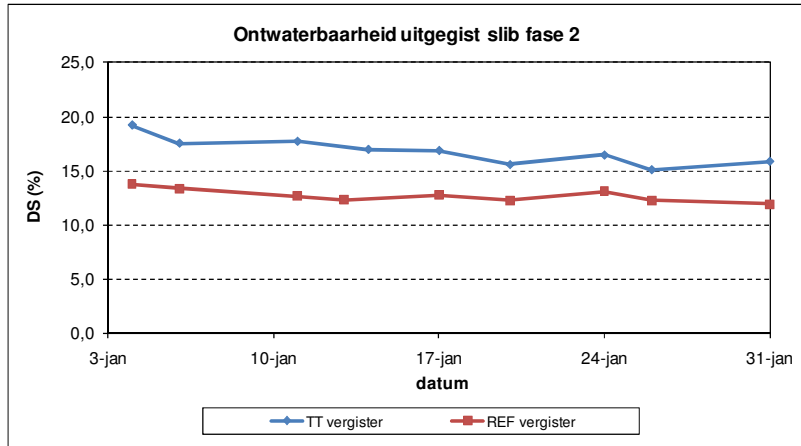
#### 5.5 Ontwaterbaarheid proeven

De ontwaterbaarheid gemeten op labschaal voor fase 2 is uitgezet in Figuur 13. Uit Figuur 13 blijkt dat de ontwaterbaarheid voor de TT vergister gedurende fase 2 hoger is geweest dan bij de REF vergister. De volgende gemiddelde DS waarden zijn gemeten:

Slibkoek TT vergister: 16,8 ± 1,0 %

Slibkoek REF vergister: 13,3 ± 1,1 %

Uit de gemiddelde DS waarden blijkt dat voor beide vergisters een lagere ontwaterbaarheid is behaald op labschaal t.o.v. fase 1. Wel ligt de verbetering, met een factor 1,26 in dezelfde orde van grootte als fase 1 waaruit blijkt dat een verlaging van de verblijftijd geen nadelige invloed heeft op de ontwaterbaarheid.



**Figuur 13:** Ontwaterbaarheid gemeten voor het uitgegiste slib van de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 2.

Pilot proeven met de decanter en polymeer afkomstig van Amersfoort hebben het volgende resultaat opgeleverd:

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| Slibkoek TT vergister:    | 25,2% |
| Slibkoek REF vergister:   | 19,2% |
| Slibkoek RWZI Amersfoort: | 19,7% |

Vergeleken met fase 1 heeft de selectie van een ander type polymeer (afkomstig van Amersfoort) positief uitgedrukt, omdat hogere slibkoek DS waarden zijn behaald. Echter voor het Amersfoortse slib wordt nog steeds niet een waarde behaald die dicht bij de praktijk komt. Met een factor van 1,31 komt de verbetering door TSO voor fase 2 hoger uit dan die voor fase 1, wat mogelijk kan worden toegeschreven aan de temperatuurstoringen van de REF vergister. Desondanks ziet het er naar uit dat een verlaging van de verblijftijd geen nadelig effect heeft op de ontwaterbaarheid. Mogelijk levert het zelfs een verbetering op.

## 6 Resultaten en discussie fase 3

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten die zijn behaald gedurende fase 3, 1 februari 2011 t/m 5 mei 2011, waarbij met secundair slib afkomstig van Geestmerambacht is gekeken naar het effect van een hogere DS belasting op de TT vergister. De periode vanaf 1 februari t/m 1 maart wordt gezien als omschakel periode tussen fase 2 en 3 (verdunnen/uitspoelen van het Amersfoortse slib). Beschikbare data van deze periode zijn meegenomen in de grafieken, maar niet meegenomen in de berekeningen. Vanaf 1 maart tot 29 maart wordt beschouwd als fase 3A, waarbij is gekeken naar het effect van TSO bij een voeding van 6% DS voor beide vergisters bij een verblijftijd van 21 dagen. Fase 3A is ingevoerd om een link te kunnen leggen met fase 1, zodat het effect van de andere slibsamenstelling vastgesteld kan worden (enerzijds slib van RWZI Amersfoort (primair+secundair) en anderzijds slib van RWZI Geestmerambacht (uitsluitend secundair slib)). Na 29 maart is alleen de voeding van de TT vergister verhoogd naar 12% DS bij 21 dagen verblijftijd. De periode vanaf 29 maart t/m 15 april wordt voor de TT vergister beschouwd als omschakel periode tussen fase 3A (DS 6%) en 3B (DS 12%). Vanaf 15 april is voor de TT vergister de voeding stabiel en is (bijna) 1 verblijftijd verstreken. Data van deze omschakelperiode zijn voor de TT vergister meegenomen in de grafieken, maar de berekeningen van fase 3B zijn voor de TT vergister gebaseerd op de periode 15 april t/m 5 mei. De REF vergister is in fase 3B (29 maart t/m 5 mei) belast met 6% niet ontsloten secundair slib en dus op dezelfde manier bedreven als in fase 3A.

### 6.1 Drogestofgehaltenes van de in en uitgaande stromen

Een overzicht van de gemeten drogestofgehaltenes voor de in en uitgaande stromen gedurende fase 3 staat weergegeven in tabel 14. Het verloop van de DS gehaltenes voor fase 3 kan worden teruggevonden in bijlage 4.

**Tabel 14: Gemeten gemiddelde drogestofgehaltenes voor fase 3**

| Monster                | Aantal 3A | DS 3A (%) | Aantal 3B | DS 3B (%)  |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Secundair (ruw)        | 7         | 2,2 ± 0,5 | 9         | 2,3 ± 0,4  |
| Secundair (dik)        | 8         | 5,7 ± 0,8 | 10        | 5,6 ± 0,4  |
| Secundair (centrifuge) | -         | -         | 4         | 11,0 ± 0,4 |
| TurboTec in            | 8         | 5,7 ± 0,4 | 6         | 10,1 ± 0,4 |
| TurboTec uit           | 7         | 4,6 ± 0,3 | 6         | 8,3 ± 0,3  |
| Secundair TT           | 8         | 4,5 ± 0,3 | 6         | 7,9 ± 0,3  |
| Secundair REF          | 8         | 4,8 ± 0,7 | 12        | 4,6 ± 0,3  |
| Uitgegist slib TT      | 8         | 2,7 ± 0,2 | 8         | 5,5 ± 0,3  |
| Uitgegist slib REF     | 8         | 3,6 ± 0,1 | 13        | 3,5 ± 0,1  |

Secundair slib afkomstig van Geestmerambacht is aangeleverd met een DS percentage van ~2%. Na vezelafscheiding d.m.v. een rotorzeef (en in een later stadium met een trilzeef), is dit slib verder ingedikt naar ~6% met een trommelfilter en naar ~11% met behulp van de Alfa Laval decanter. Echter, de 11% voor secundair (centrifuge) is gebaseerd op steekmonsters en het gemiddeld behaald DS percentage na de centrifuge is ~10% (TurboTec in 3B). Het originele plan om de TurboTec te voeden met 12% is dus niet behaald, wat kan worden toegeschreven aan problemen bij de voorbehandeling. Het bleek namelijk niet mogelijk om met de beschikbare wormpomp DS percentages >10% vanaf de centrifuge naar de vooropslag van de TurboTec te verpompen (zie ook Hoofdstuk 9). Omdat TurboTec in (3B) een mengmonster is over een langere periode wordt verder uitgegaan van 10%.

Tijdens het TurboTec proces is in beide fasen ongeveer 20% stoom (water) toegevoegd om de TSO condities (140°C, 4 bar) te behalen. Zoals gepland voor fase 3A was het DS percentage van de TT en REF voeding in dezelfde range. Voor fase 3B was het de bedoeling om een verdubbeling van het DS percentage in de voeding te bewerkstelligen, maar in werkelijkheid is een factor 1,8 behaald. Uit de uitgeste slibwaarden kunnen voor fase 3 de volgende DS verwijderingen worden berekend:

$$\text{Factor TT/REF fase 3A} = ((4,5-2,7)/4,5)/((4,8-3,6)/4,8) = 1,60$$

$$\text{Factor TT/REF fase 3B} = ((7,9-5,5)/7,9)/((4,6-3,5)/4,6) = 1,27$$

Doordat aan het einde van fase 3A en dip in de voeding van de REF vergister zit (zie bijlage 4) wordt een TT/REF factor van 1,60 gevonden. Als deze dip niet wordt meegenomen wordt een factor van 1,36 verkregen wat in dezelfde orde van grootte ligt als de factor van fase 3B. Naast de DS percentages zijn voor fase 3 ook de OS fracties bepaald voor de voeding en het uitgeste slib, zie tabel 15.

**Tabel 15: Gemiddelde organische stof fracties voor fase 3**

| Periode               | Fase 3A    | Fase 3B    |
|-----------------------|------------|------------|
| Voeding secundair TT  | 69,9 ± 3,3 | 72,1 ± 0,5 |
| Voeding secundair REF | 75,7 ± 0,5 | 73,8 ± 1,8 |
| Uitgeste slib TT      | 62,8 ± 1,3 | 57,3 ± 1,9 |
| Uitgeste slib REF     | 66,0 ± 3,4 | 65,5 ± 1,2 |

Als de DS van de voeding van fase 3 worden gecorrigeerd voor de aanwezige OS kunnen de volgende factoren worden berekend:

$$\text{Factor TT/REF fase 3A} = ((3,1-1,7)/3,1)/((3,6-2,4)/3,6) = 1,35$$

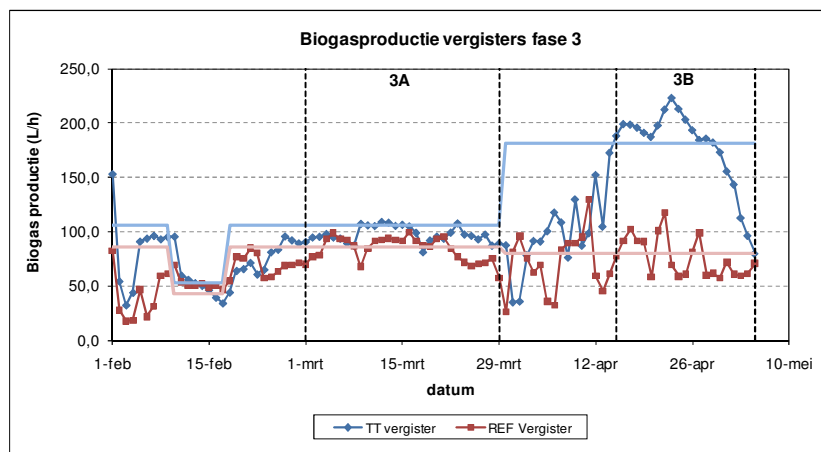
$$\text{Factor TT/REF fase 3B} = ((5,7-3,2)/5,7)/((3,4-2,3)/3,4) = 1,36$$

Door toepassing van TSO wordt dus voor secundair slib van RWZI Geestmerambacht ~1,35x meer organische stof afgebroken dan zonder TSO.



## 6.2 Biogasproductie van de vergisters

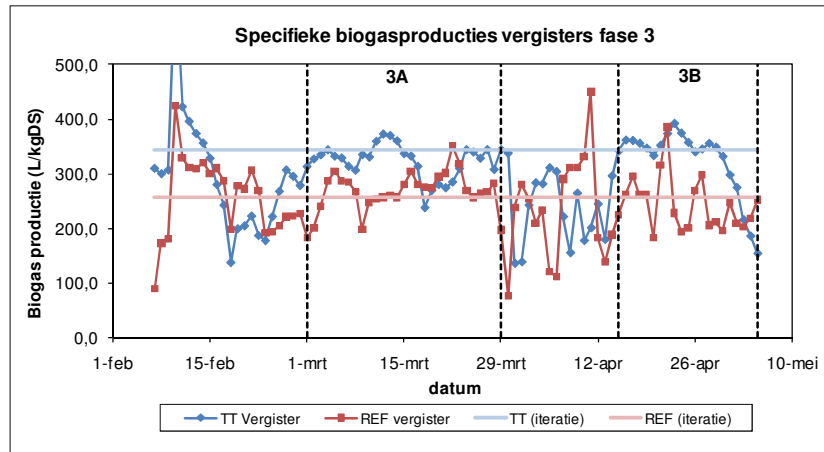
Net als in de voorafgaande 2 fasen is gedurende fase 3 de biogasproductie van beide vergisters continue gelogd waarvan de gemiddelde waarden (berekend over 24 uur) zijn uitgezet in Figuur 14.



**Figuur 14:** Gemiddelde biogasproductie per dag voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 3.

Figuur 14 laat naast de gemiddelde biogasproducties ook twee prognose lijnen zien die zijn gebaseerd op de specifieke biogasproducties berekend voor Geestmerambacht slib (zie ook Figuur 15). De afname in biogasproductie rond 15 februari tijdens de omschakelperiode van fase 2 naar 3 (1 februari t/m 1 maart) komt door een halvering van de voeding door complicaties met de TurboTec installatie. Vanaf 1 maart tot het einde van fase 3A zijn de gemeten biogasproducties redelijk stabiel en wordt een duidelijk verschil tussen de TT en REF vergister gemeten. Voor fase 3B is de voeding van de REF vergister niet aangepast en wordt, al zei het met een grotere spreiding door storingen in de temperatuur regeling, dezelfde gemiddelde biogasproductie verkregen. Voor de TT vergister wordt in fase 3B een duidelijke toename in de biogasproductie gemeten. Toch is vanaf 29 april alweer een sterke daling in de biogasproductie van de TT vergister waarneembaar. Deze daling wordt in hoofdstuk 7 verder toegelicht.

Om het effect weer te geven van TSO en de verhoogde DS belasting, zijn de specifieke biogasproducties voor de REF en TT vergister uitgezet in Figuur 15.



**Figuur 15:** Specifieke biogasproducties voor de TT en REF vergister gedurende fase 3.

Fase 3A laat duidelijk zien dat door toepassing van TSO de specifieke biogasproductie van secundair zuiveringslib toeneemt. Daarnaast leidt een toename van de DS belasting (1,8x) niet tot een verandering in de specifieke biogasproductie van de TT vergister. Immers de specifieke biogasproductie voor de TT vergister (15 t/m 29 april) ligt in dezelfde range als fase 3A. Om een waarde toe te kennen aan de specifieke biogasproducties van de REF en TT vergister is een iteratie (m.b.v. de kleinste kwadraten methode) uitgevoerd op de biogasproducties van fase 3A+3B. Uit deze iteratie zijn de volgende waarden naar voren gekomen:

- Thermisch ontsloten secundair slib: 344 L/kgDS
- Secundair slib: 257 L/kgDS

Deze waarden zijn in dezelfde orde van grootte als gevonden in fase 1 voor secundair slib afkomstig van Amersfoort (secundair: 231 L/kgDS, thermisch ontsloten secundair: 311 L/kgDS). Om aan te geven hoe deze waarden uitkomen met de specifieke biogasproducties per dag zijn ze ook ter indicatie opgenomen in Figuur 15. Uit deze specifieke biogaswaarden kan vervolgens worden berekend dat door TSO de biogasproductie van secundair Geestmerambacht slib met een factor 1,34 toeneemt. Als deze waarden vervolgens worden gecorrigeerd voor het methaangehalte (hoofdstuk 6.3) wordt een factor van 1,36 gevonden.

- Thermisch ontsloten secundair slib: 234 L CH<sub>4</sub>/kgDS
- Secundair slib: 172 L CH<sub>4</sub>/kgDS

### 6.3 CZV balansen

Een overzicht van de gemiddelde gemeten CZV waarden gedurende fase 3 is weergegeven in Tabel 16.

**Tabel 16:** Gemiddelde gemeten CZV waarden gedurende fase 3

| Monster            | Aantal 3A | CZV <sub>(T)</sub> 3A (g/L) | Aantal 3B | CZV <sub>(T)</sub> 3B (g/L) |
|--------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| TurboTec in        | 6         | 70,0 ± 9,2                  | 6         | 115,1 ± 12,2                |
| TurboTec uit       | 6         | 60,1 ± 3,7                  | 6         | 110,2 ± 1,4                 |
| Secundair TT       | 8         | 60,5 ± 2,2                  | 6         | 110,2 ± 2,3                 |
| Secundair REF      | 7         | 57,1 ± 8,6                  | 12        | 56,7 ± 5,0                  |
| Uitgegist slib TT  | 8         | 30,1 ± 2,4                  | 8         | 55,2 ± 5,4                  |
| Uitgegist slib REF | 8         | 39,9 ± 3,4                  | 13        | 38,4 ± 2,6                  |

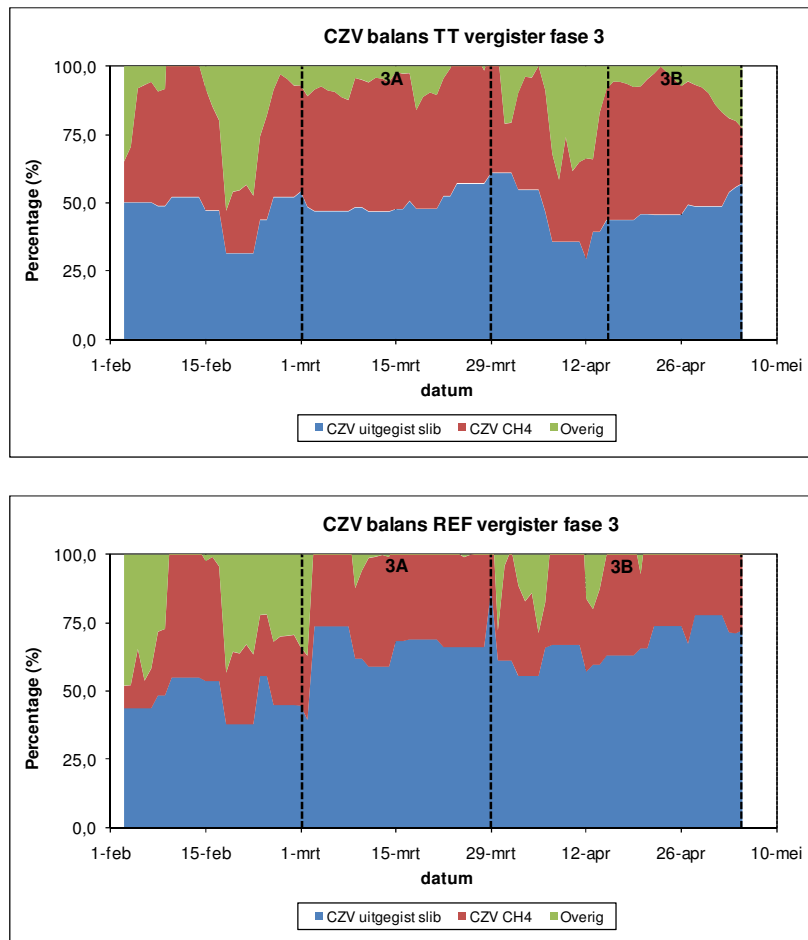
Uit tabel 16 blijkt eveneens dat de voeding gedurende fase 3B voor de TT vergister een factor 1,8 hoger is geweest. Voor de REF vergister was de voeding nagenoeg hetzelfde voor beide fasen. Uit de uitgegiste slibwaarden blijkt dat de omzetting gedurende fase 3A voor de TT vergister hoger is geweest. Voor fase 3B wordt voor de REF vergister dezelfde uitgegiste slibwaarde gevonden. Voor de TT vergister zou op basis van de voeding de uitgegiste slibwaarde een factor 1,8 hoger moeten liggen wat inderdaad het geval blijkt te zijn.

Net als in voorafgaande fasen is ook voor fase 3 een CZV balans opgesteld waarbij voor methaan een CZV gehalte is gebruikt van 2,75 g/L (10°C). Verder zijn de volgende gemiddelde methaan gehaltenes voor het biogas bepaald:

- Methaangehalte biogas TT vergister fase 3: 68%
- Methaangehalte biogas REF vergister fase 3: 67%

Voor de TT vergister was zowel in fase 3A als in fase 3B het gemiddelde methaan gehalte rond 68%. Voor de REF vergister was in fase 3B het gemiddelde methaan gehalte iets hoger: 67% (3A) versus 68% (3B).

De CZV balansen voor fase 3 (Figuur 16) laten zien dat met de hoeveelheid CZV die wordt teruggemeten in het uitgegiste slib en als biogas de balans redelijk sluitend is. Verder laat Figuur 16 zien dat voor de TT vergister meer CZV wordt omgezet naar methaan en een lager CZV gehalte in het uitgegiste slib wordt verkregen. Dit blijkt eveneens uit Tabel 17.



**Figuur 16:** CZV balansen voor de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 3.

Verder blijkt uit Tabel 17 dat de verhouding tussen de TT en REF vergister van fase 3A en 3B redelijk overeenkomen.

**Tabel 17:** Methaan productie en CZV gehalte van uitgest slib voor fase 3

| Fase | CZV omzetting t.o.v. voeding | TT vergister | REF vergister | TT/REF |
|------|------------------------------|--------------|---------------|--------|
| 3A   | CZV omgezet naar methaan     | 44,5%        | 38,0%         | 1,17   |
|      | CZV gehalte uitgest slib     | 49,9%        | 65,4%         | 0,76   |
| 3B   | CZV omgezet naar methaan     | 43,5%        | 35,7%         | 1,22   |
|      | CZV gehalte uitgest slib     | 47,5%        | 67,3%         | 0,71   |

## 6.4 Nutriëntenoverzicht

Een overzicht van de nutriënten die zijn gemeten gedurende fase 3 is opgenomen in Tabel 18.

**Tabel 18:** Overzicht van de gemeten nutriënten (in g/L) gedurende fase 3

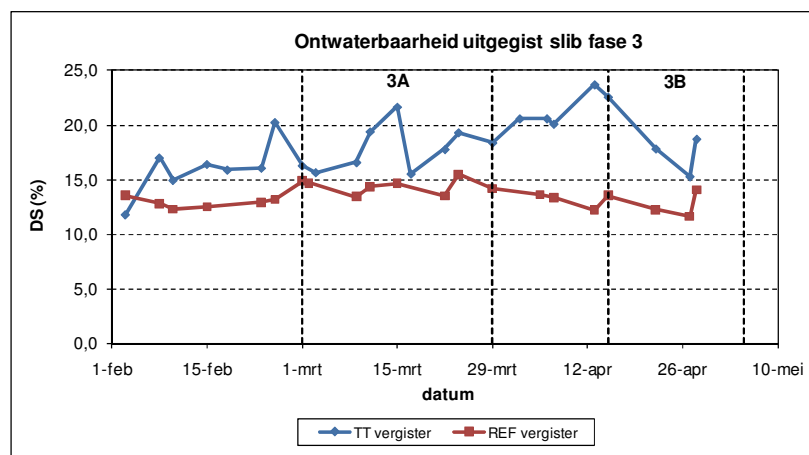
| Uitgestig | $N_{(Totaal)}$ | $P_{(Totaal)}$ | $N_{(centraat)}$ | $NH_4-N_{(centraat)}$ | $P_{(centraat)}$ |
|-----------|----------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------|
| 3A TT     | $3,1 \pm 0,1$  | $1,4 \pm 0,0$  | $1,9 \pm 0,0$    | $1,6 \pm 0,0$         | $0,2 \pm 0,0$    |
| 3A REF    | $3,3 \pm 0,3$  | $1,5 \pm 0,1$  | $1,6 \pm 0,1$    | $1,4 \pm 0,0$         | $0,2 \pm 0,0$    |
| 3B TT     | $5,3 \pm 0,4$  | $2,2 \pm 0,1$  | $2,9 \pm 0,6$    | $2,4 \pm 0,2$         | $0,2 \pm 0,0$    |
| 3B REF    | $3,3 \pm 0,3$  | $1,5 \pm 0,1$  | $1,6 \pm 0,1$    | $1,3 \pm 0,1$         | $0,2 \pm 0,0$    |

Opmerking: Aantal monsters voor totaal bepaling: 3A = 4, 3B = 10, en voor centraat bepaling: 3A = 4, 3B = 4.

Uit het nutriëntoverzicht van fase 3A wordt duidelijk dat TSO geen effect heeft op de  $N_{(Totaal)}$  en  $P_{(totaal)}$  waarden van het uitgestigte slib. Weliswaar wordt er voor 3A REF een wat hogere  $N_{(totaal)}$  waarde gevonden dan 3A TT, maar dit kan worden toegeschreven aan de grotere spreiding. Door TSO komt er wel meer N in het centraat terecht (1,19x) door de toename in  $NH_4-N$ . Fosfaat lijkt niet toe te nemen in het centraat. Voor fase 3B is er wel een duidelijke toename in  $N_{(Totaal)}$  en  $P_{(totaal)}$  voor de TT vergister als gevolg van de 1,8x hogere DS belasting. Door verhoging van de DS belasting neemt ook  $N_{(centraat)}$  en  $NH_4-N_{(centraat)}$  toe, maar  $P_{(centraat)}$  lijkt dezelfde concentratie te behouden.

## 6.5 Ontwaterbaarheid proeven

De ontwaterbaarheid gemeten op labschaal voor fase 3 is uitgezet in Figuur 17.



**Figuur 17:** Ontwaterbaarheid gemeten voor het uitgestigte slib van de TT vergister en de REF vergister gedurende fase 3.

Uit Figuur 17 blijkt dat zowel voor fase 3A als voor fase 3B de ontwaterbaarheid van de TT vergister hoger is geweest. De volgende gemiddelde DS waarden zijn gemeten:

|         |  |
|---------|--|
| Fase 3A | Slibkoek TT vergister: $17,8 \pm 2,0\%$  |
|         | Slibkoek REF vergister: $14,4 \pm 0,7\%$ |
| Fase 3B | Slibkoek TT vergister: $18,6 \pm 2,6\%$  |
|         | Slibkoek REF vergister: $13,1 \pm 0,9\%$ |

Uit de gemiddelde slibkoek waarden kan vervolgens worden berekend dat de ontwaterbaarheid voor de TT vergister een factor 1,24 hoger is geweest tijdens fase 3A en een factor 1,42 hoger is geweest tijdens fase 3B. De factor voor fase 3A is in dezelfde orde van grootte als gevonden voor fase 1 en 2 (Amersfoort slib).

Pilot centrifugetesten met de decanter van Alfa Laval zijn uitgevoerd aan het einde van fase 3A en 3B. Tijdens het uitvoeren van deze testen is ook specifiek gekeken naar het polymeerverbruik. De resultaten van deze testen zijn opgenomen in tabel 19.

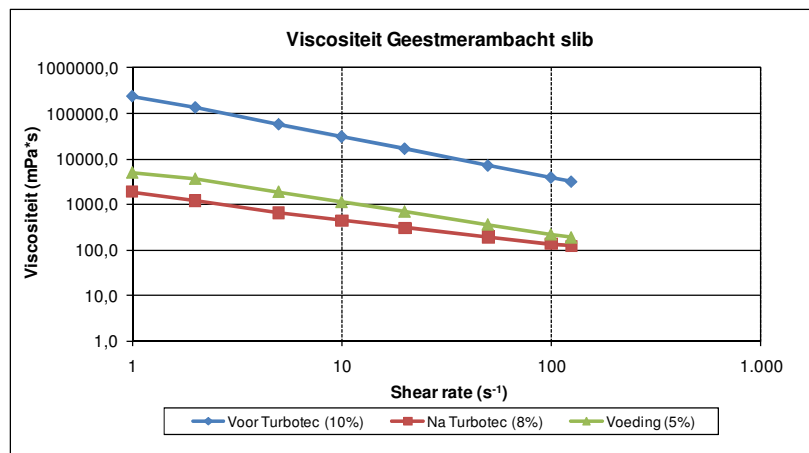
**Tabel 19:** Resultaten van de pilot centrifugetesten voor fase 3

| Fase | Vergister  | Dosering (g/kgDS) | Slibkoek (%) |
|------|------------|-------------------|--------------|
| 3A   | Turbotec   | 13                | 24,6         |
|      | Referentie | 10                | 17,9         |
| 3B   | Turbotec   | 21                | 22,8         |
|      | Referentie | 22                | 16,7         |

Vanuit tabel 19 kan worden berekend dat door TSO op pilot schaal voor beide fasen de ontwaterbaarheid toeneemt met een factor 1,37. Voor fase 3A is de polymeerdosering 10, maar aanvullend onderzoek met uitgesteid referentie slib (data niet opgenomen in dit rapport) laat zien dat voor het gebruikte type PE (afkomstig van Apeldoorn) een verhoogde dosering niet tot een verbetering in ontwaterbaarheid leidt. In fase 3B is gebruik gemaakt van het polymeer SNF 944<sup>E</sup> (vergelijkbaar met fase 1) omdat geen helder centraat kon worden verkregen met het polymeer afkomstig van Apeldoorn. De dosering van dit type polymeer ligt hoger, rond de 22 g/L.

## 6.6 Viscositeit Geestmerambacht slib

Aan het einde van fase 3 zijn er viscositeit metingen uitgevoerd om te onderzoeken waar de viscositeit van 12% secundair slib uitkomt als deze thermisch wordt ontsloten. Deze resultaten zijn uitgezet in Figuur 18.

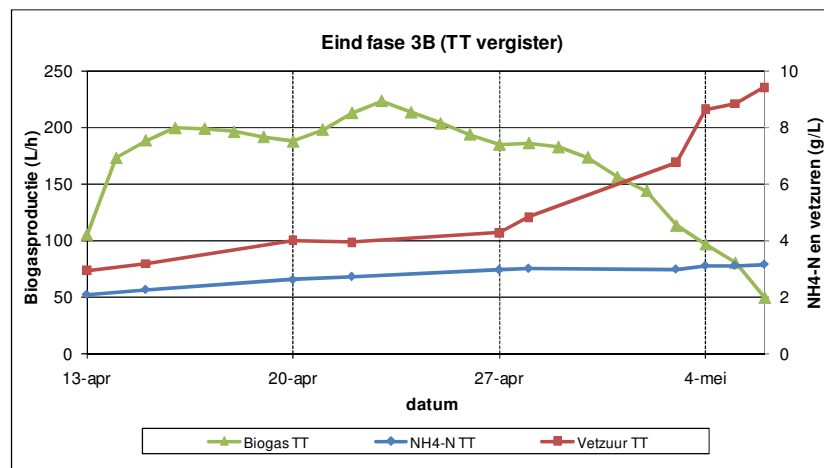


**Figuur 18:** Viscositeit (kamertemperatuur) gemeten voor Geestmerambacht slib.

Uit Figuur 18 blijkt dat door toepassing van TSO de viscositeit van 10% secundair zuiveringsslib zo ver afneemt dat het zelfs lager uitkomt dan 5% niet met TSO behandeld secundair zuiveringsslib. Door deze verlaging in viscositeit is het dus goed mogelijk om hogere DS percentages te gaan voeren aan bestaande vergisters met de huidige voedingspompen.

## 7 Verlenging fase 3B

Zoals al eerder aangegeven in hoofdstuk 6.2 werd fase 3B voor de TT vergister afgesloten met een daling in de biogasproductie. Om deze daling in biogas weer te boven te komen is fase 3B voor de TT vergister met 6 weken verlengd.



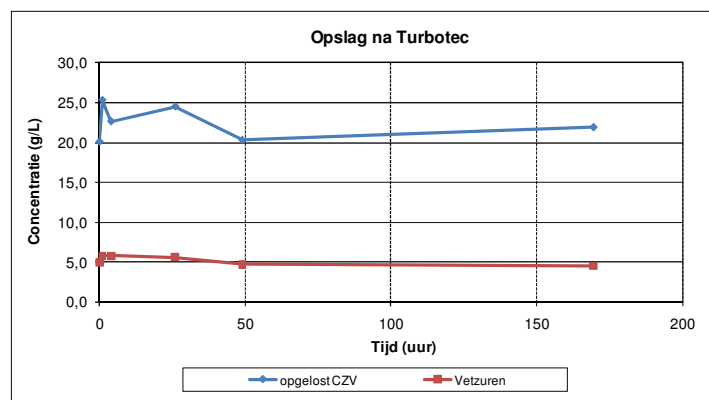
**Figuur 19:** Biogasproductie, NH<sub>4</sub>-N en vetzuurconcentratie verloop voor de TT vergisters vanaf 13 april tot eind fase 3B

Figuur 19 laat zien dat de afname in biogasproductie aan het einde van fase 3B in relatie is met een toename in de vetzuurconcentratie. Op 5 mei (eind fase 3B) is daarom de voeding van de vergister stopgezet om de methanogenen de kans te geven om de verhoogde vetzuurconcentratie om te zetten. Na twee weken (19 mei) is de voeding vervolgens weer aangezet, waarbij de menging van de vergister is verbeterd door installatie van een dompelpomp. Echter na 2 dagen moest de voeding al weer worden uitgezet doordat de vetzuurconcentratie opnieuw begon toe te nemen. Menging wordt daarom niet gezien als hoofdoorzaak voor de toename in vetzuurconcentratie. Door de 1,8x hogere DS belasting is namelijk ook de NH<sub>4</sub>-N concentratie in de TT vergister tijdens fase 3B toegenomen tot 3 g/L. Verlaging van de NH<sub>4</sub>-N concentratie, door verdunning van het TT slib alvorens het gevoed wordt aan de vergister, laat zien dat verzuring uitblijft als de NH<sub>4</sub>-N concentratie lager blijft dan <2,3 g/L. Bij vergisting van met TSO behandeld secundair zuiveringsslib met DS percentages >7% vormt de ammoniak concentratie dus een belangrijk aandachtspunt. Daar in de praktijk diverse situaties bekend zijn waarbij vergisting bij hoge NH<sub>4</sub>-N concentraties (>3 g/L) toch probleemloos verloopt, wordt geadviseerd voldoende lange adaptatietijd in acht te nemen alvorens de vergister volledig te belasten. Met de pilot TSO-installatie op RWZI Amersfoort is de haalbaarheid daarvan echter niet onderzocht. Een andere mogelijkheid is het slib na de TSO-behandeling te verdunnen en de slib vergister te bedienen bij lagere verblijftijden (12-15 dagen).



## 8 Stabiliteit primair en secundair slib

Wat opvalt aan de CZV balansen van fase 1 en 2 (Hoofdstuk 4.3 en 5.3) is dat een groot gedeelte niet kan worden opgevuld met het CZV dat wordt teruggemeten in het uitgegiste slib en als biogas. Ergens gaat er dus CZV verloren dat niet wordt geregistreerd. Naast een meetfout in de CZV analyse methode van de voeding (door aanwezigheid van grovere delen) kan ook de stabiliteit van het opgeslagen slib een belangrijke rol spelen. Om dit te onderzoeken is het verloop van de vetzuur en CZV concentratie van thermisch ontsloten secundair slib van Amersfoort gevolgd in de tijd. De resultaten van dit onderzoek zijn opgenomen in Figuur 20.



**Figuur 20:** Verloop van opgelost CZV en de vetzuur concentratie tijdens de opslag van thermisch behandeld secundair slib afkomstig van Amersfoort.

Figuur 20 laat zien dat zowel voor opgelost CZV als voor de vetzuurconcentratie een afname in de tijd wordt gemeten. Omdat het buffervat vaak de voeding bevatte voor meerdere dagen is het dus goed mogelijk dat een deel van de CZV al verloren gaat (aan aerobe omzettingsprocessen) voordat het in de TT vergister wordt gepompt. Door deze overschatting van voeding is het dus ook goed mogelijk dat de specifieke biogasproducties voor ontsloten secundair slib in werkelijkheid hoger zijn dan gemeten. Toch kan de opslag van thermisch behandeld slib alleen maar een gedeelte van het gat in de CZV balans verklaren, want ook voor de REF vergister, die niet is gevoed met thermisch ontsloten slib, wordt een gat gevonden. In fase 3 zijn de testen alleen met secundair slib uitgevoerd en zijn de CZV balansen voor >90% sluitend. Het vermoeden bestaat dan ook dat naast thermisch ontsloten slib ook primair slib niet geheel stabiel is tijdens de opslag. Primair slib bevat nou eenmaal bacteriën en makkelijk om te zetten CZV. Aanvullende testen laten inderdaad zien dat het totaal CZV gehalte van opgeslagen primair slib afneemt in de tijd. Er wordt dan ook vanuit gegaan dat het gat in de CZV balans van de REF vergister hoofdzakelijk kan worden toegeschreven aan de instabiele opslag van primair slib. Voor de TT vergister is het zowel het primaire als het secundair ontsloten slib wat het gat veroorzaakt.

## 9 Pilot versus full scale

Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste proces ervaringen die zijn opgedaan tijdens het pilot onderzoek op RWZI Amersfoort en hoe deze toepasbaar zijn voor vervolg pilot onderzoeken en voor full scale realisaties.

### 9.1 Voorbehandeling

Alvorens het secundair slib wordt gevoed aan de Turbotec installatie dient het slib ingedikt te worden naar een gewenst DS percentage. Om het gewenste DS percentage te behalen is het van belang dat het DS gehalte van de voeding vrij constant is. Tijdens het pilot onderzoek werd het secundaire slib tijdelijk opgeslagen in een oude polymeer tank ( $15\text{m}^3$ ), waarin het slib de kans kreeg om te bezinken. Dit leidde al snel tot problemen bij het indikken. Om de bezinking tegen te gaan is toen besloten om het slib te gaan circuleren over de voorraad tank, waarna het mogelijk werd om continue het gewenste DS percentage te draaien.

Tijdens fase 3 is de rotorzeef (poriegrootte 2mm) op een gegeven moment vervangen door een trilzeef (poriegrootte 1mm). Belangrijkste argument voor deze keuze was om te kijken of een trilzeef meer haar en andere draadvormige vezels tegenhoudt dan de rotorzeef. Meer vezels werden inderdaad afgevangen met de trilzeef, maar problemen met haren bleven zich ook voortdoen na omschakeling van de rotorzeef naar de trilzeef (met name in de recycles van de vergisters). Op pilot schaal en ook op full scale is het dus van belang dat de vezelafscheiding goed verloopt om problemen in een later stadium van het proces te voorkomen. Voor vervolg pilot onderzoek wordt aangeraden om gebruik te maken van een rotorzeef met een poriegrootte van 1mm (niet getest in dit onderzoek).

Het transport van secundair ingedikt slib (10%) naar de vooropslag van de TT installatie zorgde in fase 3 ook voor de nodige problemen. Met de huidige voedingspomp (wormpomp) bleek het namelijk niet mogelijk om DS percentages >10% te verpompen. Voor vervolg pilot onderzoek met DS percentages >10% wordt aangeraden gebruik te maken van een zelfaanzuigende voedingspomp die is uitgelegd voor DS percentages >10%.

### 9.2 Het TurboTec proces

In het TurboTec proces is het van belang om het slib gedurende 1,4 uur te behandelen bij een druk van 4 bar en een temperatuur van  $140^{\circ}\text{C}$ . Om deze temperatuur te behalen wordt in de pilot installatie gebruik gemaakt van een combinatie tussen thermische olie en stoom. Thermische olie wordt gebruikt om de recycle loop van de reactor (die tevens dient als menging) te verwarmen naar de gewenste temperatuur. Deze manier van verwarmen wordt voornamelijk toegepast

tijdens de opstart van de reactor en om de recycle flow op temperatuur te behouden. Om het inkomende slib te verwarmen en de reactor constant op 140°C te houden wordt stoom toegevoegd. De hoeveelheid stoom die moet worden toegevoegd is daardoor direct afhankelijk van de temperatuur van het inkomende slib. Hoe kouder het slib (door opslag in de buitenlucht) hoe meer stoom er moest worden toegevoegd. Verder nam de stoominjectie ook toe als de warmtewisselaar van de recycle flow begon aan te koken (minder warmteoverdracht). Het aankoken van de warmtewisselaar wordt vermoedelijk veroorzaakt door te grote temperatuursverschillen tussen binnen en buitenwand tijdens het opstarten van de reactor. Het op temperatuur brengen van de reactor moet dan ook geleidelijk gebeuren om het schoonmaken van de warmtewisselaar te voorkomen.

Full scale realisaties worden niet uitgevoerd met een recycle flow en verwarming door middel van thermische olie. Menging van de TurboTec zal tot stand worden gebracht met een roerwerk en verwarming door middel van stoom. Ook voor de opstart zal stoom worden gebruikt. Net als in de pilot zal de hoeveelheid toegevoegde stoom seizoensgebonden zijn al wordt het effect wel kleiner verwacht omdat de temperatuur van het afvalwater minder variërend is.

### 9.3 Vergisters

Uit het pilot onderzoek is naar voren gekomen dat zowel thermisch ontsloten secundair slib als primair slib niet stabiel is tijdens opslag in de buitenlucht. Voor vervolg pilot onderzoek is het van belang om hier rekening mee te houden om zo de CZV balansen beter sluitend te krijgen. Verder is het van belang dat de voorbehandeling goed op orde is om verstopping door haren en dergelijke tegen te gaan. Vooral in de Pilot installatie is dit belangrijk omdat menging geschiedt via een recycle loop. Als de recycle flow blokkeert valt de menging dus ook (deels) weg. Bij Full scale realisaties wordt dit probleem voorkomen doordat gebruik wordt gemaakt van een roerwerk in plaats van een recycle flow.

## 10 Conclusie

Onderzoek naar het effect van TSO op secundair slib met de pilot installatie van Sustec op RWZI Amersfoort laat zien dat TSO een positieve bijdrage levert aan de vergistbaarheid van secundair slib, de te behalen DS percentages van de slibkoek tijdens de slibontwatering, en de verpompbaarheid van het materiaal.

Door de verbeterde vergistbaarheid neemt zowel de DS afbraak als de biogasproductie van het secundaire slib toe. Afhankelijk van de keuze of primair slib wordt bijgevoegd in de vergisting kan een verbeterde DS afbraak worden verwacht tussen de 1,30 en 1,35x. De specifieke biogasproductie van het secundaire slib neemt daarbij eveneens toe met een factor >1,30. Voor secundair slib van RWZI Amersfoort en Geestmerambacht zijn de volgende toename in specifieke biogasproducties bepaald:

- Secundair slib Amersfoort gaat van 231 L/kgDS naar 311 L/kgDS
- Secundair slib Geestmerambacht gaat van 257 L/kgDS naar 344 L/kgDS

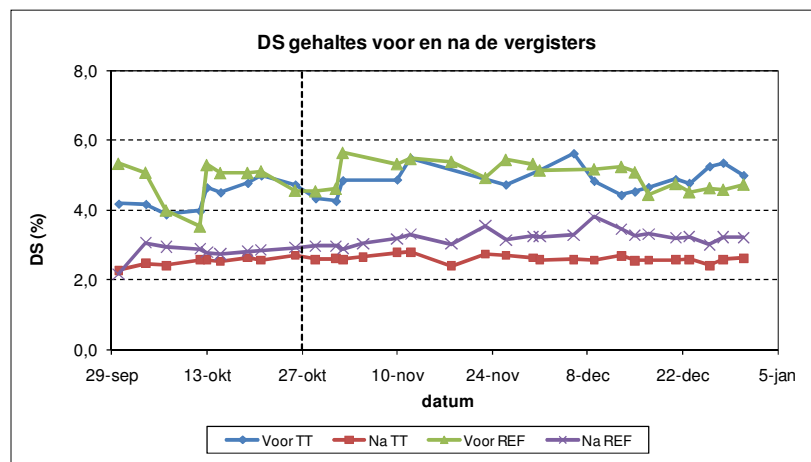
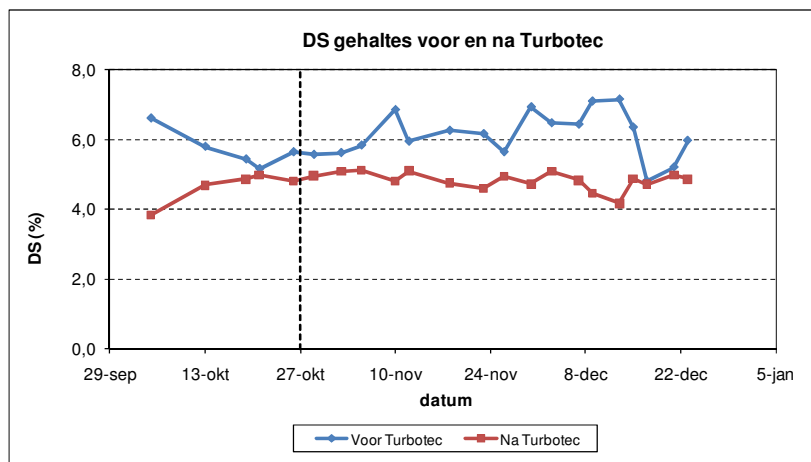
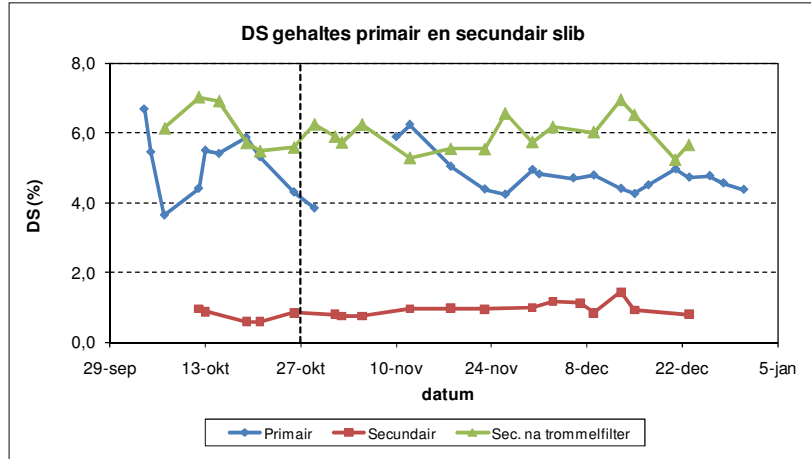
Naast de verbeterde vergistbaarheid neemt ook de ontwaterbaarheid (DS van de slibkoek) toe met een factor >1,22 wanneer het secundaire slib wordt vermengd met 35% primair slib tijdens de vergisting. Als de vergister uitsluitend wordt gevoed met secundair slib kan een factor >1,35 worden behaald. Door deze toename van het DS percentage in de slibkoek kan dus aanzienlijk worden bespaard op de transport en eindverwerkingskosten.

Door toepassing van TSO neemt ook de viscositeit van het secundaire slib af (factor 7). Tijdens fase 3 is voor Geestmerambacht slib bepaald dat door TSO de viscositeit van 10% onbehandeld secundair zuiveringsslib zover afneemt dat het zelfs lager uitkomt dan 5% onbehandeld secundair zuiveringsslib. Door deze verlaging in viscositeit is het dus goed mogelijk om hogere DS percentages te gaan voeden aan bestaande vergisters met de huidige voedingspompen.

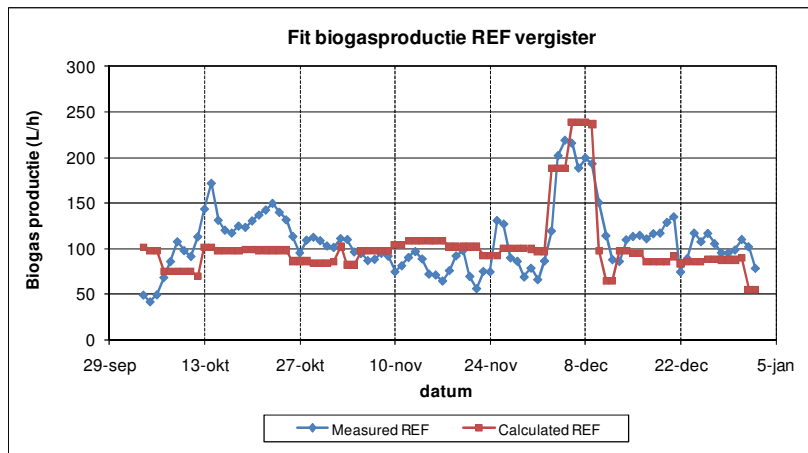
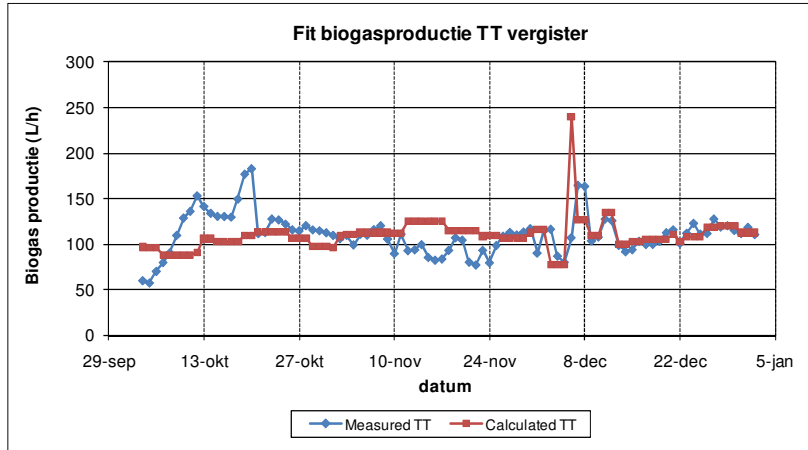
Door de verbeterde vergistbaarheid van het secundaire slib blijkt het tevens geen probleem om de verblijftijd van de vergister te verlagen van 21 naar 12 dagen. Bij deze kortere verblijftijd behoudt de vergister zijn specifieke biogasproductie, treden er geen veranderingen op in de oplosbaarheid van nutriënten, en blijft de ontwaterbaarheid in dezelfde range. Door de verlaging van de viscositeit kan de voeding van de vergister worden verhoogd van 6% naar 10% DS. Bij deze 1,8x hogere DS belasting blijft de specifieke biogasproductie in dezelfde range en komen er meer nutriënten (1,8x) in oplossing. Dit betekent ook dat het ammoniak gehalte toeneemt, wat vraagt om anaerobe biomassa die geadopteerd is aan ammoniak concentraties hoger dan 2,3 g/L of verdunning van het ontsloten slib in combinatie met een verlaging van de verblijftijd.

## Bijlagen

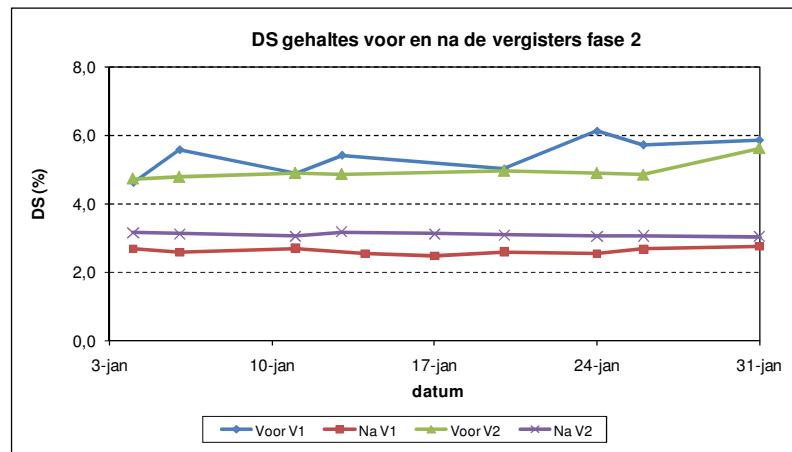
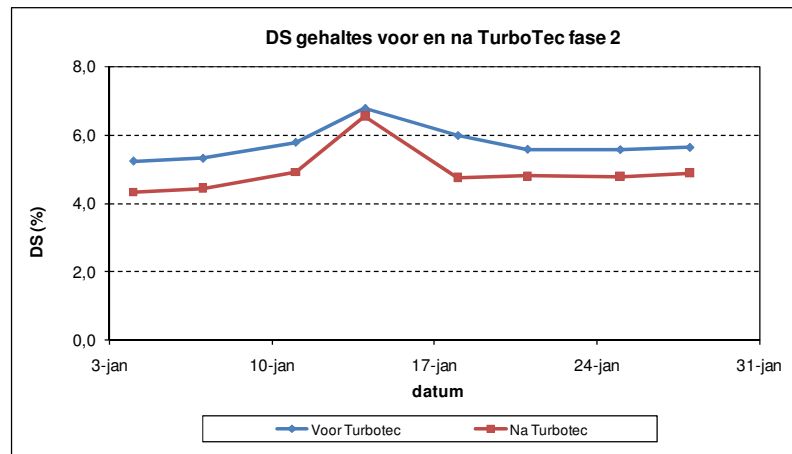
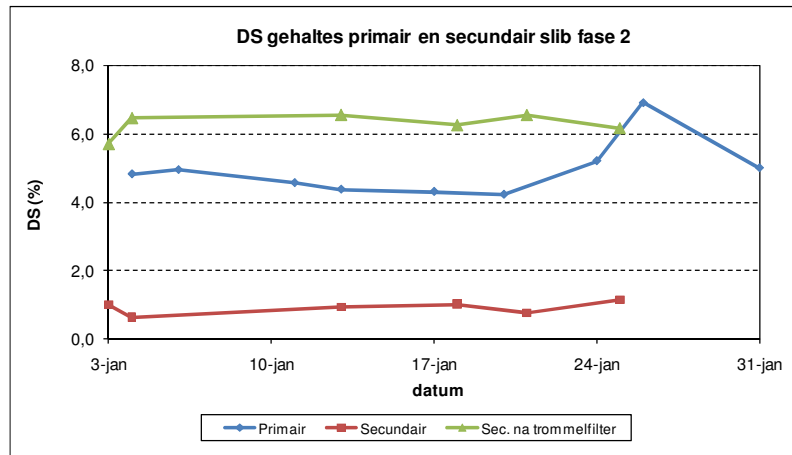
### Bijlage 1: Overzicht van de gemeten DS gehaltenes gedurende fase 1



Bijlage 2: Iteratie biogaswaarden TT en REF vergister (fase 1)



### Bijlage 3: Overzicht van de gemeten DS gehalten gedurende fase 2



Bijlage 4: Overzicht van de gemeten DS gehaltenes gedurende fase 3

