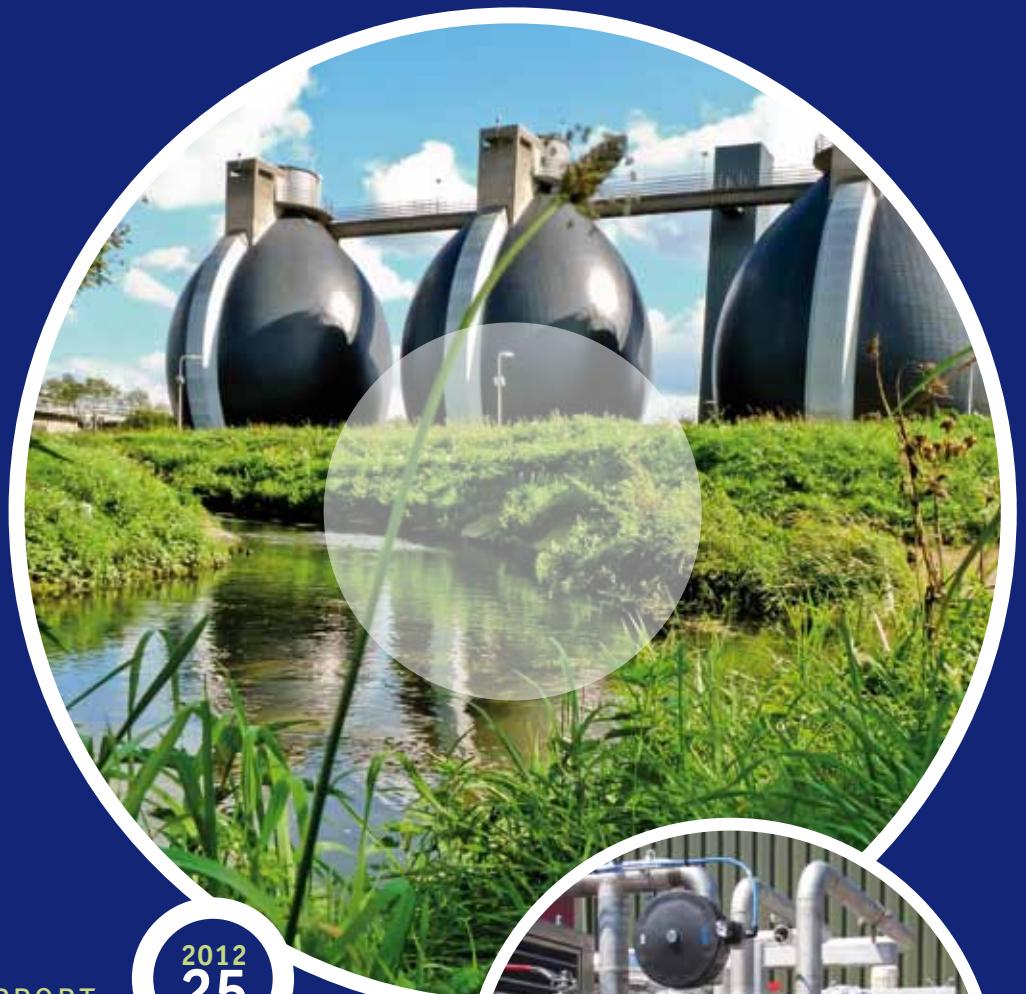


# THERMISCHE SLIBONTSLUITING



RAPPORT

2012  
25



THERMISCHE SLIBONTSLUITING  
PILOT-ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN EN RANDVOORWAARDEN

**RAPPORT**

2012

**25**

ISBN 978.90.5773.558.5



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING  
David Berkhof (DHV)  
Eddie Koornneef (DHV)  
Hans Janus (DHV)

BEGELEIDING PILOTONDERZOEK  
Rwzi Amersfoort  
Jeroen Goverde (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)  
Lex van Dijk (Sustec)  
Alex Hol (Sustec)

Rwzi Hengelo  
Mathijs Oosterhuis (Waterschap Regge en Dinkel)  
Paul Roeleveld (MWH, thans Royal Haskoning)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE  
Karin Boterman – de Bruijn (Waterschap Vallei en Veluwe i.o.)  
Victor Claessen (Waterschap De Dommel)  
Hans Ellenbroek (Waterschap Regge en Dinkel)  
Ad de Man (Waterschapsbedrijf Limburg)  
Erik Rekwinkel (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)  
George Zoutberg (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)  
Cora Uijterlinde (STOWA)

FOTO OMSLAG Foto voorkant: Slibgisting rwzi Hengelo: Rob Smiet, Waterschap Regge en Dinkel  
Foto voorkant inzet: Warmtewisselaar, foto Sustec. TurboTec

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-25

ISBN 978.90.5773.558.5

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# SAMENVATTING

## AANLEIDING

Energie is ‘hot’ in Nederland, met als gevolg dat diverse waterschappen interesse hebben in het optimaliseren van het gistingproces. Een interessante techniek in dit kader is een voorbehandeling bij verhoogde temperatuur en druk: thermische slibontsluiting. Dit is één van de processtappen in de “Plusvariant” van de Energiefabriek.

Enkele vormen van thermische slibontsluiting zijn het ZIMPRO- en het Vertech-proces. Deze zijn lange tijd toegepast bij een aantal waterschappen, waaronder Waterschap Brabantse Delta, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Waterschap Veluwe. Thermische slibontsluiting (TSO) heeft zich verder ontwikkeld als voorbehandelingsstap voor het gistingproces. In West-Europa zijn al circa 20 installaties in bedrijf. Uitgangspunt van deze installaties was over het algemeen niet het maximaliseren van de biogas- of energieproductie, maar het produceren van een eindproduct dat voldeed aan de wettelijke eisen ten aanzien van hygiënisering voor toepassing in de landbouw. Een één-op-één vertaling naar de Nederlandse situatie is daarom niet zonder meer mogelijk.

De brede interesse bij de waterschappen in relatie met het maximaliseren van de biogasproductie in het kader van de Energiefabriek, was mede aanleiding voor STOWA om het onderzoek naar TSO op te pakken. Er is eerst een vooronderzoek<sup>[21]</sup> uitgevoerd om de beschikbare gegevens en gewenste onderzoeksaspecten te inventariseren. Om het effect van toepassen van thermische slibontsluiting goed te kunnen vaststellen zijn er twee pilotonderzoeken op verschillende schaal uitgevoerd. Op rwzi Amersfoort (Waterschap Vallei en Eem) heeft in samenwerking met Sustec B.V. een pilotonderzoek plaatsgevonden voor een continu systeem. Op rwzi Hengelo (Waterschap Regge en Dinkel) heeft in samenwerking met Cambi een pilotonderzoek plaatsgevonden voor een semi-continu systeem.

## DOELSTELLING

Dit onderzoek heeft als doel een indruk te krijgen van de te bereiken resultaten, de voor- en nadelen, de technische haalbaarheid en de financiële doelmatigheid van de technieken. Aan de hand van de beschikbare gegevens van buitenlandse praktijkinstallaties en de resultaten van eerder uitgevoerd Nederlands onderzoek op pilot- en laboratoriumschaal zijn de onderzoeksaspecten voor de pilotonderzoeken op rwzi Amersfoort en rwzi Hengelo geformuleerd. In de twee pilotonderzoeken zijn deze aspecten nader bekeken. Op basis van de uitkomsten van de beide onderzoeken is de haalbaarheid bekeken van het toepassen van TSO op rwzi's in Nederland.

## HET PRINCIPE VAN TSO

Thermische slibontsluiting is een slibdesintegratietechniek. Deze techniek heeft als doel het rendement van de sliblijn te verbeteren. Dit wordt bereikt door verhoging van de biogasproductie en verbetering van de ontwaterbaarheid van het slib. De biologische afbreekbaarheid van slib wordt verbeterd door de moeilijk afbreekbare celstructuren kapot te maken, waardoor er meer gemakkelijk afbreekbare componenten vrijkomen. Wanneer (secundair) slib vóór slibgisting met een desintegratietechniek wordt behandeld, wordt een groter deel van de organische stof tijdens de slibgisting omgezet, wat resulteert in een hogere biogasproductie en een vermindering van de uitgeste slibproductie.

In de jaren negentig heeft de Noorse firma Cambi een proces voor thermische slibontsluiting ontwikkeld, dat in de praktijk bij 20 installaties met slibgisting wordt toegepast. De laatste jaren zijn meer leveranciers met systemen voor thermische slibontsluiting op de markt gekomen. De processen verschillen onderling vooral in de procescondities (temperatuur, druk, drogestofpercentage slib, batch of continue wijze van slibinvoer) en in de voor te behandelen slibstroom (alleen secundair slib of mengsel van primair en secundair slib).

De geclaimde voordelen zoals de extra biogasproductie, verhoogde afbraak en verbeterde ontwateringseigenschappen leveren een belangrijk financieel voordeel op. Het financiële voordeel van de verminderde slibhoeveelheid is hierin dominant. Afhankelijk van de indikingsgraad is de verhoogde biogasproductie (groten)deels nodig om het slib op temperatuur en druk te krijgen. De verbeterde afbraak in combinatie met de betere ontwaterbaarheid moeten opwegen tegen de investeringen van thermische slibontsluiting en de hogere bedrijfsvoeringskosten voor de voorontwatering en opwarmen van de het slib. Per locatie dient dit te worden onderzocht, omdat het sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden.

Het proces heeft de volgende (rand)voorwaarden om rekening mee te houden:

- Hoge druk: Het proces vindt plaats onder hoge druk, 6 tot 8 bar. De installatie(onderdelen) dienen hiervoor ontworpen te worden. Vanuit de bedrijfsvoering dient voldoende inzicht te zijn in de risico's die samenhangen met hoge druk.
- Hoge temperatuur: Het thermische slibontsluiting proces vindt plaats onder temperaturen die oplopen tot 170°C. Na de thermische slibontsluitingsunit is het van belang het slib in voldoende mate terug te koelen om remming van het gistingproces door oververhitting te voorkomen. Vanuit de bedrijfsvoering dient voldoende inzicht te zijn in de risico's die samenhangen met de hoge temperatuur.
- Schuim: Door de combinatie van temperatuurs- en drukverhoging kan schuimvorming optreden.
- Scaling: Als gevolg van temperatuurs- en drukwisselingen kan scaling optreden. Dit gevaar is met name reëel bij de warmtewisselaars.
- Verstopping: Door grove delen uit het slib te verwijderen wordt verstopping van warmtewisselaars zo veel mogelijk voorkomen.
- Voorontwatering: De mate van voorindikking bepaalt de hoeveelheid slib die opgewarmd wordt. De voorontwatering dient in staat te zijn om het benodigde DS% van het ingaande slib te behalen. Aandachtspunten zijn het benodigde PE-verbruik en afscheidingsrendement.
- Slibeindverwerking: Bij het toepassen van thermische slibontsluiting is het van belang dat de veranderingen van slibhoeveelheid en –samenstelling passen binnen de randvoorwaarden die zijn gesteld door de slibeindverwerkers. In de praktijk betekent dit dat bij een lager organisch stofgehalte een hoger drogestofgehalte nodig is om dezelfde calorische waarde van het te verwerken slib te halen.
- Benodigde kennis: Installatie(onderdelen) met hoge druk en hoge temperatuur zijn niet gangbaar op rwzi's. Inzicht in de risico's voor operationeel beheer en onderhoud moet wel aanwezig zijn op de rwzi.
- Samenstelling rejectiewaterstroom: Toepassen van thermische slibontsluiting heeft gevolgen voor de samenstelling van het vrijkomende rejectiewater. Afhankelijk van de capaciteit van de waterlijn zal het nodig zijn om deelstroombehandeling toe te passen.
- Effluentkwaliteit: Door het toepassen van thermische slibontsluiting kan zogenaamd stabiel CZV worden gevormd. Dit is opgelost CZV dat biologisch niet afgebroken wordt en ook niet wordt ingevangen door actief slib. Dit heeft gevolgen voor de effluentsamenstelling.

Voor de Nederlandse situatie was weinig ervaring met thermische slibontsluiting. De ervaring die er was, was gebaseerd op labtesten en een pilotonderzoek. De energiebalans en de effecten op de slib(eind)verwerking zijn essentiële factoren voor het succesvol introduceren van de techniek. Van sommige aspecten is middels het uitgevoerde pilotonderzoek een beter beeld gevormd. Het ging bij het pilotonderzoek vooral om het antwoord op de volgende vragen:

- Hoeveel extra afbraak van organische stof kan worden gerealiseerd?
- Hoeveel extra biogasproductie levert dit op (hoeveelheid en samenstelling)?
- Welk effect heeft thermische slibontsluiting op de slibontwatering?
  - Drogestofgehalte ontwaterd slib en afscheidingsrendement;
  - Benodigd type en hoeveelheid PE.
- Welk effect heeft het verlagen van de slibverblijftijd op het gistingproces?
- Welk effect heeft het verhogen van de ds-belasting op het gistingproces?

In verband met beschikbaarheid van pilotinstallaties zijn testen uitgevoerd in samenwerking met de leveranciers. Het onderzoek met een Cambi-installatie heeft plaatsgevonden op rwzi Hengelo in 4 gistingsreactoren met een volume van elk 8 liter en het onderzoek van Sustec heeft plaatsgevonden op rwzi Amersfoort met 2 gistingsreactoren met elk een volume van 3,5 m<sup>3</sup>.

Op basis van het rekenvoorbeeld in hoofdstuk 8 komt naar voren dat enerzijds de investeringen en anderzijds de besparingen op de slibeindverwerkingskosten doorslaggevend zijn voor de haalbaarheid van het toepassen van TSO. De besparingen op de slibeindverwerking ten opzichte van de referentiesituatie moeten opwegen tegen de extra kosten door toepassen van TSO (afschrijvingen, onderhoud, etc.). Zoals ook uit het voorbeeld van het haalbaarheidsonderzoek van rwzi Hengelo naar voren komt, is het kiezen van de juiste uitgangspunten essentieel bij het berekenen van de haalbaarheid. Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse brengt naar voren in welke scenario's toepassen van TSO wel en niet haalbaar is.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- Toepassen van TSO leidt tot een verbetering van de afbraak van slib, maar een eenduidig afbraakpercentage is niet te geven. Wel kan een range gegeven worden van de te verwachten toename van de organische stof afbraak van het secundaire slib. Afhankelijk van de lokale condities zal de organische stof afbraak van secundair slib toenemen met een factor tussen de 1,25 en 1,45. Bij een beperkte afbraak van organische stof van secundair slib in de referentiesituatie, kan de afbraak toenemen tot een factor 1,6 (zie onderzoek rwzi Hengelo).
- De toename in biogasproductie is recht evenredig met de extra afbraak van organische stof. De specifieke biogasproductie (l gas per kg organische stof verwijderd) neemt niet toe. De specifieke biogasproductie is circa 850 liter biogas per kg organische stof verwijderd en daarmee conform de theoretische berekening.
- Door TSO toe te passen kan een gistinginstallatie zwaarder belast worden. Onder de geteste condities is de organische stofbelasting (kg OS/m<sup>3</sup>.d) van de TSO-vergister 2,3 maal zo hoog (5 à 6 kg OS/m<sup>3</sup>.d) geweest als de referentievergister. Dit heeft niet tot problemen geleid. Hogere belastingen zijn niet getest, zie hiervoor ook de aanbevelingen. Wel is de schuimvorming bij de TSO vergisters een aandachtspunt, zoals uit het onderzoek in Hengelo is gebleken.
- De viscositeit van het te vergisten slib neemt duidelijk af bij toepassen van TSO. Hierdoor is het mogelijk met hoge slibconcentraties in de gisting te werken. Door het beperkte aantal metingen zijn hier geen harde getallen aan toe te kennen. Wel kan worden opge-

merkt dat de menging bij geen van de pilots tot problemen heeft geleid, zelfs niet bij DS-concentraties van ruim 10 % DS naar de gisting.

- Door toepassen van TSO kan met een kortere verblijftijd in de gisting worden gewerkt. Een verlaging tot 12 dagen heeft niet tot noemenswaardige problemen geleid bij het onderzoek in Amersfoort. Wel moet hierbij bedacht worden dat de testperiode relatief kort is geweest.
- Thermische slibontsluiting heeft geen noemenswaardige invloed op de biogassamenstelling. Claims dat het aandeel methaan in het biogas stijgt zijn niet aangetoond.
- De pH komt in de vergisters met thermisch ontsloten slib hoger uit en leidt daardoor eerder tot fosfaatprecipitatie in slib en in leidingen.
- Op basis van verschillende testen neemt het drogestofgehalte van het uitgegiste ontwaterde TSO-slib toe met een factor 1,3 tot 1,4 ten opzichte van de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib uit de REF-vergister. Uitgaande van een drogestofgehalte van uitgegiste ontwaterd slib van 23% komt dit neer op een toename naar een drogestofgehalte van 30%. Wel is er meer PE nodig voor het ontwateren van slib uit een TSO installatie. Hoeveel en welk type dient nog verder uitgezocht te worden.
- De toename van de ammoniumconcentratie is vrijwel rechtvenredig met de organische stofafbraak en het indikkingseffect van de ingaande slibstroom. Zonder adaptatie van het slib is 3 g NH<sub>4</sub>-N/l een maximum voordat remming optreedt. Of hogere concentraties mogelijk zijn is niet onderzocht.
- In de meeste gevallen neemt de hoeveelheid fosfaat toe bij toenemende afbraak, maar er lijkt geen eenduidig verband te zijn tussen afbraak en de fosfaatconcentratie. Bij het onderzoek op rwzi Hengelo neemt de concentratie in de TSO-vergisters toe ten opzichte van de REF-vergisters. Maar hoewel het drogestofgehalte van het ingaande slib 2 keer zo hoog is, is de toename in de fosfaatvrucht lager dan een factor 2. Waarschijnlijk precipiteert een deel van het vrijkomende fosfaat direct in het slib. In hoeverre scaling als gevolg van de hogere fosfaatgehalten optreedt, is niet onderzocht.
- De concentratie CZV in het rejectiewater neemt toe. Dit heeft niet tot problemen in de gisting geleid, maar in hoeverre dit nadelig is voor de waterlijn is niet onderzocht. Vanwege hoge concentraties NH<sub>4</sub> en PO<sub>4</sub> wordt terugwinning van nutriënten aantrekkelijk.

Bij het eventueel toepassen van TSO dient eerst de specifieke lokale situatie rondom de slibgisting goed in kaart gebracht te worden, want de technisch economische haalbaarheid is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden. Zo geldt dat de benodigde investeringen sterk afhankelijk zijn van de ruimte in de bestaande installatie. Het aanschaffen van extra gasopslag en WKK's ten behoeve van de extra gasproductie werken sterk kostenverhogend. Daarnaast zijn de kosten voor slibafzet van doorslaggevende betekenis. Als de besparingen op eindverwerkingskosten beperkt zijn, doordat alleen de variabele kosten wijzigen, kunnen de kosten voor de TSO-unit niet terugverdiend worden binnen een redelijke afschrijvingstermijn (10-15 jaar).

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)





# THERMISCHE SLIBONTSLUITING

## INHOUD

	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>WAT IS THERMISCHE SLIBONTSLUITING?</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	Het principe van thermische slibontsluiting	3
<b>2.2</b>	Leveranciers	4
2.2.1	Cambi	5
2.2.2	Sustec	7
2.2.3	Overige leveranciers	7
<b>2.3</b>	Toepassen van thermische slibontsluiting	8
<b>2.4</b>	Voordelen van thermische slibontsluiting	9
<b>2.5</b>	Kritische technische factoren	9
<b>2.6</b>	Uit te voeren pilotonderzoek	10
<b>3</b>	<b>EERDER UITGEVOERD ONDERZOEK</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	Labtesten	11
<b>3.2</b>	Pilottesten Sustec op rwzi Venlo	12
<b>3.3</b>	Vergelijking labtesten en pilottesten	13
<b>4</b>	<b>OPZET PILOTONDERZOEK</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	Onderzoeksaspecten	14
<b>4.2</b>	Pilottesten en locatiekeuze	15
<b>4.3</b>	Onderzoek rwzi Amersfoort	15
4.3.1	Beschrijving van de pilotinstallatie	16
4.3.2	Bedrijfsvoering	17
4.3.3	Metingen en analyses	18
4.3.4	Opzet slibontwateringstest	19
<b>4.4</b>	Onderzoek rwzi Hengelo	20
4.4.1	Beschrijving van de Cambipilot en de labreactoren	21
4.4.2	Bedrijfsvoering	22
4.4.3	Metingen en analyses	22
4.4.4	Opzet slibontwateringstest	23

<b>5</b>	<b>ONDERZOEK RWZI AMERSFOORT (SUSTEC)</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	Inleiding	24
<b>5.2</b>	Algemene beschouwing	24
<b>5.3</b>	Resultaten	24
5.3.1	Droge- en organische stofafbraak	24
5.3.2	Biogasproductie	28
5.3.3	CZV-balans	31
5.3.4	Samenstelling rejectiewater	32
5.3.5	Ontwaterbaarheid	34
<b>6</b>	<b>ONDERZOEK RWZI HENGELO (CAMBI)</b>	<b>38</b>
<b>6.1</b>	Inleiding	38
<b>6.2</b>	Algemene beschouwing	38
<b>6.3</b>	Resultaten	39
6.3.1	Droge- en organische stofafbraak	39
6.3.2	Biogasproductie	42
6.3.3	CZV-balans	43
6.3.4	Samenstelling rejectiewater	44
6.3.5	Ontwaterbaarheid	45
<b>7</b>	<b>EVALUATIE ONDERZOEKEN</b>	<b>46</b>
<b>7.1</b>	Inleiding	46
<b>7.2</b>	Droge- en organische stofafbraak	47
<b>7.3</b>	Biogasproductie	48
<b>7.4</b>	Rejectiewatersamenstelling	49
<b>7.5</b>	Ontwaterbaarheid	50
<b>8</b>	<b>TOEPASSING IN DE NEDERLANDSE PRAKTIJK</b>	<b>52</b>
<b>8.1</b>	Beheer en onderhoud	52
<b>8.2</b>	Risico's	52
<b>8.3</b>	Vergunningverlening	53
<b>8.4</b>	Haalbaarheid	54
8.4.1	Schaalgrootte	54
8.4.2	Investerings	54
8.4.3	Jaarlijkse exploitatiekosten	55
8.4.4	Rekenvoorbeeld uit vooronderzoek	59
<b>8.5</b>	Haalbaarheidsonderzoek rwzi Hengelo	60
<b>9</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>62</b>
<b>9.1</b>	Conclusies	62
<b>9.2</b>	Aanbevelingen	63
	<b>BIJLAGEN</b>	
1	Referenties	65
2	Scenario's bij onderzoek rwzi Amersfoort	67
3	Pilotproeven Sustec op rwzi Amersfoort	69
4	Pilottesten Cambi op rwzi Hengelo	75
5	Gevoeligheidsanalyse centrale slibverwerking Hengelo	79

# 1

## INLEIDING

### AANLEIDING

Energie is ‘hot’ in Nederland, met als gevolg dat diverse waterschappen interesse hebben in het optimaliseren van het gistingproces. Een interessante techniek in dit kader is een voorbehandeling bij verhoogde temperatuur en druk: thermische slibontsluiting. Dit is één van de processtappen in de “Plusvariant” van de Energiefabriek.

Een vorm van thermische slibontsluiting is het ZIMPRO-proces. Bij dit Zimpro-proces wordt het ingedikte, maar nog vloeibare zuiveringsslib onder hoge temperatuur en druk (200 °C, 20 atm) behandeld. Daardoor kan het slib nog verder worden ontwaterd. Dit proces is lange tijd toegepast bij een aantal waterschappen, waaronder Waterschap Brabantse Delta en Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Een vergaande vorm van slibontsluiting is het Vertech-principe, waar bij 120 atm en 270°C en zuurstofinjectie vrijwel alle organische stof wordt omgezet in geoxideerde vorm.

Thermische slibontsluiting (TSO) heeft zich de laatste 15 jaar verder ontwikkeld als voorbehandelingsstap voor het gistingproces. In West-Europa zijn al circa 20 installaties in bedrijf. Uitgangspunt van deze installaties was over het algemeen niet het maximaliseren van de biogas- of energieproductie, maar het produceren van een eindproduct dat voldeed aan de wettelijke eisen ten aanzien van hygienisering voor toepassing in de landbouw. Een één-op-één vertaling naar de Nederlandse situatie is daarom niet zonder meer mogelijk.

De brede interesse bij de waterschappen in relatie met het maximaliseren van de biogasproductie in het kader van de Energiefabriek, was mede aanleiding voor STOWA om het onderzoek naar TSO op te pakken. Er is eerst een vooronderzoek<sup>[21]</sup> uitgevoerd om de beschikbare gegevens en gewenste onderzoeksaspecten te inventariseren. Om het effect van toepassen van thermische slibontsluiting goed te kunnen vaststellen zijn er twee pilotonderzoeken uitgevoerd. Op rwzi Amersfoort (Waterschap Vallei & Eem) heeft in samenwerking met Sustec B.V. een pilotonderzoek plaatsgevonden voor een continu systeem. Op rwzi Hengelo (Waterschap Regge en Dinkel) heeft in samenwerking met Cambi een pilotonderzoek plaatsgevonden voor een semi-continu systeem.

### DOELSTELLING

Dit onderzoek heeft als doel een indruk te krijgen van de te bereiken resultaten, de voor- en nadelen, de technische haalbaarheid en de financiële doelmatigheid van de technieken. Aan de hand van de beschikbare gegevens van buitenlandse praktijkinstallaties en de resultaten van eerder uitgevoerd Nederlands onderzoek op pilot- en laboratoriumschaal zijn de onderzoeksaspecten voor de pilotonderzoeken op rwzi Amersfoort en rwzi Hengelo geformuleerd. In de twee pilotonderzoeken zijn deze aspecten nader bekeken. Op basis van de uitkomsten van de beide onderzoeken is de haalbaarheid bekeken van het toepassen van TSO op rwzi's in Nederland.

**LEESWIJZER**

In dit rapport is in hoofdstuk 2 een globaal beeld gegeven van de techniek en de beoogde voordelen. Ook is ingegaan op de kritische factoren om de techniek succesvol te laten zijn. Hierbij gaat het om factoren die zowel voor de technische als de economische haalbaarheid van belang zijn. In hoofdstuk 3 is nader ingegaan op het eerder in Nederland uitgevoerde onderzoek. In hoofdstuk 4 zijn de onderzoeksaspecten benoemd, waarna in hoofdstuk 5 en 6 de onderzoeken op respectievelijk de rwzi Amersfoort en rwzi Hengelo zijn besproken en geëvalueerd. In hoofdstuk 7 zijn beide onderzoeken geëvalueerd, waarna in hoofdstuk 8 de toepassingsmogelijkheden van TSO voor de Nederlandse praktijk nader zijn beschouwd. In hoofdstuk 9 tenslotte zijn de conclusies en aanbevelingen verwoord.

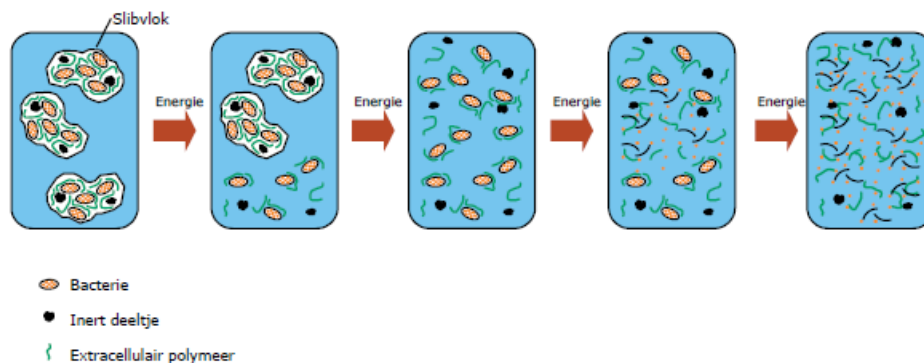
# 2

## WAT IS THERMISCHE SLIBONTSLUITING?

### 2.1 HET PRINCIPE VAN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

Thermische slibontsluiting is een slibdesintegratietechniek. Deze techniek heeft als doel het rendement van de sliblijn te verbeteren. Dit wordt bereikt door verhoging van de biogasproductie en verbetering van de ontwaterbaarheid van het slib. De biologische afbreekbaarheid van slib wordt verbeterd door de moeilijk afbreekbare celstructuren kapot te maken, waardoor er meer gemakkelijk afbreekbare componenten vrijkomen. Wanneer (secundair) slib vóór slibgisting met een desintegratietechniek wordt behandeld, wordt een groter deel van de organische stof tijdens de slibgisting omgezet, wat resulteert in een hogere biogasproductie en een vermindering van de uitgegist slibproductie. In onderstaande afbeelding is een schematische weergave gegeven van het effect van het toepassen van thermische slibontsluiting. Naarmate de toegevoerde energie toeneemt, als gevolg van hogere druk, temperatuur of verblijftijd in de TSO-reactor, zal het slib meer desintegreren. Allereerst zullen de slibvlokken uiteenvallen in bacteriën en inert materiaal. Vervolgens zullen ook de bacteriën uit elkaar vallen waarbij intracellulaire enzymen en polymeren vrijkomen.

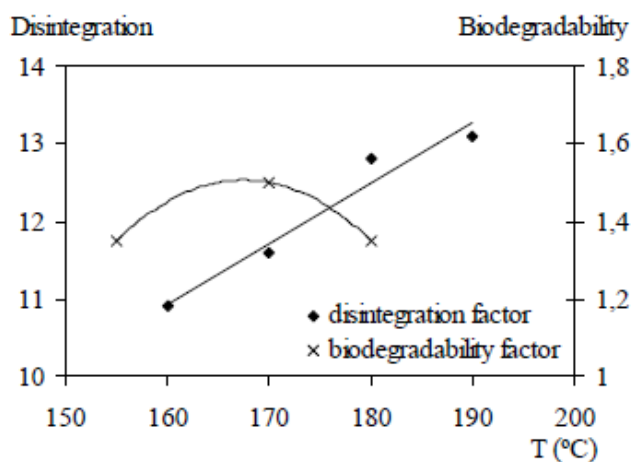
AFBEELDING 1 EFFECT VAN VERHOOGDE ENERGIETOEVOER OP DE DESINTEGRATIE VAN SLIB<sup>[22]</sup>



Bij de thermische slibontsluiting is het desintegratieproces gebaseerd op hoge temperatuur (140-170 °C) en hoge druk (5-8 bar). Zoals uit het bovenstaande schema naar voren komt is er een relatie tussen de hoeveelheid toegevoerde energie en de mate van desintegratie van het slib. De effectiviteit van het toepassen van thermische slibontsluiting kan beoordeeld worden op basis van drie fundamentele parameters<sup>[17]</sup>: slibdesintegratie, toename in biodegradeerbaarheid en ontwaterbaarheid. Onder slibdesintegratie wordt de oplosbaarheid van het slib bedoeld, welke kan worden uitgedrukt in de verhouding tussen de fractie  $CZV_{\text{oplosbaar}}$  en  $CZV_{\text{totaal}}$  voor en na de TSO-stap. De toename van de biodegradeerbaarheid wordt berekend door de specifieke methaanproductie (als  $l \text{ CH}_4/\text{kg OS}_{\text{voeding}}$ ) van behandeld en onbehandeld slib met elkaar te vergelijken. Het effect op de ontwaterbaarheid kan op verschillende manieren worden vastgesteld, onder andere met centrifugetesten.

In afbeelding<sup>[23]</sup> 2 is de relatie weergegeven tussen een hogere energie-input en het effect op biodegradeerbaarheid en desintegratie van het slib.

AFBEELDING 2 RELATIE TUSSEN TEMPERatuur EN DESINTEGRATIE ( $[MG\ CZV_{OPGELOST\ NA/L}] / [MG\ CZV_{OPGELOST\ VOOR/L}]$ ) EN BIODEGRADEERBAARHEID ( $L\ CH_4/G\ ODS_{VOEDING}$ )<sup>[23]</sup>



Uit de bovenstaande afbeelding komt naar voren dat er een optimum is in de toename van de biodegradeerbaarheid als gevolg van het verhogen van de temperatuur. De veronderstelling is dat bij hogere temperaturen de fractie niet afbreekbaar CZV toeneemt<sup>[17]</sup>, waardoor het effect op de biodegradeerbaarheid afneemt. De desintegratie geeft een evenredige relatie met het verhogen van de temperatuur.

In 2005 is door de STOWA een literatuuronderzoek<sup>[22]</sup> uitgevoerd naar slibdesintegratietechnieken. In het kader van dat onderzoek is gekeken naar diverse technieken om het slib te desintegreren, waaronder ultrasone en thermische desintegratie. In het kader van dat onderzoek is voor mechanische en thermische desintegratie een kosten-batenanalyse opgesteld. Op basis van de bevindingen kwam naar voren dat de mechanische desintegratie slechts in een beperkt aantal situaties een klein positief effect had. Thermische desintegratie is vanwege de hoge investering alleen in die gevallen haalbaar waarbij de installatie toch al aanzienlijk dient te worden aangepast. Belangrijkste parameters voor de kosten-batenanalyse zijn de slibeindverwerkingskosten, het drogestofgehalte na ontwatering en de stijging van de afbraak. De conclusie van het onderzoek was dat het niet mogelijk is om een algemene uitspraak te doen over de haalbaarheid omdat die te veel afhangt van lokale omstandigheden en effecten. Wel werd verwacht dat vanwege verdere ontwikkeling van desintegratietechnologieën de haalbaarheid steeds gunstiger wordt.

## 2.2 LEVERANCIERS

In de jaren negentig heeft de Noorse firma Cambi een proces voor thermische slibontsluiting ontwikkeld, dat in de praktijk goed functioneerde en bij ruim 20 installaties met slibgisting wordt toegepast. De laatste jaren zijn meer leveranciers met systemen voor thermische slibontsluiting op de markt gekomen. Het betreft onder andere de Franse firma Veolia met het Biothelys-proces (3 praktijkinstallaties) en de Nederlandse firma Sustec met het TurboTec-proces (pilotinstallaties en één fullscale installatie in aanbouw). Naast de hier genoemde leveranciers, die al een installatie hebben gerealiseerd, zijn er meer partijen die een dergelijk proces aanbieden. Het werkingsprincipe is in alle gevallen een variant op de in dit rapport beschreven technieken.

In onderstaande tabel zijn kenmerken gegeven van de installaties van bovengenoemde leveranciers.

TABEL 1 LEVERANCIERS VAN INSTALLATIES VOOR THERMISCHE SLIBONTSLUITING

	Cambi <sup>[1]</sup>	Sustec <sup>[3]</sup>	Veolia <sup>[2]</sup>	
Debiet	batch	continu	batch	continu
Installatie	3 vaten	1 vat	1 of meerdere vat(en)	1 pijp
Ingaand DS%	14-18	7-14	20-25	20-25
Druk [bar]	6-8	4 - 7	8-10	8-10
Temperatuur [°C]	150-170	140 - 160	150 – 180	150 – 180
Verblijftijd (uur)	0,3 in hoofdreactor*	1-1,5	N.B.	0,5-1
pH	7 - 8	7 - 8	7 -8	7 -8
Opwarmen	stoom + overdruk 'flash tank'	stoom + warmtewisselaar	stoom + warmtewisselaar	stoom + warmtewisselaar
Koelen	effluent + warmtewisselaar	warmtewisselaar	effluent + warmtewisselaar	effluent + warmtewisselaar
Slibaanvoer	(primair en) secundair	(primair en) secundair	(primair en) secundair	(primair en) secundair

\* in pulper en flashtank heerst een temperatuur van 100°C, waardoor de totale systeemtijd met verhoogde temperatuur 3,3 uur is.

De processen verschillen onderling vooral in de procescondities (temperatuur, druk, droge-stofpercentage slib) en in de voor te behandelen slibstroom (alleen secundair slib of mengsel van primair en secundair slib). Dit laatste aspect hangt overigens met name af van de toepassing en eisen vanuit de slibeindverwerker.

In de volgende paragrafen is een beschrijving gegeven van de verschillende systemen.

### 2.2.1 CAMBI

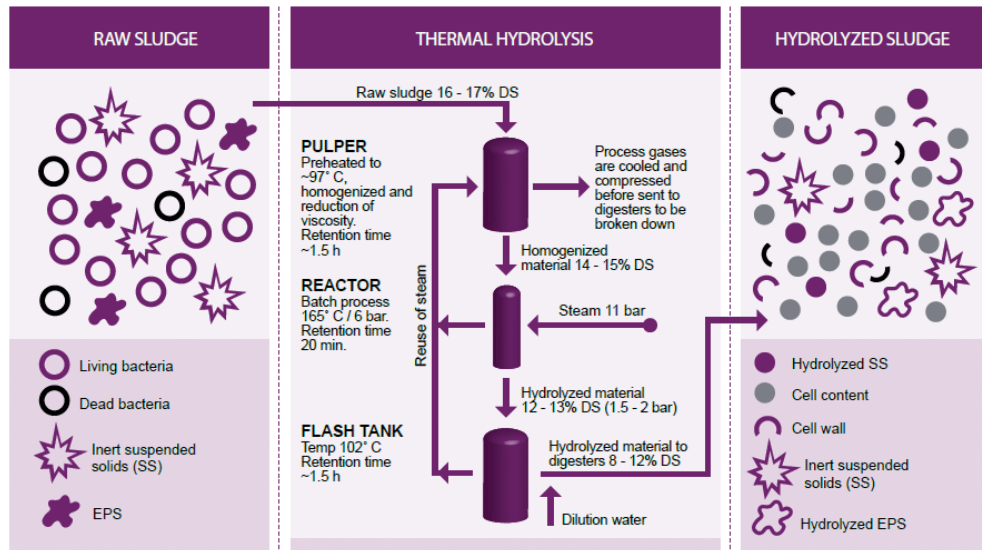
Het behandelingssysteem bestaat uit drie reactoren met een batchgewijze behandeling van het slib. Het slib wordt voorafgaand ontwaterd tot circa 14 – 18% DS, waarna het continu naar reactor 1 wordt verpompt. Hierin wordt het slib voorverwarmd. Reactor 2 wordt vanuit reactor 1 batchgewijs gevuld. Door stoom van circa 12 bar door reactor 2 te leiden neemt de temperatuur toe tot 160°C en stijgt de druk tot 6 bar. Na een verblijftijd van 15-30 minuten wordt het slib naar reactor 3 (flash tank) geleid waar de druk wordt afgelaten. Deze plotselinge drukaflaat door een kleine opening leidt tot extra (mechanische) desintegratie. De overdruk wordt afgelaten naar reactor 1 om het slib mee op te warmen. De interne slibstroom tussen de reactoren wordt niet met pompen maar met de aanwezige stoomdruk verplaatst. Vanuit reactor 3 gaat het slib via warmtewisselaars naar de slibgisting. In of na reactor 3 wordt het slib verder verdund tot een DS% van 8 - 12% om een goede doorstroming van de warmtewisselaar te bewerkstelligen. Tevens wordt met deze stap de slibstroom verdund, zodat de ammoniumconcentratie in de gisting onder de maximaal toelaatbare concentratie (< 2.500 mg/l) wordt gehouden. Afhankelijk van pH en adaptatie van het slib treedt vanaf deze concentratie remming op van de methanogene activiteit. Dit aspect geldt voor elk gistingsproces, ongeacht met welke type thermische slibontsluiting het slib is voorbehandeld.

De hydrolysereactoren worden geleverd in standaardunits, waaronder van 6 en 12 m<sup>3</sup>. De stoom wordt opgewekt in een stoomgenerator die verwarmd wordt met aard- of biogas of met restwarmte uit de rookgassen van de WKK.



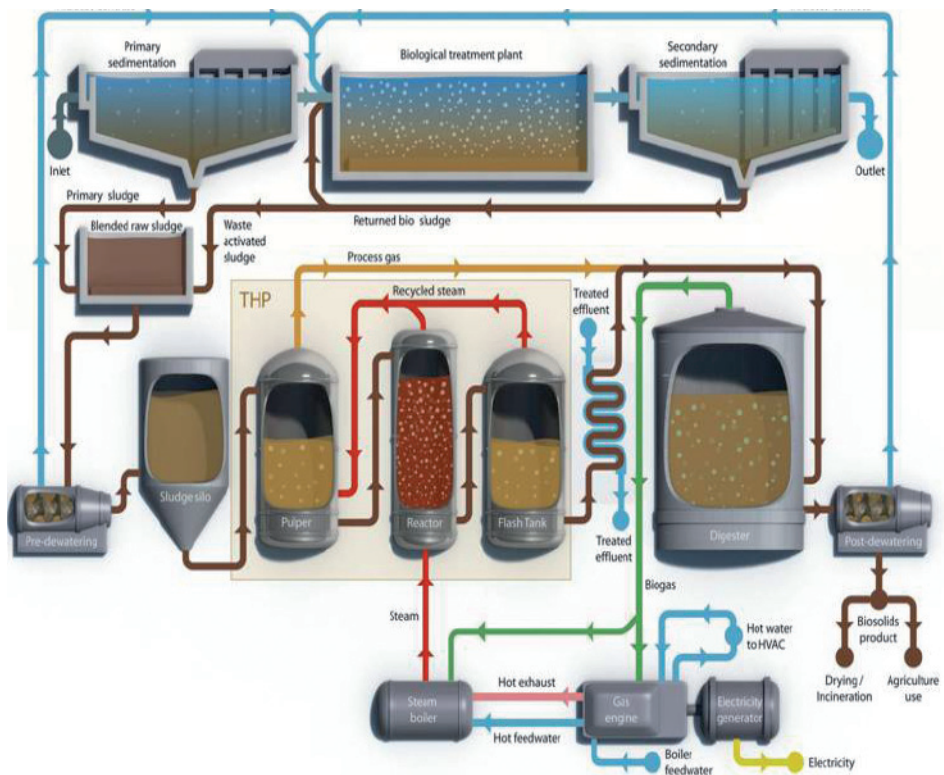
In afbeelding 3 is het werkingsprincipe van het TSO-proces van de firma Cambi weergegeven.

AFBEELDING 3 SCHEMATISCHE VOORSTELLING CAMBI-PROCES (PRODUCTBROCHURE CAMBI)



In afbeelding 4 is schematisch een inpassing van het TSO-proces van de firma Cambi in een waterzuiveringsinstallatie weergegeven.

AFBEELDING 4 CAMBI-PROCES ALS ONDERDEEL VAN DE RWZI (PRODUCTBROCHURE CAMBI)

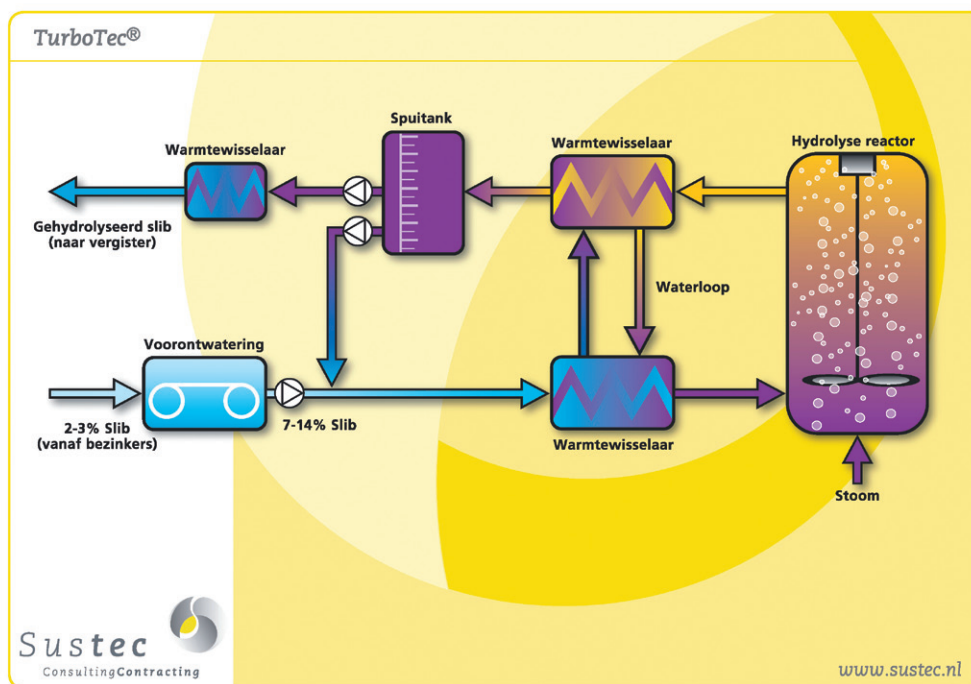


### 2.2.2 SUSTEC

Het door Sustec ontwikkelde TurboTec® thermische hydrolyse systeem is een continu bedreven proces. Het slib wordt na mechanische voorindikking (7-14%) continu in de hydrolyse reactor gepompt. Het ingaande slib wordt via een warmtewisselaar geleid om het slib voor te verwarmen tot circa 90°C. Vervolgens wordt middels stoom deze hydrolyse reactor op druk en temperatuur gebracht. Met de uitgaande slibstroom wordt de ingaande stroom opgewarmd. De stoom kan geproduceerd worden met de warmte van de uitlaatgassen van de WKK. Vanwege te verwachte operationele problemen is directe opwarming niet aan te raden en dient er een dubbele warmtewisselaar te worden toegepast (slib-water en water-slib). Afhankelijk van de warmtebehoefte is het nodig om daarnaast stoom te produceren met behulp van het verbranden van biogas.

Momenteel is het principe alleen nog gedeeltelijk op pilotschaal gedemonstreerd. Op de rwzi Venlo gaat een full-scale installatie met een capaciteit van 7.000 ton ds/j medio 2012 in bedrijf. In afbeelding 5 is schematisch het proces weergegeven.

AFBEELDING 5

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE PILOREACTOR VAN SUSTEC<sup>[24]</sup>

### 2.2.3 OVERIGE LEVERANCIERS

#### VEOLIA

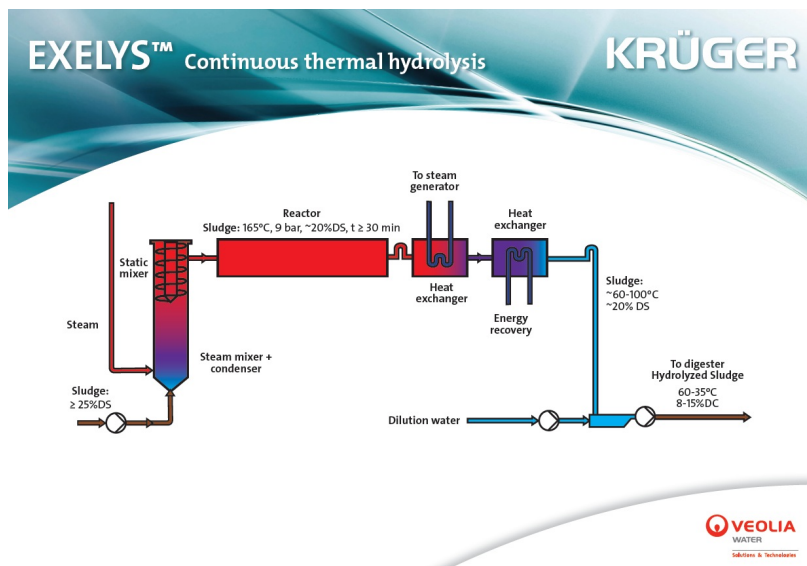
Veolia heeft zowel een batch (BioThelys™) als een continu proces (Exelys™) ontwikkeld. Beide principes zijn vergelijkbaar in performance, maar bij de batchprocessen is de randapparatuur groter gedimensioneerd doordat de hoeveelheid slib in een kortere tijd dan bij een continu proces verwerkt wordt. Het slib wordt ontwaterd tot circa 20-25% DS. Dit slib wordt in de reactor gepompt, waarna stoom wordt toegevoegd. Vervolgens wordt het opgewarmde slib naar een propstroom-reactor gepompt waar de benodigde verblijftijd wordt verkregen. Vervolgens wordt het behandelde slib via een warmtewisselaar geleid. Het slib wordt daarna nog verdund met effluent om de temperatuur, het drogestofgehalte en het ammoniumgehalte te verlagen.

Voor het toepassen van TSO zijn er verschillende configuraties:

- Voorontwateren-TSO-vergisten
- Vergisten-ontwateren-TSO-vergisten

In afbeelding 6 is het principe van Exelys schematisch weergegeven.

AFBEELDING 6 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET EXELYS PROCES<sup>[25]</sup>



### 2.3 TOEPASSEN VAN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

Uit onderzoek is gebleken dat kortdurende hittebehandeling van secundair slib bij temperaturen beneden 100°C, zoals toegepast bij pasteurisatie, geen verhoogde biogasopbrengst geeft. Verhitting onder druk van secundair slib leverde na een half uur voorbehandeling bij temperaturen tussen 100°C en 200°C verhoging van de biogasproductie op met als hoogste waarde 70% meeropbrengst bij 175°C. Bij 200°C en 225°C werden echter slecht anaëroob afbreekbare verbindingen gevormd waardoor een lagere biogasopbrengst werd verkregen<sup>[26]</sup>.

In de jaren zestig waren de voornaamste processen voor hittebehandeling van slib Porteous en Zimpro, welke beide in een range van 200°C – 250°C werkzaam zijn. Deze technieken werden niet gevolgd door een gistingsschap, maar waren voornamelijk bedoeld om de slibverwerking te verbeteren of als hygiënisering ten behoeve van toepassing in de landbouw. Vanwege de nadelen van deze technieken (stank, verwerken reststroom met lastig afbreekbaar CZV, scaling en corrosie) zijn de meeste installaties in de jaren tachtig en negentig gesloten. Later is gekeken naar hitte behandeling bij een lagere temperatuur (150°C - 200°C) om een compromis tussen vergisting en ontwaterbaarheid te krijgen. Op basis van deze onderzoeken kwam een optimale temperatuur van circa 170°C naar voren, waarbij voornamelijk de behandeling van secundair slib is onderzocht.

De keuze of naast secundair slib ook primair slib wordt behandeld in de thermische slibontsluitingsunit hangt af van diverse factoren. Allereerst zijn de gestelde eisen vanuit de eindbestemming van het slib van belang. Als een hygiënisatiestap verplicht is gesteld, dienen zowel het primaire als het secundaire slib behandeld te worden.

Als dit aspect niet van belang is, zal met het oog op de financiële haalbaarheid vaak alleen de secundaire slibstroom worden behandeld, omdat op deze stroom de thermische slibontslui-

ting het meeste effect heeft. Van het mee behandelen van primair slib is niet meer biogas te verwachten<sup>[26]</sup>, al is hier nog niet heel veel onderzoek naar gedaan.

In het buitenland staan meerdere installaties waarbij thermische slibontsluiting wordt toegepast. De firma Cambi heeft een aantal installaties gerealiseerd, waarbij de meeste zijn gesitueerd in Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk. In het Verenigd Koninkrijk is verreweg het grootste aantal installaties geplaatst. Dit is direct terug te voeren op lokale wetgeving, waarbij het verplicht is om een hygiënisatiestap toe te passen indien het vergiste slib naar de landbouw wordt afgezet.

Op basis van bedrijfsresultaten van praktijkinstallaties van Cambi kan het volgende worden aangegeven (hierbij moet worden vermeld dat de procesomstandigheden waaronder deze waarden zijn behaald niet bekend zijn):

- Toename van de biogasproductie van 30-40% (hiervan wordt een deel weer benut voor het opwarmen van het slib);
- Toename van methaangehalte in biogas van 65-70% naar 70-75%;
- Toename van de afbraak van organische stof van 40 - 50% naar 55-65%;
- Verbetering van ontwateringsresultaat van 22-25% naar 30-35% (afhankelijk van de toegepaste ontwateringsapparatuur);
- Toename van het PE-verbruik bij slibontwatering van circa 20%;
- Toename concentratie van CZV, stikstof en fosfaat in het rejectiewater enerzijds door de verhoogde slibafbraak en anderzijds doordat de concentratie sterk afhankelijk van het DS% van het ingaande slib;
- Verlaging van de hydraulische verblijftijd in de gistingstanks.

## 2.4 VOORDELEN VAN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

De geclaimde voordelen van het proces zijn:

- Door de thermische ontsluiting neemt de viscositeit van het slib sterk af, waardoor het mogelijk is om de gistingstanks met een hoog drogestofpercentage (8-12%) te voeden. Dit betekent lagere investeringen voor gistingstanks;
- Verhoogde afbraak van organische stof in de gistingstanks, dus vermindering van de hoeveelheid af te zetten slib in kg drogestof;
- Verhoogde biogasproductie (tevens hoger methaangehalte);
- Verbeterde ontwateringseigenschappen van het uitgegiste slib;
- Door de hogere concentraties in het rejectiewater ontstaat een betere mogelijkheid voor terugwinning van nutriënten (struviet).

De geclaimde voordelen zoals de extra biogasproductie, verhoogde afbraak en verbeterde ontwateringseigenschappen leveren een belangrijk financieel voordeel op. Het financiële voordeel van de verbeterde slibafbraak is hierin dominerend, aangezien de verhoogde biogasproductie grotendeels nodig is om het slib op temperatuur en druk te krijgen. Daartegenover staat, dat investeringen moeten worden gedaan om thermische slibontsluiting te realiseren en hogere bedrijfsvoeringskosten voor de voorontwatering en opwarmen van de TSO-unit.

## 2.5 KRITISCHE TECHNISCHE FACTOREN

Met het vergisten van slib en organische reststromen is in Nederland al veel ervaringen opgedaan. Het vergisten van slib dat behandeld is in een thermische slibontsluitingsunit is relatief nieuw in Nederland. Een vorm van thermische slibontsluiting is lange tijd toegepast

bij Waterschap Brabantse Delta (Zimpro), maar dan zonder nageschakelde vergisting. Op praktijkschaal is het in Nederland nog nauwelijks toegepast. In het buitenland en met name in Scandinavië en Groot Brittannië is al wel ervaring opgedaan met deze voorbehandelingsstap. Op basis van de praktijkervaringen komt naar voren dat de installaties bedrijfszeker draaien. Er is wel een aantal (rand)voorwaarden.

- Hoge druk: Het proces vindt plaats onder hoge druk, 6 tot 8 bar. De installatie(onderdelen) dienen hiervoor ontworpen te worden. Vanuit de bedrijfsvoering dient voldoende inzicht te zijn in de risico's die samenhangen met hoge druk.
- Hoge temperatuur: Het thermische slibontsluiting proces vindt plaats onder temperaturen die oplopen tot 170°C. Na de thermische slibontsluitingsunit is het van belang het slib in voldoende mate terug te koelen om remming van het gistingproces door oververhitting te voorkomen. Vanuit de bedrijfsvoering dient voldoende inzicht te zijn in de risico's die samenhangen met de hoge temperatuur.
- Schuim: Door de combinatie van temperatuurs- en drukverhoging kan schuimvorming optreden.
- Scaling: Als gevolg van temperatuurs- en drukwisselingen kan scaling optreden. Dit gevaar is met name reëel bij de warmtewisselaars.
- Verstopping: Door grove delen uit het slib te verwijderen wordt verstopping van warmtewisselaars zo veel mogelijk voorkomen.
- Voorontwatering: De mate van voorindikking bepaalt de hoeveelheid slib die opgewarmd wordt. De voorontwatering dient in staat te zijn om het benodigde DS% van het ingaande slib te behalen. Aandachtspunten zijn het benodigde PE-verbruik en afscheidingsrendement.
- Slibeindverwerking: Bij het toepassen van thermische slibontsluiting is het van belang dat de veranderingen van slibhoeveelheid en –samenstelling passen binnen de randvoorwaarden die zijn gesteld door de slibeindverwerkers. In de praktijk betekent dit dat bij een lager organisch stofgehalte een hoger drogestofgehalte nodig is om dezelfde calorische waarde van het te verwerken slib te halen.
- Benodigde kennis: Installatie(onderdelen) met hoge druk en hoge temperatuur zijn niet gangbaar op rwzi's. Inzicht in de risico's voor operationeel beheer en onderhoud moet wel aanwezig zijn op de rwzi.
- Samenstelling rejectiewaterstroom: Toepassen van thermische slibontsluiting heeft gevolgen voor de samenstelling van het vrijkomende rejectiewater. Afhankelijk van de capaciteit van de waterlijn zal het nodig zijn om deelstroombehandeling toe te passen.
- Effluentkwaliteit: Door het toepassen van thermische slibontsluiting kan zogenaamd stabiel CZV worden gevormd. Dit is opgelost CZV dat biologisch niet afgebroken wordt en ook niet wordt ingevangen door actief slib. Dit heeft gevolgen voor de effluentsamenstelling.

## 2.6 UIT TE VOEREN PILOTONDERZOEK

In de voorgaande paragrafen zijn de factoren die de haalbaarheid bepalen weergegeven. Op basis van de leveranciersinformatie en de gegevens van de fullscale installaties in het buitenland komt echter geen eenduidig beeld naar voren over de hoogte van de te bereiken verbeteringen. Een voorbeeld is de te behalen organische stofafbraak. Dit was voldoende aanleiding om, op basis van een pilotonderzoek, de mogelijkheden voor de Nederlandse situatie te onderzoeken. De opzet van dit onderzoek wordt in het volgende hoofdstuk beschreven, samen met eerder in Nederland uitgevoerd onderzoek.

## 3

## EERDER UITGEVOERD ONDERZOEK

## 3.1 LABTESTEN

Om de mogelijkheden van thermische slibontsluiting te onderzoeken voor de Nederlandse situatie, zijn door Sustec labtesten uitgevoerd. Hierbij zijn op laboratoriumschaal testen uitgevoerd. TSO is gesimuleerd door een metalen cilinder op te warmen tot maximaal 150°C gedurende 2 uur. Aansluitend is het voorbehandelde slib bij 35°C in flessen van 500 ml vergist, waarbij de flessen met 200 ml slib gevuld waren. De test heeft gelopen over een periode van 20 dagen. In tabel 2 is van een aantal zuiveringsslibben van verschillende rwzi's aangegeven bij welke temperatuur het onderzoek is uitgevoerd.

TABEL 2 OVERZICHT VAN DE INSTELLINGEN PER TEST

Waterschap	Locatie	Primair slib	Secundairslib	Gisting
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden	rwzi Nieuwegein		150 °C	T= 35 °C
Waterschap De Dommel	rwzi Tilburg		150 °C	T= 35 °C
Waterschap Hollandse Delta	rwzi Dokhaven	140 °C	140 °C	T=37 °C

In tabel 3 zijn de onderzoeksresultaten weergegeven van de labtesten uitgevoerd door Sustec. De percentages die tussen haakjes zijn aangegeven, betreft de procentuele toe- of afname van de betreffende parameter ten opzichte van de referentie. Zoals ook door Sustec is aangegeven, zijn de resultaten indicatief.

TABEL 3 OVERZICHT VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN VAN LABTESTEN NAAR INVLOED VAN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

Parameter	Rwzi Eenheid	Nieuwegein	Dokhaven A-trap	Dokhaven B-trap	Dokhaven A+B trap	Tilburg
DS afbraak %						
	referentie	27	N.B.	N.B.	N.B.	17
	voorbehandeld	31 (15%)	N.B.	N.B.	N.B.	25 (45%)
[CZV <sub>opgelost</sub> ]- (voor gisting)						
	referentie [g/l]		0,85	1,2	1,1	
	voorbehandeld		1,2 (44%)	2,7 (126%)	1,6 (46%)	
Stikstof (na gisting)						
	referentie [mg N/l]	340	221	346	277	281
	voorbehandeld	404 (19%)	246 (11%)	384 (11%)	299 (8%)	316 (12%)
Fosfaat (na gisting)						
	referentie [mg P/l]	93	20	50	24	89
	voorbehandeld	114 (22%)	19 (-5%)	49 (-2%)	23 (-4%)	126 (42%)
Biogasproductie						
	referentie [ml/gds]	207	250	244	270	230
	voorbehandeld	263 (27%)	284 (14%)	279 (14%)	301 (11%)	345 (50%)
Methaangehalte						
	referentie [%]	58	72	73	67	75
	voorbehandeld	75 (29%)	73 (1%)	73 (0%)	74 (10%)	75 (0-1%)
Ontwaterbaarheid						
	referentie DS%	5,8	10,7	5,3	N.B.	4,9
	voorbehandeld	6,5 (12%)	13,6 (27%)	8,6 (62%)	N.B.	7,5 (53%)
Ontwaterbaarheid (handpers)						
	referentie DS%	N.B.	18,9	19,2	19,2	N.B.
	voorbehandeld	N.B.	23,0 (22%)	25,7 (34%)	30,1 (57%)	N.B.

Op basis van tabel 3 kan geconcludeerd worden dat de drogestofafbraak en de gasproductie toenemen na toepassen van thermische slibontsluiting. Er zit wel een grote variatie in de behaalde resultaten. Mogelijke oorzaken hiervan zijn de relatief kleine hoeveelheid slib waarmee per keer getest is en het feit dat het enkel steekmonsters zijn.

Als gevolg van de extra afbraak van organische stof neemt het gehalte van N en P in het rejectiewater toe. Bij fosfaat is de toename in concentratie groter naar mate er meer organische stof wordt omgezet. Bij stikstof is deze relatie niet te zien. Bij het slib van rwzi Nieuwegein is de toename van N in het rejectiewater immers groter dan bij rwzi Tilburg, terwijl de organische stofafbraak bij rwzi Nieuwegein kleiner is. Uit de testen komt naar voren dat het vrijkomen van fosfaat verschillend is voor de verschillende slibsoorten. Dit houdt mogelijk verband met de biologische versus chemische defosfatering op de verschillende zuiveringen.

Voor de ontwatering is een verbetering te zien na vergisting van voorbehandeld slib ten opzichte van de conventionele vergisting. Gezien de schaalgrootte van de experimenten is hier geen conclusie voor de praktijkschaal situatie op te baseren.

### 3.2 PILOTTTESTEN SUSTEC OP RWZI VENLO

Door Sustec is een pilotonderzoek uitgevoerd op rwzi Venlo. In de pilotinstallatie zijn de slibstromen van rwzi Venlo en rwzi Hoensbroek getest. Beide rwzi's hebben één slibsoort, te weten: aëroob gestabiliseerd slib.

De in tabel 4 vermelde informatie is gebaseerd op een publicatie in Neerslag<sup>[8]</sup>. In deze publicatie is bij het bespreken van sommige parameters geen onderscheid gemaakt tussen het onderzoek met slib van rwzi Hoensbroek en met slib van rwzi Venlo. Ook in tabel 4 is dit niet gedaan.

TABEL 4 OVERZICHT VAN DE ONDERZOEKSRISULTATEN VAN PILOTTTESTEN OP RWZI VENLO NAAR INVLOED VAN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

Parameter	Eenheid	rwzi Hoensbroek	rwzi Venlo
DS afbraak %	referentie	[%]	28
	voorbehandeld		44 (57%)
OS afbraak %	referentie	[%]	40
	voorbehandeld		62 (55%)
Rejectiewater (testreactor)			
CZV	[mg CZV/l]		N.B.
Stikstof	[mg N/l]		2.000
Fosfaat	[mg P/l]		500
Biogasproductie	referentie	[l/h]	95
	voorbehandeld		143 (51%)
Methaangehalte	referentie	[%]	66
	voorbehandeld		68
Ontwateringsresultaat	referentie	[%]	21,4
	voorbehandeld		31,0

Op basis van de gegevens in tabel 4 wordt duidelijk dat de behaalde afbraak van drogestof met circa 57% toeneemt, dit is een forse toename. De hoeveelheid geproduceerd biogas is verschillend voor beide rwzi's. Een mogelijke verklaring is, hoewel gegevens ontbreken, het verschil in slibbelasting van beide rwzi's. De procentuele toename van de gasproductie is in beide gevallen gelijk. De toename van het methaangehalte in het biogas van rwzi Venlo is hoger dan bij het biogas van rwzi Hoensbroek. De verhouding  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$  wordt bepaald door de aanwezigheid van gebonden zuurstof (O) in het substraat. Vanuit het gebonden zuurstof wordt in de gisting geen  $\text{CH}_4$  maar  $\text{CO}_2$  gevormd. Een substraat met een hoger gebonden zuurstofgehalte geeft dus een lagere waarde voor de verhouding  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$ . Daarnaast geldt dat meer afbraak van substraat leidt tot een hoger  $\text{CH}_4$  gehalte. In dat geval wordt namelijk het substraat verdergaand afgebroken, waarbij wel  $\text{CH}_4$  en geen  $\text{CO}_2$  gevormd wordt.

De slibontwateringstesten zijn uitgevoerd met een praktijschaal centrifuge. Er is een duidelijke toename te zien in het haalbare drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Opvallend is het relatief lage drogestofgehalte van de referentievergister. Het drogestofgehalte van ontwaterd uitgestist slib is voor beide rwzi's in het algemeen tussen de 23 en 25%. Onduidelijk is waarom het drogestofgehalte van het referentieslib tijdens de testen lager was. De toegepaste slibbelasting en PE-verbruik zijn onbekend.

### 3.3 VERGELIJKING LABTESTEN EN PILOTTTESTEN

De gemiddelde afbraak van drogestof is in de pilottest in Venlo hoger dan in de labtesten van de waterschappen, zoals in tabel 2 is weergegeven. Naar verwachting is dit te verklaren doordat het slib in de pilotinstallatie geadapteerd is aan het thermisch gehydrolyseerde slib. De samenstellingen van het rejectiewater tijdens de testen zijn niet bekend. Hierdoor kan geen vergelijking worden gemaakt tussen de lab- en pilottesten.

Het slibontwateringsresultaat is bij de pilottesten hoger dan bij de labtesten. Bij de pilottesten is gebruik gemaakt van praktijschaal ontwateringsapparatuur, terwijl bij de testen gebruik gemaakt is van labcentrifuge en een handpers.

Op basis van de resultaten van de testen komt naar voren dat de biogasproductie toeneemt en de slibontwatering verbetert.



# 4

## OPZET PILOTONDERZOEK

In dit hoofdstuk is de opzet van het pilotonderzoek beschreven. Allereerst is ingegaan op de aspecten die van belang zijn bij het onderzoek ten behoeve van het vaststellen van de technologische en economische haalbaarheid. Op basis van vooronderzoek<sup>[21]</sup> zijn de onderzoeksaspecten uitgewerkt. In totaal zijn twee leveranciers betrokken bij het onderzoek. Sustec met een pilotreactor op rwzi Amersfoort en de firma Cambi met een pilotreactor op rwzi Hengelo.

### 4.1 ONDERZOEKSASPECTEN

Voor de Nederlandse situatie was weinig ervaring met thermische slibontsluiting. De ervaring die er was, was gebaseerd op labtesten en een pilotonderzoek. De energiebalans en de effecten op de slib(eind)verwerking zijn essentiële factoren voor het succesvol introduceren van de techniek. Van sommige aspecten is middels het uitgevoerde pilotonderzoek een beter beeld gevormd. Het ging bij het pilotonderzoek vooral om het antwoord op de volgende vragen:

- Hoeveel extra afbraak van organische stof kan worden gerealiseerd?
- Hoeveel extra biogasproductie levert dit op (hoeveelheid en samenstelling)?
- Welk effect heeft thermische slibontsluiting op de slibontwatering?
  - Drogestofgehalte ontwaterd slib en afscheidingsrendement;
  - Benodigd type en hoeveelheid PE.
- Welk effect heeft het verlagen van de slibverblijftijd op het gistingproces?
- Welk effect heeft het verhogen van de ds-belasting op het gistingproces?

Daarnaast spelen nog vragen die vanuit bedrijfsvoeringsoogpunt van belang zijn:

- Wat is de samenstelling (totale en opgeloste fractie) van de slibstroom voor en na gisting (CZV, N, P)?
- Wanneer treedt er remming op in de gisting als gevolg van hoge ammoniumconcentraties (in combinatie met pH)?
- Wat is het risico op scaling in de thermische slibontsluiting-unit en de nageschakelde installatiedelen, zoals warmtewisselaars?
- Hoe verandert de viscositeit van slib na behandeling in de thermische slibontsluitings-unit?
- Welke invloed heeft thermische slibontsluiting op schuimvorming in de gistingstanks?

Een stabiele situatie in de slibgisting is een voorwaarde voor representatief onderzoek. Gemiddeld duurt het twee tot drie keer de slibverblijftijd voordat de omstandigheden in de slibgisting stabiel zijn. Gevolg hiervan is dat het relatief lang duurt voordat er na een verandering van instellingen representatief onderzoek gedaan kan worden. Als er meerdere instellingen getest worden, heeft dit consequenties voor de duur van het onderzoek. Vaak is het effect van een verandering wel sneller waar te nemen, maar duurt het langer voordat er een stabiele situatie is ontstaan.

Ook is de schaal van het toegepaste pilotonderzoek niet groot genoeg om alle aspecten volledig te kunnen meten. Er is gewerkt met batch-gewijs aanmaken van het influent voor de TSO-vergisters, terwijl de praktijk met een continu systeem werkt. Hierdoor is het verkrijgen van inzicht in zaken als de energiebalans niet mogelijk via het pilotonderzoek.

Bij het uitvoeren van pilotonderzoek is het belangrijk om in te schatten wat de kwaliteit en daarmee de betrouwbaarheid van het onderzoek is. Dit bepaalt immers welke waarde de resultaten hebben en de mate waarin conclusies getrokken kunnen worden. De onderzoeken in Amersfoort en Hengelo verschillen in schaalgrootte. In Amersfoort is de pilottest uitgevoerd met vergisters van 4 m<sup>3</sup> (3,5 m<sup>3</sup> netto slibinhoud) welke continu werden gevoed en in Hengelo werden de vergisters met een volume van 8 liter dagelijks handmatig gevoed. In het algemeen is een kleiner volume wat gevoeliger voor een verstoring, omdat het totale bufferende vermogen kleiner is. Een verstoring ontstaat meestal door het uitvallen van onderdelen, bijvoorbeeld een voedingspomp. In Hengelo zijn de vergisters handmatig gevoed, waardoor verstoringen als gevolg van uitval van voedingspompen niet aan de orde waren.

De opzet van beide onderzoeken is ook verschillend. In Amersfoort zijn meerdere instellingen na elkaar onderzocht met een beperkte onderzoekstijd per instelling. In Hengelo is één instelling gedurende een langere periode getest.

#### 4.2 PILOTTESTEN EN LOCATIEKEUZE

In verband met beschikbaarheid van pilottestinstallaties zijn testen uitgevoerd met testinstallaties van de leveranciers:

- Cambi
- Sustec

De keuze van de locatie Amersfoort en Hengelo is gemaakt in overleg met de betrokken waterschappen en op basis van de beschikbaarheid van een locatie en de assistentie van de betrokken medewerkers op een locatie om het onderzoek te kunnen uitvoeren.

#### 4.3 ONDERZOEK RWZI AMERSFOORT

Op rwzi Amersfoort heeft van september 2010 tot juni 2011 een pilotonderzoek gelopen naar het effect van thermische slibontsluiting op de organische stofafbraak van secundair slib tijdens slibvergisting. Het onderzoek is uitgevoerd met een Sustec pilotinstallatie.

De testperiode kent 3 fasen, waarbij fase 3 is opgedeeld in een A en B fase. De proeven zijn in fase 1 en 2 uitgevoerd met slib van rwzi Amersfoort. Het secundair slib afkomstig van rwzi Amersfoort (DS gehalte ~1%) werd via een rotorzeef (vezelafscheiding < 2 promille op DS basis bij 2 mm poriegrootte) mechanisch verder ingedikt tot ~6%. Hiervoor is gebruik gemaakt van een trommelzeef en polymeer van het type SNF 794. Het ingedikte secundaire slib, werd vervolgens vanuit een multibox verpompt naar de vooropslag van de TurboTec installatie of naar de secundaire voedingsopslag (multibox) van de REF-vergister. In de TurboTec installatie vindt de TSO plaats, waarna het ontsloten slib werd verzameld in een multibox die dient als voedingsbuffer voor de TSO-vergister. Het enige verschil tussen de TSO-vergister en de REF-vergister is dat het surplusslib dat aan de TSO-vergister werd gevoed, eerst werd behandeld in de TSO-unit. Het slib werd hierbij verwarmd in een drukvat met behulp van stoom. Zowel het voorbehandelde slib als het referentie surplusslib werden vervolgens met primair slib in een vaste verhouding naar de vergisters gepompt. Het primair slib werd gevoed vanuit twee aparte

tanks. Hierdoor was het mogelijk om per gisting te controleren of er verstopping had plaatsgevonden in de toevoerleidingen naar de vergisters. De aanvoerbuffers waren niet gekoeld. De proeven in fase 3 zijn uitgevoerd met het slib van rwzi Geestmerambacht. Voor het opstarten van de gistingstanks is gebruik gemaakt van slib uit de fullscale vergisters op rwzi Amersfoort. In afbeelding 7 is de opstelling van Sustec op de locatie Amersfoort te zien.

AFBEELDING 7 FOTO VAN DE TENT MET DAARIN DE TSO-INSTALLATIE EN VERGISTERS VAN SUSTEC



#### 4.3.1 BESCHRIJVING VAN DE PILOTINSTALLATIE

De pilotinstallatie was van Sustec en eerder gebruikt voor het onderzoek op de rwzi Venlo. Het secundair slib kon (batch-gewijs) worden voorbehandeld en vanuit een buffertank worden gevoed in een slibvergister met een netto inhoud  $3,5 \text{ m}^3$ . In deze paragraaf wordt de technische installatie besproken.

##### SUSTEC INSTALLATIE

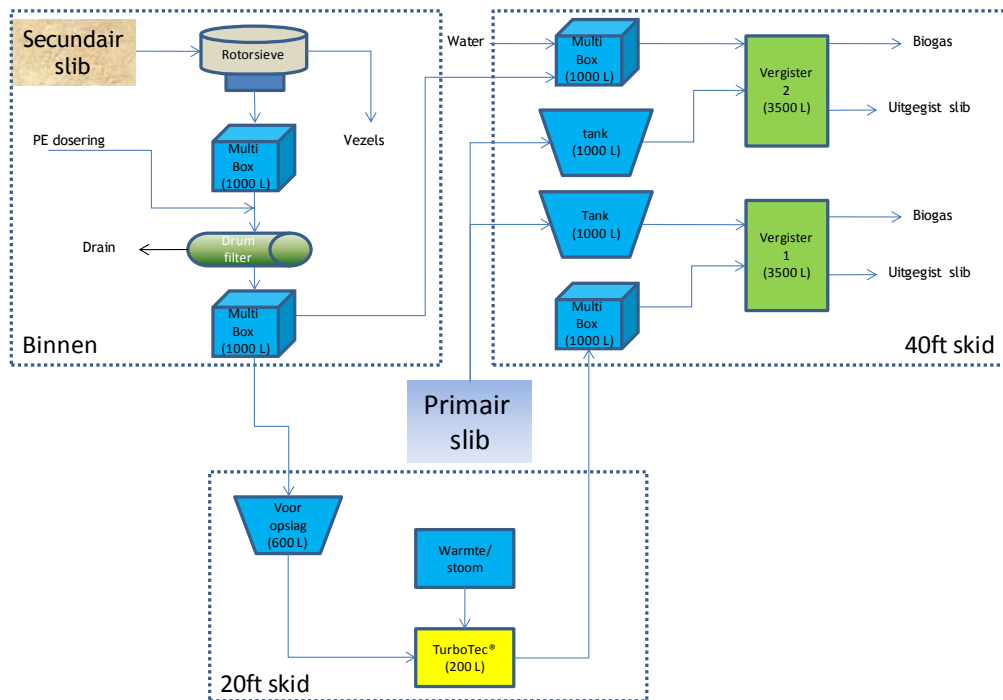
Vanuit de vooropslag ( $0,6 \text{ m}^3$ ), voorzien van mixer, wordt het ingedikte secundaire slib via een versnijder en monopomp (capaciteit:  $70\text{-}200 \text{ l/h} \times 5 \text{ bar}$ ) gevoed aan de ontsluitingsreactor. Deze reactor met een volume van  $0,2 \text{ m}^3$  is voorzien van warmtewisselaars, een circulatiepomp:  $500\text{-}2500 \text{ L/h}$ , 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 ( $\sim 10\%$ ). De TSO wordt standaard uitgevoerd bij een druk van  $4 \text{ bar}$ , een temperatuur van  $140^\circ\text{C}$  en een gemiddelde verblijftijd van  $1,4 \text{ uur}$ . Gemiddeld is twee keer per week een voorraad ontsloten slib aangemaakt en daarna opgeslagen in een multibox.

##### SLIBVERGISTERS

De vergistingunit bestond uit twee opslagtanks (met mixers) van  $1 \text{ m}^3$  en twee anaërobe reactoren. Vanuit de opslagtanks werd het slib verpompt naar de vergisters m.b.v. een slangenpomp ( $0 - 20 \text{ l/uur}$ ). Voor fase 1 en 2 is deze unit verder uitgebreid met twee multiboxen (voorzien van mixers) en twee extra voedingspompen voor de afzonderlijke voeding van primair slib naar de beide vergisters. Secundair slib is vanuit de multibox gevoed aan de TSO-vergister met een slangenpomp en aan de REF-vergister met een monopomp. De geïsoleerde reactoren hebben per stuk een volume van  $4 \text{ m}^3$  met een netto volume van  $3,5 \text{ m}^3$ . Beide vergisters zijn voorzien van temperatuurregeling (ondergedompelde spiraal) en een circulatie flow voor de menging. Waarden die gelogd/genoteerd worden zijn de pH, temperatuur en biogasproductie (gasklok). De vergisters hebben alle 3 fasen gedraaid bij een temperatuur van  $37^\circ\text{C}$ .

In Afbeelding 8 is de pilot installatie schematisch weergegeven voor fase 1 en 2. Voor fase 3, waarbij geen primair slib is gevoed en het ingaande secundair slib werd voorontwaterd, is een schema opgenomen in bijlage 3.

AFBEELDING 8 OVERZICHT VAN DE PILOTINSTALLATIE OP RWZI AMERSFOORT TIJDENS FASE 1 EN 2 VAN HET ONDERZOEK. VERGISTER 1 IS DE TSO-VERGISTER EN VERGISTER 2 IS DE REF-VERGISTER



#### 4.3.2 BEDRIJFSVOERING

##### WERKWIJZE

Het secundaire slib wordt na indikking voorbehandeld in de TurboTec installatie waarna het wordt opgeslagen in 1 m<sup>3</sup>-vaten. Zowel het voorbehandelde slib als het referentie surpluslib worden vervolgens met primair slib in een vaste verhouding naar de vergisters gepompt. De mengverhouding is 35% primair en 65% secundair op volumebasis. De voorkeur heeft het werken met een verhouding op basis van drogestofvracht, maar dit was niet mogelijk door het ontbreken van drogestofmeters in de testinstallatie. Er is een TSO-vergister en een REF-vergister bedreven, die beide zijn opgestart met slib van de fullscale vergister van rwzi Amersfoort. Twee keer per week zijn de in- en uitgaande stromen bemonsterd.

##### LOOPTIJD VAN DE PROEVEN

De proeven hebben gelopen van september 2010 tot en met juni 2011. Het pilotonderzoek op rwzi Amersfoort is onderverdeeld in drie fasen, welke hieronder zijn toegelicht.

##### *Fase 1: Basisinstellingen pilotonderzoek met slib rwzi Amersfoort*

Het doel van deze fase is het vaststellen van de invloed van het toepassen van thermische slibontsluiting op de vergistbaarheid van slib bij een verblijftijd van 20 dagen. Het onderzoek is uitgevoerd met een mengsel van primair en secundair slib van rwzi Amersfoort, waarvan uitsluitend het secundaire slib de thermische voorbehandeling ondergaat.

Fase 2: Verblijftijd verkorten van TSO-vergister met slib van rwzi Amersfoort

Het doel van fase 2 is het vaststellen van de invloed van het verkorten van de verblijftijd. Aansluitend aan fase 1 is de verblijftijd verlaagd van de TSO-vergister. De REF-vergister werd onder dezelfde instellingen als in fase 1 bedreven. De gehanteerde verblijftijd van de TSO-vergister is in tabel 5 weergegeven. De verblijftijd van de vergister is stapsgewijs verlaagd van 20 dagen naar 12 dagen. De tussenstappen van 16 en 14 dagen waren bedoeld om de procesverstoring zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen.

**TABEL 5** GEMIDDELTE SLIBVERBLIJFTIJD IN TSO- EN REF-VERGISTER PER DEELFASE

Datum deelfase	Vergister 1	Vergister 2
tot 3 januari	20 dagen	20 dagen
3 - 10 januari	16 dagen	20 dagen
11 - 17 januari	14 dagen	20 dagen
17 - 31 januari	12 dagen	20 dagen

Voor fase 2 is het gistingsproces beoordeeld op basis van de biogasproductie. De biogasproductie is immers op een betrouwbare en snelle manier te meten. In principe is binnen dit onderzoek gesteld dat bij het doorvoeren van een wijziging in de procesvoering pas na het verstrijken van 3 keer de slibverblijftijd een stabiele en representatieve slibkwaliteit is verkregen. Vanwege de planning is er besloten om in fase 2 (en dan met name bij een verblijftijd van 12 dagen) niet 3 maar 1 keer de slibverblijftijd te hanteren als stabiele periode. De veronderstelling hierbij is dat de gevolgen voor de biogasproductie veel sneller waarneembaar zijn dan voor de slibkwaliteit.

Fase 3: Verhogen drogestofgehalte met slib van rwzi Geestmerambacht

Het doel van fase 3 was het vaststellen van de invloed van een verhoging van de slibbelasting als gevolg van het verhogen van het drogestofgehalte van de ingaande slibstroom. De REF-vergister is bedreven met dezelfde instellingen als in fase 1 en 2.

Tijdens fase 3 zijn de testen uitgevoerd met slib van rwzi Geestmerambacht in beheer van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Op deze rwzi vindt geen voorbezinking plaats, waardoor alleen secundair slib vrijkomt, weliswaar met een groter aandeel grover en beter bezinkbaar materiaal dan secundair slib van een systeem met voorbezinking. Het slib is per as aangevoerd en vervolgens behandeld in de TSO-unit.

Fase 3 is opgedeeld in fase 3A en 3B, waarbij in fase 3A dezelfde instellingen (verblijftijd 20 dagen, voeding ca 6% DS) worden gehanteerd als in fase 1. Het enige verschil tussen fase 1 en 3A is hierdoor de slibsamenvatting, waardoor fase 1 en 3 konden worden vergeleken. Vervolgens werd in fase 3B het ingaande drogestofgehalte verhoogd van 6% naar 12% bij een gelijkblijvende verblijftijd. Hierdoor werd de invloed onderzocht van een verhoogde organische stofbelasting. Met name de samenstelling van het rejectiewater en de invloed van de ammoniumconcentratie op het gistingsproces zijn punten van onderzoek.

**4.3.3 METINGEN EN ANALYSES**

Het functioneren van de pilotinstallatie is beoordeeld op basis van de in tabel 6 en tabel 7 weergegeven metingen en analyses.

TABEL 6 METINGEN VAN DE OPERATIONELE ASPECTEN VAN DE PILOTINSTALLATIE

Operationele parameters	Ontsluitingsreactor	Gisting	Biogas
Temperatuur	X	X	
Druk	X		
Debiet	X	X	X
pH	X (voor en na)	X	
Methaangehalte			X

TABEL 7 BENODIGDE ANALYSES TIJDENS PILOTONDERZOEK PER STROOM

Locatie Parameter	Toevoer	Tussen-buffer	Biogas	Uitgegist slib	Ontwaterd slib	Rejectie-water
CZV totaal	X			X		X (gefiltreerd monster)
Drogestof (DS)	X			X	X	X (bij slibontwateringstest)
Organisch stof (OS)	X			X	X	
Stikstof totaal/Kjeldahl <sup>***)</sup>	X	X		X		
Stikstof (gefiltreerde monster) totaal / Kjeldahl				X		X
ammonium		X		X		X
Fosfaat (totaal)	X	X		X		
Fosfaat (gefiltreerd monster) totaal				X		X
ortho-P <sup>*)</sup>		X		X		X
Gassamenstelling (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> )			X			
Vetzuren opgeloste fractie <sup>**)</sup>		X		X		
Alkaliteit						
totale alkaliteit				X		
bicarbonaat alkaliteit				X		
Viscositeit	X	X		X	X	

<sup>\*)</sup> = Monsters zijn gefiltreerd met Whatman 589/2 filters

<sup>\*\*)</sup> = direct uit gisting en na conserveren.

<sup>\*\*\*)</sup> = Op basis van Ntotaal en ammonium kan het organisch gebonden stikstof worden afgeleid (aanname dat er geen nitraat en nitriet aanwezig zijn)

#### 4.3.4 OPZET SLIBONTWATERINGSTEST

Het doel van de slibontwateringstest is het vaststellen van de ontwaterbaarheid, het PE-verbruik en rejectiewatersamenstelling. Op basis van testen met een centrifuge met een capaciteit van 400 l/u (pilotschaal) is de ontwaterbaarheid vastgesteld. In verband met de vergelijkbaarheid van de proeven is gestuurd op drogestofvracht en niet op debiet. Aangezien het drogestofgehalte van het slib van de TSO-vergister een lager drogestofgehalte heeft, is het debiet aangepast om dezelfde drogestofvracht te behalen. De benodigde analyses die zijn uitgevoerd staan vermeld in tabel 7.

#### 4.4 ONDERZOEK RWZI HENGELO

Op rwzi Hengelo is in 2011 een pilotonderzoek uitgevoerd naar het effect van thermische slibontsluiting (TSO), op de organische stofafbraak van secundair slib tijdens slibvergisting. Het onderzoek is uitgevoerd met een Cambi proefinstallatie die speciaal voor het onderzoek werd vervaardigd. Wageningen University & Research Centre (WUR) heeft vier kleine gistinginstallaties (netto 8 liter elk), inclusief roermotoren en gasmeters geleverd. De vier gistinginstallaties maakten het mogelijk, de vergisting van zowel het voorbehandelde als het niet voorbehandelde slib (referentie) in duplo uit te voeren.

Voorafgaand aan en gedurende het onderzoek (in totaal 3 keer) is ten behoeve van het onderzoek een representatieve hoeveelheid slib aangemaakt. Het te prepareren slibmengsel is representatief voor de gemiddelde samenstelling van het slib zoals dat in Hengelo en Enschede wordt verwerkt. Het mengsel bestond zowel uit secundair als uit primair slib. Het secundaire slib werd ontwaterd/ingedikt tot circa 20% ds. Vervolgens werd het secundaire slib behandeld in de Cambi proefinstallatie. Aan het behandelde slib werd vervolgens primair slib toegevoegd in een vaste drogestof-verhouding van 20% primair en 80% secundair slib. De hydrolyse vergisters werden met een drogestofgehalte van circa 10% ds gevoed. De referentie-gistinginstallaties werden met een drogestofgehalte van circa 5 % ds gevoed (huidige praktijk). Om in de referentie-situatie de gistinginstallaties met een vergelijkbare slibsamenstelling (op drogestofbasis) te voeden, werd het ontwaterde mengsel terugverdund tot 5 % ds.

De thermische hydrolyse unit is circa 2 meter hoog, 1 – 1½ meter breed en bestaat in hoofdzaak uit een reactor (hydrolysestep) en een zogenaamde Flash tank (plotselinge drukverlaging). De unit werd vanuit een tussenbuffer gevoed en was wekelijks operationeel (batchgewijs bedrijf). Voor verwarming en drukopbouw werd gewerkt met een stoomgenerator, die op demiwater werkte. Het in de thermische hydrolyse unit behandelde slib werd in een tussenopslag gebufferd en gekoeld, alvorens het dagelijks handmatig aan de gistinginstallaties werd gevoed. Stoom uit de flashtank werd afgelaten en niet hergebruikt. In de beoogde toekomstige praktijkinstallatie is dat niet nodig. De stoom wordt dan gerecirculeerd om de warmtebalans te optimaliseren.

De gistinginstallaties werden één keer per dag handmatig gevoed, gedurende 7 dagen per week. De temperatuur in de gistinginstallaties werd op 37 – 38 °C gehouden (zelfde temperatuur als huidige gistinginstallaties). Menging van de gistingstanks vond plaats met behulp van een roermotor.

Schommelingen in de verblijftijd door het jaar leiden voor de full-scale gisting tot een minimale verblijftijd van 20 dagen. Dus is voor het onderzoek ook een verblijftijd van 20 dagen aangehouden (testen bij de minimaal voorkomende verblijftijd). Dit sluit ook goed aan bij het landelijke beeld (in verband met reproduceerbaarheid van de resultaten; randvoorwaarde STOWA-onderzoek).

Voor het opstarten van de gistingstanks, werd gebruik gemaakt van entslib van een installatie uit Denemarken, waar thermische slibontsluiting wordt toegepast.

#### 4.4.1 BESCHRIJVING VAN DE CAMBIPILOT EN DE LABREACTOREN

In deze paragraaf worden achtereenvolgens de technische installaties en de werkwijze beschreven.

##### CAMBI INSTALLATIE

De installatie bestaat uit een reactorvat van 10 liter waaraan via een trechter handmatig secundair slib kan worden toegevoegd. In de reactor wordt het slib ontsloten door middel van stoominjectie. De temperatuur en druk lopen hierbij op tot 165 °C en 6 bar.

Na 20 minuten wordt er stoom afgelaten tot 2 bar waarna het reactorvat leegloopt in een zogenaamde flashtank waar de druk verder afneemt tot atmosferische druk. Vanuit de flashtank wordt het ontsloten slib opgevangen in een emmer. Afbeelding 9 is een foto van de Cambi installatie.

AFBEELDING 9 PILOTRACTOR VAN CAMBI OP RWZI HENGELO



##### SLIBVERGISTERS

De 4 cilindrische slibvergisters hebben een netto inhoud van 8 liter en zijn dubbelwandig. Met behulp van een thermostaatbad werd warm water door de dubbelwandige reactor gepompt om de vergisters op temperatuur te houden. Er werd continu gemengd. De voeding en bemonstering zijn handmatig uitgevoerd. De gasproductie is geregistreerd met gasklokken, zie afbeelding 10.

AFBEELDING 10 OVERZICHT VAN DE SLIBGISTINGSINSTALLATIES MET GASKLOKKEN





#### 4.4.2 **BEDRIJFSVOERING**

##### **WERKWIJZE**

Een representatief mengsel van secundair slib van Waterschap Regge en Dinkel is periodiek ontwaterd tot circa 20% ds en gekoeld opgeslagen. Vanuit deze slibkoek werd wekelijks een hoeveelheid secundair slib behandeld in de Cambi pilot. Met dit ontsloten slib en primair slib werden slibmengsels gemaakt om de vergisters mee te voeden. Hierbij is een mengverhouding van 80% secundair / 20% primair aangehouden op basis van droge stof gehalte. De mengsels werden afgewogen in potjes van 450 ml en een week bewaard in de koeling.

Twee vergisters werden als referentie aangehouden en werden gevoed met een dunner slibmengsel maar met dezelfde verhouding primair en secundair slib als bij de TSO-vergisters. De referentievergisters zijn opgestart met slib uit de slibvergisting in Hengelo. De hydrolysevergisters zijn opgestart met ontwaterd slib uit een slibvergisting in Fredericia, Denemarken. Op deze installatie wordt een thermische slibontsluiting van Cambi toegepast. Slib uit deze installatie was mogelijk beter geadapteerd aan hoge ammoniumgehalten en andere (toxische) componenten met een verhoogde concentratie.

Dagelijks werden de vergisters eerst bemonsterd en vervolgens gevoed. De gasproducties werden genoteerd en regelmatig werden gasanalyses gedaan (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S).

##### **LOOPTIJD VAN DE PROEVEN**

De pilotproef heeft gelopen van 19 mei tot 10 november 2011.

#### 4.4.3 **METINGEN EN ANALYSES**

Twee keer per week werd een monster van de gistingstanks geanalyseerd op onder andere vetzuren en alkaliteit. Als er een monster uit de gistingsinstallatie werd genomen, werd het materiaal na analyse weer teruggebracht in de gistingsinstallatie (om beïnvloeding van het gistingsproces door monsternamen te voorkomen). Twee keer per week werden de monsters door het laboratorium geanalyseerd op de volgende parameters:

TABEL 8

BENODIGDE ANALYSES TIJDENS PILOTONDERZOEK PER STROOM

	vergisters	voeding	secundair slib	gehydrolyseerd slib
Ds	X	X	X	X
Gloeirest	X	X	X	X
pH	X			
Vluchtige vetzuren	X			
Alkaliniteit	X			
NH <sub>4</sub> -N	X			
P	X	X	X	X
CZV	X	X	X	X

**EXTRA ANALYSES EN METINGEN**

Bovenop het analyseprogramma zoals hierboven weergegeven is nog een aantal extra parameters bepaald:

- Fractie inert CZV in centraat
- Siloxaan in biogas
- CZV in water waarmee de stoom direct gekoeld werd.
- Schuimpotentie testen met uitgegist slib

**4.4.4 OPZET SLIBONTWATERINGSTEST**

Om de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib in te kunnen schatten zijn slibmonsters aangeboden aan dr. Julia Kopp in Duitsland („Kläranlagen Beratung Kopp“ te Lengede; [www.kbkopp.de](http://www.kbkopp.de)). Daar is met behulp van een zogenaamde thermogravimetrische bepaling het haalbare drogestofgehalte met mechanische ontwatering vastgesteld. De op deze wijze verkregen waarden voor het haalbare drogestofgehalte met bijbehorend PE-verbruik vindt plaats op basis van behaalde resultaten van bestaande centrifuges en filterpersen.

# 5

## ONDERZOEK RWZI AMERSFOORT (SUSTEC)

### 5.1 INLEIDING

Op rwzi Amersfoort heeft in de periode september 2010 tot mei 2011 een pilotreactor van de firma Sustec gestaan. Met deze pilotreactor is onderzoek gedaan naar de invloed van toepassen van thermische slibontsluiting. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de behaalde resultaten. Door Sustec zijn de bevindingen van het onderzoek vastgelegd in een onderzoeksrapport "TurboTec® Pilot onderzoek op RWZI Amersfoort:"[20]. Dit onderzoeksrapport is opgenomen in de hydrotheek ([www.hydrotheek.nl](http://www.hydrotheek.nl)) en is als basis genomen voor het STOWA rapport.

### 5.2 ALGEMENE BESCHOUWING

Gedurende de testen op rwzi Amersfoort zijn de testen begeleid door een werkgroep, samengesteld uit afgevaardigden van de deelnemende waterschappen en STOWA. De resultaten van het met de Sustec installatie uitgevoerde onderzoek is onder te verdelen in verschillende fasen. Hieronder zijn per fase een aantal opvallende zaken aangegeven.

- In fase 1 zijn er twee perioden geweest waarbij de voeding afweek van het geplande schema. Bij het beschrijven van de biogasproductie wordt hier nader op ingegaan.
- In fase 2 is een verstoring opgetreden van de verwarming van de REF-vergister. De temperatuur in de REF-vergister is hierdoor opgelopen tot 41°C gedurende een aantal dagen.
- In fase 3 was de circulatiepomp van de TurboTec-installatie kapot. Hierdoor kon geen slib behandeld worden. Om langer gebruik te kunnen maken van de aanwezige voorraad reeds behandeld slib is de verblijftijd van beide vergisters aangepast naar 40 dagen.
- In fase 3 waren regelmatig verstoppingen in de recirculatie en aflat van beide vergisters als gevolg van vezelig materiaal en haren. De rotorzeef is daarom vervangen door een trilzeef.
- Het verpompen van het ingedikte slib naar de TSO-unit gaf problemen. Na het vervangen van een pomp waren de problemen opgelost.
- Vanwege de planning is bij de overgang van fase 3A naar 3B geen stapsgewijze toename geweest bij het verhogen van de drogestofbelasting. Hierdoor is de TSO-vergister verzuurd. Na een periode van rust is de voeding geleidelijk hervat. Toen de TSO-vergister weer verzuurde is fase 3B afgesloten.

### 5.3 RESULTATEN

#### 5.3.1 DROGE- EN ORGANISCHE STOFABBRAAK

De droge- en organische stofafbraak in een vergister kan worden berekend door een balans te maken van de in- en uitgaande slibstromen. De absolute afbraak van organische drogestof (in g/l) is in principe gelijk aan de absolute afbraak in drogestof. Procentueel gezien is de afbraak van drogestof dus altijd kleiner dan de afbraak van organische drogestof.

Tijdens het onderzoek is van elke aangemaakte batch het (organisch) drogestofgehalte bepaald. Het uitgaande (organisch) drogestofgehalte is bepaald op basis van een monster van de (volledig gemengde) vergisters.

### FASE 1 (REFERENTIE)

Door operationele problemen met de mechanische indikking van secundair slib in het begin van het onderzoek is de variatie in het drogestofgehalte van het ingaande secundair slib groot. Door optimalisatie in de bedrijfsvoering is deze variatie in de loop van het onderzoek afgenomen. In tabel 37 en Afbeelding 19 in bijlage 3 zijn de drogestofgehalten, inclusief foutenmarge van de verschillende stromen weergegeven. Doordat de voeding van de reactoren met een vast debiet plaatsvond, was er sprake van een constante hydraulische verblijftijd, maar niet van een constante organische belasting. Hierdoor zijn conclusies over verschillen in gasproducties niet los te zien van het voedingspatroon.

In onderstaande tabel is het afbraakrendement van de beide vergisters weergegeven op basis van de gemiddeld (organische) drogestof afbraak.

TABEL 9 DROGE- EN ORGANISCHESTOFGEHALTEN VAN IN- EN UITGAANDE STROOM VAN TSO- EN REF-VERGISTER EN DE AFBRAAKRENDEMENTEN VOOR FASE 1

	DS% (Voor vergister)	OS% (Voor vergister)	DS% (Na vergister)	OS% (Na vergister)	Afbr % DS (voor – na)	Afbr % OS (voor – na)
TSO-vergister	4,9	70*	2,6	61	47	54
REF-vergister	5,0	72*	3,2	62	36	44

\* Het OS% is gebaseerd op basis van metingen in november en december 2010 en fase 2.

Op basis van de gevonden waarden neemt de afbraak van drogestof van het mengsel in de TSO-vergister toe tot 47% ten opzicht van 36% in de REF-vergister. Dit is een toename met een factor 1,31.

In fase 1 is het organische stofgehalte van het ingaande slib slechts beperkt gemeten en is daarom gebaseerd op metingen in november en december 2010 en fase 2. De betrouwbaarheid van de getallen is dan ook beperkt. De afbraak van organische stof van het mengsel in de TSO-vergister neemt toe tot 54% ten opzichte van 44% in de REF-vergister. Dit is een toename met een factor 1,22.

Zoals uit voorgaande blijkt, is er een discrepantie tussen de droge- en organische stofafbraak, aangezien de toename van de afbraak van drogestof hoger is dan van organische stof. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat het organische stofgehalte van het ingaande slib minder structureel gemeten is dan het drogestofgehalte.

### FASE 2 (VERKORTEN VERBLIJFTIJD)

Hoewel in fase 2 de procesomstandigheden in de TSO-vergister niet constant waren, de verblijftijd is immers stapsgewijs verlaagd, zijn de gemiddelden droge- en organische stofgehalten berekend over de totale periode. De gemeten specifieke biogasproductie (l/kg OS<sub>verwijderd</sub>) van de TSO-vergister was gelijk aan die in fase 1, zodat kan worden aangenomen dat de afbraak van organische drogestof niet verminderd is als gevolg van de afname van de verblijftijd.

Uit tabel 38 en Afbeelding 20 (bijlage 3) komt naar voren dat de variatie in het drogestofgehalte van het secundaire slib beperkt is. De variatie in het drogestofgehalte van het primair slib is groter. In deze periode is één monster genomen met een sterk afwijkende waarde. Door het weg laten van deze sterk afwijkende meting, worden afbraakpercentages berekend, die overeenkomen met die van fase 1.

In tabel 10 zijn de berekende waarden weergegeven van de in- en uitgaande stromen van de vergister, inclusief de afbraakpercentages.

TABEL 10 DROGE- EN ORGANISCHESTOFGEHALTEN VAN IN- EN UITGAANDE STROOM VAN TSO- EN REF-VERGISTER EN DE AFBRAAKRENDEMENTEN VOOR FASE 2

	DS% (Voor vergister)	OS% (Voor vergister)	DS% (Na vergister)	OS% (Na vergister)	Afbr % DS (voor – na)	Afbr % OS (voor – na)
TSO-vergister	5,0	68	2,6	59	48	54
REF-vergister	5,0	71	3,1	61	38	47

Op basis van de gevonden waarden neemt de afbraak van drogestof van het mengsel in de TSO-vergister toe tot 48% ten opzicht van 38% in de REF-vergister. Dit is een toename met een factor 1,26.

De afbraak van organische stof van het mengsel in de TSO-vergister neemt toe tot 54 % ten opzichte van 47 % in de REF-vergister. Dit is een toename met een factor 1,16. Evenals in fase 1 komt hier een discrepantie naar voren tussen de droge- en organische stofafbraak. Parameters, zoals de pH vertoonden geen afwijkende waarden.

Op basis van voorgaande kan worden geconcludeerd dat de verlaging van de verblijftijd in de TSO-vergister niet heeft geleid tot een structurele verlaging van de (organische) drogestofafbraak. Bij deze conclusie dient rekening te worden gehouden dat slechts één sibleeftijd is getest.

### FASE 3

In fase 3 is overgeschakeld naar slib van rwzi Geestmerambacht. Deze slibstroom bestond geheel uit secundair slib. Als de samenstelling van het slib vergeleken wordt met die van Amersfoort dan is duidelijk dat het organische stofgehalte van het slib hoger is. Doordat op rwzi Geestmerambacht geen voorbezinking wordt toegepast, stroomt meer organische stof naar de beluchtingstank. Dit wordt met het secundair slib afgevoerd. Het slib is gravitair ingedikt op locatie en het aangevoerde slib heeft daardoor een hoger drogestofgehalte dan het spuislib van rwzi Amersfoort. Omdat het slib daarna mechanisch wordt ingedikt in de trommelindikker, zijn de drogestofgehalten zoals die gevoed worden aan beide vergisters toch vergelijkbaar aan de voorgaande fasen. In fase 3B is het slib verder ontwaterd met behulp van een centrifuge.

In tabel 39 (bijlage 3) is een overzicht gegeven van de gemiddelde waarden van de drogestofgehalten van de in- en uitgaande stromen. Het streven was om in fase 3B een verdubbeling van de drogestofbelasting te creëren door het ingaande drogestofgehalte van de TSO-vergister te laten stijgen van 5% naar 10%. De toename was echter een factor 1,8, doordat het aanmaken van slib en met name het verpompen er van operationele problemen gaf. Deze problemen zijn terug te voeren naar de pilotschaal en zullen zich op fullscale naar verwachting niet voordoen. De drogestofbelasting was 1,8 kg DS/m<sup>3</sup> d in fase 3A en 3,2 kg DS/m<sup>3</sup> d in fase 3B. Op basis van de resultaten wordt duidelijk dat ondanks de hogere drogestofbelasting een vergelijkbare afbraak haalbaar is. Dit is echter niet onomstotelijk aangetoond, aangezien in fase 3B een verstoring optrad. Op dit aspect wordt nader ingegaan bij het bespreken van de biogasproductie.

In afbeelding 23 (bijlage 3) is het drogestofgehalte van de in- en uitgaande stromen weergegeven van beide vergisters in fase 3. In fase 3A ligt voor de TSO-vergister het drogestofgehalte van het uitgeste slib structureel lager dan voor de REF-vergister. Opvallend is wel dat het

drogestofgehalte bij de REF-vergister langzaam oploopt. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat de samenstelling van de voeding in fase 3 veranderd is. Aan het begin van fase 3A zat de vergister nog vol met een mengsel van primair en secundair vergist slib van Amersfoort. In fase 3 is de vergister gevoed met alleen secundairslib van Geestmerambacht. De vergistbaarheid van secundairslib is lager dan dat van primair slib. Dit komt naar voren in een hoger drogestofgehalte van het digestaat.

Op basis van de data zijn de gemiddelde in- en uitgaande drogestofgehalten bepaald. In onderstaande tabel zijn deze waarden weergegeven.

TABEL 11 DROGESTOFGEHALTEN VAN IN- EN UITGAANDE STROOM VAN TSO- EN REF-VERGISTER EN DE AFBRAAKRENDEMENTEN

	DS% (Voor vergister)	OS% (Voor vergister)	DS% (Na vergister)	OS% (Na vergister)	Afbr % DS (voor – na)	Afbr % OS (voor – na)
Fase 3A						
TSO-vergister	4,5	70	2,7	63	40	48
REF-vergister	4,8	76	3,6	66	25	33
Fase 3B						
TSO-vergister	7,9	72	5,5	57	30	44
REF-vergister	4,6	74	3,5	66	24	32

In afbeelding 23 (bijlage 3) is te zien dat aan het einde van fase 3A het drogestofgehalte van de ingaande stromen omlaag gaat. Het is niet achterhaald waarom het indikken van het slib slechter verloopt dan daarvoor. Deze verlaging van het drogestofgehalte heeft wel grote invloed bij het berekenen van het afbraakrendement, omdat deze afname niet gelijk is voor beide vergisters. Op basis van de gevonden waarden neemt in fase 3A de afbraak van drogestof van het secundaire slib in de TSO-vergister toe tot 40% ten opzichte van 25% in de REF-vergister. Dit is een toename met een factor 1,6.

Op basis van de gevonden waarden neemt in fase 3A de afbraak van organische stof van het secundaire slib in de TSO-vergister toe tot 48% ten opzicht van 33% in de REF-vergister. Dit is een toename met een factor 1,45.

De drogestofafbraak in fase 3A is hoog in relatie tot de organische afbraak en de specifieke biogasproductie (l/kg DS<sub>gevoed</sub>). Het drogestofgehalte van het uitgegiste slib is met 2,7% weliswaar een gemiddelde over de gehele periode, maar deze loopt op gedurende fase 3A. Op basis van de organische stofafbraak en de te verwachte specifieke biogasproductie, ligt een toename van de drogestofafbraak met een factor 1,35 meer voor de hand. Deze waarde is vergelijkbaar met die in fase 1 en 2.

In fase 3B is een verbetering van de afbraak van drogestof van het secundaire slib gevonden van 1,25 door toepassen van TSO. Dit is lager dan fase 3A, wat duidt op een verminderd effect van toepassing van TSO bij een hogere drogestofbelasting. Deze vermindering kan veroorzaakt zijn door een toename van de ammoniumconcentratie in fase 3B met een afname van de biogasproductie als gevolg. Dit aspect wordt bij de evaluatie van de biogasproductie verder besproken.

Tot nu toe was de invloed van TSO bekeken op basis van de afbraak van organische stof in het mengsel van primair en secundair slib. Het effect van toepassen van TSO op de afbraak van organische stof van alleen secundair slib in het mengsel van primair en secundair slib kan berekend worden. Uitgaande van een organische stofafbraak van 50% van de organische stof in primair slib, is de afbraak van organische stof van secundair slib in het slibmengsel in fase 1 en 2 berekend. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

TABEL 12

SCHATTING ORGANISCHE STOF AFBRAAK SECUNDAIR SLIB BIJ VERGISTEN MENGSEL 35%PS EN 65%SS

	In [kg os/d]	Uit [kg os/d]	Afbraak [kg os/d]	Afbraak [%]
<b>Primair slib</b>				
TSO-vergister	2,02	1,01	1,01	50%
REF-vergister	2,10	1,05	1,05	50%
<b>Secundair slib</b>				
TSO-vergister	3,75	1,66	2,09	55%
REF-vergister	3,89	2,30	1,59	40%
<b>Totaal</b>				
TSO-vergister	5,76	2,66	3,10	54%
REF-vergister	5,99	3,35	2,64	44%

Aangenomen dat de organische stof afbraak voor primair slib 50% is, dan is de afbraak van de organische stof in secundair slib 40% in de REF-vergisters en 55% in de TSO-vergister. Dit is een verhoging met een factor 1,38. Als aangenomen wordt dat de afbraak van organische stof in primair slib 60% is dan is de afbraak van de organische fractie in secundair slib 36% in de REF-vergister en 50% in de TSO-vergister. Dit is een verhoging met een factor van 1,42.

### 5.3.2 BIOGASPRODUCTIE

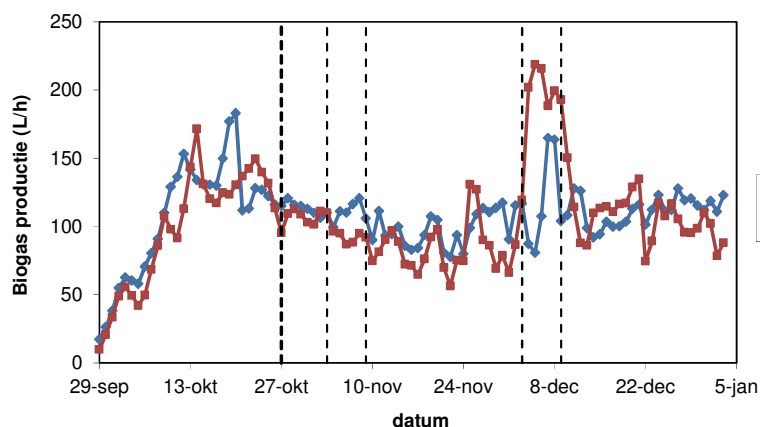
Door de omzetting van organische stof in de vergisters wordt biogas geproduceerd. De hoeveelheid biogas is gemeten met behulp van een gasklok. De gemeten gashoeveelheden zijn niet gecorrigeerd voor veranderingen in de biogastemperatuur en de waterdamp in het gas. Afhankelijk van de temperatuur is het gehalte aan water in het biogas 3 – 5%.

#### FASE 1

In afbeelding 11 zijn de gemiddelde waarden (l/h) van de biogasproductie weergegeven van fase 1.

Als de lijnen van de biogasproductie van beide vergisters met elkaar worden vergeleken, valt op het onderlinge verschil beperkt is. Gedurende een aantal perioden ligt de biogasproductie van de REF-vergister zelfs hoger dan die van de TSO-vergister. In fase 1 zijn er twee perioden geweest waarbij de voeding afweek van het geplande schema (zie stippellijnen) Gedurende de eerste verstoring (3 t/m 9 november) is er alleen secundair slib gevoed. Gedurende de tweede verstoring (3 t/m 9 december) is aan de REF vergister teveel primair slib gevoed.

AFBEELDING 11 BIOGASPRODUCTIE (L/H) VAN TSO- EN REF-VERGISTERS TIJDENS FASE 1



In de rapportage van Sustec zijn de volgende specifieke biogasproducties (liter biogas/kg aangevoerde drogestof) berekend:

- Primair slib Amersfoort: 350 L/kg DS<sub>in</sub>
- Secundair slib Amersfoort: 231 L/kg DS<sub>in</sub>
- TSO-slib Amersfoort: 311 L/kg DS<sub>in</sub>

Op basis van een organische stof gehalte van 75% in primair en secundair slib zijn de specifieke biogasproducties berekend:

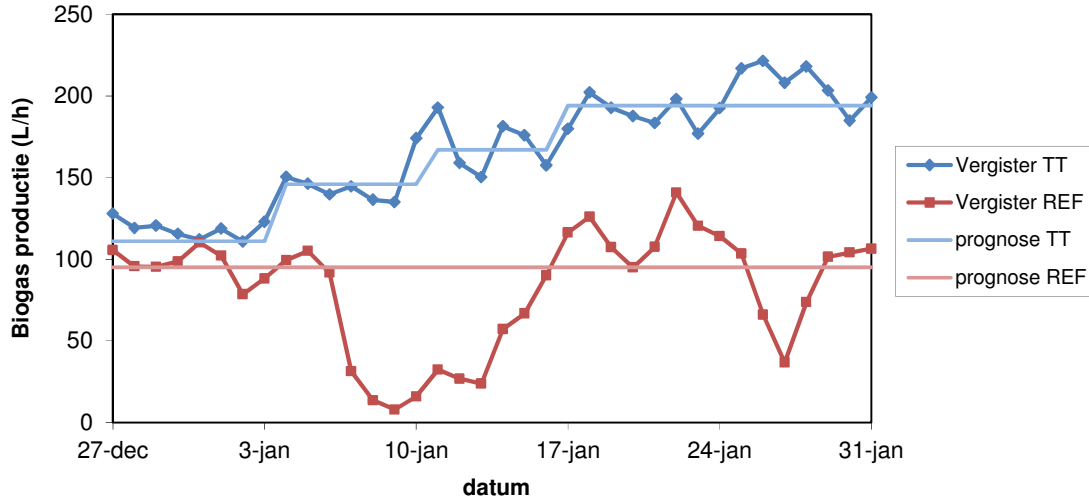
- Primair slib Amersfoort: 467 L/kg OS<sub>in</sub>
- Secundair slib Amersfoort: 308 L/kg OS<sub>in</sub>
- TSO behandeld secundairslib Amersfoort: 415 L/kg OS<sub>in</sub>

In het hoofdstuk van de evaluatie wordt verder ingegaan op de specifieke biogasproductie per toegevoerde en omgezette hoeveelheid organische stof. Op basis van de vergelijking tussen biogasproducties in beide vergisters kan worden berekend dat door toepassing van TSO de biogasproductie van het secundaire slib met een factor 1,35 toeneemt. De toename van de biogasproductie bij afbraak van het mengsel primaire en secundaire slib na toepassen van TSO is een factor 1,19.

## FASE 2

In afbeelding 12 is de biogasproductie van de beide vergisters weergegeven in fase 2. De rechte lijnen in de grafiek zijn de prognoselijnen van biogas op basis van de in fase 1 vastgestelde specifieke biogasproducties.

AFBEELDING 12 BIOGASPRODUCTIE (L/H) VAN TSO- EN REF-VERGISTERS IN FASE 2



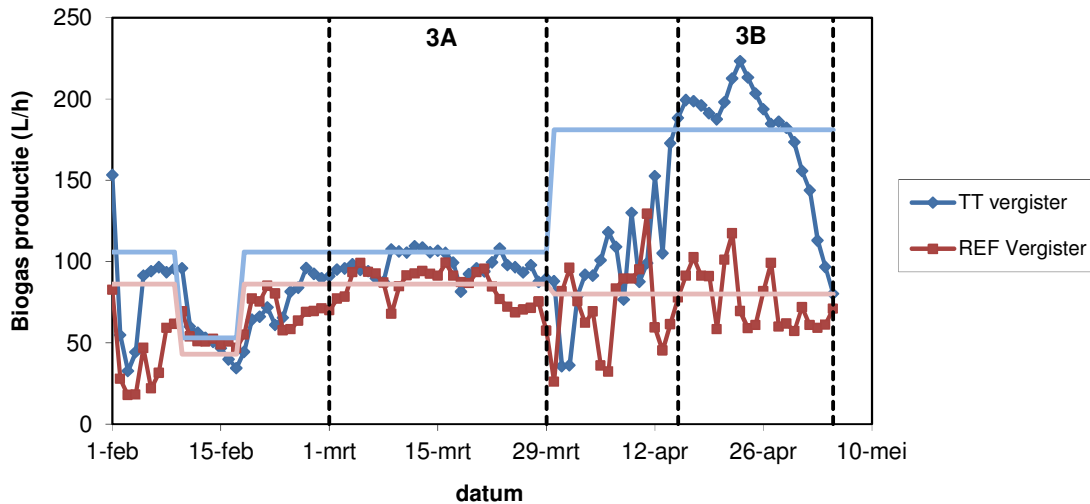
De biogasproductie van de TSO-vergister volgt de blauwe lijn wat aangeeft dat de verlaging van de sibleeftijd niet van invloed is op de specifieke biogasproductie. De biogasproductie van de REF-vergister is niet stabiel geweest vanwege een storing in de verwarming in fase 2. Omdat de slibsamenvatting in fase 1 en 2 in principe vergelijkbaar zijn, wordt aangenomen dat de biogasproductie zonder de verstoringen rond de prognoselijne ligt. Voor de periode zonder verstoring is dit het geval.

## FASE 3A

In Afbeelding 13 is de biogasproductie van fase 3A (1 februari tot 29 maart) en fase 3B (29 maart tot 5 mei) weergegeven.



AFBEELDING 13 BIOGASPRODUCTIE (L/H) VAN TSO- EN REF-VERGISTERS IN FASE 3A EN 3B



De biogasproducties van beide vergisters zijn sinds de omschakeling naar fase 3B niet stabiel. Het aanmaken van de voeding van de TSO-vergister van 12% leverde problemen op met het verpompen en voeden van de TSO-unit. Voor de REF-vergister is de schommeling moeilijker te verklaren. Wel kan de dip op 6 april verklaard worden op basis van het feit dat de vergister niet goed gasdicht afgesloten bleek te zijn.

De blauwe (strakke) lijn in Afbeelding 13 geeft de verwachte biogasproductie weer op basis van de in fase 3A berekende specifieke biogasproductie. Vanaf 12 april is deze biogasproductie voor de TSO-vergister vergelijkbaar met de verwachte biogasproductie. Nadat de biogasproductie in de periode tussen 15 en 25 april rond de verwachte gashoeveelheid produceerde, is de gasproductie vervolgens sterk gedaald. Opvallend in het biogasverloop is dat niet alleen de biogasproductie van de TSO-vergister is ingezakt, maar ook die van de referentievergister. Hiervoor is geen verklaring gevonden, maar aangezien de biogasproductie van beide vergisters omlaag gaat, is het aannemelijk dat de slibsamenvesting hier een rol in speelt. In Afbeelding 23 (bijlage 3) is het verloop van de vetzuur- en ammoniumconcentraties weergegeven. In fase 3B is de vetzuurconcentratie van de TSO-vergister sterk gestegen. Deze stijging wordt veroorzaakt doordat de vetzuren nauwelijks meer worden omgezet in biogas terwijl nog wel vetzuurproductie plaatsvindt. Dit duidt op een remming van de methanogene bacteriën die vetzuren omzetten in o.a. biogas. Van ammoniak is bekend<sup>[27]</sup> dat dit een sterk remmende invloed kan hebben op de methanogene bacteriën, afhankelijk van concentratie en pH. Hierbij speelt adaptatie van de bacteriën een belangrijke rol, aangezien na adaptatie van het slib remming pas optreedt bij hogere ammoniumconcentraties.

Vanaf het begin van fase 3B is de ammoniumconcentratie gaan stijgen. Dit is een direct gevolg van het verhogen van het drogestofgehalte van de ingaande voeding. Vanaf het moment dat deze concentratie rond de 3.000 mg NH<sub>4</sub>-N/l is, treedt de afname op van de biogasproductie. Als gevolg van de verhoging van de pH in de TSO-vergister, verschuift het evenwicht NH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> in de richting van ammoniak. Op basis van eerder uitgevoerd onderzoek<sup>[28]</sup> met vergisting bij een pH van 8 kwam een remming naar voren bij een NH<sub>4</sub>-N concentratie van 1.500 mg/l. Deze testen betroffen thermofiele vergisting.

### BIOGASSAMENSTELLING

De samenstelling van het biogas is regelmatig geanalyseerd op  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  en  $\text{N}_2$ . De waarden voor  $\text{CH}_4$  en  $\text{CO}_2$  zijn vervolgens gecorrigeerd op basis van aanwezigheid van  $\text{O}_2$  en  $\text{N}_2$ . De aanwezigheid van beide stoffen kan duiden op lekkage bij monsternamen.

In tabel 40 (bijlage 3) zijn de gemiddelde waarden van de bepalingen weergegeven. Bij de TSO-vergister is een duidelijk verschil te zien in de periode 19 oktober – 10 november en de periode 11 november – 23 december. Het percentage methaan in het biogas is met ca. 1,5 – 2,0 % afgenomen. Rond 10 november is de voeding naar de TSO-vergister aangepast, door het primair slib en secundair slib gescheiden te voeden.

Aan het begin van fase 2 is het  $\text{CH}_4$  gehalte van het biogas van de REF-vergister opvallend lager dan aan het einde van fase 2. De samenstelling van het substraat is niet veranderd bij de omschakeling van fase 1 naar fase 2. Mogelijk komt dit doordat de omstandigheden in de REF-vergister niet optimaal waren als gevolg van de storing met de verwarming.

In fase 3 ligt het  $\text{CH}_4$  gehalte van het biogas voor beide vergisters hoger dan in de voorgaande fasen. Dit kan verklaard worden door de veranderde samenstelling van het substraat.

#### 5.3.3 CZV-BALANS

In bijlage 3 (afbeelding 24 t/m 29) is de CZV-balans opgenomen van de TSO en de REF-vergister op basis van de in- en uitgaande slibstromen en het gevormde biogas voor de verschillende fasen.

Voor de fasen 1 en 2 kan een relatief groot aandeel van de balans niet verklaard worden op basis van de CZV-metingen van het slib en het biogas. Het niet verklaarbare aandeel bedraagt 15 tot 25% van de totale hoeveelheid CZV die de reactor ingaat. In fase 3 is de balans beter kloppend al zijn er ook waarden van boven de 100% wat betekent dat er meer CZV uitkomt dan er ingaat.

Opvallend is dat de balans voor fase 1 en 2 op geen enkel moment sluitend of positief is. Dit geeft aan dat er een structurele onderschatting is van de verwachte biogasproductie of een overschatting van de verwijderde CZV-vracht. Mogelijk hangt dit samen met de wijze van opslag van het slib in (ongekoelde) vaten.

Als echter de CZV-waarden van de slibstromen zoals bepaald door Sustec worden vergeleken met CZV-metingen van het externe laboratorium van Waterschap Vallei en Eem, valt op dat de waarden van Sustec gemiddeld 25% hoger liggen dan de waarden uit het laboratorium. Het is bekend dat de methode van CZV (cuvettentest) onnauwkeurig is door de grote verdunningsfactor die nodig is om de meting binnen de meetrange te laten vallen. Door de kleine hoeveelheid monster (0,2-2,0 ml) die nodig is, geven grovere deeltjes in het slib behoorlijke afwijkingen in de bepaling. De waarden van het laboratorium zijn bevestigd in een ander project op rwzi Amersfoort waarbij ook de CZV-waarden zijn bepaald voor primair, secundair en uitgestort slib. Op basis van de laboratoriumwaarden sluiten de CZV-balansen beter.

De gemeten hoeveelheid CZV door het externe lab ligt tot 10% hoger dan de theoretische waarde (1,54 in plaats van 1,4 kgCZV/kg OS). Dit is een normale foutenmarge bij de bepaling van CZV van niet homogene stromen, zoals slib.

Uitgaande van de gemiddelde toe- en afvoer van CZV samen met de gemiddelde gasproductie, kan een gemiddelde theoretisch gevormde biogasproductie worden berekend.

De hoeveelheid CZV kan ook worden berekend op basis van de organische stofbalans in combinatie met de biogasproductie door uit te gaan dat 1 kg OS overeenkomt met 1,4 kg CZV en een theoretische biogasproductie van 854 l biogas per afgebroken kg organische stof bij 30°C, zoals in de slibketenstudie<sup>[29]</sup> is aangegeven. Deze biogasproductie komt overeen met 610 l biogas per kg CZV verwijderd. De hoeveelheid biogas berekend op basis van de OS afbraak kan vergeleken worden met de werkelijk gemeten hoeveelheid biogas. In tabel 13 zijn deze waarden gepresenteerd voor fase 1. Tevens zijn ook de hoeveelheid verwijderde CZV en de hierbij berekende biogasproductie gepresenteerd op basis van de door het externe lab gemeten waarden.

TABEL 13 GEGEVENS CZV-BALANS IN FASE 1 BIJ VOEDING VAN 168 L/D

	OS-afbraak kg/d	CZV <sub>theorie</sub>	CZV <sub>gemeten</sub>	Biogashoeveelheid [l/d]		
				Berekend <sub>theorie</sub>	Berekend <sub>gemeten</sub>	Gemeten
TSO	2934	4108	4678	2505	2854	2664
REF	2631	3684	4094	2247	2497	2280

Als de CZV-balans wordt berekend over de gemiddelden van fase 1 en de theoretische hoeveelheid CZV per kg organische stof blijkt de CZV-balans redelijk te kloppen. Er is een afwijking van ca 5%. Omdat in fase 1 en 2 meer procesvariaties en procesverstoringen zijn opgetreden, is het voor deze perioden minder eenvoudig een gemiddelde waarde te berekenen voor de relatie CZV en biogas.

#### 5.3.4 SAMENSTELLING REJECTIEWATER

Om het effect van TSO op de samenstelling van het rejectiewater te bepalen, zijn de concentraties van CZV, N (N-totaal en NH<sub>4</sub>-N) en P<sub>tot</sub> in het rejectiewater gemeten, nadat de uitgeste slibstroom is ontwaterd. De analyses die zijn uitgevoerd bij STER-labs dienen indien mogelijk volgens de gangbare NEN-methode te worden uitgevoerd. Het direct filteren van digestaat is niet mogelijk, omdat het filter te snel verstopt raakt. Hiervoor is een centrifugestap nodig om het water en slib te scheiden. Deze stap is echter niet opgenomen in het NEN-protocol. De samenstelling van het in deze paragraaf genoemde rejectiewater in de tabellen 14, 15 en 16 is daarom gebaseerd op digestaat monsters die met PE en een labcentrifuge zijn behandeld. Er heeft dus geen aanvullende filtratiestap plaatsgevonden. De waarden zijn dan ook hoger dan de door het externe Lab verkregen waarden op basis van gefiltreerde monsters tijdens de ontwateringstesten (tabel 17).

#### FASE 1

In tabel 14 is een overzicht gegeven van de gemeten nutriënten (g/l) gedurende fase 1. De concentraties CZV en stikstof in het rejectiewater van TSO-vergister zijn hoger dan die in het rejectiewater van de REF-vergister, hetgeen logisch is vanwege de verdergaande afbraak van organische stof. De toename van CZV met ruim 60% is opvallend te noemen. De concentratie van fosfaat is gelijk. Mogelijk is het extra vrijgekomen fosfaat in de TSO vergister, als gevolg van de verdergaande afbraak, vastgelegd in struviet en afgevoerd met het slib

TABEL 14 CONCENTRATIES CZV, STIKSTOF EN FOSFAAT IN HET REJECTIEWATER VAN TSO- EN REF-VERGISTER (FASE 1)

Parameter	Aantal metingen	Digestaat TSO	Digestaat REF
CZV <sub>centraat</sub> (g/l)	3	1,1	0,67
N <sub>centraat*</sub> (g/l)	9	1,8±0,1	1,5±0,3
NH <sub>4</sub> -N <sub>centraat*</sub> (g/l)	9	1,3±0,2	1,2±0,2
P <sub>centraat*</sub> (g/l)	9	0,2±0,1	0,2±0,0

\* = centraat = supernatant verkregen door het monster (digestaat) te behandelen met polymeer en vervolgens te centrifugeren.

## FASE 2

In tabel 15 is een overzicht gegeven van de gemeten nutriënten (g/l) gedurende fase 2.

TABEL 15 CONCENTRATIES CZV, STIKSTOF EN FOSFAAT IN HET REJECTIEWATER VAN TSO- EN REF-VERGISTER (FASE 2)

Parameter	Aantal metingen	Digestaat TSO	Digestaat REF
CZV <sub>centraat</sub> (g/l)	N.B.	N.B.	N.B.
N <sub>centraat*</sub> (g/l)	5	1,8±0,1	1,7±0,1
NH <sub>4</sub> -N <sub>centraat*</sub> (g/l)	5	1,5±0,0	1,4±0,1
P <sub>centraat*</sub> (g/l)	5	0,2±0,0	0,2±0,0

\* = centraat = supernatant verkregen door het monster (digestaat) te behandelen met polymeer en vervolgens te centrifugeren.

Zoals uit de tabel blijkt is het patroon in grote lijnen gelijk aan dat in fase 1. Wel zijn de concentraties van stikstof in het centraat toegenomen in de TSO-vergister ten opzichte van de REF-vergister. Deze toename is veroorzaakt door de toename in NH<sub>4</sub>-N van 15%. Voor fosfaat is geen toename gemeten.

## FASE 3

In tabel 16 is een overzicht gegeven van de gemeten nutriënten (g/l) gedurende fase 3.

TABEL 16 CONCENTRATIES CZV, STIKSTOF EN FOSFAAT IN HET REJECTIEWATER VAN TSO- EN REF-VERGISTER (FASE 3)

Parameter	Fase 3A		Fase 3B	
	Digestaat TSO	Digestaat REF	Digestaat TSO	Digestaat REF
CZV <sub>centraat</sub> (g/l)	1,9	1,1	4,2	1,3
N <sub>centraat*</sub> (g/l)	1,9±0,0	1,6±0,1	2,9±0,6	1,6±0,1
NH <sub>4</sub> -N <sub>centraat*</sub> (g/l)	1,6±0,0	1,4±0,1	2,4±0,2	1,3±0,1
P <sub>centraat*</sub> (g/l)	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0

\* = centraat = supernatant verkregen door het monster (digestaat) te behandelen met polymeer en vervolgens te centrifugeren.

De toename van CZV in het rejectiewater van de TSO-vergister in fase 3B is groot ten opzichte van fase 3A. Dit is naar verwachting terug te voeren naar de onvolledige vergisting met een forse toename in vetzuurconcentratie als gevolg. Het is daarom niet duidelijk welke concentratie representatief is voor vergisting met een hoger drogestofgehalte. Er is een duidelijke toename te zien van de NH<sub>4</sub>-N concentratie in fase 3B. Als wordt gecorrigeerd voor het verdunningseffect (factor 2) van de voeding wordt geen relatieve toename aangetoond.

In tabel 17 is de samenstelling van centraat gepresenteerd, dat is gemeten tijdens de testen met de kleine fullscale centrifuge. Zoals al eerder is aangegeven is de concentratie lager dan bij de metingen van het supernatant van de labcentrifuge als gevolg van de extra filtratiestap.

TABEL 17

CONCENTRATIES CZV, STIKSTOF EN FOSFAAT IN HET REJECTIEWATER VAN TSO- EN REF-VERGISTER (FASE 3A)

Parameter	Centraat TSO	Centraat REF
CZV <sub>centraat</sub> (g/l)	1,2	0,76
N-K <sub>centraat*</sub> (g/l)	1,05	0,92
NH <sub>4</sub> -N <sub>centraat*</sub> (g/l)	0,97 -1,02	0,89
PO <sub>4</sub> -P <sub>centraat*</sub> (g/l)	1,0	1,07
P <sub>totaal</sub> (g/l)	1,05	1,11

### ZWARE METALEN

De verwachting is dat door toepassen van TSO zware metalen in oplossing komen. Deze zware metalen gaan met het centraat terug naar de rwzi. Om het effect van thermische behandeling op de concentratie zware metalen in het centraat te kunnen vaststellen zijn indicatieve metingen uitgevoerd in fase 3B van het onderzoek. Uit de indicatieve metingen komt naar voren dat de concentraties van zware metalen in het centraat van de TSO-vergister ca twee keer geconcentreerder zijn ten opzichte van het REF-slib ook als gecorrigeerd wordt voor de hogere concentratie slib in de TSO vergister in fase 3B. Dit duidt op het extra vrijkomen van zware metalen als gevolg van het voorbehandelen in de TSO-unit. Het aantal metingen is echter zeer beperkt zodat deze conclusie als indicatief beschouwd moet worden.

### 5.3.5 ONTWATERBAARHEID

Het inschatten van de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib is een belangrijk aspect van het onderzoek. Zoals uit de verkennende berekeningen uit het vooronderzoek<sup>[21]</sup> is gebleken, is de ontwaterbaarheid een belangrijke factor bij de terugverdiendtijd bij toepassing van thermische slibontsluiting.

Het inschatten van de effecten van toepassen op de ontwaterbaarheid kan op meerdere manieren. Gezien de hoeveelheid digestaat die dagelijks vrijkwam, was het niet haalbaar om uitgebreide testen uit te voeren met fullscale ontwateringsapparatuur. Aan het einde van het onderzoek is overwogen om evenals in Venlo een fullscale centrifuge (capaciteit 3 m<sup>3</sup>/h) de gehele inhoud van de vergister te laten verwerken. De 1-3 uur waarin de centrifuge zou kunnen draaien werden echter onvoldoende geacht om een goed beeld te krijgen van de ontwateringsmogelijkheden.

### PILOTTTESTEN MET CENTRIFUGE

Om de invloed van de TSO op de ontwatering te kunnen vaststellen is het slib ontwaterd met behulp van een kleinere centrifuge. Deze Alfa Laval centrifuge had een maximumcapaciteit van 400 l/uur, maar minder instelmogelijkheden om het koppel en verschiltoerental te regelen dan bij fullscale apparatuur. De testen zijn uitgevoerd met een slibdebiet van 100 l/h, een toerental van 5.500 rpm en een verschiltoerental van 8 rpm. Als startpunt van de test is het moment genomen waarop de PE-dosering dusdanig was dat het afscheidingsrendement goed was (centraat helder). De testen in fase 1 zijn uitgevoerd door Sustec. Om een vergelijk te kunnen maken tussen het drogestofgehalte van het ontwaterde slib tussen de fullscale installatie en de pilottestcentrifuge is slib van de fullscale vergister meegenomen in de test. In tabel 18 zijn de resultaten weergegeven van de pilottesten met de centrifuge.

TABEL 18

OVERZICHT VAN DE ONTWATERINGSRESULTATEN VAN HET UITGEGISTE SLIB IN FASE 1

	DS% in	DS% uit	DS% in rejectiewater
Slib uit vergister Amersfoort	2,5%	16%	< 0,1%
Slib TSO-vergister	2,5%	22%	< 0,1%
Slib REF-vergister	3,2%	18%	< 0,1%

Bij de testen in fase 1 was de benodigde PE-dosering om een helder centraat te bereiken bleek vrij hoog. Dit is (gedeeltelijk) veroorzaakt doordat het geselecteerde PE (SNF 944) geen optimale vlokvorming gaf bij veel fines in het slib. Deze waarden zijn daarom niet opgenomen in de tabel, aangezien de verwachting is dat een ander type PE tot een lager PE-verbruik leidt.

Op basis van de testen komt naar voren dat het haalbare ontwateringsresultaat van het slib uit de 'vergister Amersfoort' beduidend lager is dan die van de fullscale centrifuge op rwzi Amersfoort. Op de fullscale centrifuge wordt bij een PE-verbruik van 18 g actief PE/kg DS een ontwateringsresultaat van 24% gehaald.

Bij de pilottestcentrifuge wordt slechts 16% gehaald, bij een hoger PE verbruik. Dit is te verklaren door dat enerzijds de G-krachten in de centrifuge kleiner zijn en anderzijds doordat de klaringszone in de centrifuge klein is vergeleken met een fullscale centrifuge. De proeven laten wel een trend zien in ontwaterbaarheid tussen de verschillende slibstromen. Deze trend zal ook gelden bij fullscale apparatuur al zal de absolute verbetering lager zijn bij de hogere drogestofgehaltenes. Er kan dus niet zonder meer 8 % bij alle waarden opgeteld worden.

Een ander aspect dat opvalt, is het verschil tussen het drogestofgehalte van het ontwaterde slib van de fullscale vergister en de REF-vergister. Het lijkt aannemelijk dat het hogere PE-verbruik leidt tot een beter ontwateringsresultaat. Er zijn echter geen testen gedaan waarbij bij beide stromen een vergelijkbaar PE-verbruik is gehanteerd. Wel zijn metingen gedaan aan onder- en overdosering van PE van. +/- 20%. Overdosering had weinig effect op het drogestofgehalte van de slibkoek. Bij onderdosering werd een verslechtering van de kwaliteit van het rejectiewater waargenomen, in combinatie met een verlaging van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib.

De verbetering in ontwaterbaarheid van de TSO-vergister ten opzichte van REF-vergister is met een toename van 18 naar 22% significant. Echter door het hoge PE-verbruik is de verbetering niet eenduidig aan het toepassen van TSO toe te schrijven. In latere testen is daarom specifiek gekeken naar het haalbare drogestofgehalte bij een gelijk PE-verbruik.

In fase 2 is er wederom een pilottest uitgevoerd met dezelfde centrifuge als in fase 1. Dezelfde slibstromen als in fase 1 zijn getest. De resultaten zijn in tabel 19 weergegeven.

TABEL 19

OVERZICHT VAN DE ONTWATERINGSRESULTATEN VAN HET UITGEGISTE SLIB IN FASE 2

	PE	DS% in	DS% uit	DS% in rejectiewater
Slib uit vergister Amersfoort	SNF 944	2,7%	20%	0,1
Slib uit vergister Amersfoort	SNF 911	2,5%	16%	< 0,01
Slib TSO-vergister	SNF 944	2,6%	25%	0,1
Slib REF-vergister	SNF 944	3,1%	19%	0,1

De PE-doseringen waarbij de testen zijn uitgevoerd zijn hoog. Deze PE-doseringen zullen in de praktijk niet voorkomen. Het is een sterke indicatie dat of het geselecteerde PE (SNF 944) geen goede vlokvorming geeft of dat de centrifuge instellingen niet optimaal waren tijdens de test.

Opnieuw is gebleken dat de kleine Alfa Laval test-centrifuge een lager drogestofgehalte haalt dan de fullscale centrifuge. Het droge stofgehalte van het ontwaterde slib van de fullscale vergister Amersfoort ligt iets lager dan voor slib uit REF-vergister. De verbetering in ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib van de TSO-vergister ten opzichte van de REF-vergister is significant. In absolute zin 6%, wat neerkomt op een relatieve verbetering van circa 30%.

In fase 2 is ook een test uitgevoerd met een hogere doorzet van 250 liter per uur en een PE-dosering die vergelijkbaar is aan de fullscale installatie op rwzi Amersfoort (14 g actief PE/kg ds). Bij deze instellingen bleef het centraat schoon (weinig zwevend stof) en werd een drogestofgehalte van 16% gehaald met het uitgegiste slib van de fullscale vergister van rwzi Amersfoort.. Dit ligt lager dan de 19% van de test met 100l/h, maar het PE-verbruik was realistisch i.p.v extreem hoog.

Als optimalisatie is in de test het verschiltoerental verlaagd van 4 naar 1 rpm. Hierdoor wordt meer druk op het slib gezet, wat over het algemeen een gunstige invloed heeft op het te bereikende drogestofgehalte van de slibkoek. Dit had een verbetering van 1,5 DS% tot gevolg. De pers-tijd in de kleine testcentrifuge is relatief kort, wat resulteert in een lagere ontwateringsgraad bij een zelfde PE-verbruik als in de fullscale centrifuge.

Tijdens fase 3A zijn wederom testen uitgevoerd met de pilottestcentrifuge. Naar aanleiding van het hoge PE-verbruik bij de testen in fase 1 en 2 is er een ander type PE geselecteerd. Dit had een zeer gunstig effect op het PE-verbruik dat nodig was voor een helder centraat. Het PE-verbruik van 10 g actief PE/kg ds gaf al een schoon centraat, terwijl dit voorheen pas bij een PE-verbruik van meer dan 20 g actief PE/kg ds mogelijk was. Het slibdebiet is ingesteld op 250 l/h, een toerental van 5.500 rpm en een verschiltoerental van 2 rpm. Als startpunt van de test is het moment genomen dat de PE-dosering dusdanig was dat net een helder centraat werd verkregen.

In tabel 20 zijn de resultaten weergegeven van de test.

TABEL 20

OVERZICHT VAN DE ONTWERINGSRESULTATEN VAN HET UITGEGISTE SLIB IN FASE 3A

	PE	DS% in	DS% uit	DS% in rejectiewater
Slib TSO-vergister	EM803	2,8%	25,5%	< 0,01%
Slib REF-vergister	EM803	3,6%	18,0%	< 0,01%

Het drogestofgehalte van het ontwaterde slib van TSO-vergister is significant hoger dan dat van de REF-vergister. Deze waarde is gerealiseerd bij een vergelijkbaar PE-verbruik als bij REF-vergister. De verbetering in ontwaterbaarheid van TSO-vergister ten opzichte van REF-vergister is circa 40% (relatief).

Voor fase 3B is ook een vergelijkende slibontwateringstest uitgevoerd. In tabel 21 zijn de resultaten weergegeven van de test. Het PE dat bij fase 3A is gebruikt bleek nu geen stabiele vlok meer te geven. Zelfs bij hoge dosering bleef het centraat zwart. Daarom is overgeschakeld op een ander PE (SNF911). Het PE-verbruik ligt hoger dan het verbruik in fase 3A. Het einddrogestofgehalte is lager dan in fase 3A. Deze verslechtering is naar verwachting toe te schrijven aan de verstoorde vergisting.

TABEL 21

OVERZICHT VAN DE ONTWATERINGSRESULTATEN VAN HET UITGEGISTE SLIB IN FASE 3B

	DS% in	DS% uit	DS% in rejectiewater
Slib TSO-vergister	5,5	22,5%	< 0,01%
Slib REF-vergister	3,4	17%	< 0,01%

**TOT SLOT**

Om te komen tot een optimale ontwatering is de keuze van het PE zeer belangrijk. Bij vergelijkbare PE-verbruik is het ontwateringsresultaat van het TSO-slib significant beter.



# 6

## ONDERZOEK RWZI HENGELO (CAMBI)

### 6.1 INLEIDING

Op rwzi Hengelo heeft in de periode mei 2011 tot november 2011 een pilotonderzoek gelopen met een testreactor van de firma Cambi. Met deze pilotreactor is onderzoek gedaan naar de invloed van toepassen van thermische slibontsluiting met een batchgewijze behandeling. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de behaalde resultaten. Door Waterschap Regge en Dinkel en MWH/Royal Haskoning zijn de bevindingen van het onderzoek vastgelegd in een onderzoeksrapportage. Deze rapportage heeft als basis gediend voor voorliggend hoofdstuk.

### 6.2 ALGEMENE BESCHOUWING

De naamgeving van de vergisters is afwijkend aan die in het onderzoek op rwzi Amersfoort. De TSO-vergisters worden in het onderzoek op rwzi Hengelo aangeduid als hydrolyse vergister en de REF-vergisters worden aangeduid als referentievergisters.

De verschillende vergisters hebben redelijk stabiel gedraaid maar een aantal zaken zijn opgevallen, te weten:

- De pH
- Vetzuren en alkaliniteit:
- Schuim

#### PH

De pH komt in de hydrolysevergisters aanzienlijk hoger uit (circa 8) tegen een pH van ongeveer 7,5 in de referentievergisters. De hogere ammoniumgehalten in de hydrolysevergisters (3-4 g/l NH<sub>4</sub>-N) zijn mede bepalend voor de hoge pH.

#### VETZUREN EN ALKALINITEIT

De gemiddelde vetzuurgehaltes en alkaliniteit zijn in tabel 22 weergegeven:

TABEL 22

OVERZICHT VAN DE CONCENTRATIES VLUCHTIGE VETZUREN EN ALKALINITEIT EN DE VERHOUDING VVZ/ALK

	Hydrolyse	Referentie
Vluchtige vetzuren (VVZ) [mg/l]	2.500	320
Alkaliniteit (Alk)[mg/l]	13.600	4.000
VVZ/Alk	0,18	0,08

Uit de getallen wordt duidelijk dat de vetzuurgehaltes in relatie tot de alkaliniteit beduidend hoger zijn in de hydrolysevergisters dan in de referentievergisters. Door de leverancier (Cambi) wordt een richtwaarde van 0,15-0,25 gehanteerd voor de verhouding VVZ/Alkaliniteit als indicatie dat er geen verzuring optreedt. Aangezien de vergisters doorgaans in deze range zaten was er nauwelijks sprake van verzuring.

Op 25 augustus was het VVZ gehalte 6800 mg/l in Hydrolyse 1. De belasting is tijdelijk wat teruggebracht maar achteraf is gebleken dat de vetzuurgehaltenes al gedaald waren voordat er maatregelen werden genomen.

### SCHUIM

Er was regelmatig sprake van schuimvorming in de hydrolysevergisters. Er zijn enkele schuimtesten gedaan om na te gaan wat de schuimpotentie en de schuimstabiliteit is van het slib uit de verschillende vergisters. De testen zijn uitgevoerd conform de beschrijving in Stowa rapport 2010-43.

TABEL 23 SCHUIMTESTEN

	0,1 liter/min		1 liter/min	
	schuimpotentie	schuimstabiliteit	schuimpotentie	schuimstabiliteit
Hydrolyse	13%	0%	90%	80%
Referentie	6%	0%	52%	0%
Ref praktijk	Geen gegevens	Geen gegevens	22%	0%

De metingen geven aan dat de schuimpotentie en schuimstabiliteit van het slib in de hydrolysevergisters hoger zijn dan in de referentievergisters. De hogere vetzuurgehaltenes in de hydrolysevergisters lijken een logische verklaring voor meer schuim. De gassnelheid van 0,1 liter/min komt overeen met een gassnelheid van 2 m/h die ook geldt in de praktijksituatie waarbij gemengd wordt d.m.v. gasinblazen. Bij deze gassnelheid is er nauwelijks verschil tussen de hydrolyse- en de referentievergisters.

## 6.3 RESULTATEN

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de pilotproef gepresenteerd.

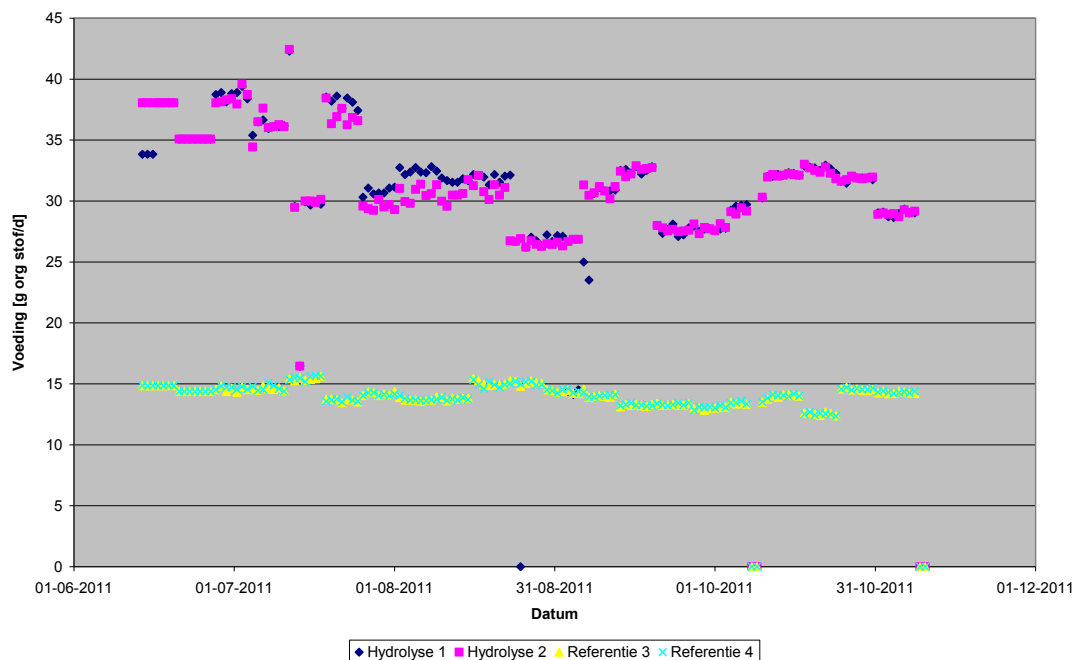
### 6.3.1 DROGE- EN ORGANISCHE STOFAFBRAAK

De voeding van Hydrolyse 1 en 2 bevatte gemiddeld 10,4% ds en de voeding van referentie 3 en 4 gemiddeld 4,5% ds. Het organisch stof gehalte van de voeding was circa ca 69%.

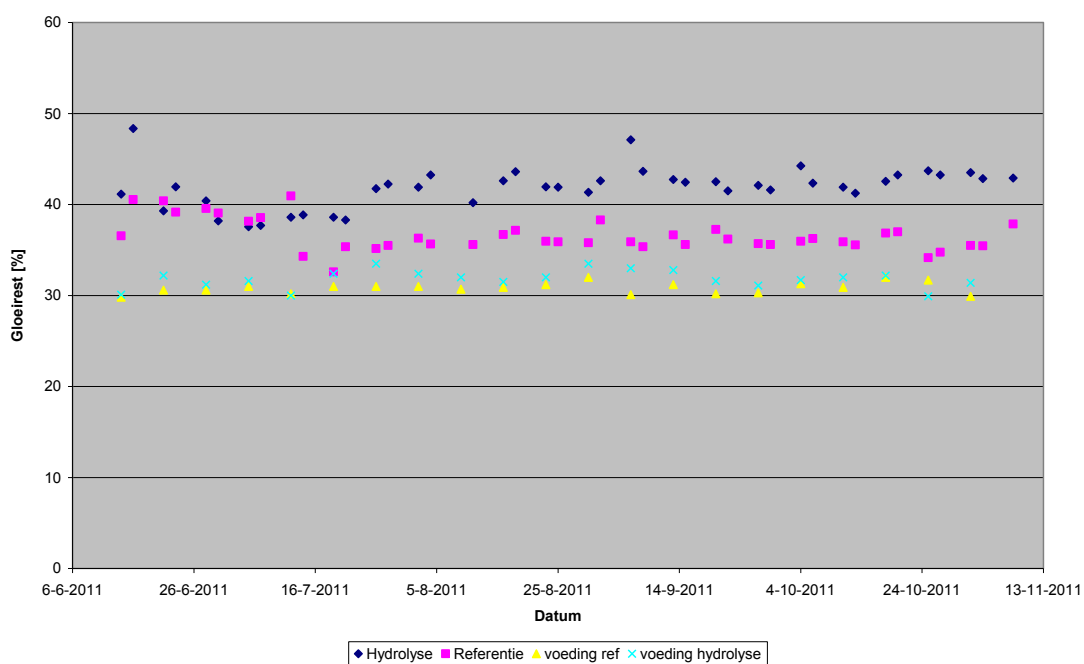
In Afbeelding 14 is de organische stofbelasting voor de verschillende vergisters weergegeven. De data zijn gebaseerd op weging van de voedingspotjes en op drogestof en gloeirest bepalingen door het lab. De hydrolyse vergisters hadden aan het begin van de pilot een hogere organische stofbelasting dan aan het eind van de proef. Deze daling is veroorzaakt door een variërend drogestofgehalte van het secundaire en primaire slib. De verhouding primair/ secundair slib van 20%/80% (op drogestofbasis) is leidend geweest bij het aanmaken van de slibmengsels.

De verbetering in organische stof afbraak wordt duidelijk in Afbeelding 15. Aan het eind van de proef heeft het slibmengsel uit de hydrolyse vergisters een gloeirest van ongeveer 43% tegen een gloeirest van circa 36% in de referentievergisters.

AFBEELDING 14 ORGANISCHE STOF BELASTING VERGISTERS



AFBEELDING 15 GLOEIRESTEN UITGESTIGT SLIB EN VOEDING HYDROLYSE EN REFERENTIE VERGISTERS



De organische stofafbraak is te berekenen aan de hand van de verschillende gloeiresten en ds percentages. Hieronder zijn de gemiddelde gloeiresten, drogestofgehalten en grammen voeding en monster over de periode 24 juni tot en met 8 november weergegeven:

TABEL 24 ORGANISCHE STOFAFBRAAK VERGISTERS (24 JUNI TM 8 NOV)

	Gloeirest [%]	DS [%]	[g/d]	[g OS/d]	[g as/d]	OS verw [%]
Voeding referentie	30,8	4,5	443	13,8	6,1	
Voeding hydrolyse	31,8	10,4	438	31,1	14,5	
Uitgegist referentieslib	36,6	3,4	429	9,4	5,4	32
Uitgegist hydrolyse slib	41,9	7,4	400	17,1	12,4	45

Op basis van de getallen uit tabel 24 blijkt de verbetering in organische stofafbraak van de hydrolysevergisters ten opzichte van de referentievergister 40% (31,8 t.o.v. 45,0%) te zijn. Dit komt goed overeen met de stijging in specifieke biogasproductie. De asbalans (in/uit) is 89% voor de referentie en 86% voor de hydrolyse vergisters en lijkt dus redelijk nauwkeurig als men zich bedenkt dat er onnauwkeurigheden zitten in de monsternamen en in de metingen. De organische stofafbraak in zowel de referentievergisters als de hydrolysevergisters is relatief laag omdat de voeding voor 80% uit secundair slib bestaat.

Uitgaande van een organische stof afbraak van 50% bij prim slib (28% as) kan de afbraak van secundair slib berekend worden:

TABEL 25 SCHATTING ORGANISCHE STOF AFBRAAK SECUNDAIR SLIB

	In [g os/d]	Uit [g os/d]	Afbraak [g os/d]	Afbraak [%]
<b>Primair slib</b>				
Ref	2,9	1,45	1,45	50%
Hydrolyse	6,6	3,3	3,3	50%
<b>Secundair slib</b>				
Ref	10,9	7,95	2,95	27%
Hydrolyse	24,5	13,8	10,7	44%
<b>Totaal</b>				
Ref	13,8	9,4	4,4	32%
Hydrolyse	31,1	17,1	14	45%

Op basis van de aanname dat het primair slib voor 50% afbreekt is de afbraak van de organische fractie in secundair slib 27% in de referentie vergisters en 43,7% in de TSO-vergisters. Dit is een verhoging van 62%. Een verhoging van de ingeschatte afbraak van primair slib naar 60% leidt tot de afbraak van de organische fractie in secundair slib 24,4% in de referentie vergisters en 41% in de TSO-vergisters. Dit is een verhoging van 68%.

Uit tabel 24 blijkt dat de voeding van de hydrolyse vergisters een iets hoger asgehalte heeft dan de voeding van de referentie vergisters. Dit wordt veroorzaakt door een organische stof verlies tijdens thermische slibontsluiting. Het CZV gehalte neemt door thermische slibontsluiting af van 987 mg/kg ds naar 935 mg/kg ds (-5,3%). Het asgehalte neemt toe van 32% naar 32,5% (+1,5%). Het staat niet vast wat de oorzaak is van de CZV afname. Het CZV verlies via het quench water (water waarmee stoom gekoeld wordt) is slechts 0,1%. Het eerste deel stoom dat vrij komt bij het verlagen van de druk van 6 bar naar 2 bar wordt niet gekoeld. Hier zitten mogelijk veel vetzuren in.

Een andere verklaring voor de afname van het CZV gehalte is dat de slibmonsters niet aangezuurd zijn. Vluchtige vetzuren die ontstaan tijdens de ontsluiting vervluchtigen mogelijk in de tijd tussen monsternamen en CZV bepaling.

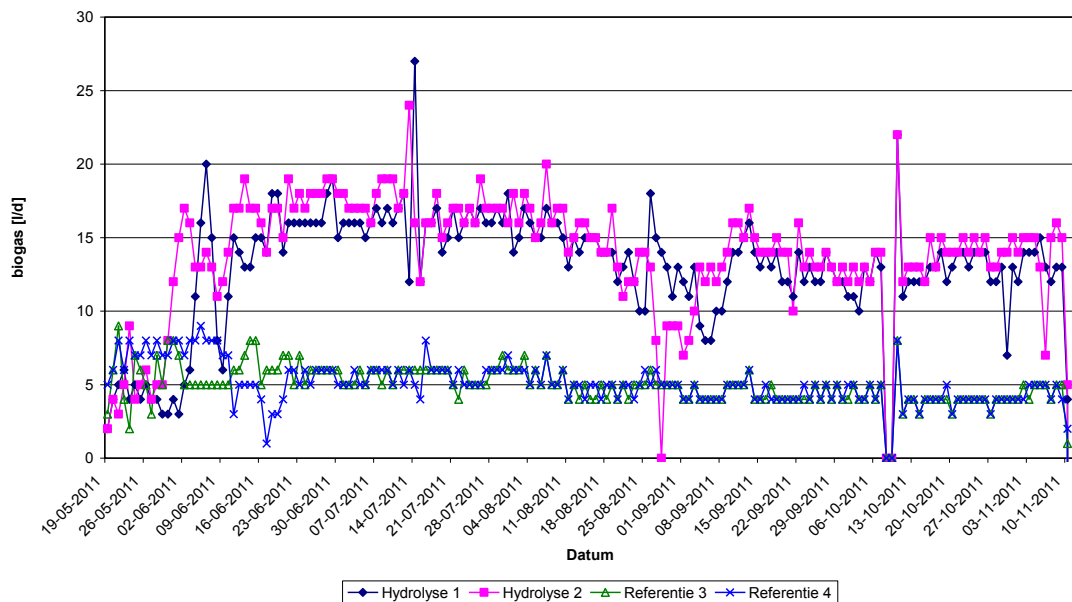
De toename van het asgehalte zou kunnen worden verklaard door een gedeeltelijke omzetting van organische stof naar CO<sub>2</sub> tijdens thermische slib ontsluiting.

### 6.3.2 BIOGASPRODUCTIE

Het effect van TSO is naast de organische stofafbraak ook af te leiden uit de specifieke biogasproductie. Om een indruk te geven van het verloop van de proef, is in Afbeelding 16 de absolute biogasproductie weergegeven van alle vier de vergisters.

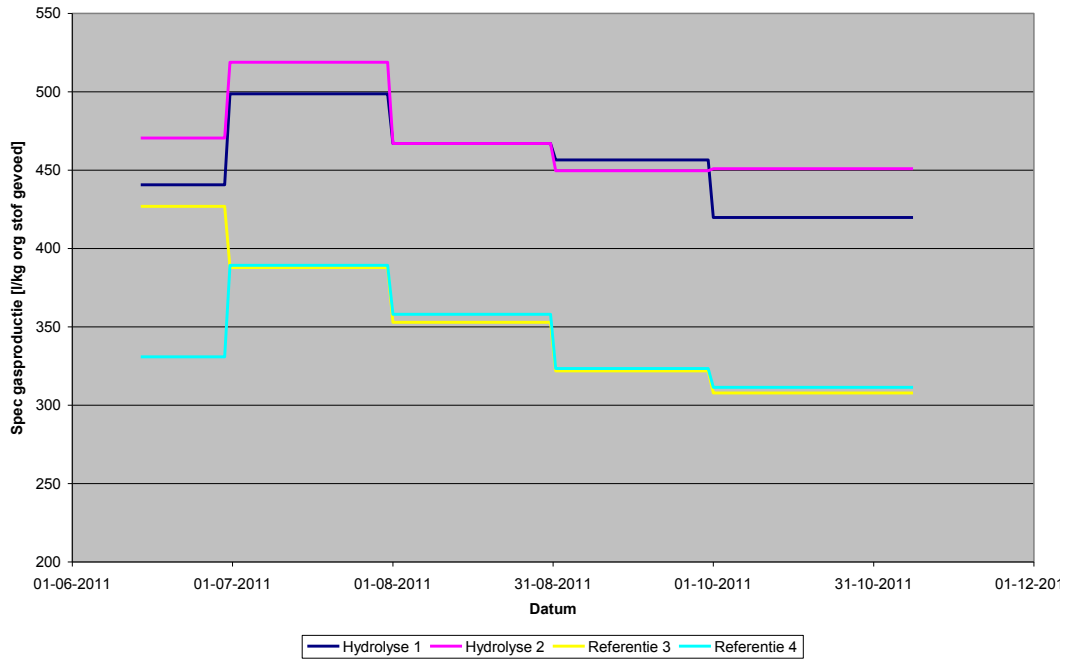
Uit de afbeelding wordt duidelijk dat de hydrolyse vergisters ongeveer 3 keer zoveel biogas produceren. Overigens dient hier wel rekening te worden gehouden met het feit dat de voeding van de hydrolyse reactoren ca 2,3 maal zo hoog was als in de referentiereactoren. Als dit wordt verdisconteerd is de gasproductie in de hydrolyse reactoren ca 32 % hoger dan bij de referentievergisters. In de maand mei was nog sprake van opstartproblemen bij de hydrolysevergisters maar vanaf juni hebben alle vergisters min of meer stabiel gedraaid. In augustus is een daling te zien in de gasproductie die te wijten is aan een dalende organische stofbelasting, zie Afbeelding 14. Overige pieken en dalen worden veroorzaakt door kapotte gasmeters en een voeding die is overgeslagen.

AFBEELDING 16 ABSOLUTE BIOGASPRODUCTIE VAN DE TSO EN REFERENTIEVERGISTERS



In tabel 17 is de maandgemiddelde specifieke gasproductie [l/kg OS gevoed] weergegeven. Wat opvalt is dat de specifieke gasproductie gestaag bij alle vergisters daalt vanaf de zomer. Dit lijkt een gevolg van aërobe mineralisatie van het secundaire slib. Het “zomerslib” is vergaand gemineraliseerd en levert als gevolg hiervan minder biogas op. De specifieke gasproductie is in de hydrolyse vergisters hoger dan in de referentievergisters +20% (juni), +30% (juli, augustus) + 40% (sept, oktober). Het verschil in specifieke biogasproductie tussen de beide TSO-vergisters in juli en oktober is opvallend. Voor de referentievergisters is een dergelijk verschil niet waarneembaar.

AFBEELDING 17 MAANDGEMIDDELTE SPECIFIEKE GASPRODUCTIE



### BIOGASMETINGEN

Wekelijks is het opgevangen biogas met een detector bepaald op  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  en  $\text{O}_2$ . De resultaten zijn opgenomen in de bijlage. Het blijkt dat er geen duidelijk verschil is tussen de methaangehalten in het biogas van de verschillende vergisters. Gedetecteerd zuurstof kan worden verklaard doordat de gaszak niet helemaal afgesloten was tijdens de meting. Als hiervoor gecorrigeerd wordt, is het  $\text{CH}_4$  gehalte ongeveer 65%.

Van elke vergister is eveneens een gasmonster geanalyseerd op siloxaanverbindingen. Deze analyses geven ook geen eenduidige verschillen tussen de verschillende vergisters. De resultaten zijn opgenomen in bijlage 4.

### 6.3.3 CZV-BALANS

In tabel 26 en 27 staan de resultaten van de CZV en P metingen als gemiddelde over de meetperiode. De balans voor CZV is vrij nauwkeurig en voor P is deze iets minder nauwkeurig. Dit laatste kan te maken hebben met het feit dat een deel van het P als struviet ergens in de reactor of de monsterpotten is neergeslagen.

TABEL 26 GEGEVENS P- EN CZV-BALANS

	Voeding [g/d]	Ds [%]	P [g/kg ds]	CZV [mg/kg ds]	P [mg P/d]	CZV [g CZV/d]
Voeding referentie	443	4,5	26,6	1062	530	21,2
Voeding hydrolyse	438	10,4	27,8	1043	1266	47,5
Uitgegist referentie	429	3,44	31,3	938	461	13,8
Uitgegist hydrolyse	400	7,37	37,7	896	1111	26,4
Biogas referentie [l/d]	4,8					7,9*
Biogas hydrolyse [l/d]	14,3					23,6

\*CZV biogas is berekend op basis van 65% CH<sub>4</sub>, 0,72 kg CH<sub>4</sub>/Nm<sup>3</sup>, temperatuur 37 °C

TABEL 27 P-BALANS EN CZV-BALANS

	In (mg P/d)	Uit (mg P/d)	In/Uit
Referentie	530	461	1,14
Hydrolyse	1266	1111	1,14
CZV-balans	In (g CZV/d)	Uit (g CZV/d)	In/Uit
Referentie	21,2	21,7	0,98
Hydrolyse	47,5	50,0	0,95

#### 6.3.4 SAMENSTELLING REJECTIEWATER

Toepassing van thermische hydrolyse zou een verhoging van het gehalte inert CZV in het centraat met zich meebrengen. Om dit te testen zijn een paar metingen gedaan aan handmatig ontwaterde slibmonsters. Op labschaal is een aantal slibmonsters (100 ml, 7,5% ds) uit de hydrolysevergisters ontwaterd door polymeer toe te voegen. De bovenstaande waterfase is geanalyseerd op CZV, BZV en PO<sub>4</sub>-P. In tabel 28 zijn de analysesresultaten weergegeven waarbij er gecorrigeerd is voor verdunning door polymeer.

Het is onduidelijk welke fractie van het CZV in het centraat wordt afgebroken in de waterlijn. Een indicatie hiervoor is verkregen door het BZV van deze stroom te bepalen. Uitgaande van de aanname dat alleen de BZV fractie in de waterlijn wordt afgebroken, is de inerte CZV fractie te bepalen als het verschil tussen CZV en BZV. Een belangrijke kanttekening is dat de BZV bepaling in het algemeen een lagere waarde laat zien dan de BZV afbraak in de praktijk. Deze aanname geeft dus een overschatting van de hoeveelheid inert CZV. Op grond van voorgaande aannames en analyses is een inerte CZV vracht te berekenen van 16-40 kg CZV/ton ds ontwaterd slib. Of het centraat veel of weinig fines bevat, zal in belangrijke mate het gehalte inert CZV bepalen.

TABEL 28 SAMENSTELLING CENTRAAT

Vergister	CZV [mg/l]	BZV [mg/l]	CZV inert [mg/l]	PO <sub>4</sub> -P [mg/l]	NH <sub>4</sub> -N* [mg/l]	Kwaliteit rejectiewater
Hydrolyse	3820	803	3017	172	3.000	Fines
Referentie	1470	255	1215	129	850	Helder

\* = bepaald op basis van de gemiddelde concentratie in de vergisters.

De gepresenteerde getallen zijn op slechts twee metingen gebaseerd en zijn dus indicatief. Bovendien is onduidelijk wat er met het inerte CZV gebeurt als het rejectiewater nog in contact komt met actief slib.

Het gehalte ortho-fosfaat in het centraat van de referentievergister is lager dan in het centraat van de hydrolysevergister. De voeding van de hydrolysevergister is immers 2,3 keer geconcentreerder dan die van de referentievergister. Als hiervoor gecorrigeerd wordt is het gehalte aan ortho-fosfaat in het centraat van de TSO-vergister slechts 60 % van die van de referentievergister. De hoge pH in de hydrolyse vergisters (circa 8) lijkt een logische reden voor een laag gehalte ortho-P. Immers, bij een hoge pH zal een deel van het fosfaat precipiteren in het slib als struviet of calciumfosfaat.

Het gehalte aan ammonium is in de hydrolyse vergister duidelijk hoger dan in de referentievergister. Als gecorrigeerd wordt voor de hogere slibconcentratie in de hydrolysevergisters is de ammoniumconcentratie in de hydrolysevergisters ca 53 % hoger dan in de referentievergisters.

### 6.3.5 ONTWATERBAARHEID

Op basis van zogenaamde thermografiemetrische bepaling is bepaald welk drogestofgehalte haalbaar is met mechanische ontwatering. De gepresenteerde waarden van het haalbare drogestofgehalte met bijbehorend PE-verbruik vindt plaats op basis van relaties tussen labmetingen en behaalde resultaten van bestaande centrifuges en filterpersen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 29.

TABEL 29 ONTWATERBAARHEID UITGEGIST SLIB

	Haalbaar DS gehalte [%ds]	PE verbruik [kg PE/ton ds]	Eigen DS bepaling [%ds]
Uitgegist slib rwzi Hengelo	24,1	10	23,3
Uitgegist slib ref vergisters	26,0	10,5	-
Uitgegist slib hydr vergisters	33,9	18	-
Uitgegist slib hydr vergisters + Al toevoeging	34,5	16	-

Uit de ontwateringstesten valt op dat de ontwaterbaarheid van het slib enorm verbetert van ca. 25% naar 34%. Dit is een relatieve toename van 35%. Op basis van de testen komt verder naar voren dat het polymeerverbruik aanzienlijk stijgt. Hier hoort wel een kanttekening bij geplaatst te worden, omdat het polymeerverbruik afhankelijk is van de ontwateringstechniek. Gebruik van centrifuges zal waarschijnlijk een hoger polymeerverbruik met zich meebrengen omdat het slib snel ontwaterd moet worden. Bij een zeefbandpers ligt het polymeerverbruik waarschijnlijk lager. Testen met een zeefbandpers zijn helaas niet uitgevoerd bij vergelijkbare PE-verbruiken. Hierdoor is niet duidelijk hoe de ontwaterbaarheid van het referentieslib verandert bij een verhoging van het PE-verbruik. Andersom is voor het hydrolyseslib niet duidelijk hoeveel de ontwaterbaarheid daalt bij een afname van het PE-verbruik.

Uit vergelijking van de drogestofgehaltes van het ontwaterde slib van rwzi Hengelo met de bestaande centrifuge en de haalbaar geachte waarde van datzelfde slib is volgens de thermografiemetrische methode het verschil slechts 0,8% (absoluut). Onduidelijk is wat de betrouwbaarheid is van de waarden van het hydrolyseslib, maar op basis van overige testen wordt een onnauwkeurigheid aangehouden van gemiddeld 1,5% (absoluut).

Het toevoegen van Al leidt tot een beperkte extra toename van de ontwaterbaarheid en tot een kleine verlaging van het PE-verbruik. Tegenover de besparingen op PE-verbruik staat de dosering van Al.



## 7

## EVALUATIE ONDERZOEKEN

## 7.1 INLEIDING

In de vorige twee hoofdstukken zijn de onderzoeken, die zijn uitgevoerd op rwzi Amersfoort en rwzi Hengelo, separaat beschreven. In dit hoofdstuk zijn deze onderzoeken geëvalueerd. Deze evaluatie is nadrukkelijk niet bedoeld om een vergelijking te kunnen maken tussen verschillende technieken. Voor een dergelijke vergelijking zijn de geteste slibsamenstellingen en de schaalgrootte van het uitgevoerde onderzoek te afwijkend.

In tabel 30 is voor het onderzoek op rwzi Amersfoort een overzicht gegeven van de performance van de beide vergisters voor wat betreft de slibsamenstelling, de organische stofafbraak en de specifieke biogasproductie.

TABEL 30 OVERZICHT VAN DE PERFORMANCE VAN DE VERGISTERS TIJDENS DE VERSCHILLENDE FASES VAN HET ONDERZOEK OP RWZI AMERSFOORT

Parameter	eenheid	Fase 1		Fase 2		Fase 3A		Fase 3B	
		TSO	REF	TSO	REF	TSO	REF	TSO	REF
Ingaande DS	%	4,9	5,0	5,0	5,0	4,5	4,8	7,9	4,6
Ingaande OS	% van DS	70	71,3	67,7	71,3	69,9	75,7	72,1	73,8
Verhouding PS:SS	drogestof	35:65	35:65	35:65	35:65	0:100	0:100	0:100	0:100
Verblijftijd	Dagen	20	20	12	20	20	20	20	20
OS-afbraak	%	54	44	54	46	48	33	44 <sup>1</sup>	32
Biogasproductie	l/kg ODS <sub>gevoed</sub>	450	380	465	380	455	335	450	355
Biogasproductie	l/kg ODS <sub>verwijderd</sub>	840	865	850	815	985	965	1.010	1.100

1 De betrouwbaarheid van dit getal is beperkt aangezien de vergisting in fase 3B niet optimaal verliep.

De organische stofafbraak in fase 1 en 2 heeft betrekking op een mengsel van primair en secundair slib. In fase 3 is alleen secundair slib verwerkt. Op basis van een aanname van de afbreekbaarheid van de organische stof in het primair slib is een uitspraak te doen over het extra effect op de afbraak van het secundaire slib. Dit wordt nader uitgewerkt in paragraaf 7.2.

TABEL 31 OVERZICHT VAN DE PERFORMANCE VAN DE VERGISTERS TIJDENS HET ONDERZOEK OP RWZI HENGELO

Parameter	eenheid	TSO	REF
Ingaande DS	%	10,4	4,5
Ingaande OS	% van DS	68,2	69,2
Verhouding PS:SS	DS-basis	20:80	20:80
Verblijftijd	Dagen	20	20
OS-afbraak	%	45	32
Biogasproductie	l/kg ODS <sub>gevoed</sub>	450	335
Biogasproductie	l/kg ODS <sub>verwijderd</sub>	1.160	1.110

In tabel 31 is voor het onderzoek op rwzi Hengelo een overzicht gegeven van de performance van de beide TSO en REF-vergisters voor wat betreft de droge- en organische stofafbraak en de biogasproductie.

In de volgende paragrafen worden per onderwerp de resultaten besproken.

## 7.2 DROGE- EN ORGANISCHE STOFABBRAAK

De vraag die centraal stond, was hoeveel extra afbraak van organische stof kan worden gerealiseerd door toepassen van TSO? Hoewel in het onderzoek zowel de droge- als de organische stoffracties zijn bepaald, wordt in deze evaluatie alleen het effect op de organische stofafbraak behandeld, omdat uiteindelijk alleen de organische stof wordt omgezet in biogas. Op basis van de bevindingen bij het onderzoek op rwzi Amersfoort, zit er een discrepantie tussen de droge- en organische stofafbraak. Dit is waarschijnlijk te wijten aan monster- en meetonnauwkeurigheden.

Vanwege de hogere monsterfrequentie van de drogestofbepaling ten opzichte van de organische stofbepaling zou de drogestofmeting betrouwbaarder moeten zijn dan de organische stofmeting. In hoofdstuk 5 is de discrepantie tussen drogestof en organische stof nader toegelicht. Om verwarring tussen de verschillende afbraakpercentages te voorkomen hebben de conclusies in deze evaluatie betrekking op de organische stofafbraak op basis van de aannames en bevindingen uit hoofdstuk 5 en 6.

De organische stofafbraak in zowel fase 1 en 2 van het onderzoek op rwzi Amersfoort als het onderzoek op rwzi Hengelo hebben betrekking op een mengsel van primair en secundair slib. Bij het onderzoek op rwzi Amersfoort leidt toepassen van TSO tot een gemiddelde verbetering van de afbraak van organische stof met een factor 1,25 in een mengsel van 35% primair slib en 65% secundair slib. Bij het onderzoek op rwzi Hengelo is de afbraak van organische stof een factor 1,4 groter in de TSO vergister dan in de referentie bij een mengsel van 20% ds primair slib en 80% ds secundair slib.

In de praktijk zal de verhouding in de hoeveelheid primair en secundair slib per rwzi en per dag verschillen. Het is daarom van belang een inschatting te maken van het effect van TSO op alleen secundair slib in de mengsels van primair en secundair slib. Op basis van een aanname van de afbreekbaarheid van de organische stof in het primair slib is dit effect te berekenen. In de slibketenstudie<sup>[29]</sup> wordt een maximale afbraak van organische stof in primair slib van 65% aangehouden. Metcalf& Eddy geeft voor een mesofiele gisting bij een verblijftijd van 20 dagen een waarde op van 60%. Er van uitgaande dat het primaire slib niet maximaal wordt afgebroken kan een afbraakpercentage van 50 – 60 % worden aangehouden. De afbraak van organische stof in het secundaire slib bij het mengsel op rwzi Amersfoort is op basis van deze aanname in beide fasen respectievelijk 40% en 35% in de REF-vergister en 55% en 50% in de TSO-vergister. Dit is een toename met een factor van respectievelijk 1,38 en 1,42.

De afbraak van organische stof in het secundaire slib bij het mengsel op rwzi Hengelo is op basis van deze aanname respectievelijk 27% en 24% in de REF-vergisters en 44% en 41% in de TSO-vergisters. Dit is een toename met een factor van respectievelijk 1,6 en 1,7.

Uit bovenstaande blijkt dat het effect van toepassen van TSO sterk afhankelijk is van de aanname van de afbreekbaarheid van de organische fractie in primair slib. In fase 3 van het onderzoek op rwzi Amersfoort is de organische stofafbraak bepaald bij vergisting van alleen secundair slib. Hierbij leidt het toepassen van TSO tot een verbetering van de afbraak van

organische stof met een factor 1,4. Dit komt overeen met de bevindingen van fase 1 en 2 van het onderzoek op rwzi Amersfoort. Het aangetoonde effect bij het onderzoek op rwzi Hengelo is significant hoger. Het is niet duidelijk waardoor dit verschil veroorzaakt wordt, maar een mogelijke oorzaak moet gezocht worden in de relatief lage afbraak in de referentievergisters bij de testen op de rwzi Hengelo.

Als de verblijftijd verlaagd wordt van 20 naar 12 dagen blijft de afbraak van organische stof vergelijkbaar. Omdat deze waarneming gebaseerd is op de metingen gedurende één slibleeftijd, moet bij de interpretatie van de resultaten de nodige voorzichtigheid betracht worden.

Het verhogen van de organische stofbelasting door het slib verder te ontwateren en het voedingsdebiet niet in dezelfde mate te verlagen laat bij de test op rwzi Amersfoort een afname zien van de afbraak van organische stof ten opzichte van de afbraak zonder extra voorontwatering. Een eenduidige verklaring van deze afname is niet te geven, omdat in dezelfde periode ook een periode is opgetreden van verzuring en een lagere methaanproductie, mogelijk door een te snelle omschakeling naar een hogere belasting.

De test op rwzi Hengelo laat zien dat afbraak van slib bij een hogere organische stofbelasting goed mogelijk is. Het slib waarmee de vergisters geënt zijn, is wel geadapteerd aan verhoogde ammoniumconcentraties.

Het toepassen van TSO leidt tot een toename van de afbraak van organische stof. Dit is zowel in het onderzoek op rwzi Amersfoort als in het onderzoek van rwzi Hengelo aangetoond. Door de verschillende procescondities en schaalgroottes van de onderzoeken is er echter geen absoluut getal te geven. Wel kan een range gegeven worden van de te verwachten toename van de organische stof afbraak van het secundaire slib met een factor 1,25-1,45. Bij een beperkte afbraak van organische stof van secundair slib in de referentiesituatie, kan de afbraak toenemen tot een factor 1,6 (zie onderzoek rwzi Hengelo).

Op basis van de testen in Amersfoort en Hengelo kan worden geconcludeerd dat hoe groter de afbraak in de referentievergister is, des te kleiner is de extra afbraak door toepassen TSO.

### 7.3 BIOGASPRODUCTIE

De specifieke biogasproductie op het slib van rwzi Amersfoort uitgedrukt per kg  $OS_{\text{gevoed}}$  is in fase 1 en 2 voor de TSO-vergister ca. 450 l/kg  $OS_{\text{gevoed}}$  en voor de REF-vergister is deze 380 l/kg  $OS_{\text{gevoed}}$ . Dit is een toename met een factor 1,18 en hiermee vergelijkbaar met de toename in organische stofafbraak in fase 1 en 2 met respectievelijk een factor van 1,22 en 1,17. De specifieke biogasproductie op het slib van rwzi Amersfoort is ca. 850 l/ $OS_{\text{verwijderd}}$  voor de beide vergisters tijdens fase 1 en 2. Toepassen van TSO heeft dus geen extra biogasproductie per kg afgebroken organische stof tot gevolg. De toename in biogasproductie is te verklaren door de extra afbraak in organische stof.

De specifieke biogasproductie op het secundair slib van rwzi Geestmerambacht uitgedrukt per kg  $OS_{\text{gevoed}}$  is voor de TSO-vergister ca. 455 l/kg  $OS_{\text{gevoed}}$  en voor de REF-vergister is deze 345 l/kg  $OS_{\text{gevoed}}$ . Dit is een toename met een factor 1,26 en hiermee vergelijkbaar met de toename in organische stofafbraak met een factor 1,30. De specifieke biogasproductie op het slib van rwzi Geestmerambacht ca. 1.000 l/kg organische stof<sub>verwijderd</sub> voor de beide vergisters.

De specifieke biogasproductie op het slib van rwzi Hengelo is gemiddeld over de gehele periode voor de TSO-vergister ca. 450 l/kg OS<sub>gevoed</sub> en voor de REF-vergister is deze 335 l/kg OS<sub>gevoed</sub>. Dit is een toename met een factor 1,35. Deze toename komt redelijk overeen met de toename in organische stofafbraak met een factor van ca 1,40.

De specifieke biogasproductie op het slib van rwzi Hengelo is over de gehele periode is gemiddeld ca. 1.160 l/kg OS<sub>verwijderd</sub> voor de TSO-vergister en 1.110 l/kg OS<sub>verwijderd</sub> voor de REF-vergister. Beide waarden zijn uitzonderlijk hoog. Op basis van de resultaten is het niet mogelijk om eenduidige conclusies te trekken over de specifieke biogasproductie (l/per kg OS<sub>verwijderd</sub>) bij het onderzoek op rwzi Hengelo. In de slibketenstudie<sup>[29]</sup> wordt uitgegaan van een specifieke biogasproductie van 854 m<sup>3</sup>/kg OS<sub>verwijderd</sub>.

Het toepassen van TSO leidt tot een toename van de biogasproductie als gevolg van de extra afbraak van organische stof. Dit is zowel in het onderzoek op rwzi Amersfoort als in het onderzoek van rwzi Hengelo aangetoond. De extra biogasproductie is gelijk aan de extra organische stofafbraak.

Ten aanzien van de specifieke biogasproductie is de conclusie minder éénduidig. Door de relatief grote spreiding in de droge- en organische stofgetallen van in- en uitgaande stromen is de spreiding in de berekende waarden groot en kan geen absolute waarde worden gegeven aan de specifieke biogasproducties. Het is wel duidelijk dat het toepassen van TSO niet leidt tot een grotere specifieke biogasproductie per kg OS<sub>verwijderd</sub>.

#### 7.4 REJECTIEWATERSAMENSTELLING

Omdat slibdesintegratie de structuur en afbraak van het slib beïnvloedt, is het te verwachten dat de inzet van desintegratie de kwaliteit van het rejectiewater na vergisting beïnvloedt<sup>[22]</sup>. Deze kwaliteit is van belang aangezien deze bepalend is voor de retourbelasting. Hierbij spelen enerzijds de kosten die nodig zijn voor het zuiveren van deze retourstroom en anderzijds de effluentkwaliteit (met name als de rwzi al volbelast is). Daarom is de concentratie van de volgende stoffen nader bekeken tijdens het onderzoek: ammonium-stikstof, fosfaat en CZV.

##### STIKSTOF

Bij de vergisting van stikstofhoudend organisch materiaal, zoals zuiverings-slib, komt stikstof vrij in de vorm van ammonium. Een toename van de anaërobe afbraak van organische stof leidt dan ook tot een toename van ammonium in de gisting en na ontwatering van het uitgiste slib ook in het rejectiewater. Deze toename is zowel bij het onderzoek op rwzi Amersfoort als op rwzi Hengelo vastgesteld. De toename in stikstofconcentratie is enerzijds van belang omdat deze van invloed kan zijn op het vergistingsproces (vergiftiging) en anderzijds doordat het bepalend is voor de N-vracht naar de waterlijn en dus een negatieve invloed kan hebben op de effluentkwaliteit. In de TSO-vergister is de afbraak van organische stof groter dan in de referentievergister en dus is de stikstofvracht groter die vrijkomt. Daarnaast wordt het slib in de TSO-vergister meer ingedikt, waardoor de vrijkomende stikstofvracht in een kleiner volume rejectiewater terecht komt, waardoor de concentratie sterk kan oplopen. De toename van de ammoniumconcentratie is vrijwel rechtevenredig met de organische stofafbraak en het indikkingseffect van de ingaande slibstroom. Bij de afbraak van slib (met 6%N op DS basis) met een drogestofgehalte van 6% komt na toepassen van TSO (met een afbraak van 45,5% van de organische stof t.o.v. een conventionele vergister met een afbraak van 35%) een extra N-vracht vrij van 380 g N per m<sup>3</sup> toegevoerd slib.

### FOSFAAT

De invloed van TSO op de hoeveelheid fosfaat in het rejectiewater na vergisting is niet zo eenduidig als bij stikstof. Dit is ook gebleken uit de onderzoeken die beschreven zijn in hoofdstuk 3 en in de slibketenstudie<sup>[22]</sup>. In de meeste gevallen neemt de hoeveelheid fosfaat toe bij toenemende afbraak, maar er lijkt geen eenduidig verband te zijn tussen afbraak en de fosfaatconcentratie. Bij het onderzoek op rwzi Hengelo neemt de concentratie in de TSO-vergisters toe ten opzichte van de REF-vergisters. Maar hoewel het drogestofgehalte van het ingaande slib 2 keer zo hoog is, is de toename in de fosfaatvrucht lager dan een factor 2. Waarschijnlijk precipiteert een deel van het vrijkomende fosfaat direct in het slib.

Er is ook geen duidelijk verschil te zien in fosfaatconcentratie in het rejectiewater bij rwzi's met (Amersfoort) en zonder (Hengelo) biologische fosfaatverwijdering. Afbraak van bio-P slib (met ca. 2,5%P op basis van DS) zou leiden tot een grotere toename van de fosfaatvrucht in het rejectiewater. Bij slib uit rwzi's met chemische fosfaatverwijdering worden immers kristallen gevormd zodat het fosfaat wordt vastgelegd in het slib.

### CZV

De concentratie CZV in het rejectiewater neemt toe. Blijkbaar wordt er door de TSO een moeilijk afbreekbare CZV-fractie gevormd die slechts gedeeltelijk afgebroken kan worden in de vergister. Volgens de literatuur blijkt de extra CZV in het rejectiewater ten gevolge van TSO die niet afgebroken wordt in de vergisting, grotendeels wel afbreekbaar is in een aëroob milieu<sup>[22]</sup>. Dit is niet getest in de voorliggende studie.

### ZWARE METALEN

Op basis van eerder onderzoek<sup>[22]</sup> komt naar voren dat zware metalen direct na de des-integratiestap gemobiliseerd worden door de ontsluiting van het slib, waardoor de concentratie in de waterfase toeneemt. Door de verdere afbraak van organisch materiaal kan de hoeveelheid slibgebonden metaal afnemen. Dit effect is tijdelijk, tijdens de verdere behandeling en stabilisatie van het slib binden de zware metalen weer aan de slibmatrix<sup>[22]</sup>.

Er zijn enkele indicatieve metingen uitgevoerd naar de concentratie zware metalen in het rejectiewater. Deze metingen bevestigen dat wat in de literatuur is beschreven.

## 7.5 ONTWATERBAARHEID

De ontwaterbaarheid is in beide onderzoeken uitgebreid onderzocht. De hoeveelheid slib was echter beperkend voor de schaalgrootte van de uit te voeren testen. Bij beide onderzoeken zijn verschillende methoden toegepast om de effecten van TSO op de ontwaterbaarheid te kunnen meten. Op basis van de verschillende methoden neemt het drogestofgehalte van het uitgegiste ontwaterde TSO-slib toe met een factor 1,3 tot 1,4 ten opzichte van de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib uit de REF-vergister. Uitgaande van een toename met een factor van 1,3 en een drogestofgehalte na ontwatering van 23% voor toepassing van TSO stijgt het drogestofgehalte na ontwatering naar 30%. Aangezien er nog geen resultaten bekend zijn van fullscale toepassingen op Nederlands slib, dient dit getal met de nodige voorzichtigheid gebruikt te worden.

Ook kunnen er nog geen uitspraken gedaan worden over de centraat of filtraatvervuiling bij de ontwatering met full-scale apparatuur, aangezien de vervuiling (hoeveelheid fines) bepaald wordt door de belasting van de ontwateringsapparatuur en deze vervuiling omgekeerd evenredig is met de toename van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Hogere drukken op het slib voor een hoger einddrogestofgehalte leidt dus tot een filtraat of centraat met meer vervuiling.

Een extra overweging bij de ontwatering van het uitgegiste slib is de keuze van het PE. Op basis van de testen komt naar voren dat de keuze zeer bepalend is voor het verbruik en de te behalen drogestofgehalten. Het uitgegiste slib bestaat immers uit zeer kleine deeltjes, waarvoor een specifiek PE nodig is. Het PE met een hogere vertakkingsgraad leidt tot een beter afscheidingsrendement en een hoger haalbaar drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Een keuze voor het type PE of het PE-verbruik is mede afhankelijk van het gewenste einddrogestofgehalte. Een kosten-baten analyse kan bepalen wat het optimale PE-verbruik is.

# 8

## TOEPASSING IN DE NEDERLANDSE PRAKTIJK

Naast de aspecten die van belang zijn voor het ontwerp en de economische haalbaarheid spelen ook aspecten op het gebied van bedrijfsvoering een rol. Hieronder wordt nader ingegaan op aspecten die hierbij van belang zijn.

### 8.1 BEHEER EN ONDERHOUD

Installaties met een hoge druk en temperatuur zijn niet gangbaar op een rwzi. Het is dan ook belangrijk dat het personeel dat de installatie bedient en onderhoud, maar ook wacht- of storingsdiensten draait, goed op de hoogte is van de risico's van dergelijke installatieonderdelen. Veelal zal de leverancier een cursus geven aan bedienend personeel e.d. Tevens is een vergaande mate van automatisering noodzakelijk om ongelukken te vermijden. Tenslotte zal ook het onderhoud door gespecialiseerde bedrijven moeten worden uitgevoerd (bijvoorbeeld via de leverancier).

Op [www.stoomwezen.nl](http://www.stoomwezen.nl) is meer informatie te vinden over aspecten die een rol spelen bij keuringen van nieuwe installatie, herkeuringen na bijvoorbeeld onderhoud en opleidingen van personeel.

### 8.2 RISICO'S

De risico's bij het toepassen van thermische slibontsluiting op een rwzi hebben niet alleen betrekking op fysieke risico's, maar ook op procestechnologische risico's. Door een goed ontwerp zijn de risico's als gevolg van het toepassen van hoge druk en temperatuur goed te beheersen. Er dient bij het ontwerp voldoende aandacht te zijn voor deze aspecten. Door overdrukbeveiliging en goede temperatuurcontrole toe te passen zijn deze risico's goed beheersbaar. Door het stellen van kwaliteitseisen aan de TSO-unit is deze bestand tegen hoge druk en temperatuur gedurende een langere tijd in relatie met de eventuele slijtage.

Risico's ten aanzien van procestechnologische aspecten:

- Beschikbaarheid: Een hoge beschikbaarheid van de TSO + voorbehandeling is van belang voor het behalen van het rendement en ook voor het goed functioneren van de slibgisting. Bij de beschikbaarheid dient ook de benodigde 'down time' voor onderhoud te worden afgewogen in relatie met het opstellen van reserve apparatuur.
- De slibgisting wordt bij hoge ds-gehalten bedreven. Als de TSO niet goed functioneert, neemt de viscositeit toe en zal de menging in de slibgisting slechter kunnen worden wat resulteert in een geringere afbraak. Dit is met name van belang als er meerdere slibsoorten worden verwerkt en de verschillende slibstromen verschillende concentraties hebben na indikken of ontwateren.

- Het risico dat het proces (al dan niet tijdelijk) niet functioneert als waar bij het ontwerp van uitgegaan is. Dit kan bijvoorbeeld komen doordat de slibkwaliteit of slibhoeveelheid is veranderd of de omstandigheden in de TSO-unit niet optimaal zijn om het slib goed voor te behandelen (rendement van bepaalde onderdelen neemt af). Het is dan ook nodig om regelmatig het functioneren van de TSO-unit te beoordelen. Dit kan onder andere door de verhouding  $CZV_{\text{totaal}}$  en  $CZV_{\text{opgelost}}$  te bepalen, welke een maat is voor het 'kraken' van het slib.
- Een ander procestechnologisch risico is dat de vergisting niet optimaal werkt door een vergiftiging als gevolg van de hogere afbraak na toepassen van TSO. Met name de  $NH_4-N$  concentratie in relatie met de pH is een belangrijk aandachtspunt. De maximaal toelaatbare concentratie is sterk afhankelijk van de adaptatie van het proces aan de ammoniumconcentratie, maar over het algemeen vindt zonder adaptatie remming plaats boven de 3.000 mg  $NH_4-N/l$ . Bij hogere concentraties is gisting zeker mogelijk na adaptatie van het slib aan hogere concentraties tot ca 5.000 mg  $NH_4-N /l$ . Door regelmatig de pH, vetzuur- en  $NH_4-N$  -concentratie, alkaliniteit en de specifieke biogasproductie te bepalen, kan beoordeeld worden of er sprake is van remming van het gistingproces en kan actie worden ondernomen om de juiste procesomstandigheden te herstellen.

Voor de financiële haalbaarheid van de thermische slibontsluiting is de prestatie van de slibontwatering essentieel. Op basis van de testen komt naar voren dat de keuze van PE heel belangrijk is om een optimaal ontwateringsresultaat te behalen en de grotere hoeveelheid fines in het centraat of filtraat af te vangen. Het is dan ook van belang om te kunnen beschikken over PE voor een optimale ontwatering. Dit PE kan sterk afwijken van het PE dat voor de huidige ontwatering bij conventionele gisting wordt gebruikt.

In een contract met een slibeindverwerker zijn over het algemeen afspraken gemaakt over de slibsamenstelling van het te verwerken slib. Afhankelijk van het contract kan het een risico zijn dat het slib minder goed afgezet kan worden, of tegen hogere kosten. Aspecten die van belang zijn, zijn drogestof- en organische stof gehalte van het ontwaterde slib, die de verbrandingswaarde van het slib bepalen. Het is dan ook van belang om de afspraken met de eindverwerker goed te communiceren als thermische slibontsluiting op de rwzi wordt toegepast. In het algemeen kan echter gesteld worden dat door de verhoging van het drogestofgehalte na ontwatering de energiewaarde per ton ontwaterd slib bijna gelijk zal blijven.

### 8.3 VERGUNNINGVERLENING

#### GEUR

Het principe van TSO is het onder hoge temperatuur en bijbehorende druk koken van slib. Hierbij worden de celstructuren gekraakt waardoor er in de aansluitende gistingstap een snellere en verdergaande afbraak gerealiseerd wordt. Deze kookstap zorgt voor een toename van onder andere vluchtige vetzuren, die een typerende geur hebben. Er zijn verschillende uitvoeringen van TSO, maar kenmerkend voor deze systemen is dat deze geheel gesloten zijn, teneinde de hoge druk die nodig is bij het proces te kunnen handhaven.

Door overdrukbeveiligingen bestaat wel de mogelijkheid dat lucht wordt afgelaten. Deze kortstondige uitstoot van lucht bevat naar verwachting veel geurcomponenten. In de vergunning wordt ten aanzien van geur een 98-percentiel waarde van de geurimmissie gehanteerd. Dit betekent dat het toegestaan is om in 2% van de tijd piekemissies te hebben. Als deze piekemissies tot overlast leiden is het wel zaak om deze te minimaliseren of zelfs geheel te voorkomen.



## GELUID

De onderdelen die samenhangen met het realiseren van een TSO-installatie kunnen zorgen voor een hogere geluidsdruk op de rwzi. Afhankelijk van het ontwerp betreft dit de volgende onderdelen: pompen, mengers, stoomafblazen, ventilatoren van gebouwen, WKK-unit. Voor alle onderdelen is het goed mogelijk om de geluidsproductie in te schatten. Afhankelijk van de geluidsruimte op een rwzi kan het nodig zijn om maatregelen te nemen om de bronvermogens van installatieonderdelen te verlagen.

## 8.4 HAALBAARHEID

De haalbaarheid van het toepassen van thermische slibontsluiting hangt van vele (locatie specifieke) aspecten af en zal daarom van geval tot geval moeten worden doorgerekend. In deze paragraaf wordt inzicht gegeven in de factoren die een rol spelen bij het bepalen van deze haalbaarheid. Er wordt nadrukkelijk niet naar gestreefd om aan de hand van een voorbeeldberekening een case door te rekenen. Zo is één van de factoren de sterke afhankelijkheid van de schaalgrootte van de installatie. Een andere factor is het redundant uitvoeren van de installatie in verband met de gewenste 'up time'. Wel wordt stil gestaan bij het rekenvoorbeeld uit het vooronderzoek, waarbij wordt geëvalueerd of de uitkomsten op basis van de nieuwe inzichten nog actueel zijn.

### 8.4.1 SCHAALGROOTTE

Op basis van eerdere studies naar de haalbaarheid van toepassen van thermische slibontsluiting, blijkt de schaalgrootte zeer belangrijk te zijn. De schaalgrootte die minimaal nodig is om thermische slibontsluiting haalbaar te maken, hangt af van de benodigde investeringen in relatie tot de verwerkingscapaciteit. Afhankelijk van de al beschikbare onderdelen van de gistinginstallatie en de kwaliteit en herbruikbaarheid hiervan, de beschikbare ruimte en (bouw) vergunningseisen (o.a. beperking bouwhoogte) verschilt de haalbaarheid per locatie enorm. Een ideale 'groene weide' variant zal in Nederland niet snel gerealiseerd gaan worden. Kortom, het zal dus per rwzi verschillen. De toename in jaarlijkse kosten moet opwegen tegen de extra energieproductie en besparing in slib(eind)verwerkingskosten. Hoewel de exacte minimale schaalgrootte niet te geven is, is wel duidelijk dat in Nederland weinig rwzi's van nature groot genoeg zijn voor rendabele toepassing van thermische slibontsluiting. Voor rendabele toepassing dienen dan externe slibstromen aangetrokken te worden. Deze stromen kunnen enerzijds bestaan uit stromen van andere rwzi's uit het beheersgebied of daarbuiten en anderzijds uit organische reststromen vanuit de industrie. Momenteel wordt bij het vergisten van zuiveringsslib al slib verwerkt van andere rwzi's. Het verwerken van organische reststromen uit de industrie vindt nog niet op grote schaal plaats. Rwwi Apeldoorn is de eerste rwzi waar grootschalige vergisting van organische reststromen plaatsvindt, overigens in een aparte gistingstank. Uitgaande van een minimale verwerkingscapaciteit van een gangbare TSO-installatie, is de minimale schaalgrootte ca. 6.000 ton DS/jaar.

### 8.4.2 INVESTERINGEN

Bij de benodigde investeringen voor het toepassen van thermische slibontsluiting speelt het een rol of het om een bestaande rwzi gaat, waar al gisting plaats vindt of dat het een rwzi zonder gisting is. Door het toepassen van TSO op een bestaande gisting zal er een toename van verwerkingsruimte ontstaan in de vergisting.

Bij een nieuwe situatie zonder gisting kan gekozen worden om een gisting, inclusief randapparatuur, te bouwen met een kleiner volume om zo een besparing te realiseren op de investeringskosten. Voordeel is wel dat de capaciteit optimaal kan worden afgestemd op de

nieuwe situatie. Voor het verhogen van de bedrijfszekerheid kan redundantie van belang zijn. Dit werkt kostenverhogend.

In een bestaande situatie met goed werkende gisting kan de extra vergistingscapaciteit die ontstaat door de toepassing van TSO benut worden om slib van andere rwzi's of organische reststromen te verwerken. Bij de bestaande situatie is het wel van belang om na te gaan of de capaciteit van de randapparatuur voldoende is voor de nieuwe wijze van slibverwerken. Het gaat hierbij met name om de capaciteit van de indikking, de WKK, de biogaslijn, de slibontwatering en de rejectiewaterbehandeling. Het bepalen van de inpasbaarheid van thermische slibontsluiting is maatwerk vanwege de vele verschillende situaties en aandachtspunten waarmee rekening moet worden gehouden.

Om een indruk te geven van de grootte van de investeringen van alleen de TSO-unit kan uitgegaan worden voor een verwerkingscapaciteit van 6.000 ton DS/jaar van een range van 2,4 – 4 miljoen euro. Deze range is afhankelijk van (extra) investeringen voor bijvoorbeeld randapparatuur voor indikking en biogasverwerking.

#### 8.4.3 JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN

De haalbaarheid van thermische slibontsluiting wordt over het algemeen gebaseerd op de jaarlijkse exploitatiekosten, die enerzijds bepaald worden door de afschrijvingen van de investeringen en anderzijds door de kosten voor de slib(eind)verwerking, gebruik van hulpstoffen en de productie en/of levering van energie. Bij het doorrekenen van de economische haalbaarheid is het belangrijk om de systeemgrenzen goed te definiëren. Als bijvoorbeeld al het slib verder ingedikt moet worden met behulp van mechanische indikkingsapparatuur, dienen de kosten die hiervoor nodig zijn meegenomen te worden in de berekening. Hetzelfde geldt voor de WKK en ontwateringsinstallatie. In het kader van deze studie wordt alleen ingegaan op de aspecten energie en slib(eind)verwerking, aangezien deze zeer bepalend zijn bij het vaststellen van de haalbaarheid.

#### ENERGIE

Een belangrijke drijfveer voor het toepassen van thermische slibontsluiting is de toename in energieproductie. Door het toepassen van thermische slibontsluiting neemt immers de gasproductie toe. Hier staat tegenover dat het op druk en temperatuur brengen en houden van de thermische slibontsluitingsunit ook energie kost. In tabel 32 is deze energiebehoefte opgenomen voor een installatie met een verwerkingscapaciteit van 6.000 ton DS/jaar. Het slib bestaat uit een mengsel van 40% primair en 60% secundair slib. In de conventionele situatie wordt 200 m<sup>3</sup> biogas/h gevormd. Toepassen van TSO leidt tot een toename van 50 m<sup>3</sup> biogas/h. De tabel geeft de hoeveelheid energie (in GJ/h) die nodig is om de ingaande slibstroom op te warmen tot de vereiste procestemperatuur in de TSO-unit. Er zijn in totaal 4 situaties gedefinieerd, waarbij de vereiste procestemperatuur verschilt en waarbij het toepassen van warmtewisselaars verschilt. Daarnaast wordt het verschil aangegeven indien de ingaande slibstroom verder wordt ingedikt. De ingaande slibstroom kan via een warmtewisselaar lopen waarbij deze opgewarmd wordt tot ca. 90°C met behulp van het reeds in de TSO-behandelde slib. Indien deze stroom niet via een warmtewisselaar loopt, dient deze opgewarmd te worden vanaf ca. 15°C. Vervolgens wordt het slib verder opgewarmd met behulp van stoom. In alle situaties is uitgegaan dat het water waarmee de stoom wordt geproduceerd is voorverwarmd tot 70°C met behulp van restwarmte van de gasmotor.

TABEL 32 ENERGIEBEHOEFTE (GJ/H) BIJ OPWARMING SLIB BIJ VERSCHILLENDE INDIKGRADEN SECUNDAIR SLIB (PRIMAIR SLIB HEEFT DROGESTOFGEHALTE VAN 5% EN PS:SS = 40:60)

	Temperatuur ingaande slib (°C)	Conventioneel (DS <sub>ss</sub> = 6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =12%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =16%)
Warmtewisselaars+stoom	90 → 140	0%	2,58	1,86	1,68
Warmtewisselaars+stoom	90 → 160	0%	3,61	2,61	2,35
Alleen stoom	15 → 140	0%	6,44	4,65	4,2
Alleen stoom	15 → 160	0%	7,47	5,4	4,8

Zoals uit de tabel blijkt, geldt dat

- Naar mate het slib meer is ingedikt wordt de energiebehoefte lager;
- De vereiste procestemperatuur van grote invloed is op de energiebehoefte van het proces;
- Het toepassen van warmtewisselaars leidt tot een forse verlaging van de energiebehoefte. Hiertegenover staat echter een grotere investering en meer onderhoud.
- De energie die nodig is om tot de vereiste procestemperatuur te komen, kan op verschillende manieren verkregen worden:
- Stoomproductie met (rest)warmte WKK;
- Stoomproductie door combinatie van biogas via CV-/stoomketel en (rest)warmte WKK;
- Stoomproductie met biogas via CV-/stoomketel.

De consequenties voor de energiebalans van de verschillende opties zijn hieronder nader uitgewerkt.

#### STOOMPRODUCTIE MET (REST)WARMTE WKK

Op basis van leveranciersinformatie en uitgangspunten in eerdere studies was de aanname dat voor het verhitten van de TSO-unit gebruik gemaakt kon worden van alleen de (rest)warmte van de WKK-installatie. Gezien de benodigde temperaturen om stoom te produceren, komen hiervoor alleen de rookgassen in aanmerking. Als de warmte wordt ingezet voor het produceren van stoom, is deze niet meer beschikbaar voor andere doelen, zoals het verwarmen van gebouwen.

Het biogas wordt verbrand in de WKK-installatie. Uitgaande van een energie-inhoud van 23,3 MJ/m<sup>3</sup> biogas en een biogasproductie van 250 m<sup>3</sup>/h wordt 5,8 GJ/h aan energie geproduceerd. Bij de verbranding in een nieuwe generatie WKK wordt 40% van de energie omgezet in elektrische energie met behulp van een generator. Als gevolg van de verbranding wordt ook warmte geproduceerd. Dit is 28% in de vorm van hoogwaardige warmte van de rookgassen en ca. 23% in de vorm van laagwaardige warmte uit het koelwater van de WKK-installatie. De rest van de thermische energie-inhoud, circa 9%, is verlies.

In tabel 32 is aangegeven dat de minimale benodigde energiebehoefte 1,68 GJ/h is. De warmte-inhoud in de rookgassen is op basis van bovenstaande aannames 1,63 GJ/h. Op basis van de aannames is de energie-inhoud van de rookgassen net niet voldoende om de in de TSO-unit te behandelen slibstroom op te warmen. Er dient dus op een aanvullende manier energie aan het slib toegevoerd te worden. Ook zal de warmte voor verwarming van gebouwen e.d. op een andere manier moeten worden gegenereerd. Door de verwerking van extra gas wordt er overigens wel extra elektriciteit geproduceerd ten opzichte van een conventionele gisting-installatie.

**STOOMPRODUCTIE DOOR COMBINATIE VAN BIOGAS VIA CV-/STOOMKETEL EN (REST)WARMTE WKK**

Productie van stoom met behulp van biogas is een voor de handliggende methode om het slib op temperatuur te brengen. In tabel 33 is de hoeveelheid energie (in GJ/h) weergegeven, die nodig is om met behulp van stoomproductie uit biogas de slibstroom op te warmen in de TSO-unit. Hierbij wordt uitgegaan dat de rest van het biogas in de WKK wordt omgezet en de warmte van de rookgassen volledig wordt ingezet voor de productie van stoom. De tabel geeft dus het tekort aan, dat door stoomproductie uit biogas moet worden aangevuld.

**TABEL 33** ENERGIEBEHOEFTE (GJ/H) BIJ STOOMPRODUCTIE UIT BIOGAS NA GEBRUIKMAKING VAN DE WARMTE UIT DE ROOKGASSEN VAN DE WKK BIJ VERSCHILLENDE INDIKGRADEN VAN SECUNDAIR SLIB (PRIMAIR SLIB HEEFT DROGESTOFGEHALTE VAN 5% EN PS:SS = 40:60)

Benodigde opwarming (°C)	Conventioneel (DS <sub>ss</sub> = 6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =12%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =16%)
90 → 140	0	1,0	0,3	0,1
90 → 160	0	2,0	1,0	0,8
15 → 140	0	4,8	3,1	2,6
15 → 160	0	5,9	3,8	3,2

Uitgaande van een energie-inhoud van het biogas van 23,3 MJ/m<sup>3</sup> en een rendement van de stoomketel van 90% is de hoeveelheid biogas berekend die nodig is om met behulp van stoom de te behandelen slibstroom tot de gewenste temperatuur op te warmen. De hoeveelheid is in tabel 34 weergegeven.

Bij het berekenen van de benodigde biogashoeveelheid is rekening gehouden dat door het verbranden van het biogas in de CV-/stoomketel de hoeveelheid (rest)warmte in de rookgassen van de WKK-installatie afneemt. Uit de berekeningen komt naar voren dat zelfs bij gebruik van warmtewisselaars er nog een aanzienlijk deel van het extra biogas nodig is voor het opwarmen van het slib. Dit is sterk afhankelijk van de vereiste procestemperatuur in de TSO-unit en de indikking van het te behandelen slib.

**TABEL 34** HOEVEELHEID BIOGAS (M<sup>3</sup>/H) NODIG VOOR STOOMPRODUCTIE NA GEBRUIKMAKING VAN DE WARMTE UIT DE ROOKGASSEN VAN DE WKK BIJ VERSCHILLENDE INDIKGRADEN VAN SECUNDAIR SLIB (PRIMAIR SLIB HEEFT DROGESTOFGEHALTE VAN 5% EN PS:SS = 40:60)

Benodigde opwarming (°C)	Conventioneel (DS <sub>ss</sub> = 6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =12%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =16%)
90 → 140	0	60	15	4
90 → 160	0	125	60	45
15 → 140	0	300*	190	160
15 → 160	0	365*	235	200

\* De benodigde hoeveelheid biogas is hoger dan de biogasproductie.

**STOOMPRODUCTIE MET BIOGAS VIA CV-/STOOMKETEL**

Op basis van de laatste ontwikkelingen komt naar voren dat het vanuit bedrijfsvoeringsoogpunt niet altijd wenselijk is om warmtewisselaars toe te passen bij het opwarmen van het ingaande slib. Sommige leveranciers willen het aantal warmtewisselaars in het proces daarom minimaliseren en kiezen er voor om het slib geheel op te warmen met stoom, dat aangemaakt is met biogas. Om een indruk te krijgen van het aandeel biogas dat nodig is voor het opwarmen van de slibstroom zijn in tabel 35 een aantal varianten weergegeven.

TABEL 35 HOEVEELHEID BIOGAS (M<sup>3</sup>/H) NODIG VOOR STOOMPRODUCTIE ZONDER GEBRUIKMAKING VAN DE WARMTE UIT DE ROOKGASSEN VAN DE WKK BIJ VERSCHILLENDE INDIKGRADEN VAN SECUNDAIR SLIB (PRIMAIR SLIB HEEFT DROGESTOFGEHALTE VAN 5% EN PS:SS = 40:60)

Benodigde opwarming (°C)	Conventioneel (DS <sub>ss</sub> = 6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =6%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =12%)	TSO (DS <sub>ss</sub> =16%)
90 → 140	0	115	75	65
90 → 160	0	165	115	100
15 → 140	0	negatief	220	200
15 → 160	0	negatief	250	225

Uit de tabel 35 komt duidelijk naar voren dat een aanzienlijk deel van het geproduceerde biogas nodig is voor de stoomproductie en zonder voorverwarming zelf de gehele biogasproductie.

Indien er gebruik gemaakt wordt van warmtewisselaars zal dit aandeel dalen, aangezien het slib dan al wordt opgewarmd tot een temperatuur van ca. 90°C. In de berekeningen is er vanuit gegaan dat het water voor de stoomproductie is voorverwarmd tot 70°C met behulp van laagwaardige warmte.

Een ander aspect in het kader van de energiebalans is hoe het slib na behandeling wordt afgekoeld. Deze stroom mag de maximale proces temperatuur in de gisting niet overstijgen. Bij mesofiele gisting is dit circa 40°C en bij thermofiele gisting is dit circa 58°C. Met het uitgaande slib uit de TSO-unit kan via warmtewisselaars de ingaande stroom voor een deel opgewarmd worden. Hierdoor koelt de uitgaande stroom af. Aanvullend zal het slib verder gekoeld worden. Als dit door mengen met effluent wordt gedaan heeft dit een verdunningseffect van het slib tot gevolg. Indien er geen warmtewisselaars worden gebruikt, zal een grotere hoeveelheid effluent ingezet dienen te worden om te koelen. Het toevoegen van effluent voor de afkoeling heeft als voordeel dat de stikstofvracht wordt verdund. Nadeel is dat de verblijftijd in de slibgisting achter uit gaat of dat een groter volume nodig is voor het vergisten van slib.

### SLIB(EIND)VERWERKING

Bij het verwerken van slib wordt onderscheid gemaakt tussen slibverwerkingskosten (zijnde ontwateringskosten) en slibeindverwerkingskosten. In deze paragraaf wordt ingegaan op de slibeindverwerkingskosten, de kosten voor verbranding e.d bij een externe partij. De slibeindverwerkingskosten zijn afhankelijk van de afbraak in de slibgisting, het ontwateringsresultaat van de slibontwateringsapparatuur en het contract met de eindverwerker.

Vanwege de hoge slibafzetkosten levert een verbetering van het ontwateringsresultaat grote besparingen op van de slibverwerkingskosten. Een verbetering van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib van 1% leidt bij een rwzi met een afvoer van 5.000 ton DS/jaar tot een besparing van circa € 70.000,-. Of deze besparingen ook gerealiseerd kunnen worden hangt af van de contracten met de slibeindverwerker. Voor de slibeindverwerking bestaan twee varianten: één variant met een vaste prijs per ton en één variant waarbij het waterschap aandeelhouder is van de slibeindverwerker. De verwerkingskosten bestaan dan voor het grootste deel uit vaste kosten, onder andere de afschrijving de installatie, ongeacht de hoeveelheid verwerkt slib. Een forse verlaging op de slibhoeveelheid heeft in dat geval slechts een beperkte invloed op deze kosten. De kosten voor transport nemen vanzelfsprekend wel af.

#### 8.4.4 REKENVOORBEELD UIT VOORONDERZOEK

In het vooronderzoek<sup>[21]</sup> dat voorafging aan deze studie is een rekenvoorbeeld gepresenteerd om de haalbaarheid van het toepassen nader te bekijken. Hiertoe zijn de investeringen en besparingen ingeschat voor een bestaande rwzi met slibgisting met een ontwerpcapaciteit van 300.000 i.e. (à 150 g TZV). Er is een vergelijking gemaakt tussen conventionele slibgisting en slibgisting na toepassing van thermische slibontsluiting met twee varianten voor slibeindverwerkingskosten.

Op basis van de in hoofdstuk 7 uitgevoerde evaluatie van de uitgevoerde onderzoeken zijn de getallen voor organische stofafbraak vastgesteld samen met de specifieke biogasproductie. In de slibketenstudie wordt voor de gasproductie uitgegaan van een specifieke opbrengst van 750 Nm<sup>3</sup> biogas per ton afgebroken organische stof. Dit is omgerekend naar m<sup>3</sup>'s inclusief waterdamp en bij 30°C 854 m<sup>3</sup> [29]. Dit komt overeen met de uitkomsten van het uitgevoerde onderzoek. In de berekening is uitgegaan van 850 liter biogas per kg afgebroken organische stof. Voor de verbetering van de organische stofafbraak van het secundaire slib dat behandeld is in de TSO-unit wordt uitgegaan van een verbetering met een factor 1,35. Voor de afbraak van primair slib wordt uitgegaan van een afbraak van organische stof van 50%. Voor de toename in drogestofgehalte van het ontwaterde slib wordt uitgegaan van een toename van 24 naar 30% drogestof.

In het rekenvoorbeeld van het vooronderzoek zijn de bruto energiebatan meegenomen. Hierbij is de gehele biogasproductie ingezet voor energieopwekking. Op basis van de hiervoor beschreven opties om de stoomproductie niet volledig met restwarmte van de WKK te kunnen genereren, levert dit een overschatting op van de energieproductie. Een deel van het biogas wordt immers ingezet voor het produceren van stoom en niet voor het produceren van elektriciteit. Bij het updaten van het rekenvoorbeeld is wel rekening gehouden met de energie die nodig is voor het opwarmen van het slib. Indien het te behandelen slib wordt ingedikd tot een drogestofgehalte van 12% is op basis van de uitkomsten van paragraaf 8.4.3, naast de warmte van de rookgassen van de WKK-installatie, 25% van de totale hoeveelheid biogas nodig voor het opwarmen van het ingaande slib tot 160°C. Hierbij is rekening gehouden dat het slib wordt voorverwarmd met warmtewisselaars tot 90°C. Door de inzet van de opgewekte energie voor eigen gebruik, wordt inkoop voorkomen van energie. Deze vermeden kosten worden bepaald op basis van € 0,15 per kWh geproduceerde kWh.

TABEL 36 UPDATE UIT VOORONDERZOEK VAN REKENVOORBEELD VAN TOEPASSING THERMISCHE SLIBONTSLUITING

	conventioneel	toepassing thermische slibontsluiting (variant 1)	toepassing thermische slibontsluiting (variant 2)
Slibafzet [€ / ton als m <sup>3</sup> slib]	90	90	deel vast (ca 75%) + deel variabel (ca. 25%)
Slibhoeveelheid [ton DS/jaar]	6.000	6.000	6.000
Organische stof Afbraak SS [%]	40	55	55
Slibontwateringsresultaat [%]	24	30	30
Slibafzetkosten [€ /jaar] [A]	€ 1.591.019	€ 1.156.053	€ 1.457.963
Gasproductie [m <sup>3</sup> /jaar]	1.617.370	1.948.196	1.948.196
<b>Netto energiebatan<sup>1)</sup> [€ /jaar] [B]</b>	<b>€ 579.019</b>	<b>€ 523.091</b>	<b>€ 523.091</b>
Slibafzet + energiebatan [A-B]	€ 1.012.000	€ 632.962	€ 934.873
<b>Besparingen</b>	-	€ 379.038	€ 77.127
(Verschilkosten t.o.v. conventioneel)			

<sup>1)</sup> De netto energiebatan (vermeden inkoop elektriciteit) zijn afhankelijk van de energiebalans fors lager dan de bruto energiebatan.

Tegenover de besparingen staan de benodigde investeringen. De investeringen van alleen de TSO-unit werden destijds geschat op circa 1,5 - 3 miljoen euro (afhankelijk van leverancier). Op basis van de huidige inzichten bedragen deze investeringen 2,4 - 4,0 miljoen euro. Hierbij is uitgegaan van een enkel uitgevoerde installatie zonder redundantie. De aanname is dat de extra gasproductie verwerkt kan worden in de bestaande WKK-installatie. In dit rekenvoorbeeld zijn geen kosten gerekend voor de eventuele aanpassing van de indikking om de benodigde indikking van het slib dat wordt behandeld in de thermische slibontsluiting te behalen. De kosten voor onderhoud, personeel en het verwerken van de extra vuilvracht in het centraat zijn niet meegerekend. Ook is geen rekening gehouden met eventuele kosten of opbrengsten van fosfaatterugwinning.

In het rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van een afschrijving van de installatie in 15 jaar (annuïteit van 10,3). Voor de installatie van 2,4 miljoen euro komt dit neer op een jaarlijkse kapitaalslasten van 247.000,- euro. Voor de installatie van 4 miljoen euro komt dit neer op een jaarlijkse kapitaalslasten van 412.000,- euro.

De volgende bevindingen komen naar voren op basis van het rekenvoorbeeld:

- Bij een eenvoudig uitgevoerde TSO-unit van 2,4 miljoen euro en vaste slibafzetkosten van 90 €/ton slib is de potentiële besparing ca. € 132.000,- per jaar (=379.000-247.000);
- Bij een robuuster uitgevoerde TSO-unit van 4 miljoen (redundant uitgevoerd of met extra verwerkingscapaciteit) en vaste slibafzetkosten van 90 €/ton slib is er geen potentiële besparing, maar een kostenpost van 33.000,- euro per jaar (=379.000-412.000);
- Bij een eenvoudig uitgevoerde TSO-unit van 2,4 miljoen euro en deel vaste en een variabele slibeindverwerkingskosten zijn de kosten voor een TSO unit aanzienlijk, namelijk 302.000,- euro per jaar (77.000-379.000).

Kortom, de slibafzetkosten en investeringskosten zijn doorslaggevend voor het behalen van besparingen op de jaarlijkse exploitatiekosten. De afzetkosten hangen sterk af van het afgesloten contract met de slibeindverwerker. Als het waterschap bijvoorbeeld aandeelhouder is van een slibeindverwerker, dan bestaan de slibverwerkingskosten voor het grootste deel uit vaste kosten. In dit geval is de potentiële besparing zeer gering en kan zelfs negatief zijn! Hierbij dient opgemerkt te worden dat de marktprijzen kunnen variëren van 65 tot 90 /ton (all-in).

In het bovenstaande rekenvoorbeeld is geen rekening gehouden met de extra verwerkingscapaciteit in de gisting die ontstaat door het toepassen van thermische slibontsluiting. Door het opvullen van deze extra capaciteit zullen de energiebaten stijgen, de relatieve slibafzetkosten dalen, waardoor de terugverdiertijden korter worden. Kortom de minimale schaalgrootte voor toepassen van thermische slibontsluiting is sterk afhankelijk van de lokale situatie en contract met slibeindverwerker en de keuzes omtrent het opvullen van de verwerkingscapaciteit.

## 8.5 HAALBAARHEIDSONDERZOEK RWZI HENGLO

Zoals eerder aangegeven is het aantonen van de haalbaarheid van het toepassen van TSO afhankelijk van vele factoren. Het is daarom per situatie nodig om op basis van de lokale factoren deze haalbaarheid te onderzoeken. Parallel aan het pilotonderzoek op rwzi Hengelo is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met betrekking tot de haalbaarheid. Hierin zijn de uitkomsten van het pilotonderzoek gedeeltelijk meegenomen bij het vaststellen van de uitgangspunten voor de haalbaarheidsberekeningen. Bij de gevoeligheidsanalyse is rekening

gehouden met een spreiding in de uitgangspunten, waarbij een ongunstig, gemiddeld en gunstig scenario is meegenomen. Zo is bij de gevoeligheidsanalyse uitgegaan van een afbraak van 55% van het primair en 50 – 60% van het secundaire slib na toepassen van TSO. Op basis van de pilottesten komt een maximale afbraak van ca 45% van de organische stof van het secundaire slib naar voren.

Uit de gevoeligheidsanalyse, waarvan een samenvatting is opgenomen in bijlage 5, komt naar voren dat centrale slibvergisting in Hengelo in combinatie met thermische drukhydrolyse (scenario 2) goedkoper is qua investeringen dan handhaven twee conventionele gistinglocaties (scenario 1). De uitgangspunten voor het berekenen van de exploitatiekosten zijn echter zeer bepalend voor de vergelijking tussen de verschillende scenario's. Bij een teruglevertarief van 0,03 €/kWh zijn de exploitatiekosten van scenario 2 lager dan van scenario 1 als alle andere factoren (afbraak OS, PE-gebruik, drogestofgehalte ontwaterd slib) gunstig zijn. Als het teruglevertarief 0,07 €/kWh is, wordt scenario 2 al iets gunstiger dan scenario 1 onder gemiddelde uitgangspunten voor afbraak OS, PE-gebruik, drogestofgehalte ontwaterd slib. Zoals gemeld zijn deze gemiddelde uitgangspunten gunstiger dan bij de pilottesten.

Er is ook een energiebalans opgesteld, waarbij het energieverbruik en productie is terugge-rekend naar primaire energie (GJ). In de berekeningen is uitgegaan dat warmte-inhoud van de rookgassen voldoende is voor de volledige warmtevraag voor het opwarmen van het slib. Op basis van de aannames en uitgangspunten komt naar voren dat centralisatie van de slibvergisting met thermische drukhydrolyse leidt tot een positieve energiebalans. Dit is vooral te wijten aan een hogere elektriciteitsproductie in combinatie met een dalend elektriciteitsverbruik.



# 9

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 9.1 CONCLUSIES

Op basis van het rekenvoorbeeld in hoofdstuk 8 komt naar voren dat de energiekosten en de slibverwerkingskosten doorslaggevend zijn voor de haalbaarheid van het toepassen van TSO. De besparingen op deze posten ten opzichte van de referentiesituatie zijn nodig om de extra kosten door toepassen van TSO (afschrijvingen, onderhoud, etc.) te kunnen bekostigen. Het kiezen van de juiste uitgangspunten is essentieel bij het berekenen van de haalbaarheid. Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse brengt naar voren in welke scenario's toepassen van TSO wel en niet haalbaar is.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- Toepassen van TSO leidt tot een verbetering van de afbraak van slib, maar een eenduidig afbraakpercentage is niet te geven. Wel kan een range gegeven worden van de te verwachten toename van de organische stof afbraak van het secundaire slib. Afhankelijk van de lokale condities zal de organische stof afbraak van secundair slib toenemen met een factor tussen de 1,25 en 1,45. Bij een beperkte afbraak van organische stof van secundair slib in de referentiesituatie, kan de afbraak toenemen tot een factor 1,6 (zie onderzoek rwzi Hengelo).
- De toename in biogasproductie is recht evenredig met de extra afbraak van organische stof. De specifieke biogasproductie (l gas per kg organische stof verwijderd) neemt niet toe. De specifieke biogasproductie is circa 850 liter biogas per kg organische stof verwijderd en daarmee conform de theoretische berekening.
- Door TSO toe te passen kan een gistingsinstallatie zwaarder belast worden. Onder de geteste condities is de organische stofbelasting ( $\text{kg OS/m}^3/\text{d}$ ) van de TSO-vergister 2,3 maal zo hoog ( $5 \text{ à } 6 \text{ kg OS/m}^3.\text{d}$ ) geweest als de referentievergister. Dit heeft niet tot problemen geleid. Hogere belastingen zijn niet getest, zie hiervoor ook de aanbevelingen. Wel is de schuimvorming bij de TSO vergisters een aandachtspunt, zoals uit het onderzoek in Hengelo is gebleken.
- De viscositeit van het te vergisten slib neemt duidelijk af bij toepassen van TSO. Hierdoor is het mogelijk met hoge slibconcentraties in de gisting te werken. Door het beperkte aantal metingen zijn hier geen harde getallen aan toe te kennen. Wel kan worden opgemerkt dat de menging bij geen van de pilots tot problemen heeft geleid, zelfs niet bij DS-concentraties van ruim 10 % DS naar de gisting.
- Door toepassen van TSO kan met een kortere verblijftijd in de gisting worden gewerkt. Een verlaging tot 12 dagen heeft niet tot noemenswaardige problemen geleid bij het onderzoek in Amersfoort. Wel moet hierbij bedacht worden dat de testperiode relatief kort is geweest.
- Thermische slibontsluiting heeft geen noemenswaardige invloed op de biogassamenstelling. Claims dat het aandeel methaan in het biogas stijgt zijn niet aangetoond.
- De pH komt in de vergisters met thermisch ontsloten slib hoger uit en leidt daardoor eerder tot fosfaatprecipitatie in slib en in leidingen.

- Op basis van verschillende testen neemt het drogestofgehalte van het uitgegiste ontwaterde TSO-slib toe met een factor 1,3 tot 1,4 ten opzichte van de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib uit de REF-vergister. Uitgaande van een drogestofgehalte van uitgegiste ontwaterd slib van 23% komt dit neer op een toename naar een drogestofgehalte van 30%. Wel is er meer PE nodig voor het ontwateren van slib uit een TSO installatie. Hoeveel en welk type dient nog verder uitgezocht te worden.
- De toename van de ammoniumconcentratie is vrijwel rechtevenredig met de organische stofafbraak en het indikkingseffect van de ingaande slibstroom. Zonder adaptatie van het slib is 3 g/l een maximum voordat remming optreedt. Of hogere concentraties mogelijk zijn is niet onderzocht.
- In de meeste gevallen neemt de hoeveelheid fosfaat toe bij toenemende afbraak, maar er lijkt geen eenduidig verband te zijn tussen afbraak en de fosfaatconcentratie. Bij het onderzoek op rwzi Hengelo neemt de concentratie in de TSO-vergisters toe ten opzichte van de REF-vergisters. Maar hoewel het drogestofgehalte van het ingaande slib 2 keer zo hoog is, is de toename in de fosfaatvrucht lager dan een factor 2. Waarschijnlijk precipiteert een deel van het vrijkomende fosfaat direct in het slib. In hoeverre scaling optreedt als gevolg van de hogere fosfaatgehalten is niet onderzocht.
- De concentratie CZV in het rejectiewater neemt toe. Dit heeft niet tot problemen in de gisting geleid, maar in hoeverre dit nadelig is voor de waterlijn is niet onderzocht. Vanwege hoge concentraties  $\text{NH}_4$  en  $\text{PO}_4$  wordt terugwinning van nutriënten aantrekkelijk.

Bij het eventueel toepassen van TSO dient eerst de specifieke lokale situatie rondom de slibgisting goed in kaart gebracht te worden, want de technisch economische haalbaarheid is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden. Zo geldt dat de benodigde investeringen sterk afhankelijk zijn van de ruimte in de bestaande installatie. Het aanschaffen van extra gasopslag en WKK's ten behoeve van de extra gasproductie werken sterk kostenverhogend. Daarnaast zijn de kosten voor slibafzet van doorslaggevende betekenis. Als de besparingen op eindverwerkingskosten beperkt zijn, doordat alleen de variabele kosten wijzigen, kunnen de kosten voor de TSO-unit niet terugverdiend worden binnen een redelijke afschrijvingstermijn (10-15 jaar).

## 9.2 AANBEVELINGEN

Op basis van de uitgevoerde pilotonderzoeken is naar voren gekomen dat er nog een aantal aspecten overblijven om te onderzoeken. Gezien het feit dat de eerste praktijkinstallaties gebouwd worden kan worden overwogen om een deel van het onderzoek uit te voeren bij de fullscale installaties. De volgende onderzoeksvragen staan nog open:

1. Om de efficiëntie van het toepassen van TSO te vergroten moet worden gewerkt met hogere concentraties in de gisting, zodat de gistingstanks kleiner kunnen worden ontworpen (geen verdunning meer van het slib). Hierdoor stijgt de ammoniumconcentratie in de vergisters. Om vast te stellen welke ammoniumconcentratie maximaal kan worden verwerkt, voordat remming optreedt van het gistingproces, is aanvullend onderzoek nodig. Tevens kan dan de gevoeligheid van het gistingproces worden onderzocht als het slib is geadapteerd aan hoge ammoniumconcentraties.
2. Zoals uit de berekeningen naar voren komt is het nodig om de energiebalans van de TSO nader te beoordelen. De verschillende leveranciers gebruiken verschillende aannames, waardoor niet duidelijk is welk getal meegenomen dient te worden bij het opstellen van de energiebalans. De referenties in het buitenland zijn niet vergelijkbaar met de Nederlandse situatie, omdat daar het energie- en slibafzetkostenaspect veel minder zwaar telt dan in Nederland. Extra onderzoek op dit gebied bij de eerste fullscale installatie in Nederland kan meer duidelijkheid verschaffen op dit punt.

3. Bij het bepalen van de procescondities in de TSO-unit is het van belang welke invloed deze hebben op het gistingproces en de energiebalans. Leveranciers hanteren een vaste instelling van de druk en temperatuur voor hun installatie. Het is aan te bevelen om nader onderzoek te doen naar de relatie druk en temperatuur op de efficiëntie van de destructie bij toepassen bij rwzi's in Nederland.
4. Het haalbare drogestofgehalte van het uitgegiste slib na ontwatering is vastgesteld op basis van pilot en labonderzoeken. Het verdient aanbeveling om zodra de eerste fullscale TSO-installatie in Nederland is gerealiseerd testen te doen met fullscale ontwateringsapparatuur om het haalbare drogestofgehalte en de benodigde PE-dosering te bepalen.
5. Door toepassen van TSO stijgt de CZV concentratie in het rejectiewater. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken wat hiervan de invloed is op de processen van de waterlijn en de rejectiewaterbehandeling van de rwzi.

## BIJLAGE 1

## REFERENTIES

Voor het samenstellen van het vooronderzoek is mede gebruik gemaakt van de volgende informatiebronnen:

**GESPREKKEN**

- [1] dhr D. Ringoot (Eco Logic / Cambi)
- [2] dhr D. Sisselaar (Veolia Water & Solutions / Rossmark)
- [3] dhr L. Van Dijk en J. Thiescheffer (Sustec)

**INTERNET**

- [4] [www.cambi.no](http://www.cambi.no)
- [5] [www.sustec.nl](http://www.sustec.nl)
- [6] [www.veoliawaterst.com](http://www.veoliawaterst.com)
- [7] <http://www.klaerschlammdesintegration.de/Bericht3.pdf>

**ARTIKELEN**

- [8] Publicatie Neerslag nr 5, 2010: “TurboTec®: Continue thermische slib hydrolyse voor lagere zuiveringskosten en meer energie op de rwzi”, Lex van Dijk en Ad de Man.

Diverse artikelen Cambi te vinden op: [www.cambi.no/wip4/publications.epl?cat=10644](http://www.cambi.no/wip4/publications.epl?cat=10644) , waaronder:

- [9] B. Wett, “Simulation of Thermal Hydrolysis at the Blue Plains AWT: A New Toolkit Developed for Full-Plant Process Design” , Weftec 2009;
- [10] K. Panther, “Cambi Thermal Hydrolysis - Getting the Bugs out of Digestion and Dewatering”,
- [11] K. Panther “10 YEARS OPERATION EXPERIENCE OF THERMAL HYDROLYSIS PROJECTS” 10th European Biosolids & Biowastes Conference, 2003;
- [12] H. Kleiven, “Introduction to Advanced Digestion Using Cambi Thermal Hydrolysis”, Published IFAT2010, September 13-16, Munich, Germany
- [13] Onderzoeksrapport 2003 “Toepassingsmogelijkheden CAMBI in de sliblijn Beverwijk”, Witteveen en Bos.
- [14] Optimalisatie vergisting met Turbotec®; Resultaten Bench scale testen voor de volgende waterschappen: Waterschap De Dommel, Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.
- [15] TurboTec® Pilot Amersfoort, rapport met resultaten van het onderzoek, Sustec Consulting & Contracting B.V., augustus 2011
- [16] Water Science and Technology WST 58.7 2008 blz 1467 – 1473, “Prediction of thermal hydrolysis pretreatment on anaerobic digestion of waste activated sludge, P. Phothilangka et al.

- [17] Water Science and Technology WST 57.8 2008 blz 1221 – 1226, “Continuous thermal hydrolysis and energy integration in sludge anaerobic digestion plants, F. Fds-Polanco et al.
- [18] Slibketenstudie II, Stowa rapport 2010-33
- [19] Nr 29: Coleman P 2006. Thermal pretreatment in the UK – alternative to advanced digestion. Environmental Science and Engineering [www.esemag.com](http://www.esemag.com) –January 2006
- [20] Sustec onderzoeksrapport rwzi Amersfoort, 2011 (zie [www.hydrotheek.nl](http://www.hydrotheek.nl))
- [21] Stowa 2011, Thermische slibontsluiting: Verkenning ten behoeve van opzet pilotonderzoek 2011-W-03
- [22] Stowa 2005, Literatuurstudie slibdesintegratie, 2005 W04
- [23] Combined experiences of thermal hydrolysis and anaerobic digestion –latest thinking on thermal hydrolysis of secondary sludge only for optimum dewatering and digestion. P. Camacho<sup>1</sup>, W. Ewert<sup>2</sup>, J Kopp<sup>3</sup>, K. Panter<sup>4\*</sup>, S. I. Perez-Elvira<sup>5</sup>, E. Piat 6. 1
- [24] Sustec, presentatie 13 mei 2009, “De RWZI voor Energie: Naar een energieneutrale RWZI met optimale recycling van grondstoffen”
- [25] Veolia 2010, Scientific Chronicles Veolia, Issue 17 / The wastewater treatment plant of the future
- [26] Stora 1985 Optimalisatie van de gistinggasproductie, 1985-2
- [27] Stowa 2011, handboek slibgisting, 2011-16
- [28] BRCC, 2003, Markttechnische haalbaarheid van centrale vergisting van industriële afvalstromen, SenterNovem,
- [29] Stowa 2005 Slibketenstudie: onderzoek naar de energie- en kostenaspecten in de water- en sliblijn, 2005-26
- [30] Stowa 2008 Slibdesintegratie, Eindrapportage van ervaringen met slibdesintegratie op de RWZI's Bath, Enschede en Nieuwgraaf, 2008-10

## BIJLAGE 2

# SCENARIO'S BIJ ONDERZOEK RWZI AMERSFOORT

Hieronder is een overzicht gegeven voor scenario's die interessant zijn voor het pilotonderzoek thermische slibontsluiting:

- Kortere verblijftijd (verkorten tot circa 12 dagen);
- Verhoging DS% in thermische slibontsluitingunit en vergister;
- Variëren instellingen (druk, temperatuur, verblijftijd);
- Behandelen mengstroom van primair en secundair slib in thermische slibontsluitingsunit;
- Twee traps vergisting;
- Thermofiele vergisting.

Hieronder worden de opties kort toegelicht en gewaardeerd of deze wel of niet interessant zijn, waardoor er een prioritering kan worden gemaakt van de opties.

## **KORTERE VERBLIJFTIJD**

De verwachting is dat ten gevolge van de thermische slibontsluiting de verblijftijd in de vergister verkort kan worden tot circa 12-15 dagen. De effecten op de biogasproductie en de slibontwateringseigenschappen kunnen beoordeeld worden. Een stabiel systeem is belangrijk. Tevens is het bij het verlagen van de verblijftijd van belang dat verzuring van de vergister wordt voorkomen. De stabiliteit kan worden ingeschat op basis van onder andere de specifieke biogasproductie, vetzuurconcentratie en de drogestofafbraak. Deze optie kan de capaciteit bij bestaande slibgistingstanks vergroten en is daarom interessant om mee te nemen in het onderzoek.

## **VERHOOGING DS GEHALTE**

Door de sterke afname van de viscositeit als gevolg van de thermische voorbehandeling kan de vergister met een hoger droge stofgehalte bedreven worden. Hierdoor ontstaat meer capaciteit per m<sup>3</sup> vergistingsreactor. Belangrijkste onderzoekspunten zijn:

- Relatie tussen viscositeit en drogestof (i.v.m. menging in gisting);
- Effect van verhoogde NH<sub>4</sub>-concentratie op ds-afbraak en de biogasproductie;
- Effect op rejectiewaterkwaliteit.

Dit aspect is onder andere van belang bij slibgistingstanks die met behulp van gasinblazing worden gemengd en wordt daarom meegenomen in het onderzoek. Bij gasinblazing is de menging van slib met een drogestofgehalte van boven de 6-8% niet optimaal.

**INSTELLINGEN THERMISCHE SLIBONTSLUITING**

Welk effect hebben de instellingen van de thermische slibontsluitingsunit op de vergistingsprestaties? Onderzocht kan worden wat de invloed is van wijzigingen van de druk, temperatuur en tijdstuur op de concentratie van CZV, fosfaat en stikstof in de opgeloste fractie. Bij dit onderzoek is het kiezen van de instellingen waarbij de TSO-units zijn bedreven overgelaten aan de leveranciers. In de huidige opzet zijn deze instellingen vast en niet verder onderzocht.

**TWEETRAPS VERGISTING MET TUSSENTIJDSE THERMISCHE SLIBONTSLUITING**

In deze configuratie wordt het slib eerst op traditionele wijze vergist, waarna in een tweede stap het slib eerst door de thermische slibontsluiting gaat en daarna vergist wordt. De tweede vergister zou eventueel met kortere verblijftijd en/of thermofiel bedreven kunnen worden. Verhoging van het DS-gehalte kan eventueel alleen in de tweede stap plaats vinden. In de beschikbare pilottestinstallatie is deze configuratie niet te realiseren.

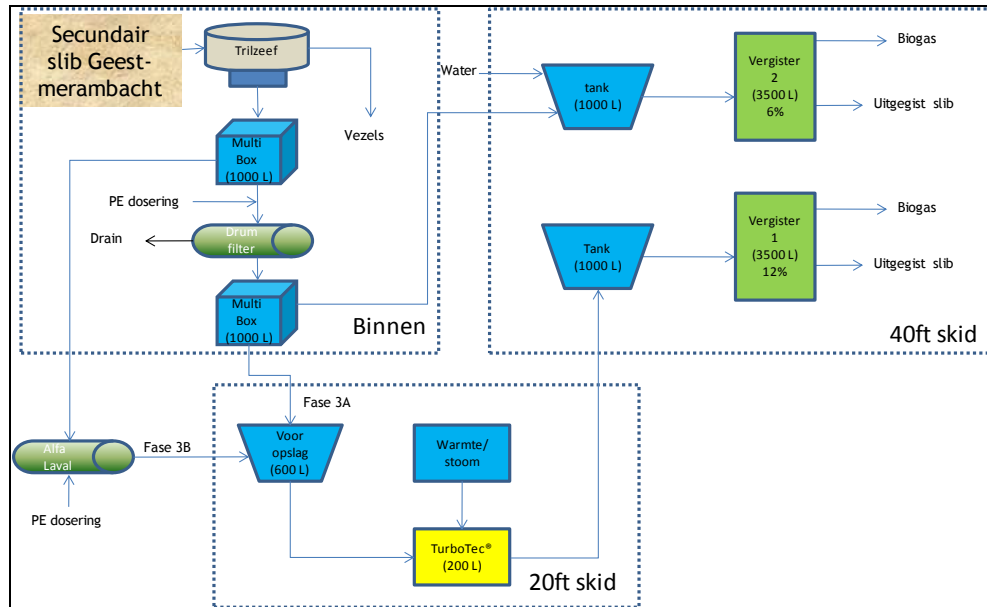
**THERMISCHE SLIBONTSLUITING IN COMBINATIE MET THERMOFIELE VERGISTING**

Thermische slibontsluiting in combinatie met thermofiele vergisting biedt een interessante combinatie vanuit de warmtebalans. Het slib hoeft immers minder afgekoeld te worden. Deze optie is nog niet onderzocht. Gezien de doorlooptijd van het onderzoek en de beschikbaarheid van thermofiel slib, is deze optie echter niet meegenomen.

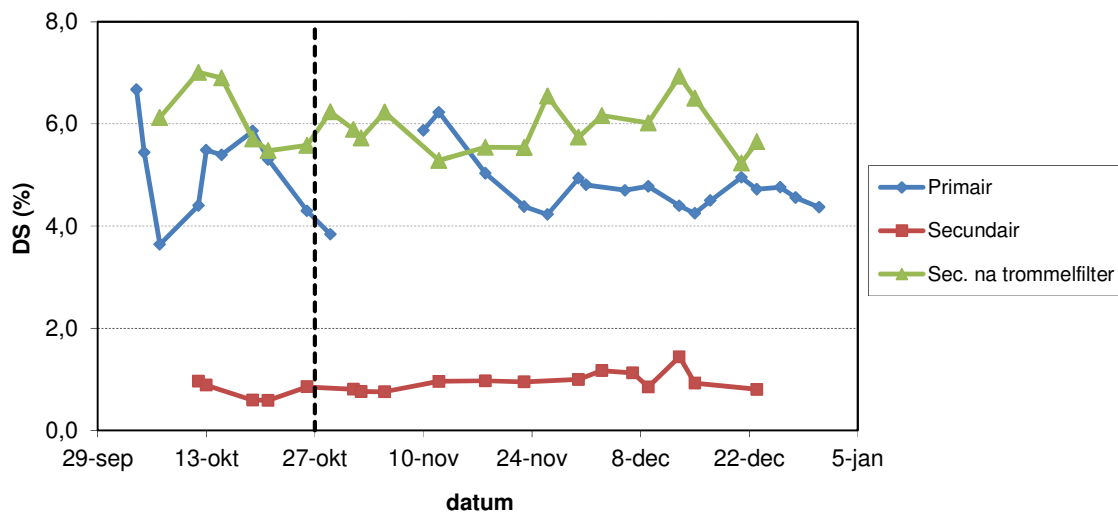
BIJLAGE 3

# PILOTPROEVEN SUSTEC OP RWZI AMERSFOORT

AFBEELDING 18 OVERZICHT VAN DE PILOTINSTALLATIE OP RWZI AMERSFOORT TIJDENS FASE 3 VAN HET ONDERZOEK



AFBEELDING 19 DS GEHALTES PRIMAIR EN SECUNDAIR SLIB VAN HET INGAANDE SLIB IN FASE 1

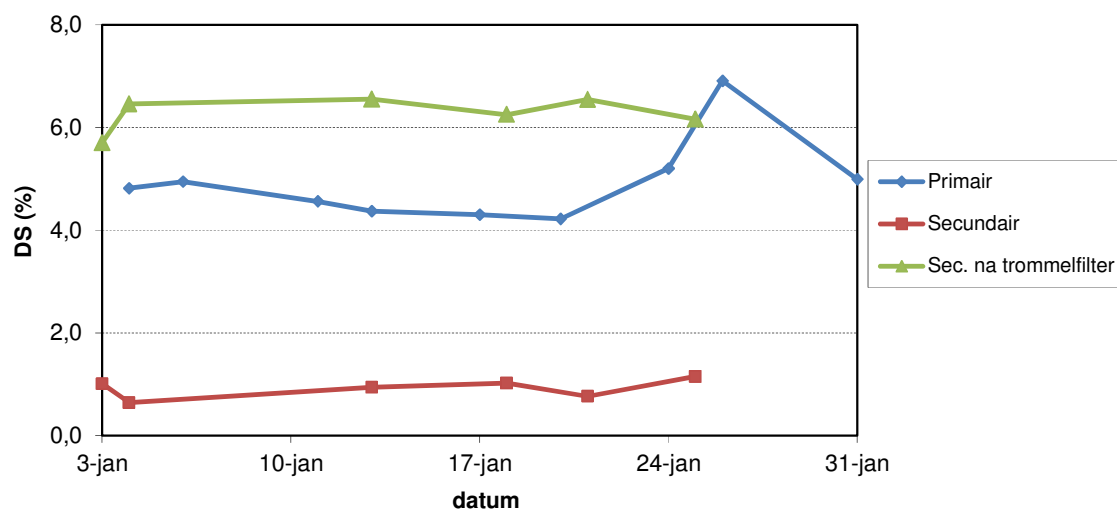




TABEL 37 GEMIDDELDE DRGESTOFGEHALTEN IN FASE 1 VAN IN- EN UITGAANDE STROMEN VAN TSO- EN REF-VERGISTERS

Locatie	Soort monster	Gemiddelde waarde (%)	Variatie	Aantal monsters
Primair TSO	Meng	4,7	± 0,6	18
Primair REF	Meng	4,8	± 0,5	18
Secundair (ruw)	Meng	1,1	± 0,4	15
Secundair (ingedikt)	Steek	6,0	± 0,5	15
TSO-unit <sub>in</sub>		6,1	± 0,6	17
TSO-unit <sub>uit</sub>		4,8	± 0,2	17
Secundair TSO		5,1	± 0,5	15
Secundair REF		5,2	± 0,5	17
Digestaat TSO	Meng	2,6	± 0,1	21
Digestaat REF	Meng	3,2	± 0,2	21

AFBEELDING 20 DS GEHALTES PRIMAIR EN SECUNDAIR SLIB IN FASE 2

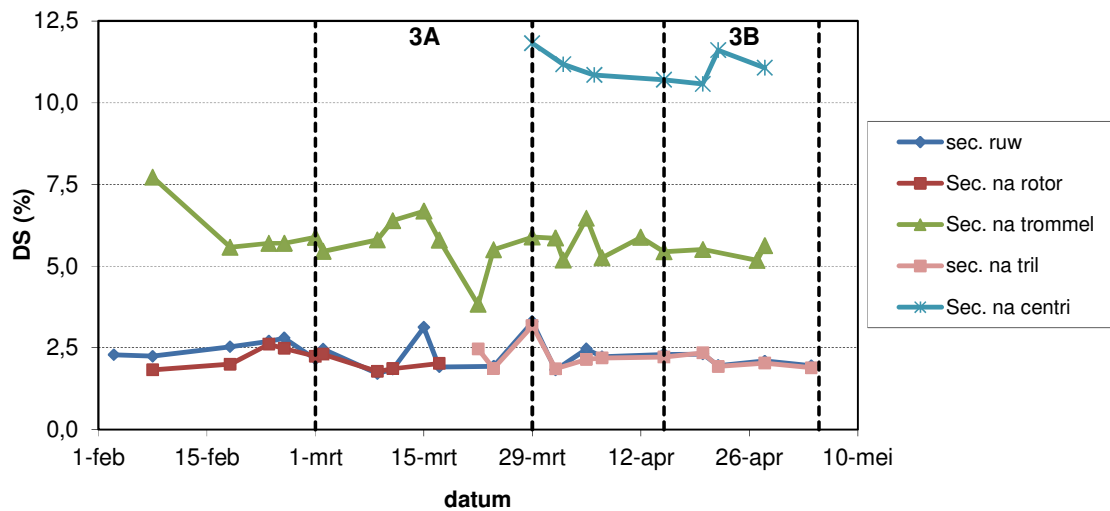


TABEL 38

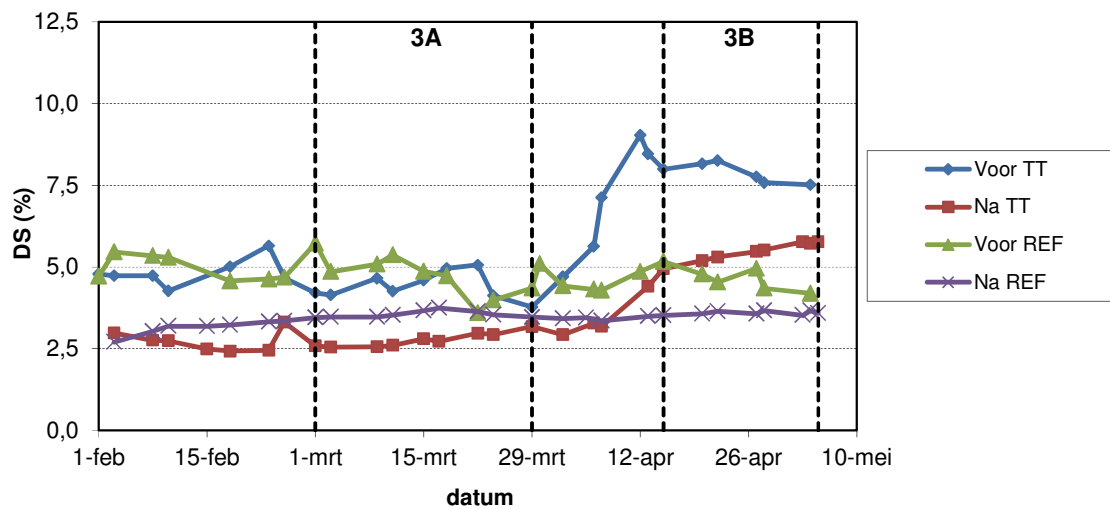
GEMIDDELTE DROGESTOFGEHALTEN IN FASE 2 VAN IN- EN UITGAANDE STROMEN VAN TSO- EN REF-VERGISTERS

Locatie	Soort monster	Gemiddelde waarde (%)	Variatie	Aantal monsters
Primair TSO	Meng	4,9	± 0,8	9
Primair REF	Meng	4,5	± 0,5	9
Secundair (ruw)	Meng	0,9	± 0,2	6
Secundair (ingedikt)	Steek	6,3	± 0,3	6
TT in	Meng	5,7	± 0,5	8
TT uit	Steek	4,9	± 0,6	8
Secundair TSO	Meng	5,6	± 0,7	8
Secundair REF	Meng	5,2	± 0,3	8
Digestaat TSO	Meng	2,6	± 0,1	9
Digestaat REF	Meng	3,1	± 0,0	9

AFBEELDING 21 DS GEHALTES SECUNDAIR SLIB IN FASE 3



AFBEELDING 22 DS-GEHALTES IN- EN UITGAANDE STROMEN VERGISTERS IN FASE 3



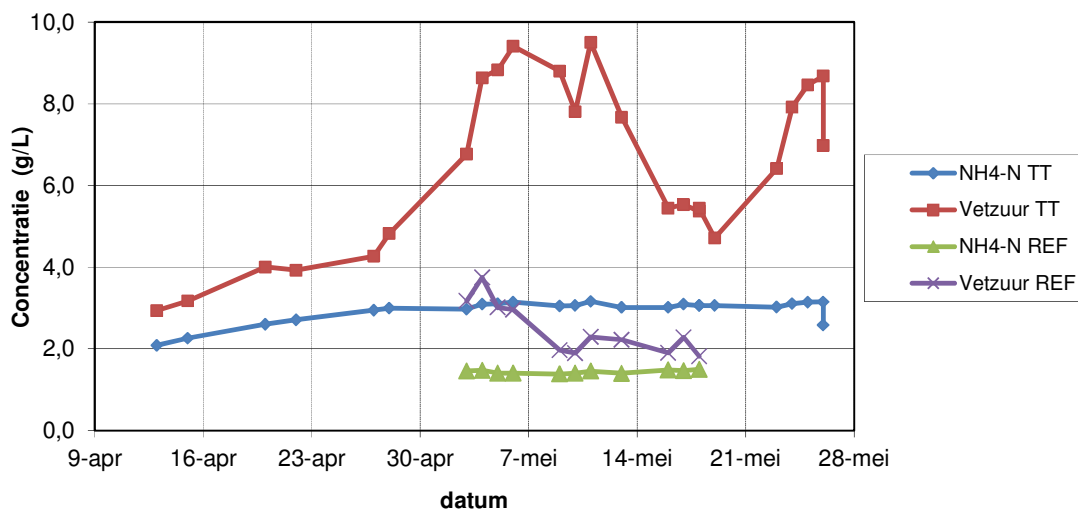
TABEL 39 GEMIDDELDE DROGESTOFGEHALTEN IN FASE 3 VAN IN- EN UITGAANDE STROMEN VAN TSO- EN REF-VERGISTERS

Locatie	Soort monster	Fase 3A			Fase 3B		
		Gemiddelde waarde (%)	Variatie	#	Gemiddelde waarde (%)	Variatie	#
Secundair (ruw)	Meng	2,2	0,5	7	2,3	± 0,4	9
Secundair (ingedikt)	Steek	5,7	0,8	8	5,6	± 0,4	10
Secundair (centrifuge)	Steek	n.v.t.	-	-	11,0	± 0,4	4
TT in	Meng	5,7	0,4	8	10,1	± 0,4	6
TT uit	Steek	4,6	0,3	7	8,3	± 0,3	6
Secundair TSO	Meng	4,5	0,3	8	7,9	± 0,3	6
Secundair REF	Meng	4,8	0,7	7	4,6	± 0,3	12
Digestaat TSO	Meng	2,7	0,2	8	5,5	± 0,3	8
Digestaat REF	Meng	3,6	0,1	8	3,5	± 0,1	13

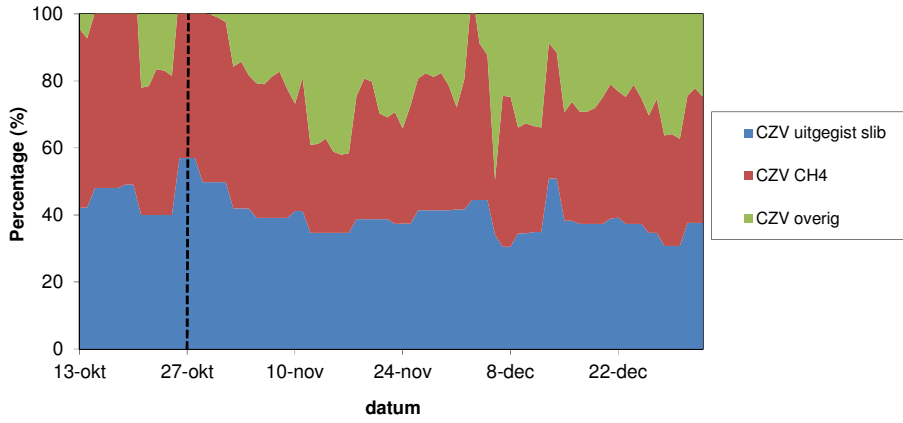
TABEL 40 BIOGASAMENSTELLING VAN TSO- EN REF-VERGISTER TIJDENS HET ONDERZOEK

	% CH <sub>4</sub>	% CO <sub>2</sub>
TSO-Vergister		
Fase 1 (19 okt – 10 nov)	64,0	36,0
Fase 1 (11 nov – 23 dec)	62,4	37,6
Fase 2 (3 jan – 15 jan)	62	38
Fase 2 (16 jan – 31 jan)	65,6	34,4
Fase 3A	67,8	32,2
Fase 3B	69	31
REF-Vergister		
19 okt – 23 dec	63,6	36,4
Fase 2 (3 jan – 15 jan)	57,1	42,9
Fase 2 (16 jan – 31 jan)	65,2	34,8
Fase 3A	66,7	33,3
Fase 3B	68,2	31,8

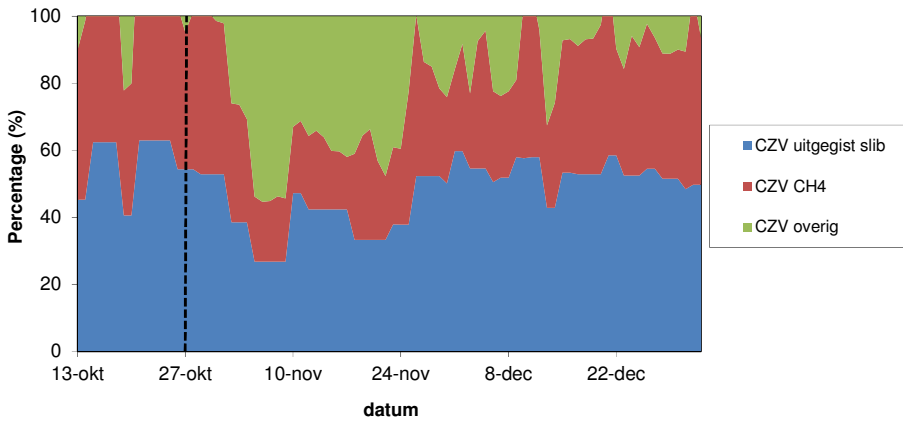
AFBEELDING 23 CONCENTRATIE VAN AMMONIUM EN VETZUREN IN BEIDE VERGISTER TIJDENS FASE 3B



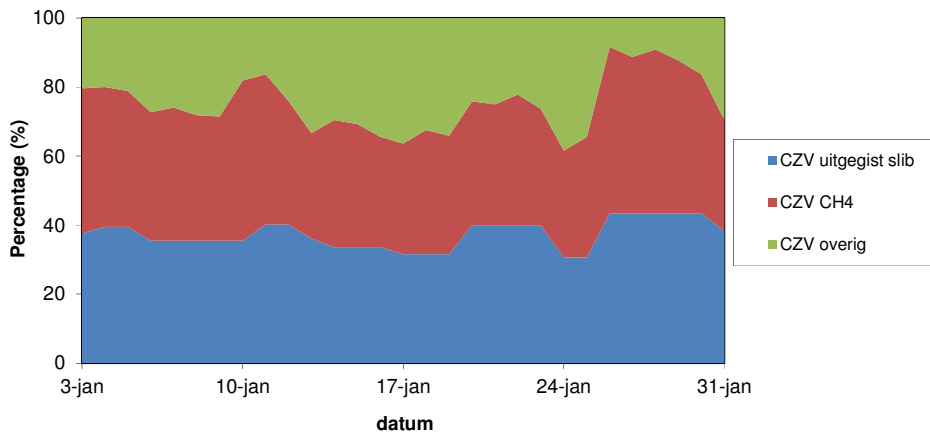
AFBEELDING 24 CZV BALANS TSO VERGISTER IN FASE 1



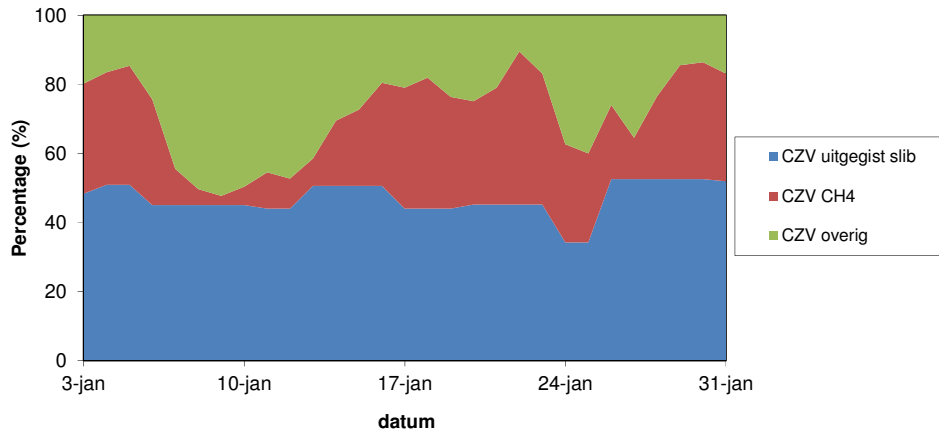
AFBEELDING 25 CZV BALANS REF VERGISTER IN FASE 1



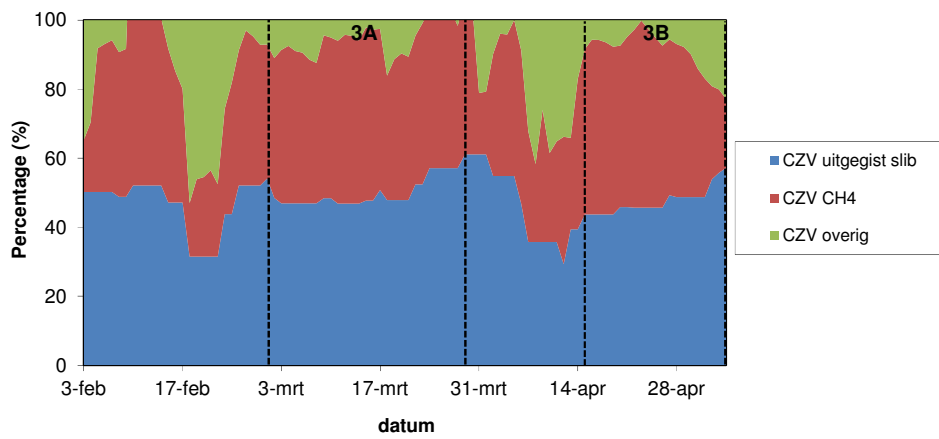
AFBEELDING 26 CZV BALANS IN TSO VERGISTER IN FASE 2



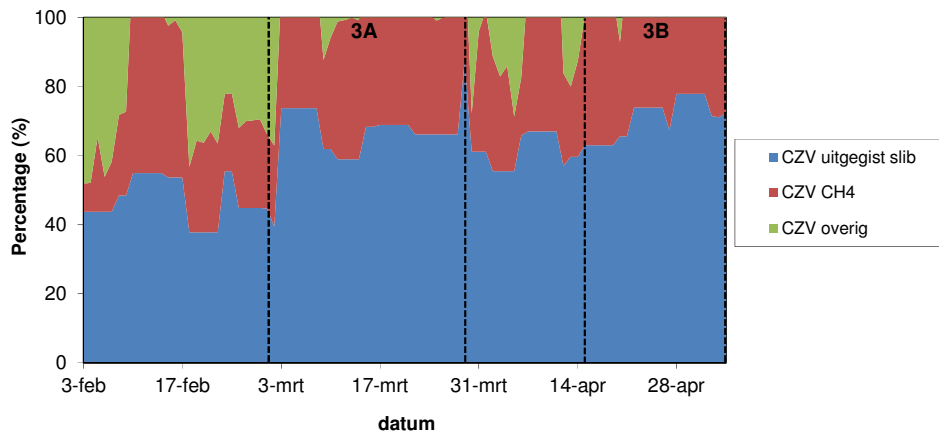
AFBEELDING 27 CZV BALANS IN REF VERGISTER IN FASE 2



AFBEELDING 28 CZV BALANS IN TSO VERGISTER TIJDENS FASE 3



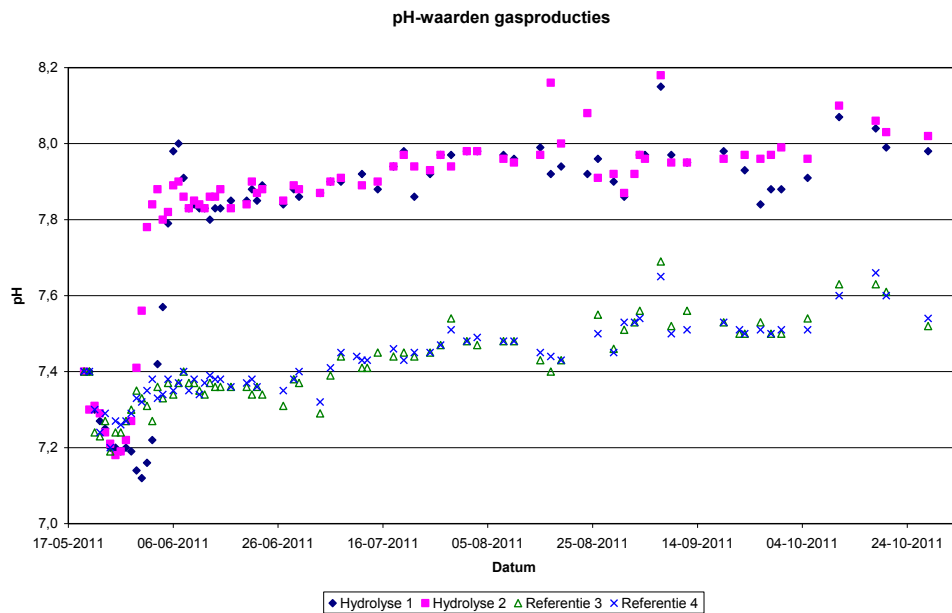
AFBEELDING 29 CZV BALANS REF VERGISTER TIJDENS FASE 3



## BIJLAGE 4

## PILOTTESTEN CAMBI OP RWZI HENGELO

## BIOGASMETINGEN



TABEL B3

## SAMENSTELLING BIOGAS

week		Hydrolyse 1	Hydrolyse 2	Referentie 3	Referentie 4
35	CH <sub>4</sub>	53	0	0	52
	CO <sub>2</sub>	29	0	0	28
	O <sub>2</sub>	5,4	0	0	5,8
35	CH <sub>4</sub>	53	0	0	52
	CO <sub>2</sub>	29	0	0	28
	O <sub>2</sub>	5,4	0	0	5,8
37	CH <sub>4</sub>	61	62	55	61
	CO <sub>2</sub>	34	34	30	32
	O <sub>2</sub>	2,3	2	5	1,9
38	CH <sub>4</sub>	62,0	61,0	65,0	64,0
	CO <sub>2</sub>	34	32	35	34
	O <sub>2</sub>	2,5	3,1	1,5	1,4
38	CH <sub>4</sub>			64,0	62,0
	CO <sub>2</sub>			33	33
	O <sub>2</sub>			1,3	1,8
40	CH <sub>4</sub>	63,0	61,0	61,0	63,0
	CO <sub>2</sub>	34	34	33	34
	O <sub>2</sub>	1,8	2,6	1,9	1,4
41	CH <sub>4</sub>	65,0	64,0	60,0	64,0
	CO <sub>2</sub>	34	33	32	33
	O <sub>2</sub>	1,7	2,2	3,4	2,4
42	CH <sub>4</sub>	65,0	63,0		
	CO <sub>2</sub>	34	33		
	O <sub>2</sub>	103	2		
43	CH <sub>4</sub>	63,0	61,0	64,0	64,0
	CO <sub>2</sub>	33	32	34	34
	O <sub>2</sub>	1,8	2,2	1,2	1,4

**SILOXAANMETINGEN BIOGAS**

Naam monster : Gehydrolyseerd slib 1, 07-11-2011, M45529  
 Projectnummer : 067873

**Results**

Component		Concentration	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>
TetraMethylSilane	4MSi	-	-
TriMethylSilanol	3MSOH	0.05	0.18
HexaMethylDiSiloxaan	L2	-	-
HexaMethylCycloTriSiloxaan	D3	0.01	0.08
OctaMethylTriSiloxane	L3	-	-
OctaMethylCycloTetraSiloxaan	D4	0.15	1.94
DecaMethylTetraSiloxaan	L4	0.02	0.30
DecaMethylCycloPentaSiloxaan	D5	1.17	19.35
DodecaMethylPentaSiloxaan	L5	-	-

Naam monster : Gehydrolyseerd slib 2, 07-11-2011, M45530  
 Projectnummer : 067873

**Results**

Component		Concentration	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>
TetraMethylSilane	4MSi	-	-
TriMethylSilanol	3MSOH	0.04	0.18
HexaMethylDiSiloxaan	L2	-	-
HexaMethylCycloTriSiloxaan	D3	-	-
OctaMethylTriSiloxane	L3	-	-
OctaMethylCycloTetraSiloxaan	D4	0.14	1.85
DecaMethylTetraSiloxaan	L4	0.02	0.34
DecaMethylCycloPentaSiloxaan	D5	1.55	25.72
DodecaMethylPentaSiloxaan	L5	-	-

- = niet aangetroffen (<0.01 ppm)

Naam monster : Referentie slib 3, 07-11-2011, M45531  
 Projectnummer : 067873

### Results

Component		Concentration	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>
TetraMethylSilane	4MSi	-	-
TriMethylSilanol	3MSOH	-	-
HexaMethylDiSiloxaan	L2	-	-
HexaMethylCycloTriSiloxaan	D3	0.03	0.28
OctaMethylTriSiloxane	L3	-	-
OctaMethylCycloTetraSiloxaan	D4	0.18	2.32
DecaMethylTetraSiloxaan	L4	-	-
DecaMethylCycloPentaSiloxaan	D5	1.09	18.08
DodecaMethylPentaSiloxaan	L5	-	-

Naam monster : Referentie slib 4, 07-11-2011, M45532  
 Projectnummer : 067873

### Results

Component		Concentration	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>
TetraMethylSilane	4MSi	-	-
TriMethylSilanol	3MSOH	-	-
HexaMethylDiSiloxaan	L2	-	-
HexaMethylCycloTriSiloxaan	D3	0.01	0.10
OctaMethylTriSiloxane	L3	-	-
OctaMethylCycloTetraSiloxaan	D4	0.14	1.86
DecaMethylTetraSiloxaan	L4	0.01	0.15
DecaMethylCycloPentaSiloxaan	D5	1.06	17.54
DodecaMethylPentaSiloxaan	L5	-	-

- = niet aangetroffen (<0.01 ppm)





## BIJLAGE 5

# GEVOELIGHEIDSANALYSE CENTRALE SLIBVERWERKING HENGELO

## INLEIDING

De slibvergisting op rwzi Enschede is verouderd en dient gerenoveerd te worden. De kostbare renovatie is in een gevoeligheidsanalyse vergeleken met een centrale slibvergisting op rwzi Hengelo waarbij al het slib van waterschap Regge en Dinkel na indikking in Hengelo wordt vergist en ontwaterd.

Beide scenario's zijn vergeleken op kosten en primair energieverbruik. De invloed van de organische stofafbraak, het polymeerverbruik en de slibontwatering op de exploitatiekosten en het energieverbruik van beide scenario's is onderzocht met een eenvoudig rekenmodel. In deze samenvatting zijn de belangrijkste resultaten en conclusies van de gevoeligheidsanalyse samengevat. Het volledige rapport is op te vragen via de Hydrotheek.

## UITGANGSPUNTEN

### SCENARIO 1 CONVENTIONELE AANPASSING:

Conventionele aanpassing van de slibvergisting Enschede en decentrale slibvergisting in Hengelo en Enschede. Op beide locaties vindt slibontwatering plaats en deelstroombehandeling.

### SCENARIO 2 CENTRALE SLIBVERGISTING MET THERMISCHE DRUKHYDROLYSE:

Centrale slibvergisting in Hengelo in combinatie met thermische slibontsluiting van secundair slib. Voorontwatering van secundair slib in Enschede en Hengelo, voorontwatering van primair slib in Enschede, 1 deelstroombehandeling in Hengelo, 1 slibontwatering in Hengelo.

### VARIATIES IN DE GEVOELIGHEIDSANALYSE

In de gevoeligheidsanalyse zijn de volgende aspecten meegenomen

- Polymeerverbruik slibontwatering 10 – 16 kg PE/ton ds
- Ontwateringresultaat 28-32% ds
- Organische stof afbraak sec slib 50-60%

## RESULTATEN

### INVESTERINGSKOSTEN

In scenario 1 moet er circa 14,6 miljoen euro geïnvesteerd worden om de slibvergisting te renoveren. Ook wordt geïnvesteerd in deelstroombehandeling, slibontwatering, WKK's en bandindikers op twee locaties. In scenario 2 bedragen de totale investeringen 12 miljoen euro waarbij er alleen in Hengelo een slibontwatering, WKK's, deelstroombehandeling en een thermische drukhydrolyse worden gerealiseerd. De investeringskosten pakken door centrale slibvergisting in combinatie met thermische drukhydrolyse dus circa 2,5 miljoen euro lager uit.

## EXPLOITATIEKOSTEN

De exploitatiekosten bestaan uit kapitaalslasten, onderhoud, energie, polymeerverbruik, slibtransport en slibafzet. In onderstaande tabel zijn de totale exploitatiekosten van scenario 1 en 2 weergegeven bij variërende slibontwatering, polymeerverbruik en organische stof afbraak (ongunstig, gemiddeld, gunstig). De teruglevering van elektriciteit aan het net is zeer bepalend voor de exploitatiekosten in scenario 2. Er wordt namelijk zoveel biogas geproduceerd dat verwerking in een WKK leidt tot een overschot aan elektriciteit. In de tabel is gerekend met een teruglevertarief van 0,07 euro/kWh (A) en 0,03 euro/kWh (B).

TABEL 1 EXPLOITATIEKOSTEN VERSCHILLENDE SCENARIO'S

Parameter	Eenheid	scenario 1	Scenario 2		
			ongunstig	gemiddeld	gunstig
Totaal A	Euro/jaar	2.677.778	2.789.239	2.517.963	2.248.795
Totaal B	Euro/jaar	2.677.778	3.080.529	2.833.871	2.589.321

Uit de tabel blijkt dat de exploitatiekosten in scenario 2 in 3 situaties hoger zijn dan in scenario 1. Als het polymeerverbruik, de ds gehalten en de organische stofafbraak ongunstig zijn dan kan scenario 2 niet uit. Zijn deze parameters gemiddeld dan kan scenario 2 uit maar is het teruglevertarief slechts 0,03 euro/kWh (B) dan worden de exploitatiekosten hoger dan in scenario 1.

## ENERGIE

Onderdeel van de gevoeligheidsanalyse was het opstellen van een energiebalans, zie tabel 2. Uit de energiebalans blijkt dat in alle gevallen centrale slibvergisting in combinatie met thermische drukhydrolyse (scenario 2) energetisch gunstiger is. Dit is vooral te wijten aan een hogere elektriciteitsproductie in combinatie met een dalend elektriciteitsverbruik.

TABEL 2 PRIMAIRE ENERGIEBALANS VERSCHILLENDE SCENARIO'S

Parameter	Eenheid	scenario 1	Scenario 2		
			ongunstig	gemiddeld	gunstig
Elektriciteitsverbruik	GJ/jaar	108.000	103.624	103.823	104.021
PE verbruik	GJ/jaar	2.978	4.587	4.003	3.373
Warmte verbruik	GJ/jaar	33.455	36.445	36.445	36.445
Transport verbruik	GJ/jaar	3.659	3.139	2.870	2.634
Elektriciteitsproductie	GJ/jaar	90.445	110.473	116.210	121.948
Warmte productie	GJ/jaar	42.842	52.329	55.047	57.765
<b>Totalen</b>					
Warmte	GJ/jaar	9.387	15.884	18.602	21.320
Overige	GJ/jaar	-24.193	-878	5.515	11.919
<b>TOTAAL</b>	GJ/jaar	-14.805	15.007	24.117	33.239

## CONCLUSIES

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat centrale slibvergisting in Hengelo in combinatie met thermische drukhydrolyse goedkoper is qua investeringen. De exploitatiekosten kunnen echter hoger liggen door een ongunstig tarief voor teruglevering van elektriciteit. Centralisatie van de slibvergisting met thermische drukhydrolyse leidt tot een positieve energiebalans.