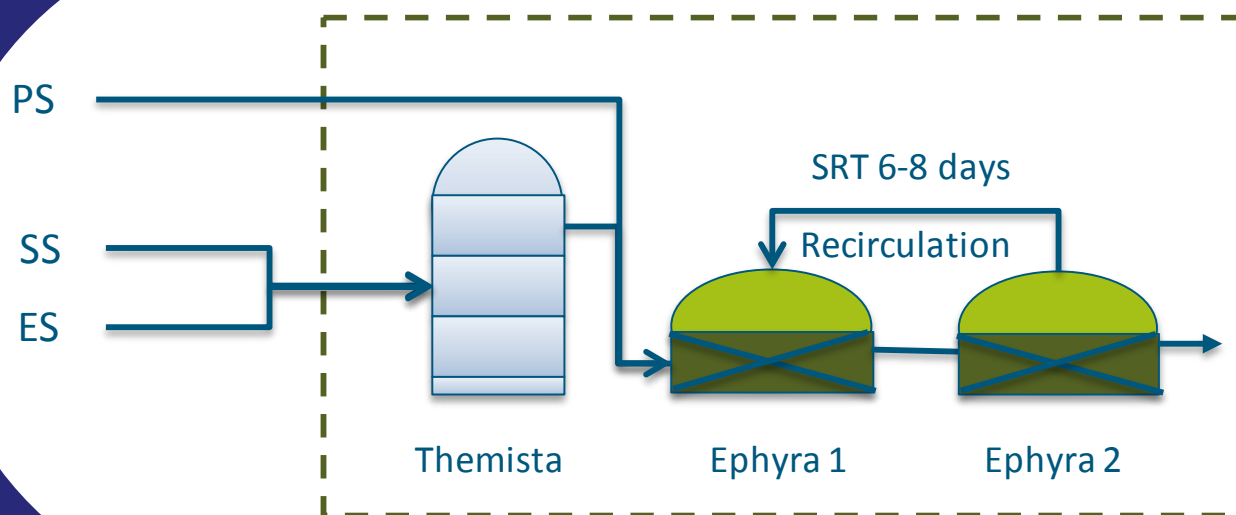


# THEMISTA/EPHYRA PILOT ONDERZOEK OP RWZI NIEUWGRAAF



THEMISTA/EPHYRA PILOT ONDERZOEK OP RWZI NIEUWGRAAF

**RAPPORT**

2020

**47**

ISBN 978.90.5773.905.7



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS André Visser - RHDHV  
Alexander Hendriks - RHDHV  
David Berkhof - RHDHV

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Chris Reijken, - Waternet  
Coert Petri - Waterschap Vallei en Veluwe  
Johan Vlot / Ben Roelfzema - Waterschap Drents Overijsselse Delta  
Merle de Kreuk - Technische Universiteit Delft  
Roger Vingerhoeds - Waterschap Brabantse Delta  
Willy Poiesz - Waterschap Noorderzijlvest  
Alex Sengers - Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpernerwaard  
Cora Uijterlinde - STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2020-47  
ISBN 978.90.5773.905.7

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

## **TOEPASSEN VAN EEN GECOMBINEERDE EPHYRA<sup>®</sup> EN THEMISTA<sup>®</sup> SLIBGISTINGSTECHNOLOGIE VOOR VERHOGEN VAN DE SLIBGISTINGSCAPACITEIT LIJKT KANSRIJK**

Nederland staat voor de grote opgave om in 2050 energieneutraal te zijn. Waterschappen zullen aan deze doelstelling bijdragen door onder ander het verbeteren van de energie-efficiency, een combinatie van energiebesparing en het opwekken van duurzame energie. Het vergisten van slib waarbij biogas wordt geproduceerd draagt hieraan bij. Diverse onderzoeken richten zich dan ook op de ontwikkeling van technologieën om de slibgisting te optimaliseren en zo kosteneffectief de biogasproductie te verhogen. Twee voorbeelden zijn de Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup> technologie; beide worden momenteel op praktijkschaal toegepast.

Een nieuw concept waarbij beide technologieën worden gecombineerd is in een pilot plant getest op de rwzi Nieuwgraaf. Uit de resultaten blijkt dat de combinatie van Themista<sup>®</sup> en Ephyra<sup>®</sup> een stabiele gisting geeft bij een gemiddelde verblijftijd van 2 x 6,5 tot 2 x 7 dagen, en pieken tot 2 x 4 dagen. Bij de Themista<sup>®</sup>/ Ephyra<sup>®</sup> combinatie wordt bij een verblijftijd van 14 dagen 5% absoluut meer slib afgebroken dan voor een mesofiele referentiegisting bij 20 dagen verblijftijd. De combinatie is interessant omdat zo de capaciteit van bestaande gistingen kan worden verhoogd en meer slib kan worden vergist. Op deze wijze is een verdere centralisatie van slibgisting tegen lage kosten mogelijk. Het financiële voordeel met deze combinatietechnologie is locatieafhankelijk maar een terugverdientijd van korter dan 10 jaar lijkt mogelijk.

Slib is een belangrijk thema voor de waterschappen. Met de verwerking van slib zijn enerzijds hoge kosten gemoeid. Anderzijds, biedt slib ook diverse kansen voor productie van duurzame energie en grondstoffenterugwinning, om zo mede de ambities van de watersector in Nederland in te vullen. Ontwikkeling van nieuwe technologieën zoals de in dit rapport beschreven combinatie, blijft nodig om te komen tot een duurzame slibverwerking

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

## INNOVATIES IN SLIBGISTING

Sinds 2010 is er bij de waterschappen een hernieuwde aandacht voor slibgisting om zo de energieneutraliteit te vergroten, potentiële grondstoffen terug te winnen, en de kosten voor slibverwerking te verlagen. Royal HaskoningDHV heeft in dit kader de Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup> ontwikkeld. Ephyra<sup>®</sup> wordt sinds november 2017 op praktijkschaal op de rwzi Tollebeek toegepast. Themista<sup>®</sup> wordt op de rwzi Kralingseveer toegepast.

Waterschap Rijn en IJssel overweegt om op de rwzi Nieuwgraaf een centrale slibgisting te realiseren. Een aantrekkelijke oplossing is om dit te doen met de bestaande gistingstanks. Een potentiële oplossing is om de bestaande tanks in een Ephyra<sup>®</sup> schakeling te bedrijven en het spuislib voor te behandelen met de Themista<sup>®</sup> technologie. Deze Themista<sup>®</sup>/Ephyra<sup>®</sup> combinatie is op de rwzi Nieuwgraaf op pilot schaal (2 x 10 m<sup>3</sup>) getest, en vergeleken met een referentiereactor bestaande uit één gemengde reactor. In dit rapport worden de resultaten van de pilot en aanvullende verricht onderzoek besproken.

## THEMISTA<sup>®</sup>/EPHYRA<sup>®</sup> (T/E) TECHNOLOGIE

De Ephyra<sup>®</sup> technologie is in de basis het toepassen van 2, 3 of 4 reactoren in serie. Door toepassen van de serieschakeling is er (hydraulisch) een verschuiving van een volledig gemengde reactor naar meer een propstroomconfiguratie. Kenmerkend voor Ephyra<sup>®</sup> is de recirculatiestroom van de laatste naar de eerste reactor, en het gegeven dat korte verblijftijden - tot 6 à 8 dagen - kunnen (maar niet hoeven) worden toegepast. Bij Themista<sup>®</sup> wordt het slib thermisch (60 - 80°C) en chemisch behandeld (O<sub>3</sub> of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Het resultaat is een betere afbreekbaarheid en een versnelling van de afbraakprocessen, waardoor bij kortere verblijftijd al meer wordt afgebroken. Door beide processen te combineren kunnen korte verblijftijden gecombineerd worden met een hoge afbraak. Een aantrekkelijk concept om bij centrale slibgistingen met de bestaande gistingstanks meer slib te kunnen vergisten. Figuur 1 geeft de Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup> technologie schematisch weer.

## T/E COMBINATIE OP NIEUWGRAAF

Voor de T/E-combinatie op Nieuwgraaf wordt uitgegaan van een thermische/chemische voorbehandeling van het spuislib van Nieuwgraaf en het extern aangevoerde (spui)slib, en de bestaande 2 reactoren om te bouwen tot een Ephyra<sup>®</sup> serieschakeling en als zodanig te bedrijven. Dit zou in de praktijk betekenen dat de gemiddelde verblijftijd op Nieuwgraaf circa 2 x 7 = 14 dagen wordt. Deze configuratie is getest in de pilot installatie op de rwzi Nieuwgraaf.

## DE PILOT INSTALLATIE

De pilot bestond uit een buffer voor de inname van secundair en extern slib en een verwarmingstank om slib thermisch te behandelen inclusief een koeler, zodat de gisting onder mesofiele condities kon worden bedreven. De slibgisting zelf bestond uit 2 (ieder 10 m<sup>3</sup>) in serie geschakelde reactoren inclusief een recirculatiestroom (zie figuur 2).

De referentie reactor bestond uit 1 gemengde reactor die via verwarmen van het ingaande slib op de gewenste temperatuur werd gehouden.

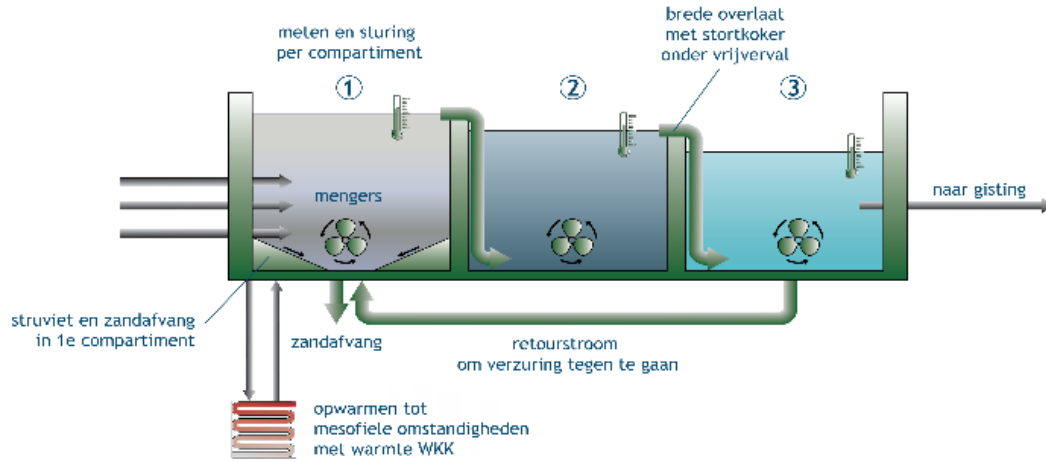
FIGUUR 1

EPHYRA® EN THEMISTA® TECHNOLOGIE.

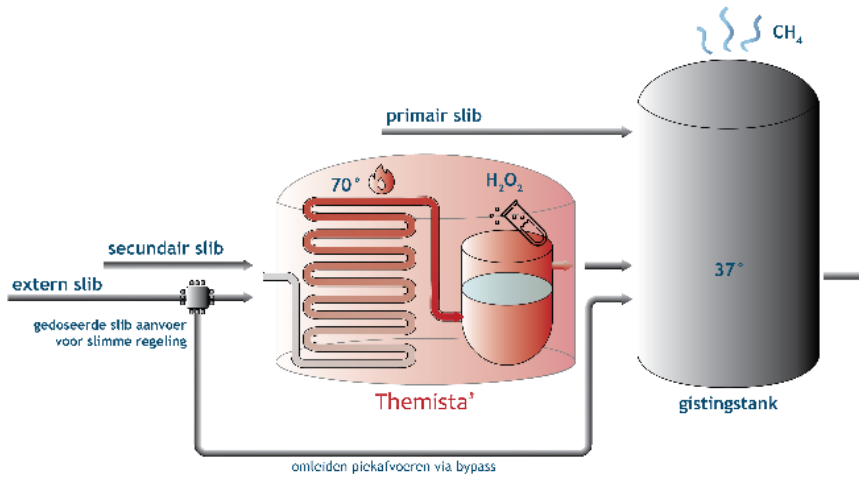
HET EPHYRA® VOORBEELD ZIJN 3 REACTOREN IN SERIE, IN DIT GEVAL UITGEVOERD ALS 3 COMPARTIMENTEN IN 1 REACTOR.

HET THEMISTA® SCHEMA GEEFT DE THERMISCHE VOORBEHANDELING VAN SECUNDAIR SLIB MET IN DIT VOORBEELD AANVULLENDE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> DOSERING

a. Ephyra® voorbeeld. 3 reactoren in serie

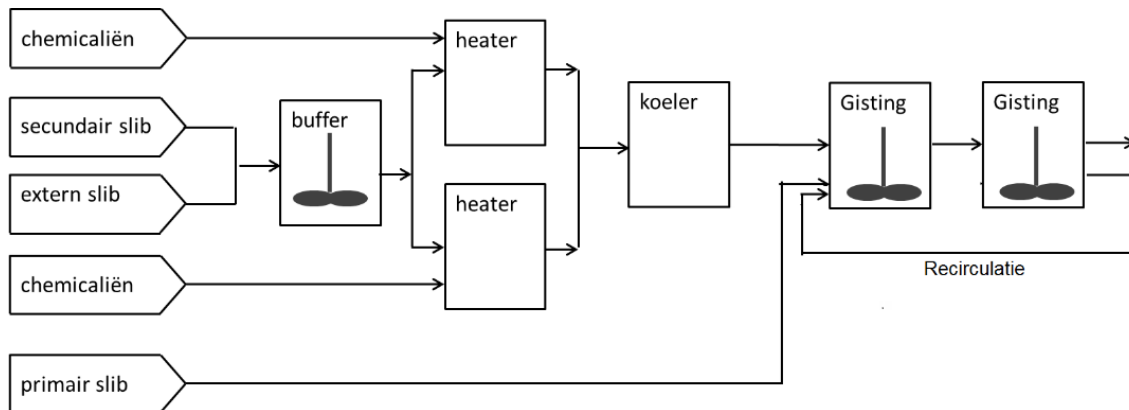


b. Themista® :thermisch met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



FIGUUR 2

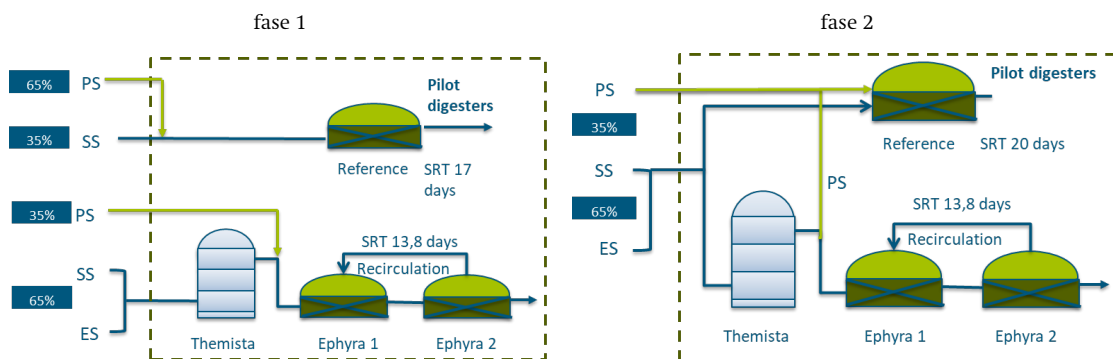
PROCESSCHEMA PILOT INSTALLATIE NIEUWGRAAF



## ONDERZOEKSPROGRAMMA

Het vergelijkende onderzoek bestond uit 2 fases (zie figuur 3). In de eerste fase werd de mogelijke toekomstige situatie op Nieuwgraaf, waarbij dan ook aangevoerd extern slib wordt vergist, vergeleken met de huidige wijze van slib gisten op Nieuwgraaf. Dit werd gedaan om de uitgangspunten in business case berekening van Nieuwgraaf te valideren. Het betekende wel dat de referentie en de T/E-combinatie met verschillend slib werd gevoed, hetgeen een onderling vergelijking bemoeilijkt. In fase 2 werden daarom beide systemen gevoed met hetzelfde slib. Voor de referentie werd in dat geval uitgegaan van 20 dagen als standaard verblijftijd voor een slibgisting in Nederland.

FIGUUR 3 OPZET PILOT ONDERZOEK FASE 1 EN FASE 2



Na afloop van fase 2 werd de referentie reactor uit bedrijf genomen. De T/E combinatie bleef nog kort in bedrijf om het effect van piekbelastingen en korte verblijftijden (8 en 6 dagen) te testen (fase 3).

## EFFECT THEMISTA® BEHANDELING OP SPUISLIB

Er waren 2 duidelijke effecten van de Themista® behandeling op het slib waarneembaar:

- Na de behandeling was er een toename van het opgeloste CZV tot ca 5 g/l. Gemiddeld ging 15% van de CZV in oplossing. Opgelost CZV is makkelijker en sneller afbreekbaar dan niet opgelost CZV.
- De thermische-chemische behandeling leidde tot een verlaging van de viscositeit. Ook de viscositeit van het uitgiste slib na de T/E combinatie was lager dan de viscositeit van het uitgiste slib van de referentie.

## RESULTATEN ONDERZOEKSFASE 1

De bedrijfsvoering van de T/E combinatie en de referentiereactor is gegeven in tabel 1.

TABEL 1 KENTALLEN BEDRIJFSVOERING PILOT FASE 1

Parameter		systeem	
		T/E combinatie	Referentie
verblijftijd	dag	14,1	17,2
ODS belasting	kg ODS/m <sup>3</sup> .d	3,4 - 2,0 *)	1,8
aandeel primair slib	% op basis kg DS	35	50,5

\*) 1<sup>ste</sup> en 2<sup>de</sup> reactor van de Ephyra® configuratie

De prestaties van de systemen zijn gegeven in tabel 2.

TABEL 2 PRESTATIE GISTING PILOT FASE 1

Parameter			systeem	
			T/E combinatie	Referentie
ODS afbraak	95% betrouwbaarheidsinterval	%	47,3 - 51,9	47,5 - 52,9
CZV afbraak	95% betrouwbaarheidsinterval	%	46,7 - 53,4	48,1 - 53,9
Biogas	95% betrouwbaarheidsinterval	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg ODSin	0,30 -0,36	0,32 - 0,38

Uit de resultaten kan worden opgemaakt dat de T/E combinatie, ondanks het feit dat het werd gevoed met een minder goed afbreekbaar slib (lager percentage primair slib) en een kortere slibverblijftijd (13,8 dagen versus 17 dagen), een gelijk afbraakpercentage haalde als de referentiereactor. Dit was op basis van het rekenmodel dat door Royal HaskoningDHV is ontwikkeld ook voorspeld.

## RESULTATEN ONDERZOEKSFASE 2

De bedrijfsvoering van de T/E combinatie en de referentiereactor is gegeven in tabel 3. Het aandeel primair slib (25%) bleek in deze periode lager te zijn dan de “doelwaarde” van 35%

TABEL 3 KENTALLEN BEDRIJFSVOERING PILOT FASE 2

Parameter		Systeem	
		T/E combinatie	Referentie
Verblijftijd	dag	14,6	22,4
ODS belasting	kg ODS/m <sup>3</sup> .d	4,3 - 2,8 *)	2,25
Aandeel primair slib	% op basis kg DS	25	25

\*) belasting van de eerste en tweede reactor

Na de overschakeling van fase 1 naar fase 2 moest door een ander aandeel primair slib en slibconcentratie dan in fase 1, worden gewacht tot het systeem weer in evenwicht was. De prestatie na het bereiken van de evenwichtssituatie is gegeven in tabel 4.

TABEL 4 PRESTATIE GISTING PILOT FASE 2

Parameter			Systeem	
			T/E combinatie	Referentie
ODS afbraak	95% betrouwbaarheidsinterval	%	43,2 - 46,6	37,9 - 40,9
Biogas	95% betrouwbaarheidsinterval	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg ODSin	0,25 -0,26	0,23 - 0,27

Bij een vergelijking van de T/E combinatie met de referentie is de gemiddelde absolute ODS-meerafbraak in de T/E combinatie 5,5% (ofwel 14% relatief). Het bereik is van 2,3 tot 8,7% ODS absoluut. Modelberekeningen met het door Royal HaskoningDHV toegepaste model, waarbij de afbraak van primair en spuislib apart wordt berekend op basis van de verblijftijd, voorspelde een absolute meerafbraak van 4,8 tot 8,5 % ODS. Dit stemt goed overeen met de meetdata. Onderzoek naar de ontwateringseigenschappen van het uitgestist slib met een praktijkcentrifuge geven een 2,5% absoluut hoger DS resultaat voor uitgestist slib van de T/E combinatie. Hier was echter wel een hogere PE dosering tot 5 g PE/kg DS, voor nodig.



### RESULTATEN ONDERZOEKSFASE 3 – EFFECTEN KORTERE VERBLIJFTIJDEN

Aan het einde van de pilottesten is kort onderzoek gedaan naar de effecten van kortere verblijftijden, te weten 8 dagen (2 x 4 dagen) gedurende 2 weken, gevolgd door een verblijftijd van 6 dagen (2 x 3 dagen) gedurende 1 week. Het accent in dit onderzoek lag bij het volgen van de systeemstabiliteit. Bij een verblijftijd van 2 x 4 dagen bleef het systeem stabiel functioneren. Wel was een pH daling tot ca 6,5 in de eerste reactor waarneembaar. Vetzuurconcentraties beleven stabiel. De duur van de testen bij 2 x 3 dagen (1 week) was te kort om systeemstabiliteit goed op langere termijn te kunnen beoordelen, ondanks het feit dat er tijdens de testweek geen verzuring optrad.

### FINANCIËLE VERGELIJKING

Voor de financiële vergelijking is de rwzi Bath als voorbeeld genomen. Op Bath zijn 2 gistingstanks aanwezig. Als Bath zou worden omgebouwd tot een Ephyra<sup>®</sup> serieschakelde slibgisting (2 tanks in serie) met Themista<sup>®</sup> voorbehandeling, zou het financiële voordeel € 237,000 per jaar bedragen. De eenvoudige terugverdientijd zou dan 10 à 12,5 jaar bedragen. Als op Bath meer slib dan nu zou worden vergist zou het financiële hoger worden. Als de slibhoeveelheid die vergist zou worden zou verdubbelen zou de terugverdientijd 7,5 à 10 jaar bedragen.

### CONCLUSIE

Het onderzoek toont aan dat het thermisch/chemisch voorbehandelen van slib (Themista<sup>®</sup>) in combinatie met serieschakeling van (bestaande) gistingstanks (Ephyra<sup>®</sup>) een valide en aantrekkelijke optie is. De gisting presteert stabiel bij een verblijftijd van 13 à 14 dagen ofwel 2 x 6,5 – 7,0 bij 2 reactoren in serie, en mogelijk ook bij kortere verblijftijden. Piekbelastingen die 2 weken duurden en waarbij tot 2 x 4 dagen verblijftijd wordt toegepast kunnen worden verwerkt. In vergelijking met een conventionele slibgisting wordt bij de T/E combinatie meer slib afgebroken en meer biogas geproduceerd. De gemeten organische drogestof meerafbraak bedroeg 5,5% absoluut. Het financiële voordeel in de jaarlijkse bedrijfsvoeringskosten bij toepassen van deze technologie zal per locatie verschillen. Een terugverdientijd korter dan 7,5 à 12,5 jaar lijkt haalbaar.

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# THEMISTA/EPHYRA PILOT ONDERZOEK OP RWZI NIEUWGRAAF

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>THEORIE</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	Slibgisting	2
<b>2.2</b>	Ephyra®	3
2.2.1	Algemeen	3
2.2.2	Ephyra® kenmerken	4
2.2.3	Ephyra® prestatie	5
<b>2.3</b>	Themista®	6
2.3.1	Algemeen	6
2.3.2	Kenmerken Themista®	7
2.3.3	Prestatie Themista®	8
<b>2.4</b>	Themista®/Ephyra® - combinatie	8
<b>3</b>	<b>ONDERZOEKSOPZET EN FASERING</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	Pilot installatie	9
3.1.1	Referentie installatie	9
3.1.2	Themista®/Ephyra® combinatie	9
<b>3.2</b>	Labonderzoek	10
<b>3.3</b>	Onderzoeksfasering	10
<b>3.4</b>	Metingen en analyses	12
3.4.1	Algemeen	12
3.4.2	Debiet	12
3.4.3	DS en ODS metingen	12
3.4.4	Biogas productie en samenstelling	13
3.4.5	CZV analyse	13
3.4.6	Vetzuren	13
3.4.7	EPS extracties en fractionering	13
3.4.8	Ontwatering	13
3.4.9	Kationen	15

<b>4</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	Labonderzoek	16
<b>4.2</b>	Pilot Onderzoek - Fase I	16
4.2.1	Slibsamenstelling, verblijftijden en belasting.	16
4.2.2	Effect Themista® behandeling op secundair slib	18
4.2.3	Slib aan- en afvoer	18
4.2.4	ODS afbraak	20
4.2.5	CZV afbraak	21
4.2.6	Biogasproductie	21
4.2.7	Balansen	22
<b>4.3</b>	Pilot onderzoek - Fase II	24
4.3.1	Slibsamenstelling, verblijftijden en belasting.	24
4.3.2	Effect Themista® behandeling op secundair slib.	26
4.3.3	Slib aan- en afvoer	27
4.3.4	ODS afbraak	28
4.3.5	CZV afbraak	29
4.3.6	Biogasproductie	29
4.3.7	Balansen	30
4.3.8	Restvergistbaarheid	32
4.3.9	Ontwateringstesten	32
4.3.10	EPS effecten T/E combinatie	36
4.3.11	Kationen	36
<b>4.4</b>	Pilot onderzoek - Fase III	38
4.4.1	Slibsamenstelling, verblijftijden en belasting	39
4.4.2	Effect Themista® behandeling op secundair slib.	40
4.4.3	Slib aan- en afvoer	40
4.4.4	ODS afbraak	41
4.4.5	pH verloop	41
4.4.6	Opgelost CZV en vetzuurconcentraties effluent T/E combinatie	42
<b>5</b>	<b>BUSINESS CASE</b>	<b>44</b>
<b>5.1</b>	Inleiding	44
<b>5.2</b>	Ontwerpcriteria Themista®/Ephyra® combinatie	44
<b>5.3</b>	Uitgangspunten	44
<b>5.4</b>	Technologische berekeningen	45
<b>5.5</b>	Financiële berekeningen	46
<b>6</b>	<b>EVALUATIE</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	Algemeen	47
<b>6.2</b>	Slibafbraak	47
<b>6.3</b>	Piekbelastingen	49
<b>6.4</b>	Verwerking piekaanvoer	49
<b>6.5</b>	Effect Themista® behandeling	49
<b>6.6</b>	Balansen	49
<b>6.7</b>	Ontwatering	50
<b>6.8</b>	Financieel	50
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>51</b>
<b>7.1</b>	Conclusies	51
<b>8</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>53</b>
BIJLAGE A1	EFFECT THEMISTA® BEHANDELING OP CZV	54
BIJLAGE A2	EPS FRACTIONERING	56

# 1

## INLEIDING

Diverse waterschappen hebben de ambitie om meer slib te gaan vergisten om te komen tot een grotere energieneutraliteit, grotere potentie om grondstoffen terug te winnen en te komen tot lagere slib(eind)verwerkingskosten. In het kader hiervan heeft ook Waterschap Rijn en IJssel de ambitie om een groot deel van haar slib op de RWZI Nieuwgraaf te gaan vergisten waarbij Nieuwgraaf wordt omgevormd tot een Energiefabriek.

Royal HaskoningDHV ontwikkelt sinds 2011, in samenwerking met de Waterschappen (Stowa, WS Zuiderzeeland, HH Schieland en de Krimpenerwaard) en Logisticon, Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup>, twee kostenefficiënte technologieën waarmee het slibgistingproces wordt verbeterd; meer biogas, meer slibafbraak en beter ontwaterd slib. Van 2011 tot 2016 is uitgebreid labonderzoek uitgevoerd en in de periode januari 2014 t/m juni 2016 is pilotonderzoek naar deze technologieën uitgevoerd. In dit pilotonderzoek zijn de voordelen bevestigd hetgeen geleid heeft tot het besluit om een demonstratie-installatie voor Ephyra<sup>®</sup> op de AWZI Tollebeek, en een demonstratie-installatie voor Themista<sup>®</sup> op de AWZI Kralingseveer te realiseren.

Het uitgevoerde lab- en pilotonderzoek alsmede de gesprekken met potentiële eindgebruikers heeft geleid tot het (voortschrijdende) inzicht dat het technisch en technologisch op veel gistinglocaties mogelijk is om de Themista<sup>®</sup> en de Ephyra<sup>®</sup> principes te combineren tot de Themista/Ephyra combinatie waardoor maximaal gebruik wordt gemaakt van bestaande assets. Dit houdt in dat zonder het bijbouwen van gistingvolume de verwerkingscapaciteit verhoogd kan worden en er, ondanks de kortere verblijftijd, per ton droge stof (DS) extra biogas geproduceerd wordt.

Om de mogelijkheden van deze combinatie te onderzoeken en na te gaan welke extra afbraak gerealiseerd kan worden, is in dit project de Themista/Ephyra combinatie op pilotschaal (20 m<sup>3</sup>) vergeleken met een referentiegisting met één gemengde reactor. Tevens is er (aanvullend) labonderzoek uitgevoerd om meer kennis van het functioneren van de technologie te verkrijgen. Het doel van het project is (1) eenduidig aantonen wat de meerwaarde is van de Themista/Ephyra combinatie op de biogasproductie, de slibreductie en de ontwaterbaarheid van het slib. Daarnaast is (2) het vaststellen van ontwerpparameters en onderbouwing van een business case een doel.

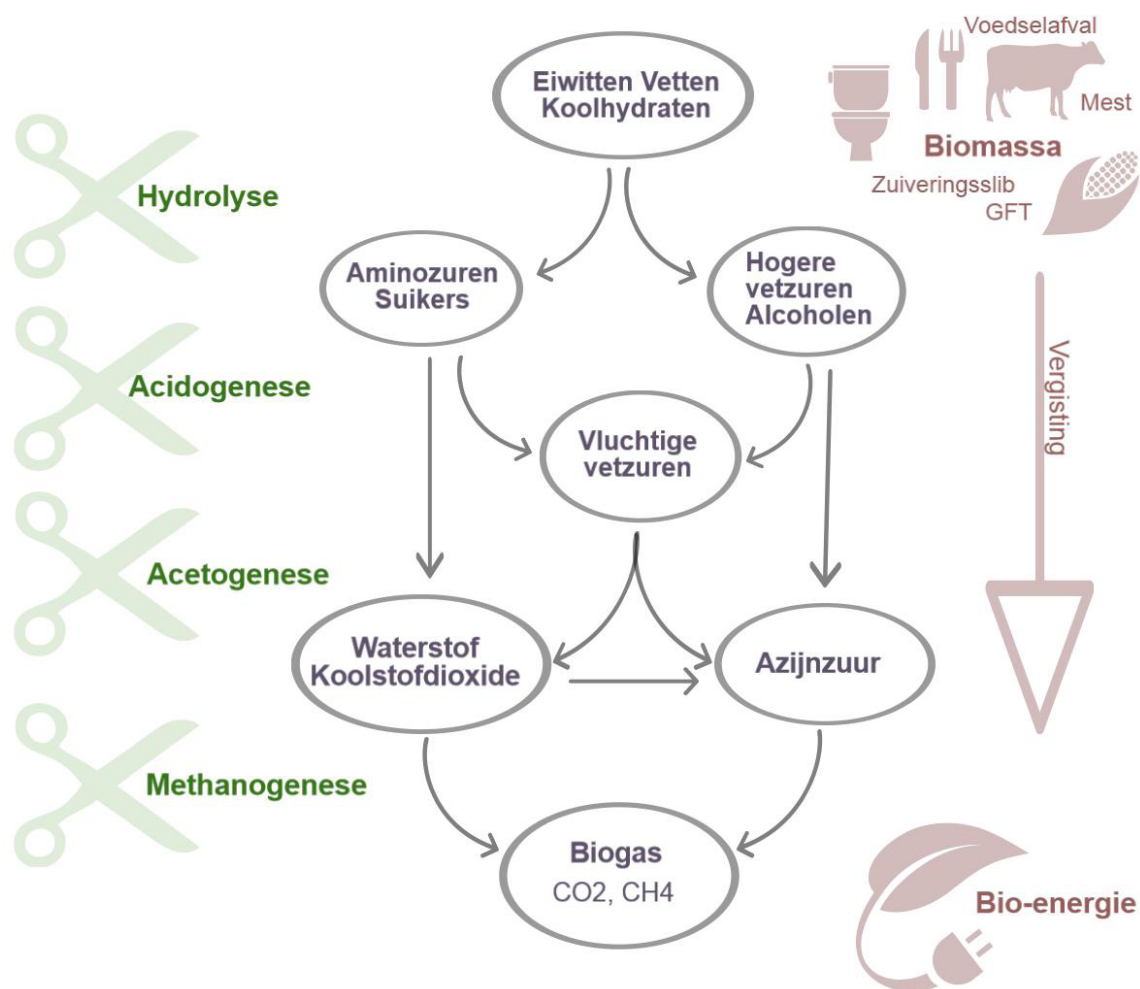
# 2

## THEORIE

### 2.1 SLIBGISTING

Bij slibgisting wordt organische stof (slib) in een aantal stappen onder anaërobe condities omgezet in biogas, een mengsel van voornamelijk  $\text{CH}_4$  en  $\text{CO}_2$ . Het proces is schematisch in Figuur 1 weergegeven.

FIGUUR 1. AFBRAAKROUTES ORGANISCHE STOF TIJDENS SLIBGISTING



Slibgisting is een bekend en uitgebreid beschreven proces (zie ook Handboek slibgisting STOWA rapport 2011-16). Met de komst van de initiatieven Energiefabriek en later de grondstoffenfabriek ontstond er vernieuwde aandacht voor het vergisten van slib. Om de ambities van de Energiefabriek waar te maken was er behoefte aan nieuwe slibgistingsconcepten om het gistingsproces te verbeteren en optimaliseren.

Dit heeft geleid tot de introductie van nieuwe technologieën waaronder:

- Toepassen van thermische drukhydrolyse om de afbreekbaarheid van secundair slib te verbeteren en zo (I) meer slib af te breken en (II) meer biogas te maken. Voorbeelden zijn Sustec technologie van Dirkse Milieu techniek, Lysotherm van Eliquo, en Cambi. Al deze technieken worden toegepast in Nederland;
- Thermofiele slibgisting. Hierbij wordt de gisting bij hogere temperaturen (55 °C) bedreven hetgeen moet leiden tot een betere slibafbraak. Door Colsen BV wordt deze technologie momenteel gerealiseerd op de rwzi's Tiel en Den Bosch.
- Gecombineerde Thermofiele-mesofiele gisting. Deze technologie is ontwikkeld door Host. Op de rwzi Echten wordt deze techniek al jaren toegepast. Op de rwzi Zwolle wordt de bestaande gisting momenteel uitgebreid en aangepast tot een gecombineerde thermofiele-mesofiele gisting.
- Ephyra<sup>®</sup> technologie. Deze door Royal HaskoningDHV ontwikkelde technologie is gebaseerd op propstroomvergisting. Sinds 2017 is de eerst praktijkinstallatie op de rwzi Tollebeek operationeel.
- Themista<sup>®</sup> proces. Dit proces is een gecombineerde thermische-chemische behandeling van secundair slib om de afbreekbaarheid van het slib te verbeteren. De eerst praktijktoepassing wordt verwacht op de rwzi Kralingseveer in 2020.

In dit rapport worden de resultaten van een pilot studie beschreven waarbij 2 technologieën, Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup>, zijn gecombineerd. In de volgende paragrafen worden deze technieken beschreven.

## 2.2 EPHYRA<sup>®</sup>

### 2.2.1 ALGEMEEN

Ephyra<sup>®</sup> is een technologie die oorspronkelijk is afgeleid van verticale propstroomreactoren zoals toegepast in Duitsland. Ephyra<sup>®</sup> is uitgebreid getest onder laboratorium condities en pilot plant condities (zie ook toepassing van nieuwe gistingsconcepten Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup>, Stowa rapport 2013-34). Sinds november 2017 is de eerste praktijkinstallatie operationeel.

Oorspronkelijk bestond Ephyra<sup>®</sup> uit 4 in serie geschakelde reactoren. Deze configuratie is ook op pilot schaal getest op de rwzi Tollebeek, zoals weergegeven in Figuur 2.

FIGUUR 2 EPHYRA<sup>®</sup> PILOTINSTALLATIE TOLLEBEEK (4 REACTOREN IN SERIE)



Parallel aan de lab- en pilottesten met Ephyra<sup>®</sup> zijn ook diverse statische en dynamische modelberekeningen uitgevoerd om het proces verder te optimaliseren. Dit heeft er onder meer toe geleid dat het oorspronkelijke op 4 reactoren in serie concept is gewijzigd in 3 of meer reactoren in serie concept. Voor Tollebeek betekende dit dat de Ephyra<sup>®</sup> praktijkinstallatie bestaat uit 1 tank bestaande uit drie compartimenten in serie.

### 2.2.2 EPHYRA<sup>®</sup> KENMERKEN

Typische kenmerken van een Ephyra<sup>®</sup> slibgisting zijn:

- 3 of 4 reactoren in serie waardoor een propstroom karakter ontstaat;
- Mogelijkheid tot toepassen van korte verblijftijden van 6 tot 8 dagen;
- Interne gecontroleerde/gestuurde recirculatie om processtabiliteit en optimale prestatie te borgen;
- Betere slibomzetting en hogere biogasproducties dan conventionele mesofiele gistingen.

De betere prestatie van Ephyra<sup>®</sup> ten opzichte van een conventionele mesofiele gisting komt door:

#### a. Hogere omzettingssnelheden:

Dit hangt samen met het propstroomkarakter van het Ephyra<sup>®</sup> proces. Hierdoor zijn in de eerste compartimenten hogere substraatconcentraties te vinden. Door deze hogere concentraties liggen afbraaksnelheden eveneens hoger. Hogere snelheden kent 2 voordelen:

- hetzelfde gistingresultaat kan worden gehaald bij een kleiner volume;
- meer slibafbraak kan worden gehaald bij eenzelfde volume.

#### b. Betere sibleeftijdsspreiding:

In een volledig gemengde reactor heeft 2/3 van het slib een kortere verblijftijd dan de theoretische verblijftijd (reactorvolume/aanvoer debiet). 1/3 van het slib heeft een langere verblijftijd. In een perfecte propstroomreactor zou al het slib een verblijftijd gelijk aan de theoretische verblijftijd hebben. Omdat anaërobe slibafbraak met name bij kortere verblijftijden (snel) afneemt, leidt de kleinere verblijftijdsspreiding bij Ephyra<sup>®</sup> tot meer slibafbraak dan een conventioneel volledig gemengd systeem.

#### c. Fasescheiding;

In een volledig gemengde reactor zullen alle processen waarbij slib wordt omgezet in biogas (zie ook Figuur 1) in 1 reactor simultaan plaatsvinden. Bij Ephyra<sup>®</sup> worden deze processen (deels) gescheiden. In de eerste reactor zal hydrolyse en verzuring al grotendeels plaatsvinden. Aangenomen wordt dat hydrolyse in conventionele vergisters snelheidsbepalend is. De hogere substraatconcentraties vergeleken met een conventionele gister in de eerste Ephyra<sup>®</sup> tank versnelt daarmee deze fase. Azijnzuur en methaanvorming vinden met name in de latere reactoren of compartimenten plaats. Bij het pilot onderzoek Tollebeek en de praktijkinstallatie op Tollebeek, beide bestaand uit een Ephyra<sup>®</sup> gisting en een nageschakelde conventionele gisting, blijkt dat al 70 tot 80% van de slibafbraak en biogasproductie plaatsvindt in de Ephyra<sup>®</sup> gisting; de resterende 20 tot 30% treedt op in de nageschakelde vergister.

Doordat fasescheiding optreedt, is het belangrijk om de procescondities voor de verschillende fases zo optimaal mogelijk te houden. Dit geldt vooral voor de hydrolyse en verzuring waarbij vetzuren worden gevormd die, indien niet gecontroleerd, tot een pH daling en verzuring kunnen leiden. Bij een Ephyra<sup>®</sup> gisting wordt daarom ook om - onder ander de pH te regelen - intern gerecirculeerd. De mate van recirculatie wordt geregeld met de Ephyra<sup>®</sup> controller.



Naast de genoemde Ephyra<sup>®</sup> kenmerken blijkt een Ephyra<sup>®</sup> gisting zeer robuust. Tijdens de pilot testen en de praktijkinstallatie op Tollebeek bleek dat variaties in belasting en ook piekbelastingen door Ephyra<sup>®</sup> probleemloos worden verwerkt. Tijdens de pilot testen op Tollebeek zijn piekaanvoeren getest tot 6 dagen verblijftijd (zonder navergister) met een duur van 1 week. Op de praktijkinstallatie op Tollebeek zijn piekbelastingen voorgekomen overeenkomend met een verblijftijd van 5 dagen.

### 2.2.3 EPHYRA<sup>®</sup> PRESTATIE

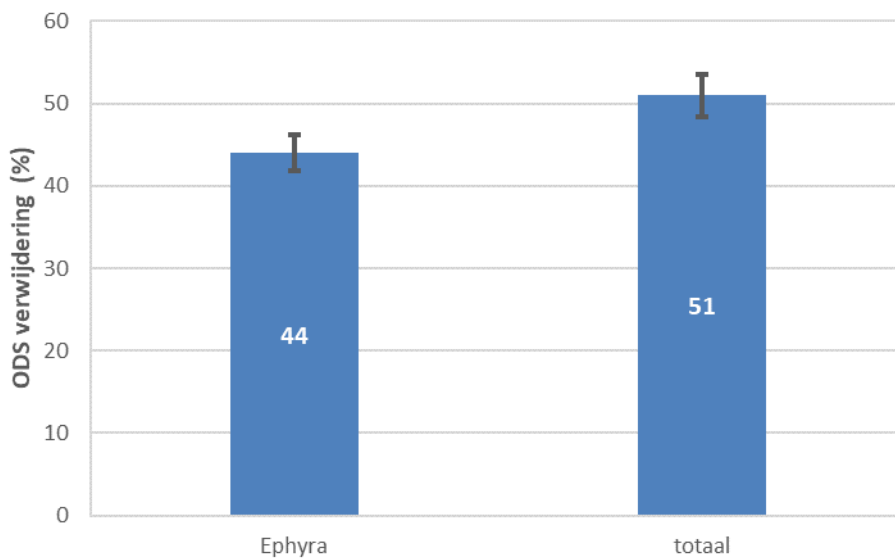
Momenteel is er 1 Ephyra<sup>®</sup> praktijkinstallatie, te weten de installatie op Tollebeek. Tabel 1 geeft verblijftijden en belasting van de gisting op Tollebeek weer.

TABEL 1 VERBLIJFTIJDEN EN BELASTING SLIBGISTING TOLLEBEEK GEMETEN IN 2018

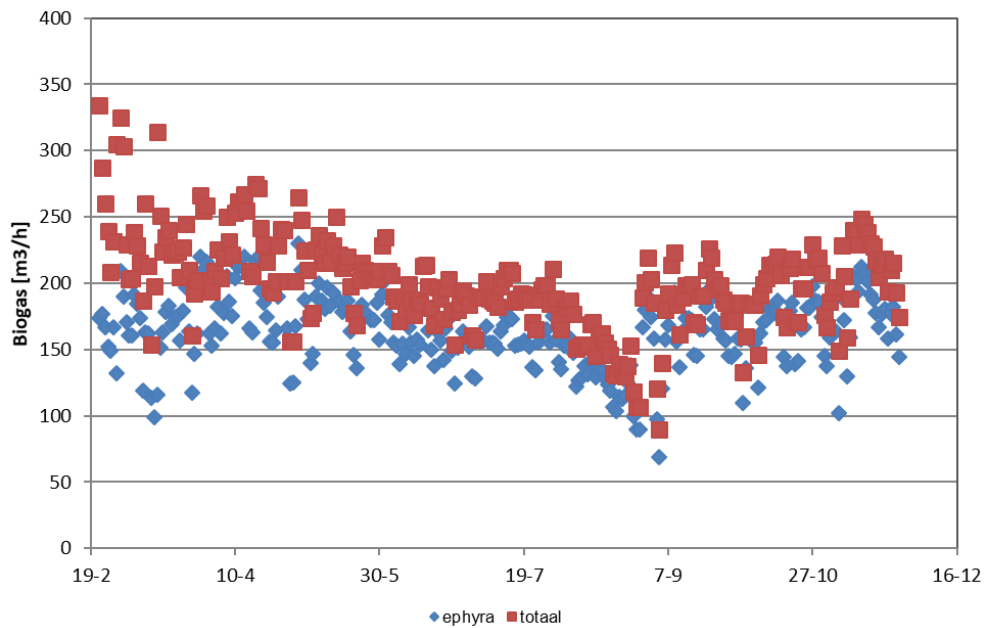
Uitgangspunt			Waarde	Eenheid
Verblijftijd	gemiddeld	- Ephyra <sup>®</sup>	8,1	dag
		- Ephyra <sup>®</sup> + navergister	18,8	dag
	Minimum	- Ephyra <sup>®</sup>	5,1	dag
		- Ephyra <sup>®</sup> + navergister	11,9	dag
Belasting	gemiddeld	- Ephyra <sup>®</sup>	6,3	Kg ODS/m <sup>3</sup> .dag
		- Ephyra <sup>®</sup> + navergister	2,7	Kg ODS/m <sup>3</sup> .dag
		Aandeel primair slib in te vergisten slib	45	%

De gemiddelde ODS verwijdering inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval is gegeven in Figuur 3. Gemiddeld wordt 84% van de totale ODS afbraak al in de Ephyra<sup>®</sup> gisting gedaan. De biogasproductie is gegeven in Figuur 4

FIGUUR 3 ODS VERWIJDERING IN EPHYRA<sup>®</sup> REACTOR EN NA DE NAVERGISTER (TOTAAL)



FIGUUR 4 BIOGASPRODUCTIE IN EPHYRA® EN TOTAAL GEMETEN IN 2018



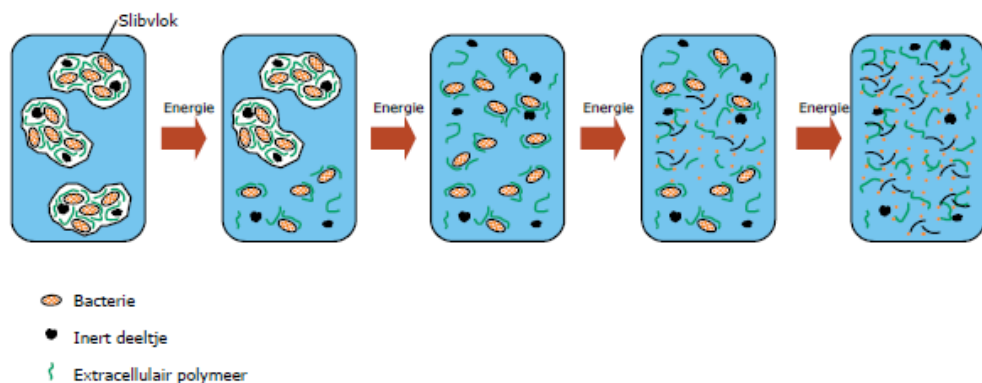
De gemiddelde biogasproducties waren 165 m<sup>3</sup>/h voor Ephyra® en 200 m<sup>3</sup>/h totaal. 78% van de totale biogasproductie vindt plaats in de Ephyra® gisting. De prestatie van de praktijkinstallatie was in overeenstemming met eerdere resultaten van lab- en pilottesten met Ephyra® op verschillende slibben met verschillende aandelen primair slib in het te vergisten slib.

## 2.3 THEMISTA®

### 2.3.1 ALGEMEEN

Themista® is een voorbehandeling om de afbreekbaarheid van het slib te verbeteren. Het proces bestaat uit een thermische behandeling gevolgd door een chemische of mechanische behandeling. Het gevolg van deze behandeling is een desintegratie van het slib. Allereerst zullen de slibvlokken uiteenvallen in bacteriën en ander organisch materiaal. Vervolgens zullen ook de bacteriën uit elkaar vallen waarbij intracellulaire enzymen en polymeren vrijkomen (zie Figuur 5)

FIGUUR 5 SLIBDESINTEGRATIE NA THEMISTA BEHANDELING



In vergelijking met thermische slibontsluiting (Cambi, Sustec) waarbij het slib wordt gekraakt bij 140 – 160°C, wordt Themista® bij lagere temperaturen (60 – 80°C) uitgevoerd. Dit heeft een aantal voordelen:

- een gunstiger warmtebalans: het extra geproduceerde biogas komt beschikbaar voor energieproductie en niet (deels) voor warmte-inbreng in het proces.
- een eenvoudiger systeem: voorontwarming, stoom of thermische olie is niet nodig.
- er treden nagenoeg geen Maillardreacties op. De Maillardreactie is de verzamelnaam voor een reeks complexe chemische reacties die onder invloed van warmte optreden tussen suikers en aminozuren. Tijdens de reactie kunnen verbindingen worden gevormd die inert of toxisch zijn voor microbiële processen.

Themista®-behandeling wordt alleen toegepast op het secundaire slib. De reden is dat de behandeling minder effect heeft op primair slib. In buitenlandse toepassingen waarbij slib wordt afgezet in de landbouw en desinfectie nodig is, is voorbehandeling van primair slib wel zinvol om zogenaamde “Biosolids class A” produceren.

### 2.3.2 KENMERKEN THEMISTA®

De hypothese dat Themista® tot een betere gisting leidt is gebaseerd op de volgende aspecten:

- de slibbehandeling leidt tot een verdere slibafbraak;
- de slibbehandeling leidt tot een snellere slibafbraak;
- na de thermische behandeling is de viscositeit van het slib lager;
- de aan de Themista® gekoppelde controller resulteert in een stabiel proces.

#### BETERE EN SNELLERE SLIBAFBRAAK

De hypothese is dat door de gecombineerde voorbehandeling de slibvlokken van het secundaire slib uiteenvallen. Dit heeft twee gevolgen: er komt meer substraat beschikbaar (betere afbraak) en moeilijke afbreekbare verbindingen worden omgezet in eenvoudiger afbreekbare verbindingen (snellere afbraak).

#### LAGERE VISCOSITEIT

Door het uiteenvallen van de slibvlokken zal de viscositeit van het Themista® behandelde en het uiteindelijke uitgegiste slib lager zijn dan die van niet behandeld slib. Een soortgelijke daling in viscositeit wordt ook waargenomen in thermische ontsluitingssystemen zoals Cambi. Door de viscositeitsdaling is het slib makkelijker te verpompen en is het eenvoudiger te mengen waarbij een lagere mengenergie benodigd is. Tevens is het mogelijk om met een dikker slib te werken.

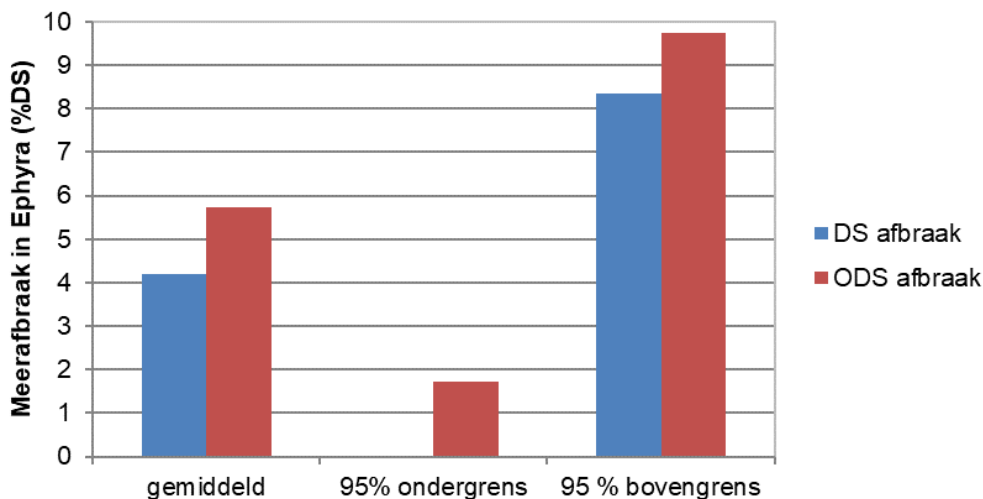
#### PROCESSTABILITEIT

In de praktijk zal de aanvoer van slib naar de gisting variëren. Omdat bij Themista® een belangrijk deel van de investering bestaat uit apparatuur voor het opwarmen van het slib is het wenselijk deze niet al te groot uit te voeren. Dit betekent dat de aanvoer naar de Themista® redelijk constant zal blijven. Hierdoor is er een stabielere aanvoer naar de slibgisting. Dit leidt automatisch tot een stabielere en robuustere proces. De aan de Themista® gekoppelde regelaar verzorgt de procesregeling. Hierbij zijn verschillende strategieën mogelijk.

### 2.3.3 PRESTATIE THEMISTA<sup>®</sup>

Er is nog geen Themista<sup>®</sup> praktijkinstallatie; de eerste installatie op Kralingseveer is nog in de opstartfase. De prestatie van het proces is uitgebreid onderzocht op pilot schaal (zie “toepassing van nieuwe gistingsconcepten Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup>”, Stowa rapport 2013-34). Figuur 6 geeft de in het pilotonderzoek gemeten meerafbraak in de Themista<sup>®</sup> in vergelijking met de referentie (conventionele slibgisting)

FIGUUR 6 MEERAFBRAAK IN THEMISTA<sup>®</sup> IN VERGELIJKING MET DE REFERENTIE. IN DE FIGUUR IS DE GEMIDDELDE MEERAFBRAAK EN DE MET 95% BETROUWBAARHEID GEGEVEN ONDER- EN BOVENRENS



De gemeten meerafbraak in Themista<sup>®</sup> werd bij gemiddelde en piekaanvoer waargenomen. Verder werd in de pilot testen een duidelijke afname van de viscositeit gemeten na de Themista<sup>®</sup> behandeling. Ontwateringstesten gaven aan dat bij Themista<sup>®</sup> geen hogere PE dosering nodig is, en dat het ontwateringsresultaat minimaal gelijk is aan niet behandeld slib.

### 2.4 THEMISTA<sup>®</sup>/EPHYRA<sup>®</sup> - COMBINATIE

De pilot op Nieuwgraaf combineert de Ephyra<sup>®</sup> en Themista<sup>®</sup> technologie. Voor Themista<sup>®</sup> is de situatie gelijk aan de te realiseren installatie en het pilot onderzoek op Kralingseveer. Voor Ephyra<sup>®</sup> is er een aangepast ontwerp waarbij niet van 3 of 4 maar van 2 reactoren in serie wordt uitgegaan. Dit laatste is een gevolg van het gegeven dat op Nieuwgraaf 2 gistingsreactoren aanwezig zijn en de business case was gebaseerd op een 2 reactoren systeem waarbij een uitbreiding van de gistingsruimte niet nodig is. Een ander verschil met het eerder verrichte pilot onderzoek, en de eerste praktijkinstallatie op Tollebeek zijn de verblijftijden. Op Tollebeek bestaat de Ephyra<sup>®</sup> reactor uit 3 reactoren met een totale verblijftijd van 6 tot 8 dagen. Daarnaast is er een navergister zodat de totale verblijftijd uitkomt op circa 18 à 20 dagen. Op Nieuwgraaf zou de gemiddelde verblijftijd uitkomen op  $2 \times 7 = 14$  dagen.

# 3

## ONDERZOEKSOPZET EN FASERING

### 3.1 PILOT INSTALLATIE

De pilot installatie bestond uit een CSTR als referentie vergister en een Themista-Ephyra (TE) vergister bestaande uit een Themista voorbehandelingsinstallatie met daarachter 2 serie-geschakelde CSTR tanks (Ephyra 1 en Ephyra 2) met een slibrecirculatie van Ephyra 2 naar Ephyra 1.

#### ONLINE METINGEN

De volgende metingen werden online uitgevoerd:

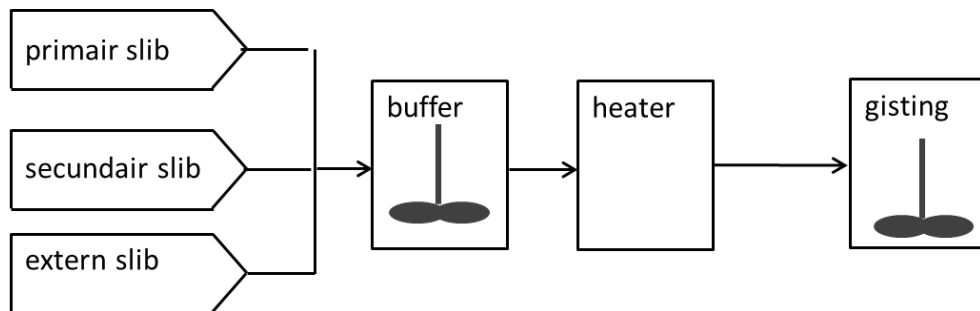
- slibdebieten;
- niveaumeting buffertanks;
- biogasdebieten en biogassamenstelling (CH<sub>4</sub>gehalte);
- pH, redox en temperatuur van de gisting, temperatuur van heater en koeler.

#### 3.1.1 REFERENTIE INSTALLATIE

Primair, secundair en eventueel extern slib (in de tweede fase) werden naar een buffertank gepompt. Vanuit hier werd het slib naar de vergister, type volledige gemengde reactor (CSTR), gepompt en vergist.

FIGUUR 7

PILOTINSTALLATIE REFERENTIE



#### MONSTERNAMEPUNTEN

De volgende slibsoorten werden bemonsterd voor analyse:

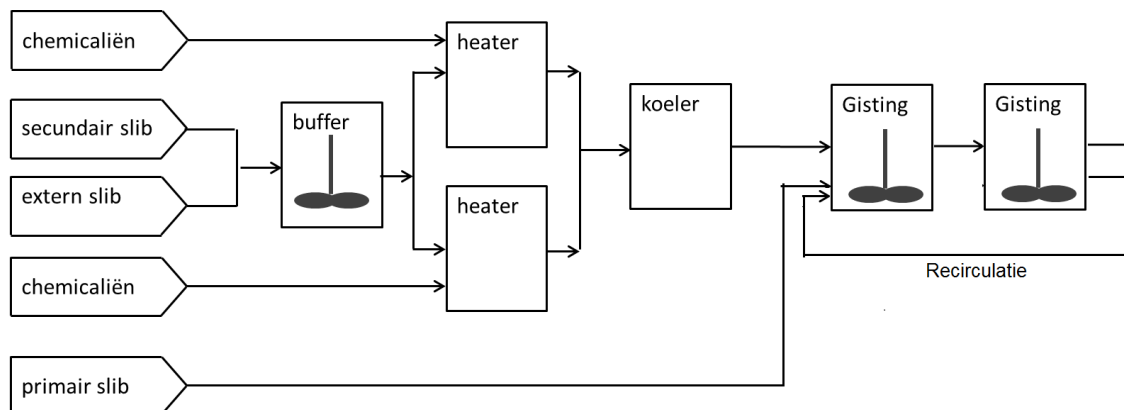
- primair slib;
- secundair slib;
- extern slib;
- gemengde voeding referentie;
- uitgegiste slibstroom.

#### 3.1.2 THEMISTA®/EPHYRA® COMBINATIE

Secundair en extern slib werden beide naar een buffertank gepompt. Vanuit hier werd het slib gevoed aan twee parallel opgestelde verwarmingseenheden voor de thermische behandelingsstap. Hieraan werd tevens H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gedoseerd voor de aanvullende chemische behandeling.

Behandeld secundair slib en primair slib werden samen naar de eerste gistingstank, type volledige gemengde reactor, gepompt en vergist. Vervolgens wordt het, deels vergiste, slib doorgepompt naar de tweede gistingstank. Via een recirculatieregeling wordt een deel van het slib teruggepompt naar de eerste gistingstank.

FIGUUR 8 PILOTINSTALLATIE THEMISTA®/EPHYRA® COMBINATIE



#### MONSTERNAMEPUNTEN

De volgende slibsoorten werden bemonsterd voor analyse:

- primair slib;
- secundair en extern slib gemengd;
- in- en uitgaande slibstroom verwarmingseenheid (alleen secundair en extern slib);
- uitgaande slibstromen eerste en tweede gistingstank.

### 3.2 LABONDERZOEK

Voorafgaand aan de opstart van de pilotinstallatie is labonderzoek verricht om de instellingen van de Themista® pilot (temperatuur, duur, peroxide dosering) te bepalen. Hiertoe zijn op het lab van de TU Delft verschillende batch experimenten uitgevoerd waarbij secundair slib van Nieuwgraaf bij verschillende temperaturen gedurende verschillende tijdsduren werd behandeld waarna de afbraak en biogasproductie werd bepaald. Voor de best temperatuur-tijd combinatie werd via dezelfde batchtesten gekeken naar het effect van de peroxide dosering.

### 3.3 ONDERZOEKSFASERING

Het pilotonderzoek heeft als doel om de financiële haalbaarheid en business case voor de Themista®/Ephyra® combinatie op Nieuwgraaf aan te tonen, en om de meerwaarde van de combinatie in vergelijking met een conventionele gisting in termen van slibafbraak, biogasproductie, en slibontwatering aan te tonen.

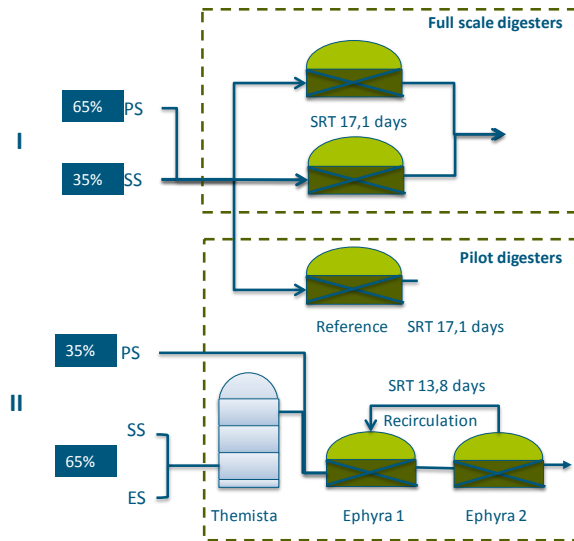
Om aan beide doelstellingen te voldoen is er een fasering van het onderzoek toegepast, waarbij het onderzoek is opgesplitst in drie fases.

#### FASE I

In deze fase was het onderzoeksdoel om de business case van een centrale gisting op Nieuwgraaf na te gaan. De opzet van het pilotonderzoek is gegeven in Figuur 9.

FIGUUR 9

## OPZET PILOT ONDERZOEK FASE I



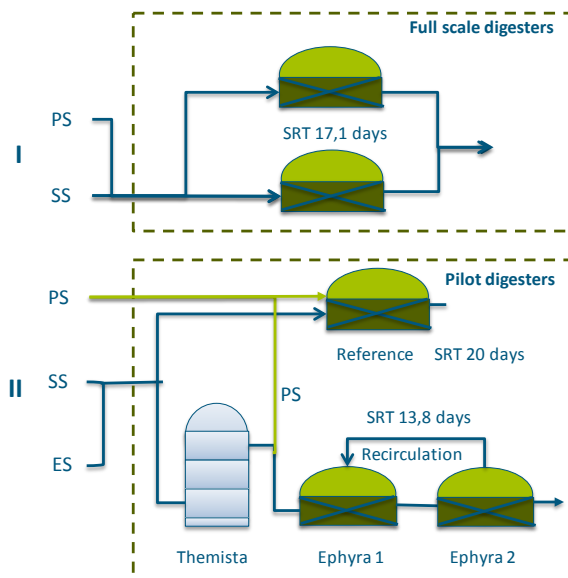
Tijdens fase I werd de referentie gevoed met een slibmengsel gelijk aan dat van de praktijkinstallatie op Nieuwgraaf. De referentie vertegenwoordigde hierbij het voortzetten van de huidige situatie. De Themista®/Ephyra® combinatie (T/E combinatie) werd naast slib van Nieuwgraaf ook gevoed met extern slib. De T/E combinatie vertegenwoordigde een mogelijke toekomstige centrale slibvergisting op Nieuwgraaf. Het gevolg was dat beide installaties met een verschillend slibmengsel werden gevoed. Het aandeel primair slib bij de referentie en de T/E combinatie waren respectievelijk 51 en 35% op DS basis. Oorspronkelijk was het ook het plan om de praktijkinstallatie op Nieuwgraaf in de vergelijking mee te nemen. Echter, gelet op de problemen omtrent het op temperatuur houden van de vergister die men op de praktijkinstallatie op het moment van opstarten en bedienen van de pilot ondervond, is besloten om de prestatie van de praktijkinstallatie niet in de vergelijking mee te nemen.

**FASE II**

In deze fase was het onderzoeksdoel om de T/E combinatie met een conventionele gisting te vergelijken. De opzet van het pilotonderzoek is gegeven in Figuur 10.

FIGUUR 10

## OPZET PILOT ONDERZOEK FASE II



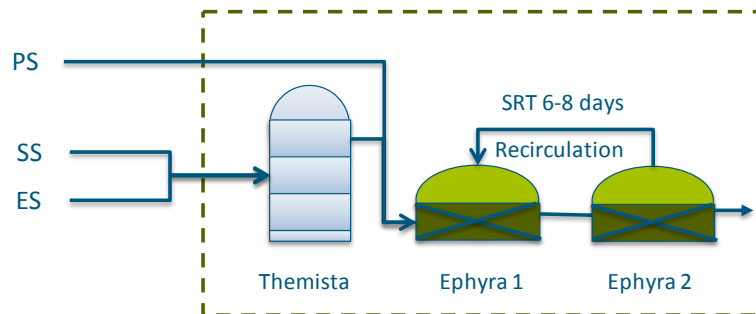
Tijdens fase II werd de voeding van referentie en de T/E combinatie gelijkgesteld zodat een directe vergelijking tussen de technologieën mogelijk was. Wel was er een verschil in verblijftijd waarbij de referentie op 20 dagen werd bedreven en de T/E combinatie op ongeveer ca.14 dagen. De achterliggende gedachte was dat voor een conventionele zuivering in Nederland gemiddeld wordt uitgegaan van een verblijftijd van ca. 20 dagen. Voor de T/E combinatie zijn nog kortere verblijftijden mogelijk. Een nominale en/of minimale verblijftijd voor de T/E combinatie was bij de start van het onderzoek nog onbekend.

### FASE III

In deze fase was het doel was om vast te stellen of de T/E combinatie stabiel zou kunnen blijven draaien bij een verblijftijd van 8 dagen met periodes met een verblijftijd van 6 dagen. De opzet van Fase III van het pilotonderzoek is gegeven in Figuur 11.

FIGUUR 11

OPZET PILOT ONDERZOEK FASE III



Tijdens fase III kreeg de T/E combinatie dezelfde voeding als in fase II. De voeding van de T/E combinatie werd zodanig verhoogd dat de slibverblijftijd 8 dagen was. Na een paar weken is ook gedurende een aantal dagen op een verblijftijd van 6 dagen gedraaid. Om dit mogelijk te maken is de verhouding van het primair slib verhoogd, omdat de maximale capaciteit van de Themista® units al bereikt was. De achterliggende gedachte was om vast te stellen of de T/E combinatie ook stabiel zou kunnen draaien bij een verblijftijd van 8 dagen, in combinatie met piekafvoeren waardoor de slibverblijftijd zou kunnen dalen naar 6 dagen.

## 3.4 METINGEN EN ANALYSES

### 3.4.1 ALGEMEEN

Om de (proces)technologische prestatie van de pilot te kunnen monitoren, zijn diverse metingen uitgevoerd. Het betreft enerzijds dagelijkse metingen om de procesparameters te monitoren en anderzijds wekelijkse analyses om de slibsamenstelling te volgen.

### 3.4.2 DEBIET

Het debiet van de ingaande slibstromen is bepaald aan de hand van de dagelijkse niveaudaling in de slibbuffers voor de pilot installaties.

### 3.4.3 DS EN ODS METINGEN

Van de verschillende slibstromen is op elke werkdag het drogestofgehalte (DS%) en organisch drogestofgehalte (ODS%) bepaald. Voor bepaling van het drogestofgehalte wordt het slib in keramische kroesjes gebracht en na weging gedroogd bij 105°C. Voor bepaling van het organisch drogestofgehalte is het gedroogde materiaal verast bij 550°C. De test methode volgt de standard methode zoals beschreven in Standard Methods (1995). Slibstromen die bepaald



zijn: primair slib, gemengd secundair slib (ingaaand Themista<sup>®</sup>), extern slib, voeding referentie, uitgaand Themista<sup>®</sup>, effluent Ephyra 1, effluent Ephyra 2, effluent referentie. Tijdens de ontwateringstesten is tevens het drogestofgehalte van het ontwaterd slib bepaald.

#### 3.4.4 BIOGAS PRODUCTIE EN SAMENSTELLING

Biogasproductie is gedurende de pilot met behulp van gasklokken gemeten. Zowel Ephyra 1 als Ephyra 2 waren uitgerust met een debietmeter voor bepaling van het biogasdebiet. Deze debietmeter kan tevens het methaangehalte van het biogas weergeven. Gedurende de pilot bleek het methaangehalte van beide Ephyra's vergelijkbaar te zijn, waardoor deze meters als back-up van elkaar dienden.

#### 3.4.5 CZV ANALYSE

CZV metingen zijn op de verschillende slibstromen uitgevoerd. Zowel totaal CZV (tCZV) als opgelost CZV (sCZV) zijn gemeten. sCZV is gemeten door de monsters te centrifugeren en vervolgens te filteren over een 45 µm filter.

#### 3.4.6 VETZUREN

Vetzuuranalyse in het effluent van de referentie, Ephyra 1 en Ephyra 2 is uitgevoerd op de TU Delft met behulp van een gaschromatograaf.

#### 3.4.7 EPS EXTRACTIES EN FRACTIONERING

EPS (Extracellular polymeric substances) extractie en fractionering zijn uitgevoerd zoals beschreven in Yu et al. (2009).

#### 3.4.8 ONTWATERING

##### 3.4.8.1 LABSCHAAL

Gedurende Fase II is op labschaal de ontwaterbaarheid van zowel de referentie als de T/E combinatie bepaald door de Technologische Universiteit van Delft (TUD) met een Mareco minifilterpers. Daarbij is ook de capillary suction time (CST gemeten).

##### CAPILLARY SUCTION TIME

Bij het ontwateren van slib wordt het vrije water en het capillair gebonden water uit het slib geperst. De snelheid waarmee capillair gebonden water uit het slib wordt geperst is een indicatie voor de mate van ontwaterbaarheid van slib. Een test om tijd te meten van het capillair gebonden water is de Capillary Suction Time test. Een lage CST is een indicatie voor een goede ontwaterbaarheid. De test is gebaseerd op het meten van de tijd (in seconden) dat het vrije water nodig heeft om over gestandaardiseerd stuk filterpapier te vloeien. Hiervoor is een gestandaardiseerde testkit gebruikt. Het slib wordt in een buisje gebracht met een pipet, waarbij steeds dezelfde hoeveelheid slib in het buisje wordt gebracht. In 'Standard Methods' (1995) wordt deze test beschreven.

##### MARECO MINIFILTERPERS

De Mareco minifilterpers is een op maat gemaakte labschaal filtratie-expressie cel. In Figuur 12 is een foto van de pers opgenomen. De diameter van de expressiecel is 7 cm en het filter materiaal is een filterdoek dat ook op full scale zeefbandpersen wordt gebruikt. De procedure is als volgt:

- een monster van 250 ml of geflocculeerd slib wordt in de compressie cel gebracht.
- Het vrije water loopt hierbij door het filterdoek.
- Vervolgens wordt een druk van 5-7 bar gebracht op het slib, gedurende 20 minuten.

- Het filtraat wordt opgevangen in een maatcilinder.
- Na afloop wordt de dikte van de slibkoek gemeten, waarna het drogestofgehalte van de koek wordt bepaald.

FIGUUR 12

MARECO MINIFILTERPERS



In het begin zijn verschillende PE soorten getest. Van de geteste PE soorten gaf de PE die nu op rwzi Nieuwgraaf gebruikt wordt de beste ontwateringsresultaten.

#### 3.4.8.2 FULL-SCALE ONTWATERING MET MOBIELE CENTRIFUGE

Aan het einde van Fase II is de ontwaterbaarheid van zowel de referentie, als de T/E combinatie, met een (kleine) full-scale centrifuge (type UCD 205-00-32 van GEA Westfalia Separator, zie Figuur 13) bepaald. De capaciteit van de centrifuge is tussen de 1 en 3 m<sup>3</sup>/uur. Het ingestelde verschiltoerental was tijdens de proef zo ingesteld dat er een schoon centraat was, met een goed ontwateringsresultaat. Tijdens de test is gevarieerd met de hoeveelheid verbruikt actief PE.

FIGUUR 13

GEA CENTRIFUGE UCD 205-00-32



Op de full-scale installatie wordt gebruik gemaakt van ijzerdosering om de ontwaterbaarheid te verbeteren. Ook tijdens de ontwateringsproeven is getest wat het effect van ijzerdosering is op de ontwatering. Hierbij is een dosering van 2,5 kg Fe/ton DS aangehouden.

Voor de ontwateringsproeven is gebruik gemaakt van hetzelfde PE wat op de rwzi van Nieuwgraaf gebruikt wordt. Dit is het polymeer SUPERFLOC® C-82090.

#### 3.4.9 KATIONEN

Van het filtraat van de Mareco pers (en bij de praktijkproef van de centrifuges) zijn monsters genomen. Van de gefiltreerde monsters is de concentratie bepaald van de volgende stoffen/elementen:

- $\text{NH}_4\text{-N}$  (NEN 6646)
- $\text{PO}_4\text{-P}$  (NEN-EN-ISO 15681-2)
- Kalium (NEN-EN-ISO 17294-2)
- Natrium (NEN-EN-ISO 17294-2)
- Calcium (NEN-EN-ISO 17294-2)
- Magnesium (NEN-EN-ISO 17294-2)

De methode NEN-EN-ISO 17294-2 hanteert ICP-MS als analysemethode.

Tevens is een aantal maal de samenstelling van de droge stof van het slib bepaald. Hierbij zijn met uitzondering van ammonium dezelfde kationen bepaald als in het filtraat (metalen: ontsluiting conform NEN 6961 en meting conform NEN-EN-ISO 17294-2). Aanvullend is het gehalte aan Kjeldahl stikstof bepaald (ontsluiting conform NEN-EN 13342 en meting conform NEN 6646) en totaal fosfor (ontsluiting conform NEN-EN 14672 en meting conform NEN-EN-ISO 15681-2). Deze data zijn uiteindelijk niet meegenomen wegens analyseresultaten die niet goed te duiden waren.

De analyses zijn uitgevoerd door TUD.

## 4

## RESULTATEN

## 4.1 LABONDERZOEK

In 2014 is op het Technological Research Center (TRC) van Royal HaskoningDHV onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke slibafbraak tijdens slibgisting voor het slib van Rijn en IJssel. De studie omvatte batch en continu testen, om hiermee de maximale afbreekbaarheid te testen en om de invoerparameters voor het model van Chen en Hashimoto te bepalen. De belangrijkste resultaten staan hieronder samengevat.

TABEL 2 RESULTATEN LABONDERZOEK 2014. DIT ONDERZOEK WERD UITGEVOERD MET EEN MENGSEL VAN PRIMAIR EN SECUNDAIR SLIB

Uitgangspunt	Waarde	Eenheid
Batch testen - maximale afbreekbaarheid organische droge stof		
• Mesofiele conventionele gisting	38	%
• Ephyra®	--	%
• Themista®	49	%
Continu testen – ODS afbraak		
• Mesofiele conventionele gisting	43	%
• Ephyra®	49	%
• Themista®	46	%

## 4.2 PILOT ONDERZOEK - FASE I

## 4.2.1 SLIBSAMENSTELLING, VERBLIJFTIJDEN EN BELASTING.

In fase I is een vergelijking gemaakt tussen een toekomstige centrale slibgisting op Nieuwgraaf (T/E-combinatie) en het voortzetten van de huidige situatie (referentie) op Nieuwgraaf. De uitgangspunten van de pilot installatie in deze fase zijn gegeven in Tabel 3; hieruit blijkt dat referentie en de T/E-combinatie een verschillende voeding krijgen. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de interpretatie van de resultaten.

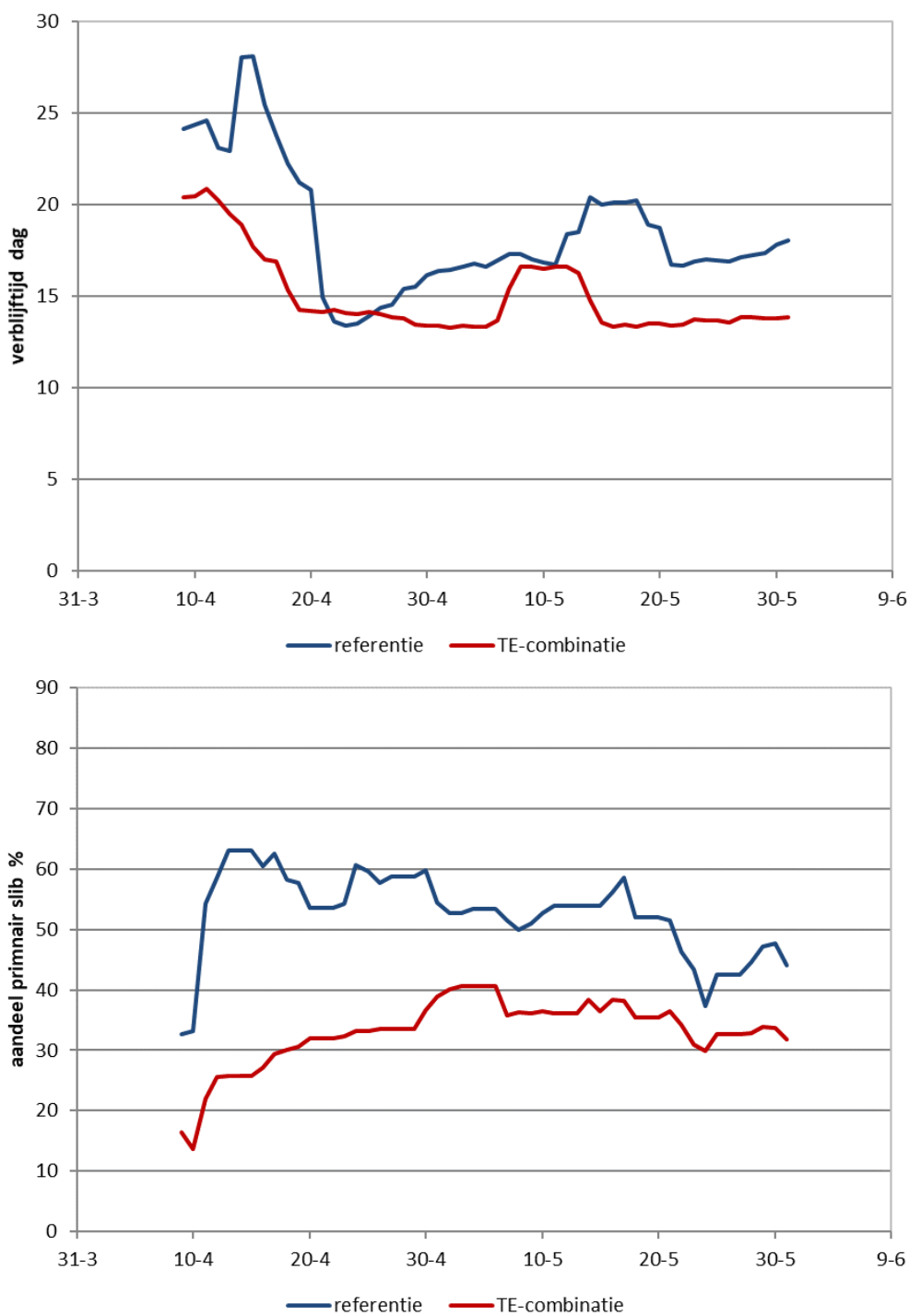
TABEL 3 UITGANGSPUNTEN PILOT INSTALLATIE FASE I

Parameter		Referentie	T/E combinatie
Temperatuur	°C	37	37
Slibverblijftijd	dag	17,2	13,8
Aandeel primair (DS basis)	%	55	35

In Figuur 14 zijn de gemeten slibverblijftijden en slibsamenvorming van de slibaanvoer tijdens de testen in fase I gegeven.

FIGUUR 14

SLIBVERBLIJFTIJD EN AANDEEL PRIMAIR SLIB IN VOEDING (OP BASIS VAN KG DS) VOOR REFERENTIE EN DE TE-COMBINATIE. DE LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIDDEND GEMIDDELD VAN 7 OPEENVOLGENDE METINGEN



Uit Figuur 14 blijkt vanaf 20-4-2018 de bedrijfsomstandigheden min of meer stabiel zijn. De gemiddelde waarden voor de pilot installatie vanaf 20 april tot en met eind mei zijn gegeven in tabel 4.

TABEL 4

KENTALLEN BEDRIJFSVOERING PILOT INSTALLATIE NIEUWGRAAF GEDURENDE FASE I

Parameter	Eenheid	Waarde	
		Referentie	T/E combinatie
Verblijftijd	Dag	17,2	14,1
Aandeel primair slib voeding gisting	% op basis van kg DS	50,5	35,1
Organisch stof belasting	Kg ODS/m <sup>3</sup> .d	1,8	3,4 /2,0*

\*(Ephyra 1/Ephyra 2)

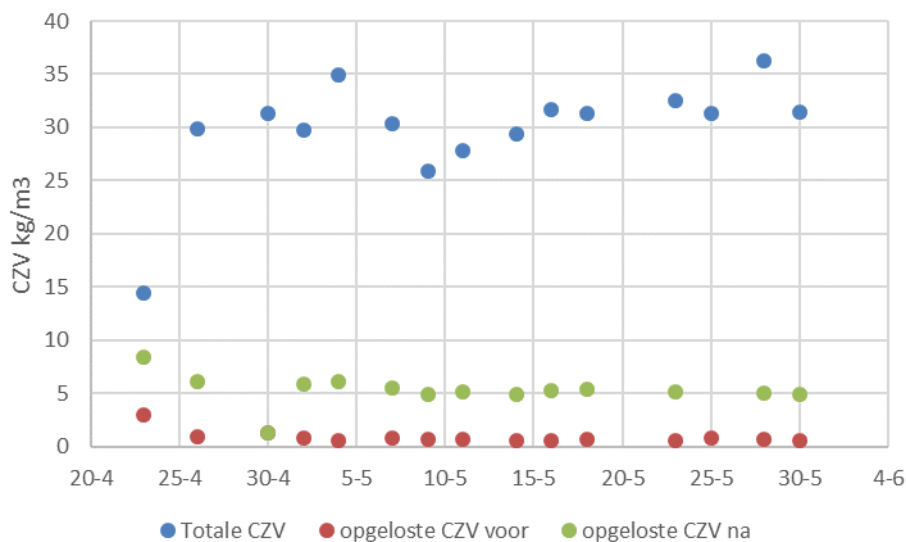
Gelet op de schommelingen die normaliter in de slibaanvoer optreden kwamen de verblijftijden en slibsamenstelling redelijk overeen met de uitgangspunten van 17,1 dagen voor de referentie en 13,8 dagen voor de T/E combinatie.

#### 4.2.2 EFFECT THEMISTA® BEHANDELING OP SECUNDAIR SLIB

Figuur 15 geeft de CZV concentraties voor en na de Themista® behandeling.

FIGUUR 15

TOTALE CZV EN OPGELOSTE CZV VOOR EN NA THEMISTA® BEHANDELING



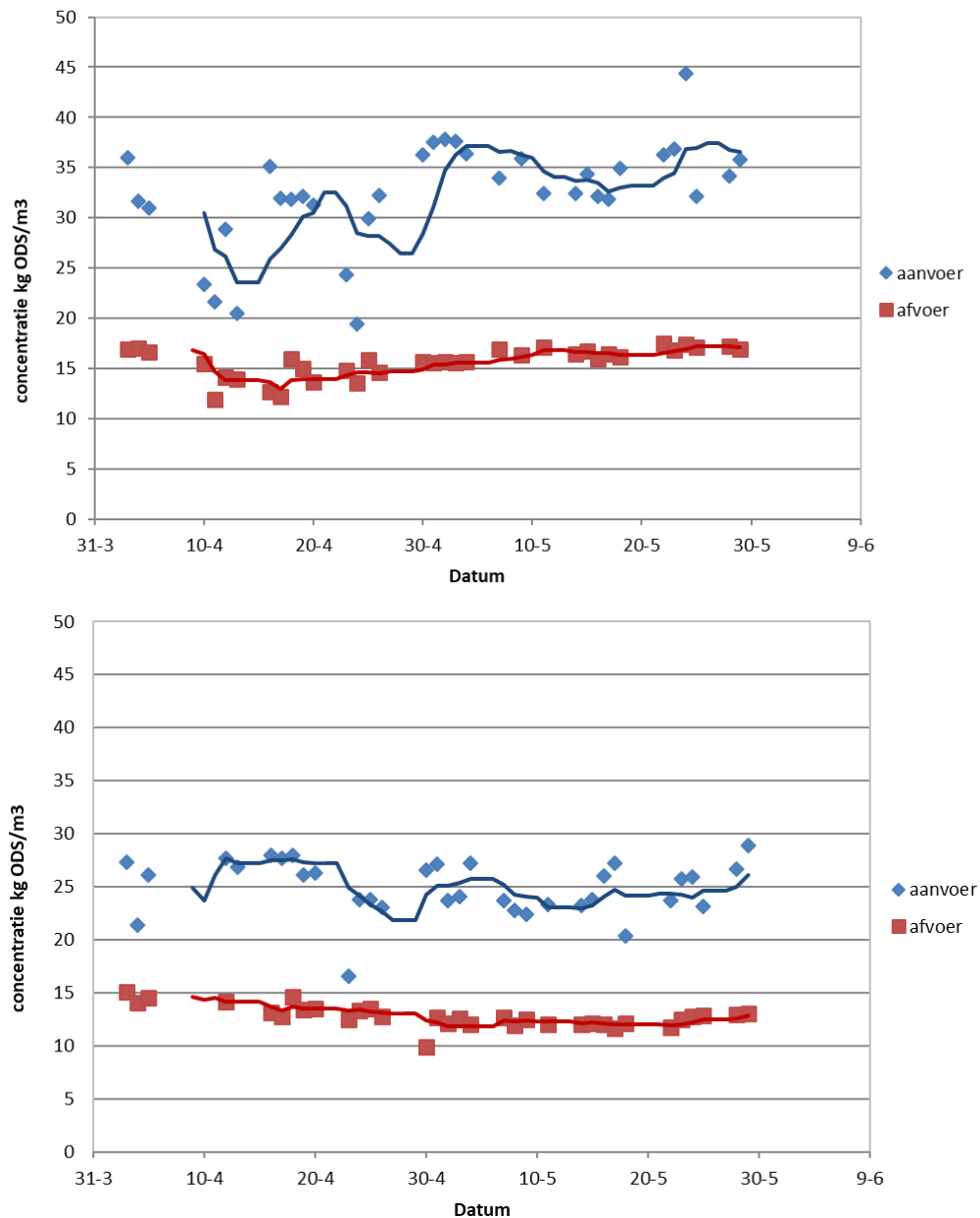
Er is een duidelijke toename van de gemiddelde opgeloste CZV van gemiddeld 0,77 naar 5 kg CZV/m<sup>3</sup>. Dit betekent dat tijdens de behandeling gemiddeld 15% van de CZV in oplossing gaat. Opgelost CZV is makkelijker afbreekbaar. Deze data geeft dus aan dat de Themista® een positief effect heeft op de vergisting van slib.

#### 4.2.3 SLIB AAN- EN AFVOER

Figuur 16 geeft de ODS-concentraties in de slib aan- en afvoer van de gisting voor de referentie en de T/E-combinatie.

FIGUUR 16

SLIB AAN- EN AFVOER PILOT INSTALLATIE REFERENTIE (BOVEN) EN T/E COMBINATIE (ONDER)



Uit Figuur 16 blijkt:

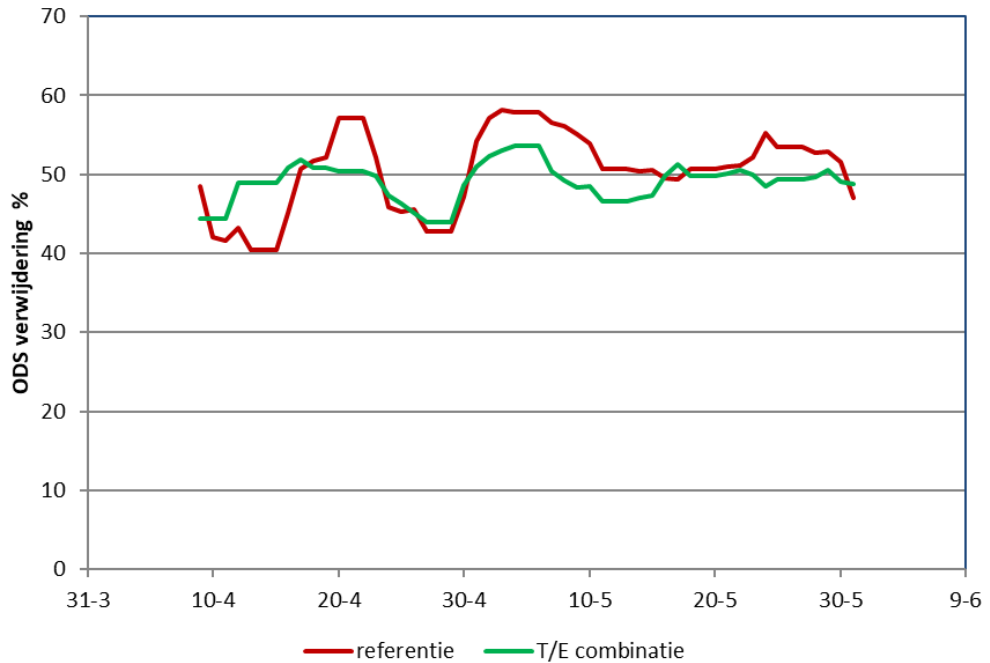
- De referentiereactor werd met een dikker slib gevoed dan de T/E combinatie. Dit had te maken met de relatief lagere DS-concentraties van het externe slib bij de T/E combinatie.
- Bij de referentie is er voor de uitgaande slibconcentratie een stijgende lijn, terwijl de uitgaande slibconcentratie van de T/E combinatie een dalende lijn laat zien. Vanaf 10/5 lopen de lijnen meer horizontaal, hetgeen een aanwijzing is dat er een evenwichtssituatie is bereikt tussen het in- en uitgaande slib.

Bij de beoordeling van de prestatie van de pilot installatie is gekeken naar de periode dat er een evenwichtssituatie was bereikt. Dit betekent dat vooral de data vanaf 10 mei worden vergeleken in de beoordeling van de prestatie van de referentie en de T/E-combinatie. In deze periode was de vetzuurconcentratie in zowel de full-scale installatie, de Referentie als de T/E combinatie < 100 mg/l, hetgeen aangeeft dat de reactoren stabiel draaiden.

#### 4.2.4 ODS AFBRAAK

De ODS afbraak in beide pilots is gegeven in Figuur 17. De gemiddelde afbraak gedurende de gehele meetperiode was 50,3 % voor de referentie en 49,7 % voor de T/E combinatie.

FIGUUR 17 ODS-AFBRAAK IN DE REFERENTIE EN DE T/E COMBINATIE. DE LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIDDEND GEMIDDELTE VAN 7 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



Tabel 5 geeft de statistische kentallen voor de referentie en de pilot vanaf 10-5-2018, de periode waarin een evenwichtssituatie was bereikt. De ODS-afbraakrendementen waren voor de referentie en de T/E combinatie nagenoeg gelijk. In deze fase werd dit ook verwacht omdat bij de referentie reactor meer primair slib wordt vergist.

TABEL 5 STATISTISCHE ANALYSE SLIBAFBRAAK GEMETEN VANAF 10-5-2018 TOT EN MET 31-5-2018

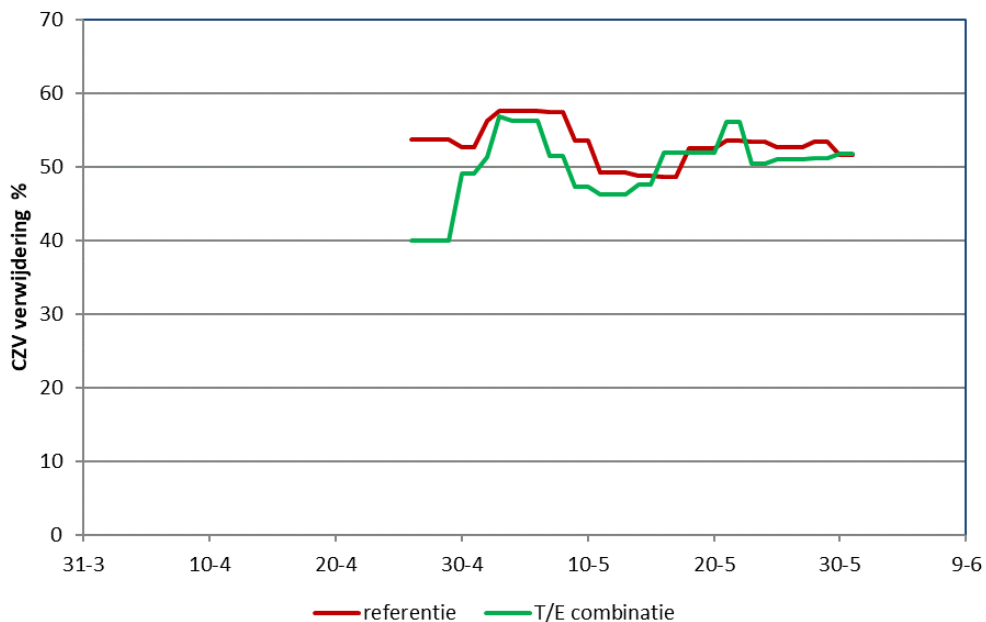
Parameter	Eenheid	Waarde	
		Referentie	Themista®/Ephyra® combinatie
Gemiddelde ODS afbraak	(%)	50,2	49,6
	[-]	5,1	4,4
Standaarddeviatie	%	2,7	2,3
95% betrouwbaarheidsinterval	%	47,5	47,3
Ondergrens ODS afbraak		52,9	51,9
Bovengrens ODS afbraak			



#### 4.2.5 CZV AFBRAAK

De gemeten CZV afbraak in de pilot installatie is gegeven in Figuur 18.

FIGUUR 18 CZV AFBRAAK IN DE REFERENTIE EN DE T/E COMBINATIE. DE LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIDDEND GEMIDDELTE VAN 7 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



De gemiddelde CZV afbraak bedroeg 51 +/- 2,9 % voor de referentie en 50,1 +/- 3,4% voor de T/E combinatie. De +/- geeft het 95 % betrouwbaarheidsinterval.

Uit de CZV metingen is ook de energie-inhoud van het slib bepaald. Hieruit bleek:

- primair slib: 1,41 +/- 0,14 g CZV/g ODS
- secundair slib 1,41 +/- 0,06 g CZV/g ODS.

Opvallend is de gelijke CZV-waarde van het primair slib en secundair slib. Dit betekent dat de biogasproductie bij de afbraak van primair slib lager zal zijn dan verwacht.

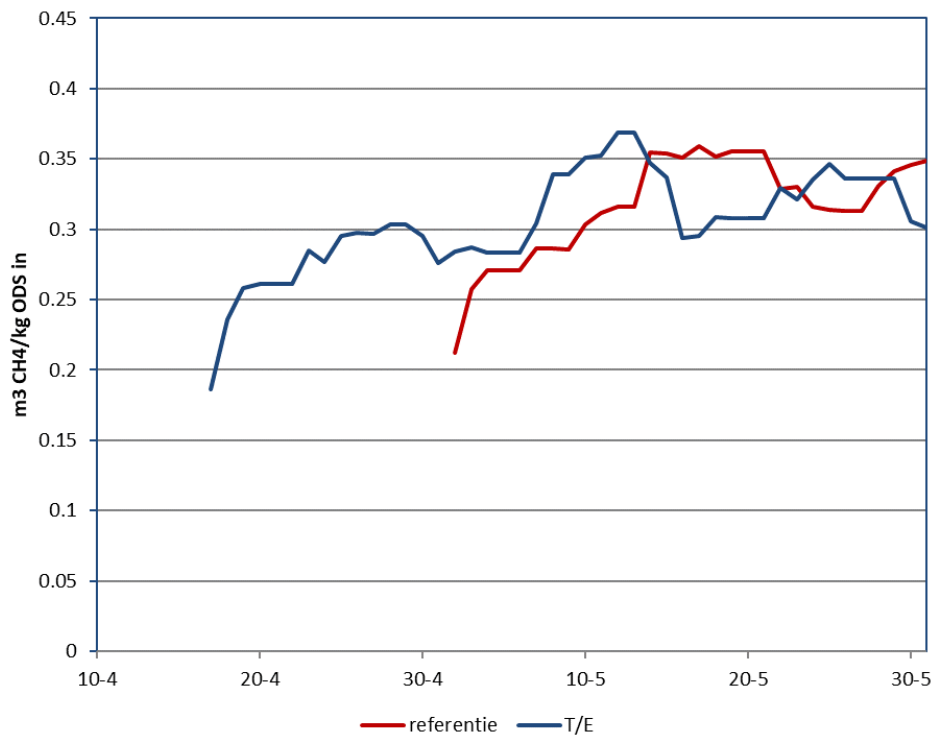
Verder bleek dat de opgeloste CZV 3,5% (primair slib) en 1,8% (secundair slib) bedroeg van de totale CZV. Er was dus voor beide slibsoorten nog geen significante verzuring opgetreden voordat het slib werd verpompt naar de pilot gistingsreactoren.

#### 4.2.6 BIOGASPRODUCTIE

De gemeten biogasproductie - m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per kg ingaand ODS - is gegeven in Figuur 19. De gemiddeldes en 95% betrouwbaarheidsinterval, gemeten vanaf 10-5-2018, bedroegen 0,35 +/- 0,03 voor de referentie en 0,33 +/- 0,03 voor de T/E combinatie. Beide installaties produceerden dus een vergelijkbare hoeveelheid biogas per kg ODS gevoed.

FIGUUR 19

METHAANPRODUCTIE PER KG ODS VOEDING



#### 4.2.7 BALANSEN

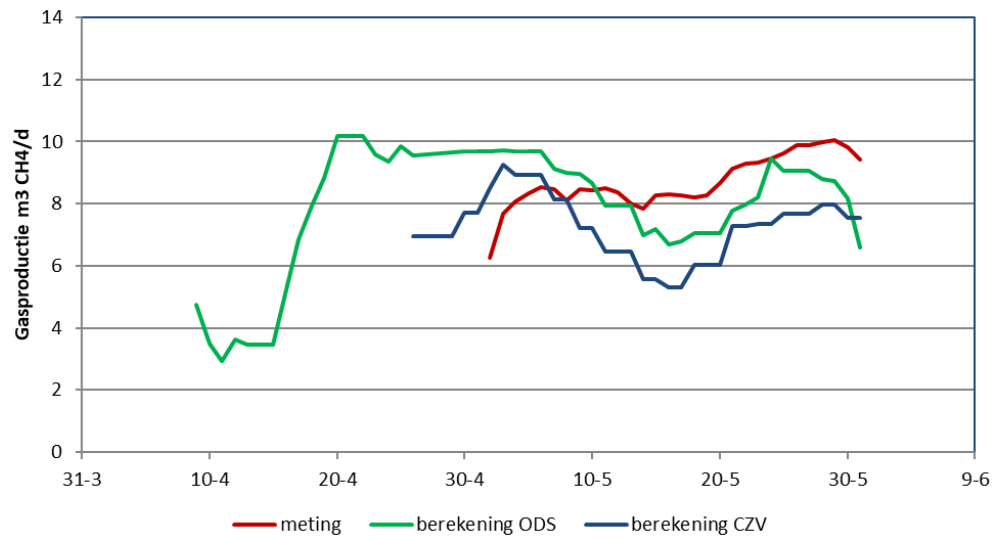
Figuur 20 geeft de gemeten methaanproductie en de berekende productie uit ODS en CZV verwijdering voor de referentie en de T/E combinatie. De statistische kentallen over de meetperiode zijn gegeven in Figuur 21.

Uit de balansen blijkt dat de berekende waarden gemiddeld lager liggen dan de gemeten methaanproductie. Voor de referentie reactor is de berekende waarde uit de CZV afbraak statistisch lager dan de gemeten waarde; de balans is hier dus niet sluitend. Bij de T/E combinatie is er een ruime overlap tussen de berekende en gemeten methaanproducties. Er is hier een redelijke sluitende balans.

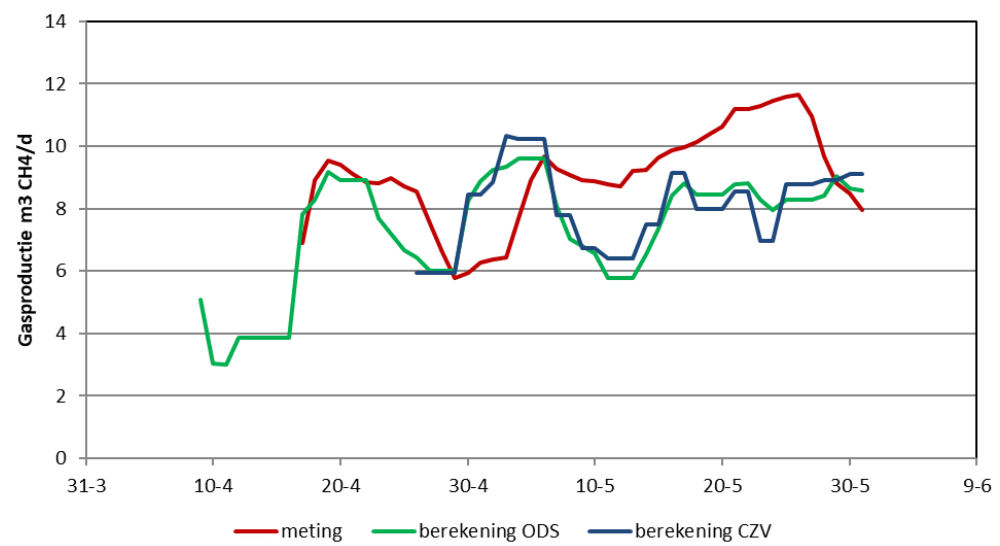
FIGUUR 20

GEMETEN EN BEREKENDE METHAANPRODUCTIE VOOR DE REFERENTIE EN DE T/E COMBINATIE. DE BEREKENDE METHAANPRODUCTIE VOLGT UIT DE GEMETEN ODS EN CZV AFBRAAK

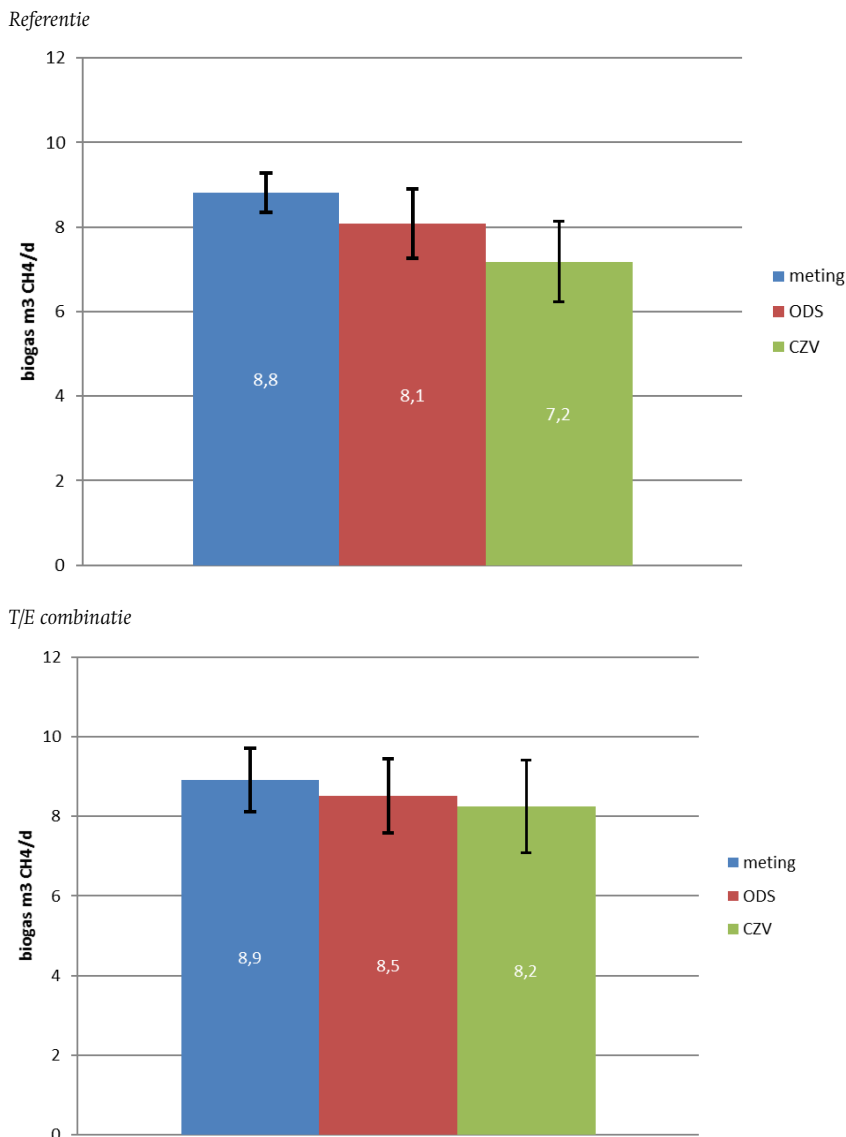
Referentie



T/E combinatie



FIGUUR 21 GEMIDDELDE EN 95% ONDER EN BOVENRENS VOOR DE GEMETEN EN BEREKENDE METHAANPRODUCTIE GEBASEERD OP ODS EN CZV AFBRAAK



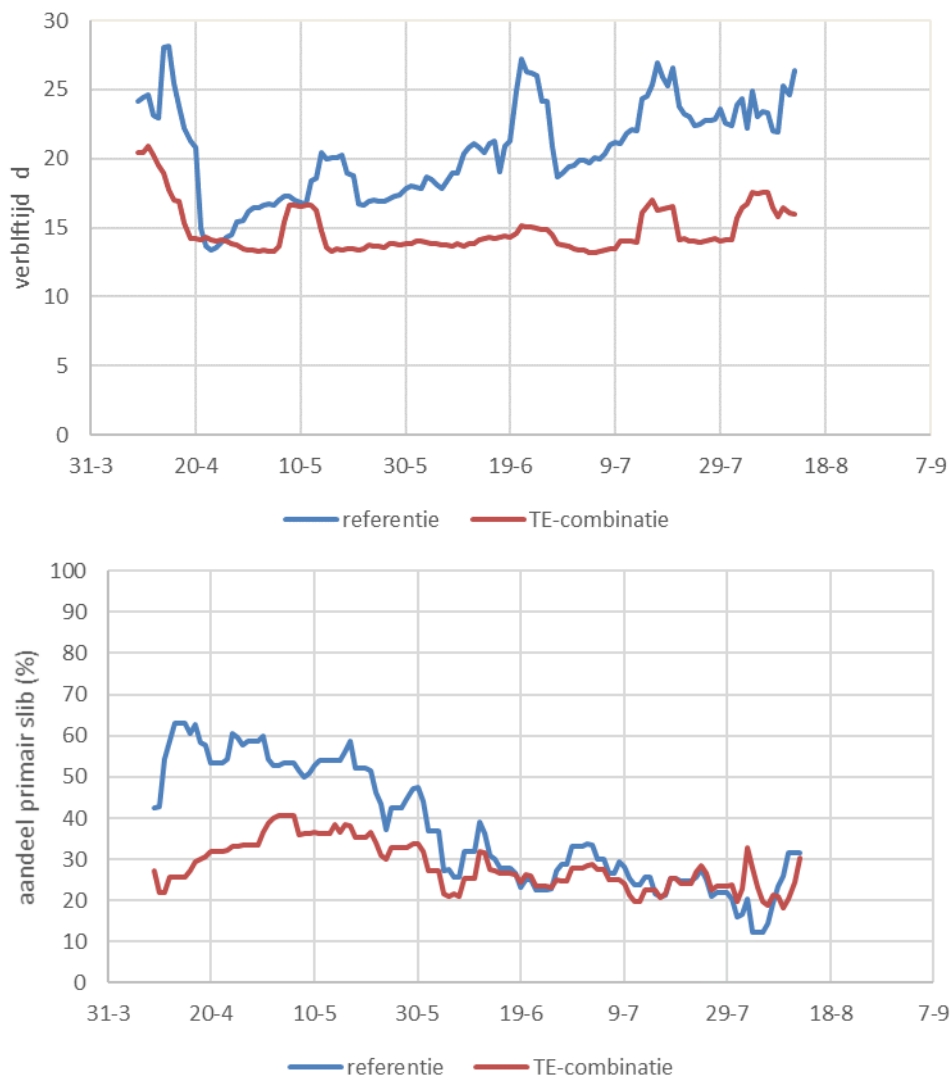
#### 4.3 PILOT ONDERZOEK - FASE II

##### 4.3.1 SLIBSAMENSTELLING, VERBLIJFTIJDEN EN BELASTING.

Na afronding van fase I (eind mei) werd de voeding van de referentiereactor gewijzigd zodat de referentie en de T/E combinatie met eenzelfde slibmengsel werd gevoed. Figuur 22 geeft de slibverblijftijden en het aandeel primair slib in het te vergisten slib. De verblijftijd van de T/E combinatie bleef redelijk hetzelfde. Bij de referentie nam de verblijftijd langzaam toe van ca 17 naar 22-23 dagen. De gemiddelde waarden vanaf 7 juni tot en met 10 augustus zijn gegeven in tabel 6.

FIGUUR 22

SLIBVERBLIJFTIJD EN AANDEEL PRIMAIR SLIB IN VOEDING (OP BASIS VAN KG DS) VOOR REFERENTIE EN DE TE-COMBINATIE.



TABEL 6

KENTALLEN BEDRIJFSVOERING PILOT INSTALLATIE NIEUWGRAAF FASE II

Parameter	Eenheid	Waarde	
		Referentie	T/E combinatie
Verbliftijd	Dag	22,4	14,6
Aandeel primair slib voeding gisting	% op basis kg DS	25	25
Organisch stof belasting	kg ODS/m <sup>3</sup> .d	2,2	4,3 / 2,8*

\* Ephyra 1/Ephyra 2

Het verschil tussen de referentie en T/E combinatie is de toegepaste verbliftijd en de belasting. Helaas bleek ook dat het aandeel primair slib voor de T/E combinatie lager was dan in de voorgaande fase. Het oorspronkelijk doel was om het aandeel van fase I (35%) te handhaven; dit is echter niet gelukt.

De verbliftijd van de referentie is toegenomen van 17,2 dagen (Fase I) naar 22,4 dagen (Fase II) en het primair slibaandeel is afgenomen van 50,5% (Fase I) naar 25% (Fase II). De grote daling in aandeel primair slib zou tot gevolg kunnen hebben dat de relatieve afbraak in Fase II voor de Referentie lager is dan de relatieve afbraak in Fase I, ondanks de toegenomen verbliftijd.

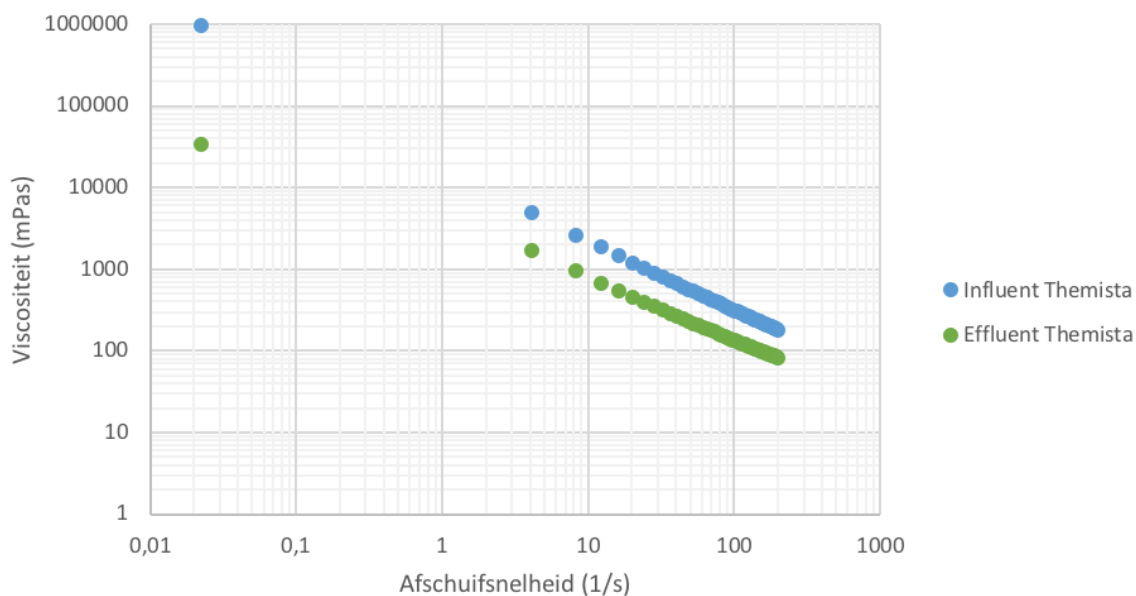
Voor de T/E combinatie is de verblijftijd in fase II nagenoeg gelijk geweest aan de verblijftijd in Fase I (14,6 versus 14,1 dagen). Het aandeel primair slib is in Fase II echter lager dan in Fase I (25 versus 35%. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat de relatieve afbraak van de T/E combinatie in Fase II lager is dan in Fase I.

#### 4.3.2 EFFECT THEMISTA® BEHANDELING OP SECUNDAIR SLIB.

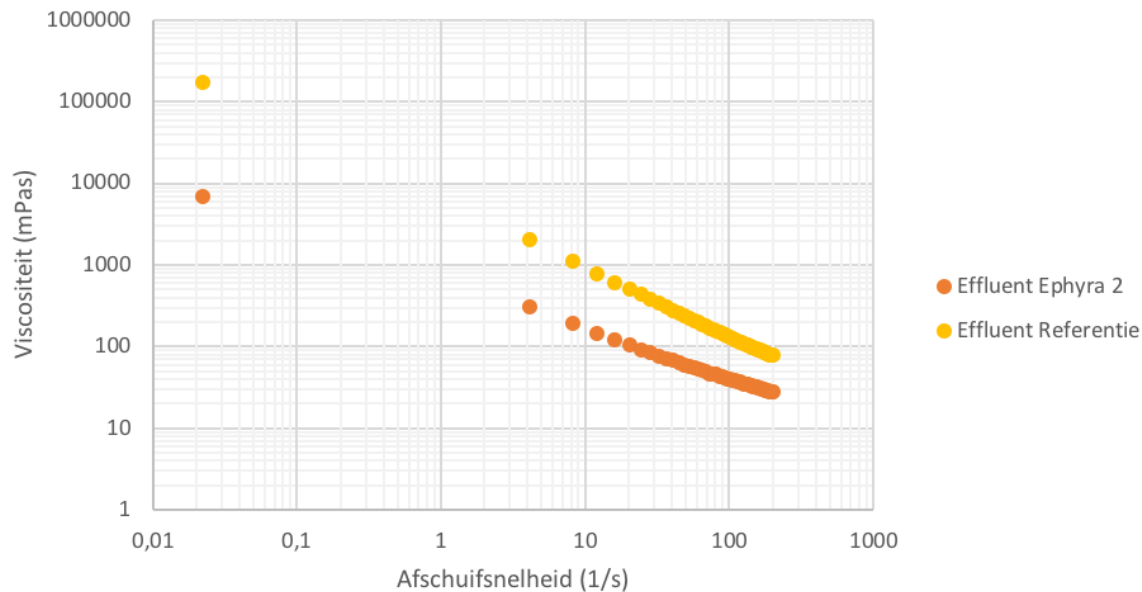
Het effect van de Themista® behandeling op opgelost CZV is vergelijkbaar met de data uit fase I. In bijlage A1 zijn de CZV concentraties voor en na de Themista® behandeling voor fase II opgenomen. De toename in opgeloste CZV voor en na de Themista® behandeling varieerde van 0,12 tot 0,16 g/g. Ofwel, 12 tot 16% van de toegevoerde totaal CZV ging in oplossing. De opgeloste CZV van het uitgegiste slib was in de referentie en de T/E combinatie 700 en 750 mg/l. De opgeloste CZV was in de eerste en tweede reactor van de T/E combinatie gelijk. Dit geeft aan dat extra opgeloste CZV door de behandeling al in de eerste reactor was omgezet.

De Themista® heeft ook een effect op de viscositeit van het slib. In fase II zijn de verschillende slibsoorten bemonsterd en getest op viscositeit. In Figuur 23 is de viscositeit van het ingaande en uitgaande slib van de Themista® units weergegeven over de afschuifsnelheid. Er is gecorrigeerd voor verschillende drogestof percentages. De viscositeit na de Themista® is lager. Dit werkt door op de viscositeit van het uitgegist slib. In Figuur 24 is te zien dat de viscositeit van het effluent van de referentie hoger ligt dan de viscositeit van het effluent van de tweede Ephyra® tank. Door de viscositeitsdaling is het slib makkelijker te verpompen en is het eenvoudiger te mengen waardoor een lagere mengenergie nodig zal zijn. Ook is het mogelijk om dikker slib met een lagere viscositeit met eenzelfde soort pomp te verpompen.

FIGUUR 23 VISCOSITEIT VERSUS DE AFSCHUIFSNELHEID VAN INGAANDE EN UITGAANDE SLIB VAN DE THEMISTA



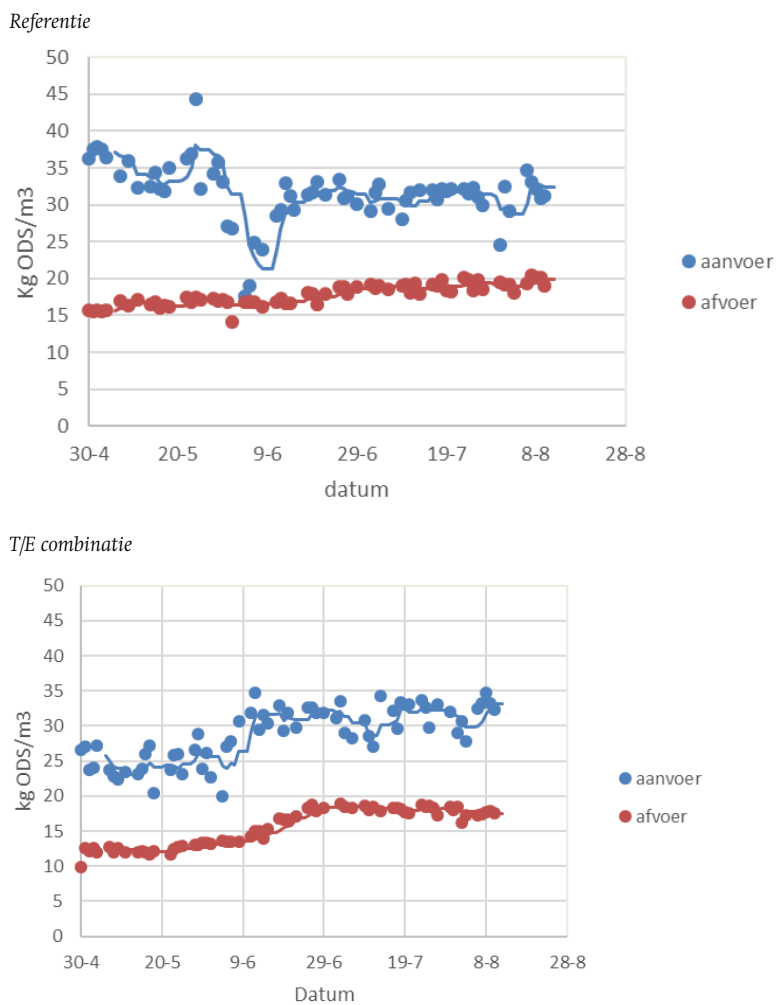
FIGUUR 24 VISCOSITEIT VERSUS DE AFSCHUIFSNELHEID VAN EFFLUENT VAN DE TWEDE EPHYRA(R) TANK EN DE REFERENTIE



### 4.3.3 SLIB AAN- EN AFVOER

Figuur 25 geeft de slib aan- en afvoerconcentraties voor de referentie en de T/E-combinatie.

FIGUUR 25 SLIB AAN- EN AFVOERCONCENTRATIES VOOR DE REFERENTIE REACTOR EN DE T/E COMBINATIE

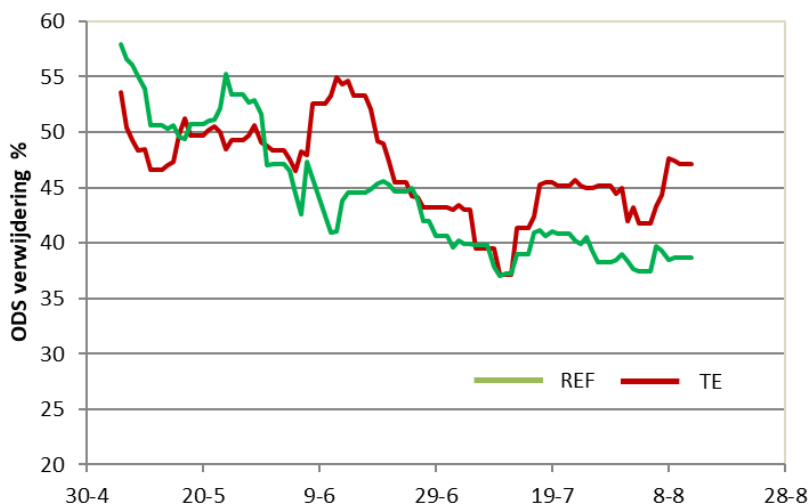


Na de omschakeling van fase I naar II (eind mei) werd de referentie met iets minder dik slib gevoed; de T/E combinatie werd met iets dikker slib gevoed. Voor beide systemen is er een toename in de slibconcentratie van de afvoer hetgeen aangeeft dat de pilot reactoren overgingen naar een nieuwe evenwichtsconcentratie horende bij de nieuwe slibaanvoer. De slibaanvoer van de T/E combinatie vertoont een grotere fluctuatie in ODS gehalte dan de slibaanvoer van de referentie. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door het aandeel extern slib, wat grote fluctuaties in ODS concentratie vertoonde. Daarnaast zorgt de kortere verblijftijd van de T/E combinatie ook voor meer invloed van fluctuaties in de aanvoer in vergelijking met de referentie met een langere verblijftijd.

#### 4.3.4 ODS AFBRAAK

De ODS afbraak in de referentie en de T/E-combinatie is gegeven in Figuur 26.

FIGUUR 26 ODS AFBRAAK IN DE REFERENTIE EN DE T/E-COMBINATIE. DE GEGEVEN LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIJDENDE GEMIDDELDE VAN 7 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



Na omschakeling van voeding aan het einde van fase I (eind mei) daalt de ODS afbraak in beide pilot reactoren. De hogere afbraak in de T/E combinatie direct na de omschakeling is een gevolg van het feit dat de reactor met dikker slib werd gevoed; hierdoor is de berekende ODS verwijdering tijdelijk hoger.

De daling van het ODS rendement in de referentie en de T/E-combinatie is in ieder geval een gevolg van het lager aandeel primair slib in de voeding. In hoeverre de overgang naar zomerslib van invloed op de daling is geweest blijft onzeker. De daling zet zich door tot begin juli; hierna zijn de gemeten ODS rendementen bij benadering weer constant. Dit geeft aan dat de nieuwe evenwichtssituatie is bereikt. Bij de vergelijking is uitgegaan van de meetdata vanaf 9 juli (zie Figuur 22). In deze periode was de vetzuurconcentratie in zowel de Referentie als de T/E combinatie < 100 mg/l, hetgeen aangeeft dat de reactoren stabiel draaiden. Een gemiddelde afbraak van 39,4% werd behaald in de referentie reactor en 44,9% werd behaald met de T/E combinatie. De statistische data zijn gegeven in Tabel 7.



TABEL 7

KENTALLEN SLIBAFBRAAK REFERENTIE EN T/E COMBINATIE IN DE PERIODE 9 JULI TOT 6 AUGUSTUS

		Referentie	T\E combinatie
Gemiddelde ODS afbraak	(%)	39,4	44,9
Standaarddeviatie	[-]	3,2	3,4
95% betrouwbaarheidsinterval	%	1,5	1,7
Ondergrens ODS afbraak	%	37,9	43,2
Bovengrens ODS afbraak	%	40,9	46,6

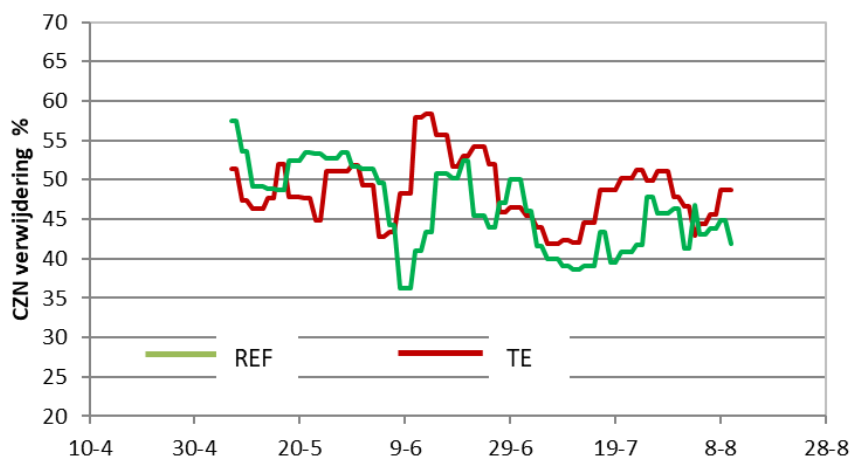
De gemiddelde meerafbraak gemeten in de T/E combinatie is 5,5% absoluut, ofwel 14% relatief. Aangezien ook de ondergrens van de T/E combinatie hoger ligt dan de bovengrens van de referentiereactor kan worden gesteld dat de slibafbraak in de T/E combinatie statistisch hoger ligt. Het bereik van de extra afbraak is 2,3 tot 8,7% ODS absoluut. Deze hogere afbraak in de T/E combinatie werd bereikt bij verblijftijd van gemiddeld 14 dagen tegenover 20 dagen in de referentie reactor.

#### 4.3.5 CZV AFBRAAK

De gemeten CZV afbraak in de pilot installatie is gegeven in Figuur 27. Dit geeft eenzelfde beeld als de gemeten ODS afbraak. Na omschakeling naar fase II daalt het CZV verwijderingsrendement totdat een nieuw evenwichtssituatie is bereikt. De extra CZV afbraak in de T/E combinatie vanaf half juli bedraagt 6,0% absoluut.

FIGUUR 27

CZV AFBRAAK IN DE REFERENTIE EN T/E COMBINATIE. DE GEGEVEN LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIJDENDE GEMIDDELDE VAN 7 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



Uit de COD metingen is ook de energie-inhoud van het verse slib bepaald. Hieruit bleek:

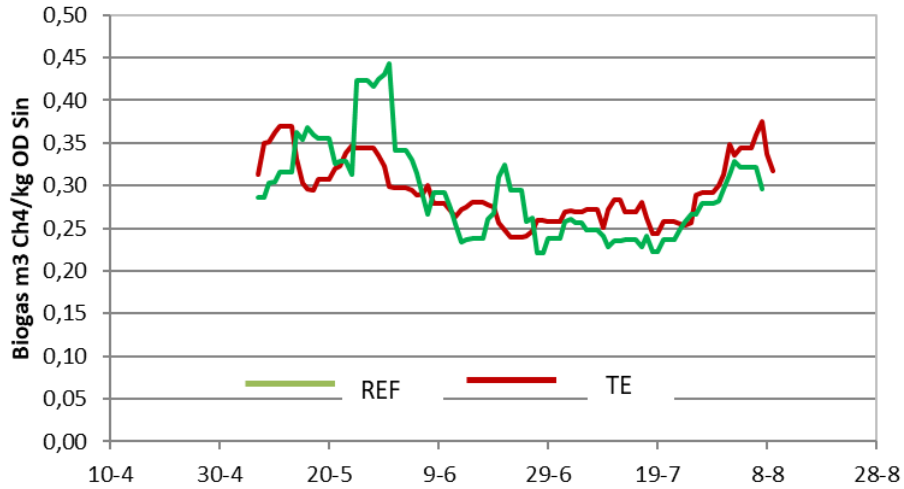
- primair slib: 1,49 +/- 0,21 g CZV/g ODS
- secundair slib 1,22 +/- 0,06 g CZV/g ODS.

Net als in fase I is de energie-inhoud van primair slib laag. Voor secundair slib is de CZV per kg ODS lager dan in fase I. Dit heeft mogelijk te maken met de overgang naar zomer slib. Dit is meestal verder gestabiliseerd dan winterslib.

#### 4.3.6 BIOGASPRODUCTIE

De gemeten biogasproductie -  $m^3 CH_4$  per kg ingaand ODS - is gegeven in Figuur 28. De gemiddeldes en 95% betrouwbaarheidsinterval gemeten vanaf 9-7-2018 bedroegen 0,25 +/- 0,02 voor de referentie en 0,26 +/- 0,01 voor de T/E combinatie. Vergelijkbaar aan fase I hadden beide installaties een vergelijkbare biogasproductie. Wel is de biogasproductie per kg ODS lager in vergelijking met fase I. Een oorzaak zou het lagere primair slib aandeel in fase II kunnen zijn.

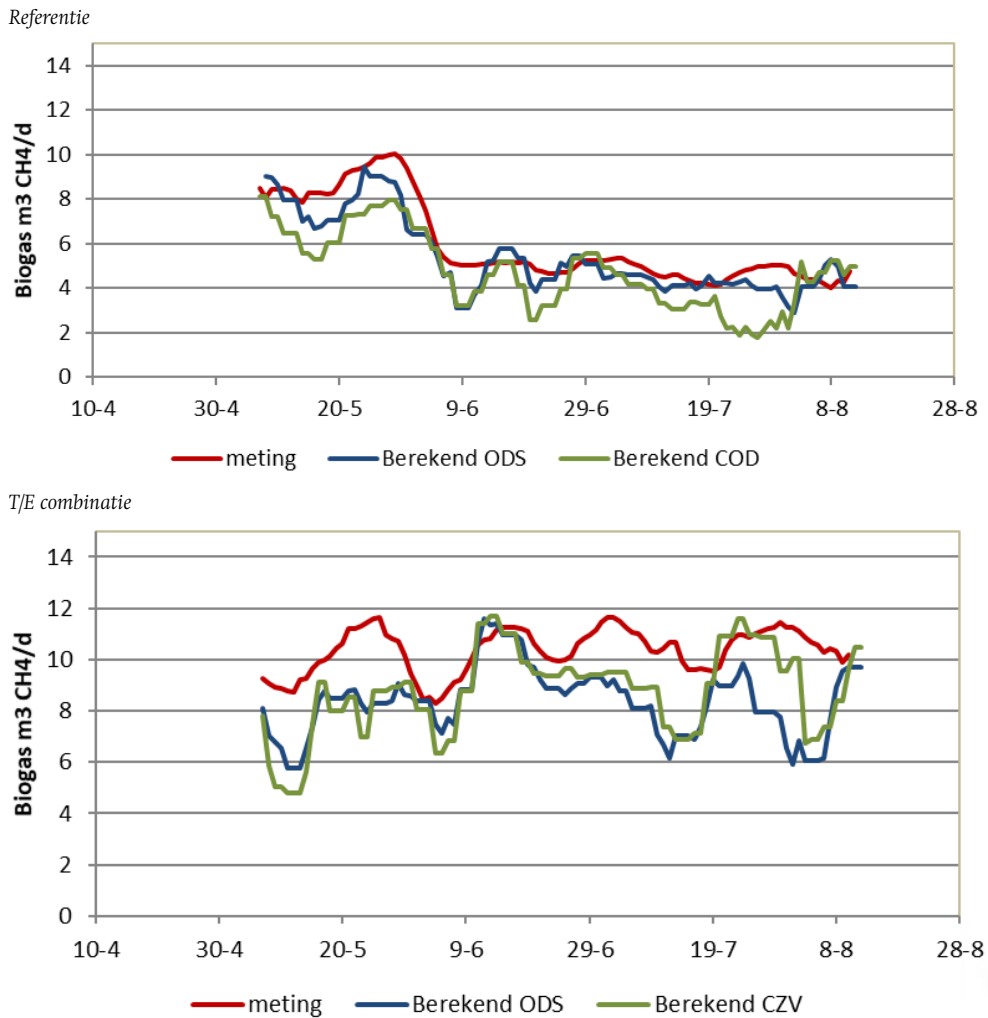
FIGUUR 28 METHAANPRODUCTIE PER KG ODS VOEDING VOOR DE REFERENTIE EN DE T/E COMBINATIE. DE GEGEVEN LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIJDENDE GEMIDDELDE VAN 7 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



4.3.7 BALANSEN

FIGUUR 29 geeft de gemeten methaanproductie en de berekende productie uit ODS en CZV verwijdering voor de referentie en de T/E combinatie.

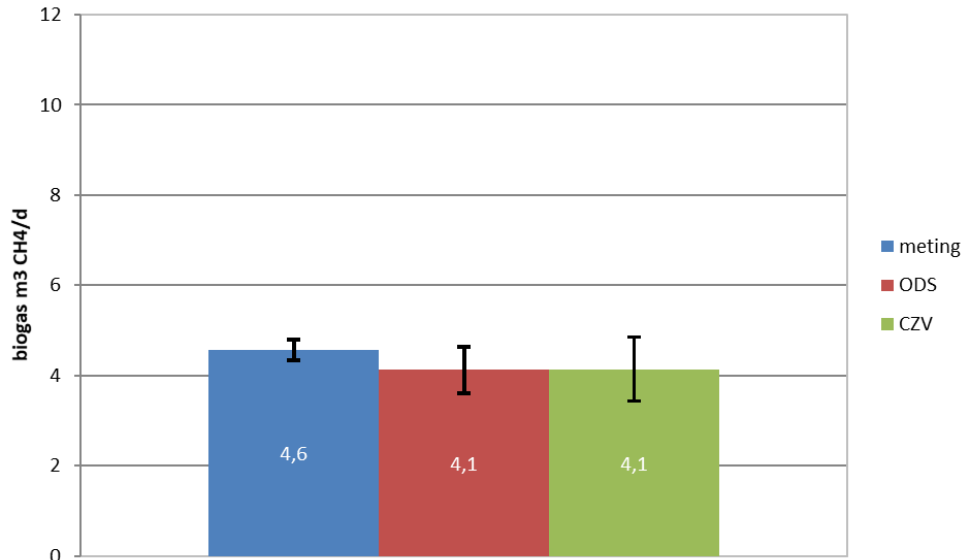
FIGUUR 29 METHAANPRODUCTIE GEMETEN EN BEREKEND VIA ODS EN CZV AFBRAAK. DE GEGEVEN LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIJDENDE GEMIDDELDE VAN 7 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



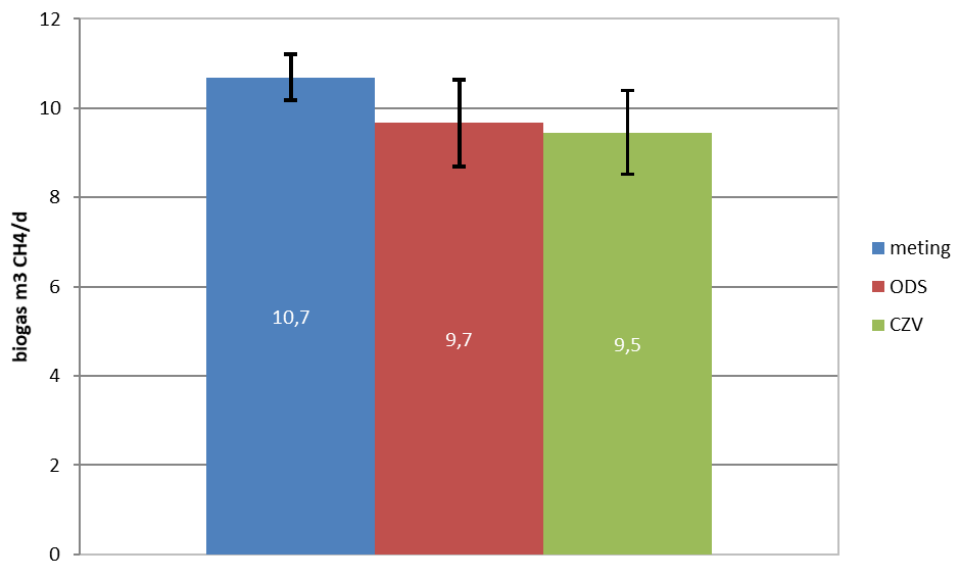
De gemiddelde en 95% intervallen in de periode juli-augustus zijn gegeven in Figuur 30. Voor de T/E combinatie is de berekende waarde uit de CZV afbraak statistisch lager dan de gemeten waarde; de balans is hier dus niet sluitend. Bij de referentie reactor is er een kleine overlap tussen de berekende en gemeten methaanproducties. Er is hier een redelijk sluitende balans.

FIGUUR 30 GEMIDDELDE EN 95% ONDER EN BOVENRENS VOOR DE GEMETEN EN BEREKENDE METHAANPRODUCTIE GEBASEERD OP ODS EN CZV AFBRAAK

Referentie



T/E combinatie

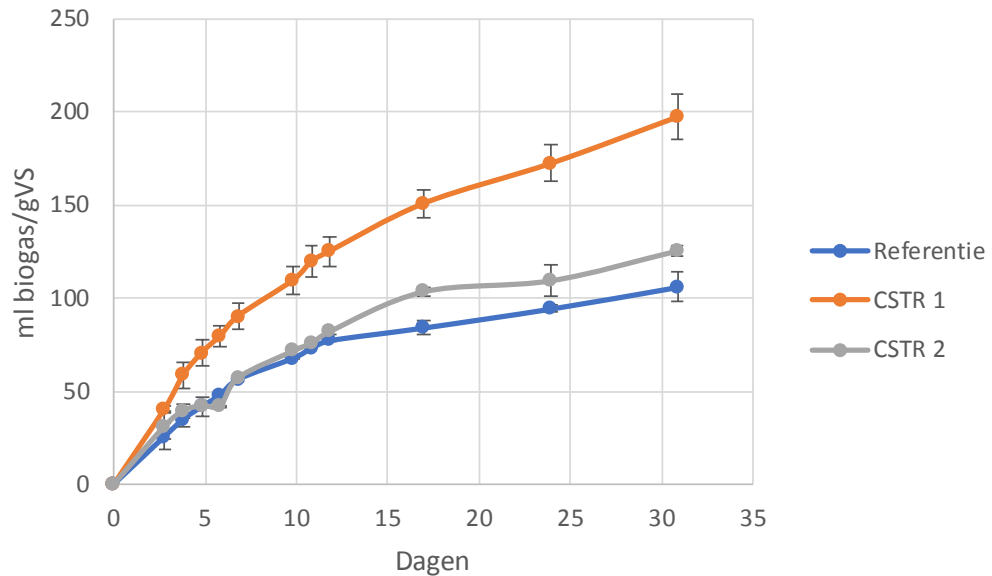


#### 4.3.8 RESTVERGISTBAARHEID

Aan het einde van fase II zijn ook nog restvergistingstesten uitgevoerd met het effluent van de Referentie en CSTR 1 en CSTR 2 van de T/E combinatie.

In Figuur 31 is de biogasproductie in de loop van de tijd weergegeven, inclusief standaarddeviatie.

FIGUUR 31 BIOGASPRODUCTIE TIJDENS NAVERGISTING VAN EFFLUENT REFERENTIE EN CSTR 1 EN CSTR 2 VAN DE T/E COMBINATIE BIJ 35°C



In Tabel 8 is het afbraakpercentage, van de 30 navergisting, vermeld. Bij de berekening hiervan is uitgegaan van een methaangehalte van het biogas van 62%, een CZV waarde van de organische fractie van 1,42 gCZV/gVS en de gemeten biogasproductie na 30 dagen. Zowel de referentie als de T/E combi laten nog een noemenswaardig percentage aan restafbraak zien. Dit duidt erop dat er in het slib van rwzi Nieuwgraaf stoffen aanwezig zouden kunnen zijn die lastig af te breken zijn.

TABEL 8 AFBRAAKPERCENTAGE ORGANISCHE FRACTIE VERSCHILLENDE SLIBBEN

	Afbraak ODS % ( $\pm$ SD)
Referentie	13,3 $\pm$ 0,9
T/E combinatie – Ephyra 1	24,6 $\pm$ 1,5
T/E combinatie – Ephyra 2	15,7 $\pm$ 0,3

#### 4.3.9 ONTWATERINGSTESTEN

##### 4.3.9.1 INLEIDING

Het effect van de T/E-combinatie op het ontwateringsresultaat van het uitgegiste slib is een belangrijk onderdeel van de business case. Afzetkosten van de eindverwerking van slib worden bepaald per ton ontwaterd slib. Betere ontwatering zorgt voor minder af te zetten slib. Daarom zijn gedurende Fase II van het onderzoek wekelijks lab testen gedaan om de ontwaterbaarheid van het slib te monitoren. Deze testen op labschaal zijn, gezien de opzet, niet geschikt om het absolute effect in te schatten. Daarom is aansluitend aan Fase II de ontwaterbaarheid getest met een mobiele ontwateringsinstallatie op de locatie Nieuwgraaf. Bij deze proeven is getest met het slib uit de referentie en uit de T/E-combinatie. De hoeveelheid slib was limiterend, waardoor de variatie in instellingen waarmee getest kon worden beperkt was.

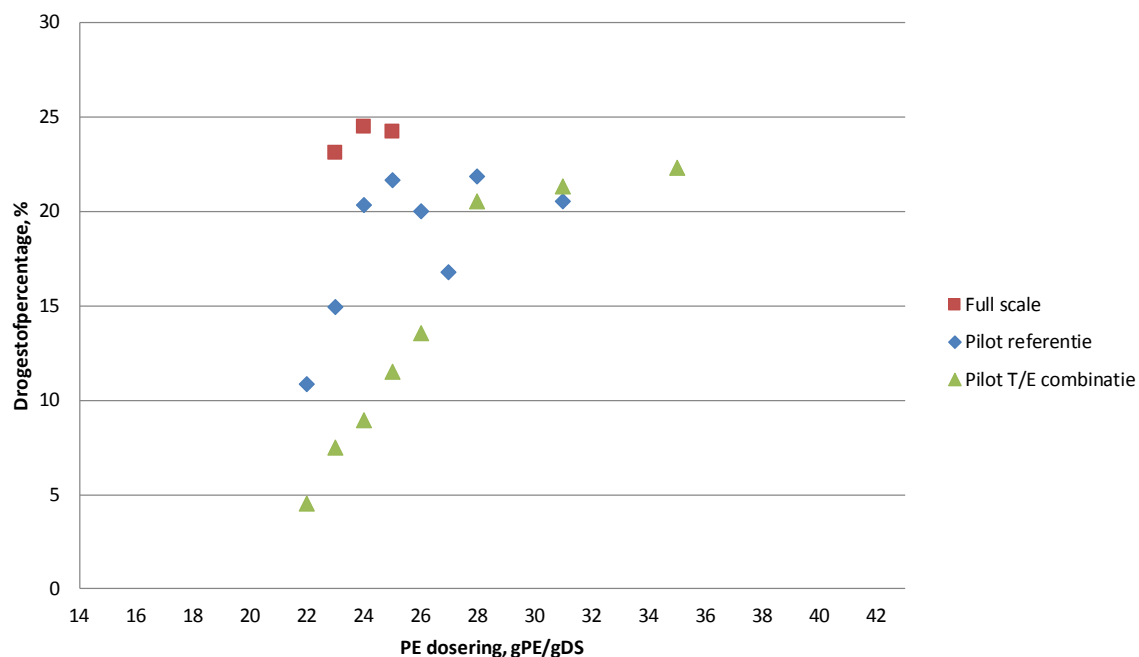
#### 4.3.9.2 RESULTATEN

##### LAB PROEVEN

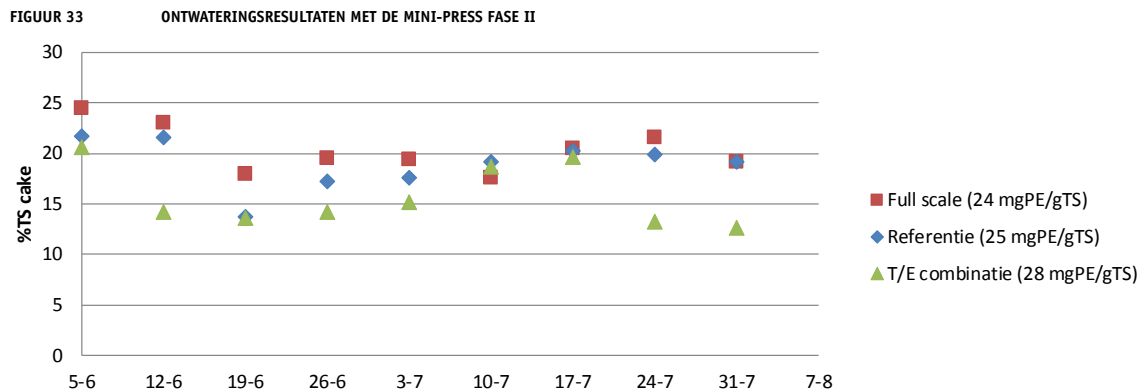
De PE-dosering waarbij een stabiele vlok gevormd werd, varieerde voor de verschillende slibstromen. Testen zijn uitgevoerd met behulp van een minipers op zowel slib uit de full scale installatie, de referentie als slib uit CSTR 1 en CSTR 2 van de T/E combinatie. Deze lab testen zijn uitgevoerd ter indicatie van de ontwatering van de verschillende slibstromen.

Om de optimale PE dosering vast te stellen zijn voor de verschillende slibstromen ontwateringstesten uitgevoerd met een oplopende PE dosering. De optimale PE dosering met bijbehorende ontwateringsresultaat is in fase II van 5 juni 2018 t/m 31 juli 2018 wekelijks uitgevoerd. Een voorbeeld van de ontwateringsresultaten van een dergelijke reeks is weergegeven in Figuur 32.

FIGUUR 32 ONTWATERINGSTESTEN IN HET LAB MET SLIB VAN 5 JUNI 2018



Uit Figuur 32 blijkt dat het uitgestig slib van de full-scale installatie het beste ontwateringsresultaat behaalde, waarbij een hoger ontwateringsresultaat in combinatie met een relatief laag PE verbruik werd gerealiseerd. De full scale vergistingsinstallatie heeft echter een voeding met een veel hoger aandeel aan primair slib (ongeveer 60%) in verhouding tot de voeding van de pilot Referentie en T/E combinatie (ongeveer 25-35% primair slib). De lab ontwateringsresultaten van de pilot Referentie en de T/E combinatie waren vergelijkbaar met betrekking tot behaalde drogestofpercentage. De T/E combinatie had echter wel een iets hogere PE dosering nodig om hetzelfde resultaat te behalen als de Referentie. De andere ontwateringstesten lieten allemaal eenzelfde, vergelijkbaar patroon zien. In Figuur 33 zijn de ontwateringsresultaten onder optimale PE dosering voor de full scale, de Referentie en de T/E combinatie weergegeven. De full-scale haalt hierin over het algemeen de beste ontwateringsresultaten. De referentie haalt met een iets hogere PE dosering vergelijkbare resultaten. De T/E combinatie laat een grotere variatie in ontwaterbaarheid zien.



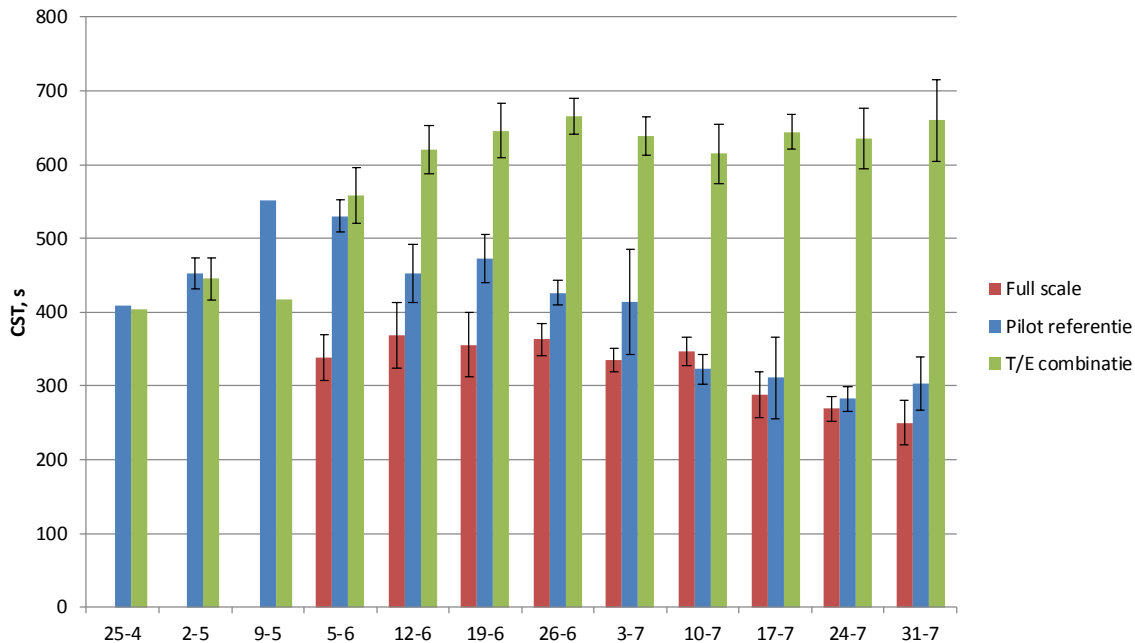
Het beeld van de test op 5 juni (figuur 32) is vergelijkbaar met die van de overige testen (figuur 33). Het slib uit de full scale leidt met de methode van de minipers tot de hoogste waarde. Opvallend is de grotere spreiding in de ontwateringsresultaten bij de T/E combinatie. Het lijkt alsof de methode van de minipers niet optimaal is om de ontwaterbaarheid van dit slib aan te tonen. Mogelijk is ook de combinatie van het gebruikte PE in relatie tot het goed uitgestigt slib van de T/E combinatie niet optimaal. Dit is niet verder onderzocht.

Naast de ontwateringstesten is ook de capillary suction time (CST) van de verschillende uitgestigte slibben getest. Hoe lager de CST waarde, des te hoger de potentie op een beter ontwateringsresultaat. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 34.

De CST waarden van het uitgestigt slib van de full scale is het laagst, gevolgd door de CST waarde van de Referentie en het uitgestigt slib van de T/E combinatie met de hoogste CST waarden. Opmerkelijk is dat de CST waarden van de Referentie en de T/E combinatie de eerste 2 metingen vergelijkbaar waren en daarna de CST waarden van de T/E combinatie toenamen en van de Referentie daalden. Het uiteenlopen van de CST waarden van de Referentie en de T/E combinatie zijn begonnen op het moment dat Fase II was begonnen. Fase II werd ook gekenmerkt door een wijziging (verlaging) van de afbreekbaarheid van het slib. Deze overgang duidt op een wijziging in slibkarakteristieken, hetgeen zou kunnen samenhangen met de overgang van relatief koude naar een relatief warme periode. De CST testen geven aan dat de ontwateringseigenschappen van de T/E combinatie minder goed zijn dan van de referentie en de full scale.

De testen op lab schaal zijn echter gezien de opzet niet geschikt om het absolute effect in te schatten. Daarom is aansluitend aan fase II de ontwaterbaarheid getest met een mobiele ontwateringsinstallatie op de locatie Nieuwgraaf. Bij deze proeven is getest met het slib uit de referentie en uit de T/E-combinatie. De hoeveelheid slib was limiterend, waardoor de variatie in instellingen waarmee getest kon worden beperkt is. De resultaten van deze uitgevoerde testen worden hierna besproken.

FIGUUR 34 CST WAARDEN UITGEGIST SLIB FULL SCALE, REFERENTIE EN T/E COMBINATIE



#### FULL-SCALE ONTWATERING

Op locatie zijn ontwateringsproeven met een centrifuge uitgevoerd. De benodigde PE concentratie voor ontwatering is bepaald op basis van de ontwateringresultaten van TU Delft en de centraatkwaliteit. Voor ontwatering van uitgegist slib van de T/E combinatie bleek een PE dosering van  $27 \text{ gPE}_{\text{act}}/\text{kgDS}$  nodig te zijn, waarbij een drogestofgehalte van 24-25% werd behaald. Een lagere PE dosering leidde tot slechte centraatkwaliteit. Er is tijdens de test verder niet geoptimaliseerd voor type PE of ponddiepte van de centrifuge in verband met de beperkte hoeveelheid uitgegist slib wat beschikbaar was voor ontwatering.

Voor het ontwateren van het uitgegiste slib van de referentie was een lagere PE dosering van  $22 \text{ gPE}_{\text{act}}/\text{kgDS}$  voldoende en werd een drogestofgehalte van 22,5-23,5% DS behaald. Een hoger PE dosering leidde niet tot verbetering van het drogestofgehalte van het uitgegiste slib van de referentie.

De T/E combinatie benodigde een hogere PE dosering dan de referentie om een goed ontwateringsresultaat te bereiken ( $27 \text{ gPE}_{\text{act}}/\text{kgDS}$  versus  $22 \text{ gPE}_{\text{act}}/\text{kgDS}$ ) maar behaalde daarmee wel een hoger drogestofgehalte (24-25% versus 22,5-23,5% DS).

Bij de ontwatering van het uitgegist slib van de full scale installatie wordt ijzer gedoseerd om het ontwateringsresultaat te verbeteren. Belangrijk effect van dosering van ijzer is dat het benodigde PE-verbruik verlaagd wordt voor een vergelijkbaar ontwateringsresultaat. Daarom is dit ook getest bij het slib van de pilot.

Het gebruik van ijzer ter verbetering van de ontwaterbaarheid had bij de referentie bij een dosering van 2,5 Kg Fe/ton DS geen effect. Niet duidelijk is waarom er geen verbetering te zien was. Tijdens de testen is ook getest met een lager verschiltoerental om het DS% van het ontwaterd slib te verhogen, maar dit leidde tot een slechte centraatkwaliteit.

Toepassing van een Fe concentratie van 2,5 kgFe/ton DS bij het uitgegist slib van de T/E combinatie had een verslechtering van centraatkwaliteit tot gevolg. Om deze reden is de ijzerdosering verhoogd naar 5,0 kgFe/ton DS. Bij deze dosering was er een duidelijk positief effect van het toevoegen van ijzer, het drogestofgehalte steeg naar 25-26%.

Samenvattend lijkt het slib van de T/E combinatie een iets hoger ontwateringsresultaat te geven. Hiervoor is ook iets meer PE nodig.

#### 4.3.10 EPS EFFECTEN T/E COMBINATIE

Gedurende fase II zijn er zes EPS extracties en fractioneringen uitgevoerd om vast te stellen wat het effect van de Themista<sup>®</sup> is op secundair slib en wat het effect van vergisting is op de verschillende EPS fracties. De gehanteerde EPS fractionering was driedelig, waarbij er onderscheid is gemaakt tussen “tightly bound EPS”, “loosely bound EPS” en “Slime”.

In Figuur 35 is het resultaat van een EPS extractie en fractionering weergegeven. De andere metingen laten een soortgelijk resultaat zien en zijn weergegeven in **bijlage 2**.

Uit Figuur 35 volgt dat de Themista<sup>®</sup> voorbehandeling zorgt voor een afname van de fractie tightly bound EPS en een toename in de fractie Slime. Daarnaast is er een groter gedeelte van de EPS fractie van de slibvlok te extraheren. Beide duidt erop dat het slib makkelijker toegankelijk ZOU moeten zijn voor vergisting en dat door toename van de fractie slime de afbreekbaarheid zou moeten versnellen en toenemen (Luo et al, 2013).

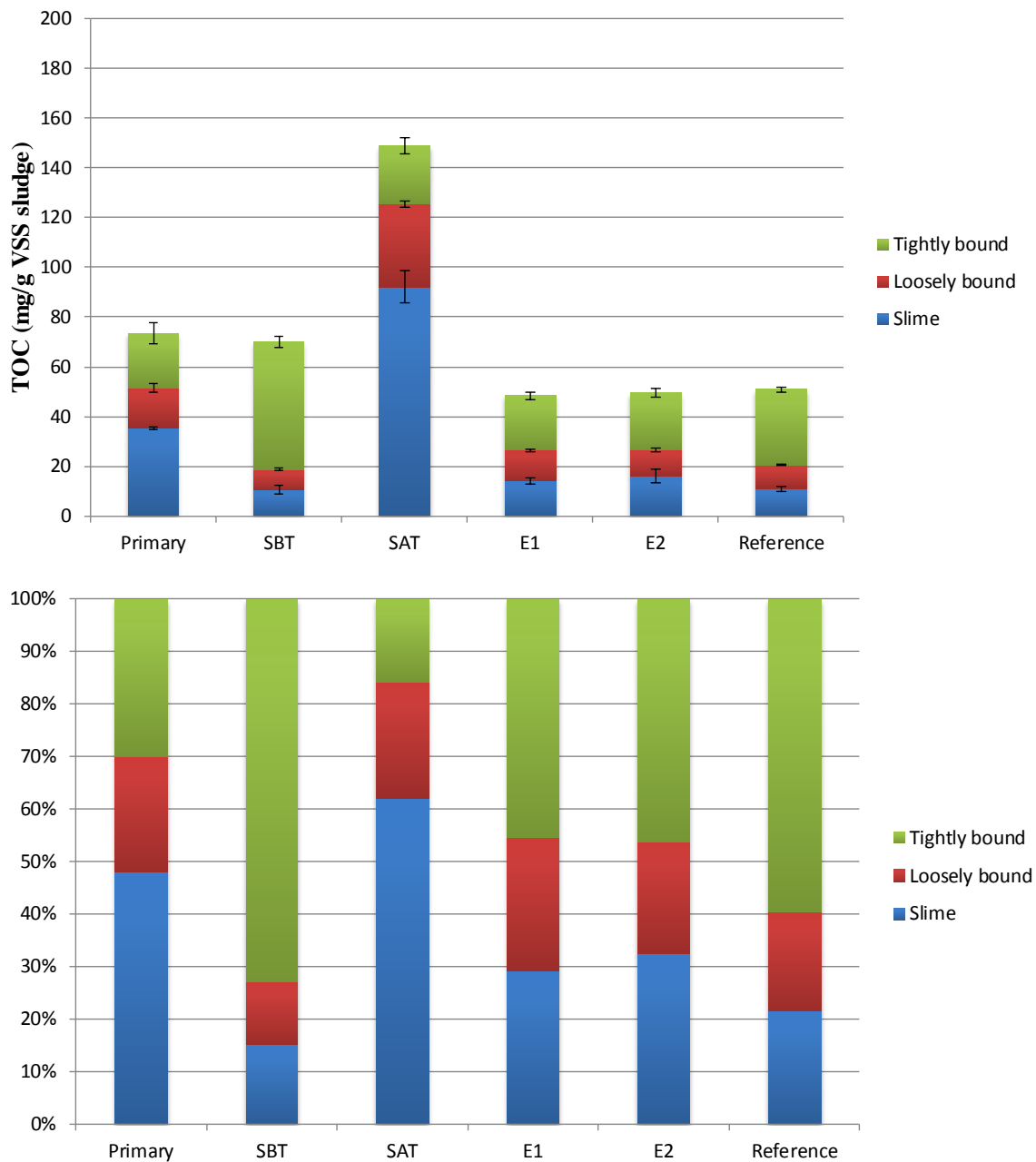
#### 4.3.11 KATIONEN

Tijdens fase II is van het uitgegiste slib van de Referentie en de tweede CSTR van de T/E combinatie ook de opgelost kationen samenstelling drie keer bepaald. In Figuur 36 zijn de resultaten van deze drie metingen weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de concentraties aan monovalente kationen in het uitgegiste slib van de T/E combinatie altijd hoger waren dan de concentraties in het uitgegiste slib van de referentie. De concentraties aan divalente kationen (magnesium en calcium) zijn in de meeste gevallen vergelijkbaar. Van de monovalente kationen natrium en kalium is vooral de concentratie kalium relatief veel toegenomen met 3-9%. Dit kan duiden op de vrijgave van bacteriële cytoplasma in de T/E combinatie, aangezien bacteriële cytoplasma veel kalium bevat (Park et al., 2006). De toename in kalium zou een indicatie kunnen zijn voor het ‘kapot koken’ van de bacteriële fractie van slib gedurende de thermisch-chemische voorbehandeling van de T/E combinatie. Het vrijkomen van de bacteriële cytoplasma kan één van de mogelijke mechanismen zijn voor de versnelde en verbeterde afbraak.

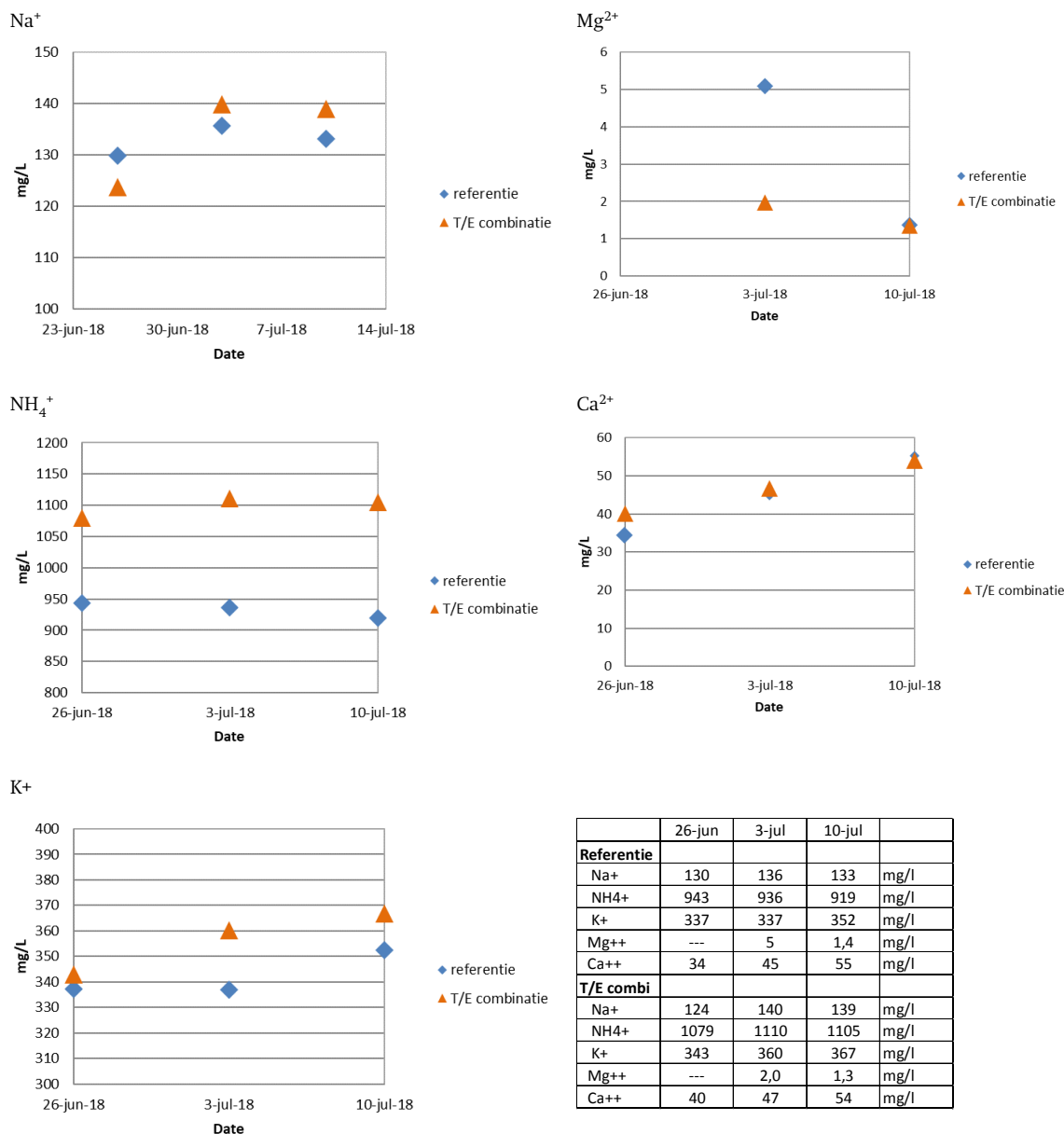
Aangezien de Referentie en de T/E combinatie dezelfde voeding kregen duidt de hogere ammonium concentratie op een verdergaande afbraak van organisch (eiwitachtig) materiaal in de T/E combinatie.



FIGUUR 35 EPS EXTRACTIE EN FRACTIONERING VAN 5 JUNI 2018. IN DE BOVENSTE GRAFIEK STAAN DE ABSOLUTE EXTRACTIE HOEVEELHEDEN EN INDELING. IN DE ONDERSTE GRAFIEK STAAT DE RELATIEVE INDELING WEERGEGEVEN. (PRIMARY = PRIMAIR SLIB; SBT = SLIB VOOR THEMISTA<sup>®</sup>; SAT = SLIB NA THEMISTA<sup>®</sup>; E1 = CSTR 1 VAN T/E; E2 = CSTR 2 VAN T/E; REFERENCE = REFERENTIE)



FIGUUR 36 KATION CONCENTRATIES REFERENTIE EN T/E COMBINATIE GEDURENDE FASE II



#### 4.4 PILOT ONDERZOEK - FASE III

Gedurende Fase III is getest of de T/E combinatie een hogere belasting aankon. Aanleiding om dit te testen is dat in de praktijk er altijd momenten of perioden zijn dat een gisting meer slib te verwerken krijgt, bijvoorbeeld in de lente als een waterschap overgaat naar een ‘zomerregime’ waarbij er gedurende de overgang meer slib gespuid wordt om een lager slibgehalte in de waterlijn te verkrijgen.

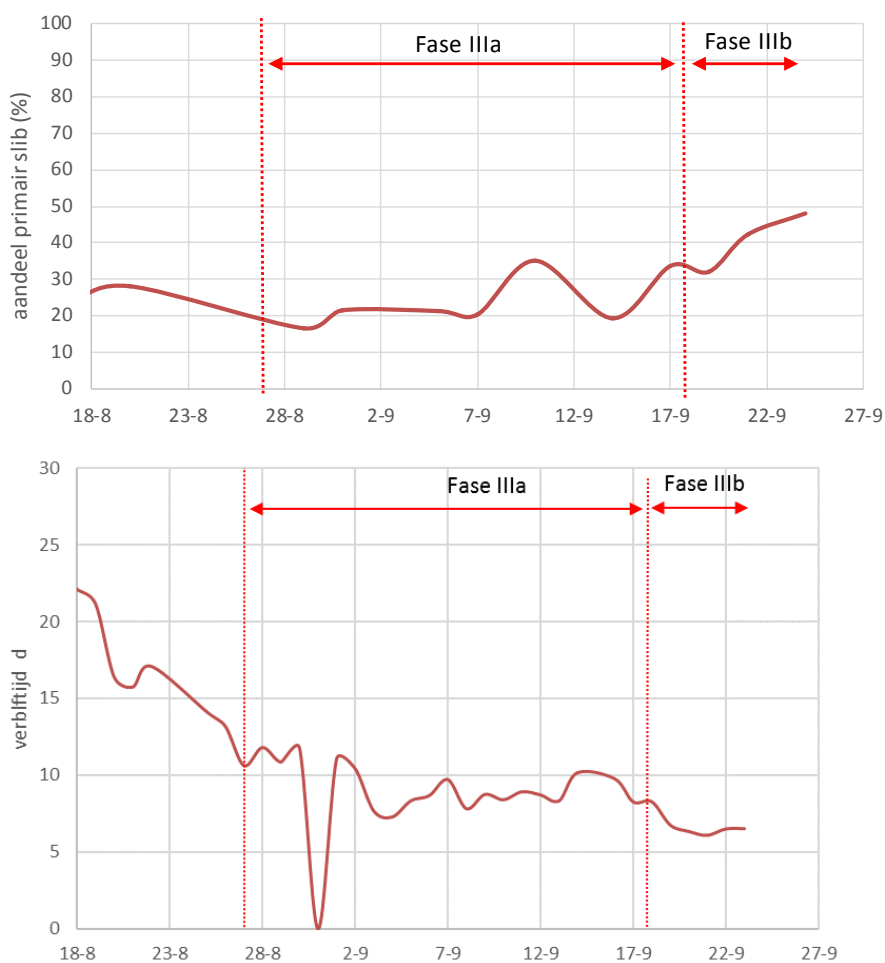
Om de hogere belasting te testen is in eerste instantie (fase IIIa) de slibverblijftijd verlaagd van 13 naar 8 dagen. Indien de T/E combinatie deze belasting aankon is de verblijftijd verlaagd naar 6 dagen (Fase IIIb).

#### 4.4.1 SLIBSAMENSTELLING, VERBLIJFTIJDEN EN BELASTING

##### FASE IIIA

Na afronding van fase II (26 augustus 2018) is de Referentie uit gebruik genomen en is het voedingsdebiet van de T/E combinatie zodanig verhoogd dat de slibverbleeftijd van 13 naar 8 dagen is verlaagd. De samenstelling van de voeding (aandeel primair, secundair en extern secundair slib) is gedurende fase IIIa hetzelfde geweest als gedurende fase II. Figuur 37 geeft de slibverbleeftijden en het aandeel primair slib in het te vergisten slib gedurende fase IIIa, welke van 27 augustus t/m 17 september heeft geduurd. In Tabel 9 zijn de kengetallen voor fase IIIa vermeld.

FIGUUR 37 SLIBVERBLIJFTIJD EN AANDEEL PRIMAIR SLIB IN VOEDING (OP BASIS VAN KG DS) VOOR DE T/E-COMBINATIE GEDURENDE FASE IIIA EN IIIb. DE VERTICALE ROOD GESTIPPELDE LIJNEN GEVEN DE OVERGANGEN NAAR FASE IIIA EN IIIb WEER



TABEL 9 KENTALLEN BEDRIJFSVOERING PILOT INSTALLATIE T/E NIEUWGRAAF GEDURENDE FASE IIIA EN IIIb

		Fase IIIa	Fase IIIb
Verbleeftijd	dag	8	6
Aandeel primair slib voeding gisting	% op basis kg DS	25	35-40
Organisch stof belasting	kg ODS/m <sup>3</sup> .d	4,6 / 3,3*	5,4 / 4,1*

\*Ephyra 1/Ephyra 2

### FASE IIIb

Na afronding van fase IIIa (17 september) is het voedingsdebiet van de T/E combinatie zodanig verhoogd dat de slibverblijftijd van 8 naar 6 dagen is verlaagd. Gedurende fase IIIb was het aandeel primair slib met een aandeel van 30-40% primair slib hoger dan gedurende fase II en IIIa (ongeveer 25-30% primair slib). De capaciteit van de Themista<sup>®</sup> was namelijk niet voldoende om de voeding te verhogen tot een slibverblijftijd van 6 dagen met een gelijke slibverhouding. Om toch deze 6 dagen slibverblijftijd te behalen is het ontbrekende aandeel aan secundair slib opgevuld met primair slib (welke apart aan de CSTR werd gevoed). Voorgaande Figuur 37 geeft de slibverblijftijden en het aandeel primair slib in het te vergisten slib gedurende fase IIIb. Fase IIIb heeft van 18 t/m 24 september geduurd.

#### 4.4.2 EFFECT THEMISTA<sup>®</sup> BEHANDELING OP SECUNDAIR SLIB.

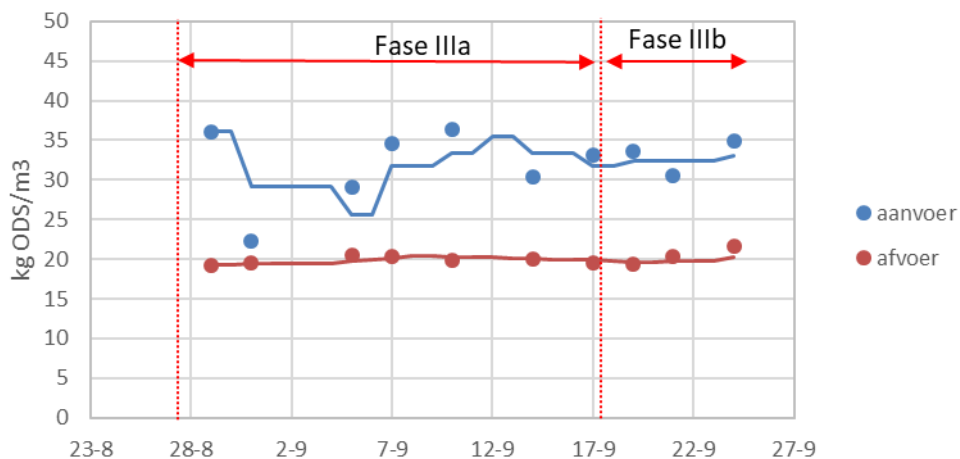
Het effect van de Themista<sup>®</sup> behandeling op opgelost CZV in fase III is vergelijkbaar met fase I en fase II.

De toename in CZV varieerde van 0,1 tot 0,16 g/g ofwel 10 tot 16% van de toegevoerde totaal CZV ging in oplossing.

#### 4.4.3 SLIB AAN- EN AFVOER

Figuur 38 geeft de slib aan- en afvoerconcentraties van de T/E-combinatie in Fase IIIa en IIIb.

FIGUUR 38 SLIB AAN- EN AFVOERCONCENTRATIES VOOR DE T/E COMBINATIE GEDURENDE FASE IIIa EN IIIb

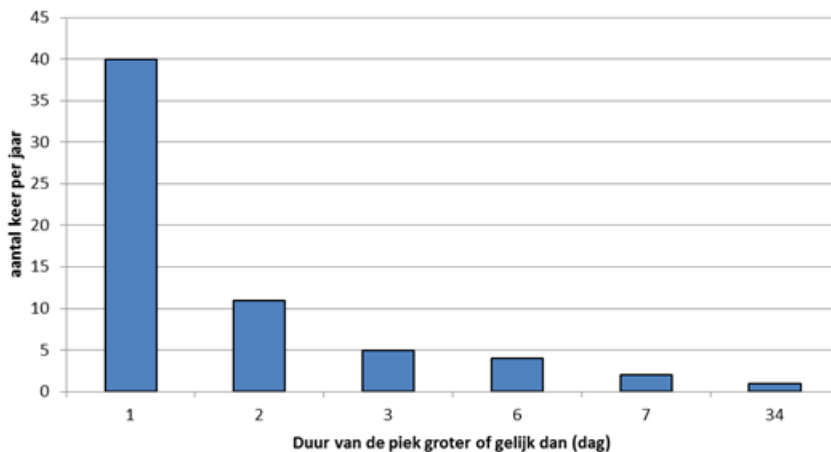


Gedurende Fase IIIa en IIIb is de slib aanvoerconcentratie redelijk constant met 30-35 kg ODS/m<sup>3</sup>. De slib afvoerconcentratie is ook redelijk constant met ongeveer 20 kg ODS/m<sup>3</sup>. De eerste week van Fase IIIa waren er redelijk veel problemen met het verpompen van primair slib, waardoor de aanvoerconcentratie in deze eerste week van Fase IIIa fluctuaties vertoont. Op het eind van Fase IIIb lijkt de uitgaande concentratie een licht stijgende trend te vertonen. De duur van Fase IIIb was echter maar één week, waardoor niet beoordeeld kan worden of er inderdaad sprake was van een stijgende trend in de slib afvoerconcentratie, en zo ja, tot welke mate zich deze zou voortzetten.

In Figuur 39 is weergegeven wat de duur van een piek was voor RWZI Tollebeek. Hieruit volgt dat pieken van meer dan 7 dagen maar een paar keer per jaar voorkomen. In Figuur 39 is geen rekening gehouden met de intensiteit van de pieken. Een piek met een intensiteit zoals die in fase IIIb is getest (6 dagen verblijftijd in plaats van de gemiddelde 13 dagen) voor een duur van 7 dagen zal in de praktijk maar zeer zelden voorkomen.

FIGUUR 39

DUUR VAN PIEKEN (AANVOERDEBIET GROTER DAN BEREKENDE GEMIDDELDE WAARDE) VOOR RWZI TOLLEBEEK VAN 2017-2018

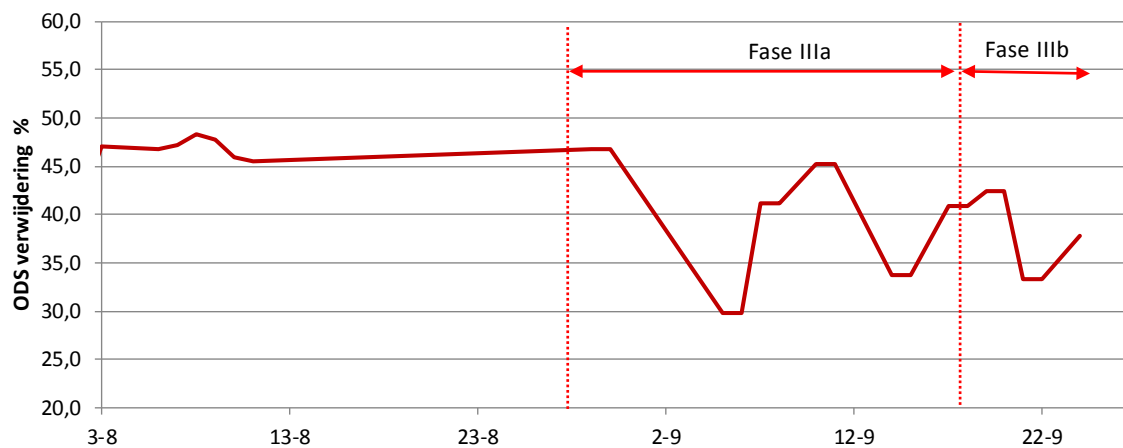


#### 4.4.4 ODS AFBRAAK

De ODS afbraak in de T/E-combinatie voor Fase IIIa en IIIb is gegeven in Figuur 40.

FIGUUR 40

ODS AFBRAAK IN DE T/E-COMBINATIE GEDURENDE FASE IIIA EN IIIb. DE GEGEVEN LIJNEN ZIJN HET VOORTSCHRIJLENDE GEMIDDELDE VAN 2 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN

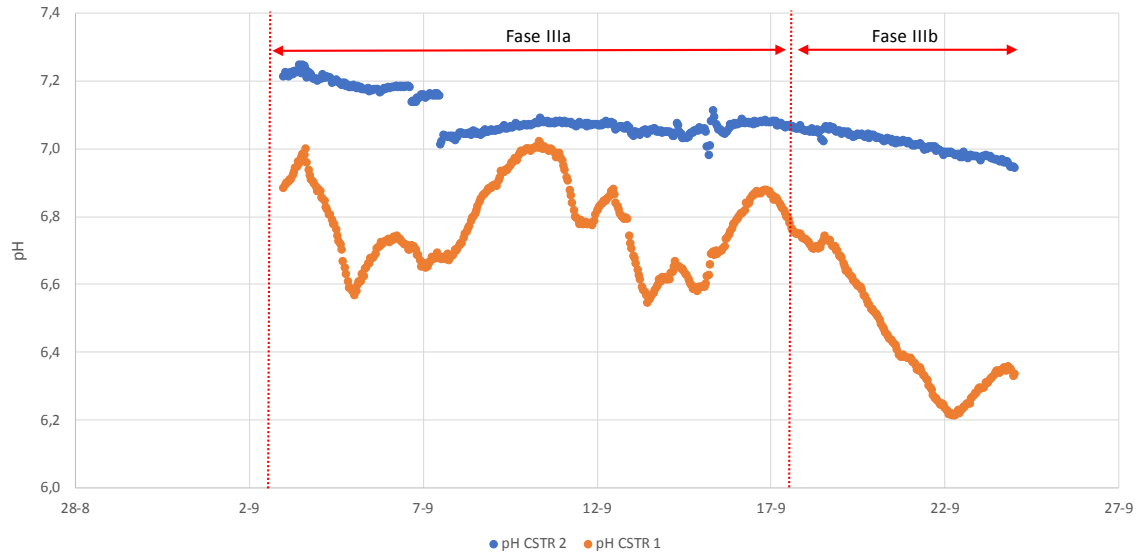


Na omschakeling van voeding aan het einde van fase II vertoont de ODS afbraak in de T/E combinatie een dalende trend. Dit is niet verwonderlijk gezien de korte verblijftijd van 8 en 6 dagen in Fase IIIa en IIIb. De loopduur van Fase IIIa en IIIb waren echter kort waardoor er nog geen stabiele situatie was bereikt.

#### 4.4.5 PH VERLOOP

In Figuur 41 is het pH verloop van CSTR 1 en de CSTR van de T/E combinatie gedurende Fase IIIa en IIIb weergegeven. Het pH verloop is vanaf 2-9 weergegeven omdat vanaf dat moment de reactor stabiel bedreven werd in Fase IIIa. In de eerste week van Fase IIIa waren er namelijk veel verstoppingsproblemen in de primair sibleiding.

FIGUUR 41 PH VERLOOP IN CSTR 1 EN CSTR 2 VAN DE T/E-COMBINATIE GEDURENDE FASE IIIA EN IIIB



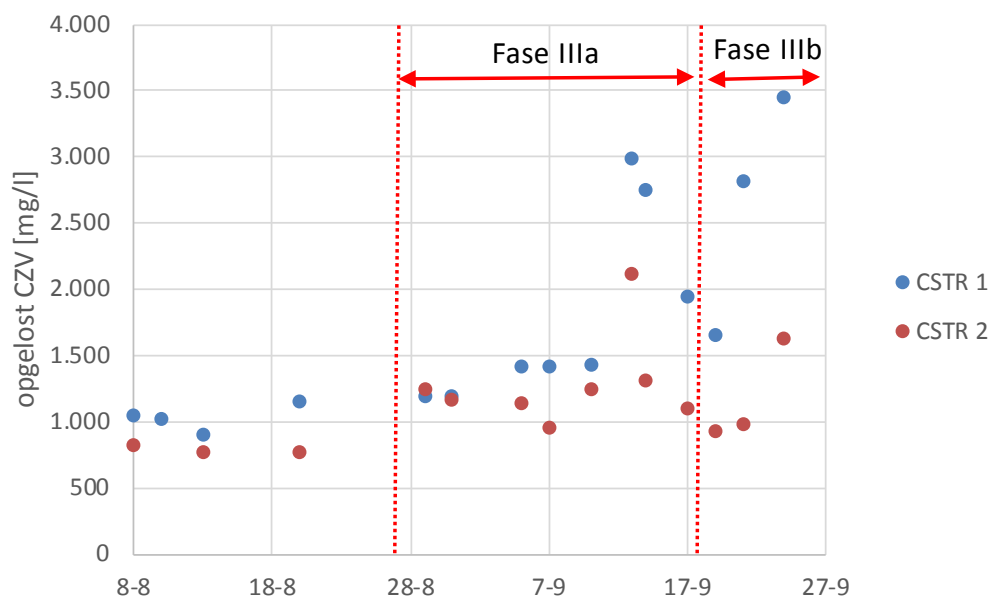
Uit de grafiek volgt dat gedurende Fase IIIa met een verblijftijd van 8 dagen de pH in zowel CSTR 1 als CSTR 2 daalden. De pH in CSTR 1 was (zeer) variabel. Dat de pH in CSTR 1 nog niet stabiel is, werd waarschijnlijk veroorzaakt door de korte duur van Fase IIIa, respectievelijk ongeveer 16 dagen. De pH was echter minimaal 6,5 in CSTR waardoor de vergisting nog gewoon bleef functioneren. De pH daling in CSTR 2 was kleiner, respectievelijk van pH 7,2 naar 7,0-7,1. De T/E combinatie heeft zonder problemen gedraaid bij een verblijftijd van 8 dagen.

In fase IIIb daalde de pH in CSTR 1 en 2 echter verder, respectievelijk pH 6,2 voor CSTR 1 en pH 6,9 voor CSTR 2. Aan het einde van Fase IIIb (na ongeveer 7 dagen) leek CSTR 1 zich echter iets te herstellen en steeg de pH weer.

#### 4.4.6 OPGELOST CZV EN VETZUURCONCENTRATIES EFFLUENT T/E COMBINATIE

Gedurende fase IIIa en IIIb zijn de opgelost CZV-concentraties van de eerste en tweede reactor van de T/E combinatie gemeten. Daarnaast zijn de vetzuurconcentraties van de eerste en tweede reactor van de T/E combinatie een aantal keer gemeten.

FIGUUR 42 PH VERLOOP EFFLUENT CSTR 1 EN CSTR 2 VAN DE T/E COMBINATIE GEDURENDE FASE IIIA EN IIIB



Uit Figuur 42 blijkt dat de hoeveelheid opgelost CZV in Fase IIIa en IIIb zowel in CSTR 1 als CSTR 2 van de T/E combinatie toenam. De toename in CSTR 1 was het grootst met een stijging van 1.000 naar >1.500 mg CZV/l aan het einde van Fase IIIa en in Fase IIIb. In CSTR 2 was er een toename van ongeveer 700 mg/l naar ongeveer 1.300 – 1.600 mg CZV/l aan het eind van Fase IIIa en in Fase IIIb. De stijging in opgelost CZV werd veroorzaakt door een toename in concentratie vetzuren. Wel is er in fase IIIa ne een aanvankelijke piek weer een daling in de vetzuren waarneembaar.

In Tabel 10 zijn de resultaten van de vetzuurbepalingen weergegeven. Uit deze resultaten blijkt dat gedurende fase III er wel een ophoping van vetzuren plaatsvond, voornamelijk in Ephyra 1. Een groot gedeelte van de opgehoopte vetzuren in Ephyra 1 werden in Ephyra 2 omgezet. Ephyra 2 lijkt hierdoor de grotere belasting op te kunnen vangen. In combinatie met het feit dat de pH in Ephyra 1 rond de 6,3 was en in Ephyra 2 rond de 6,8-6,9 was, mag geconcludeerd worden dat de T/E combinatie een belasting die leidt tot een verblijftijd van 6-8 dagen gedurende een aantal weken, zonder problemen aankan.

TABEL 10

GEMETEN VETZUURCONCENTRATIES IN EPHYRA 1 EN 2 GEDURENDE FASE III

Vetzuur	Eenheid	Ephyra 1		Ephyra 2			
		8	6	8	6		
Slibverblijftijd	dagen						
Acetaat	mg/l	10	148	616	*	*	162
Propionaat	mg/l	6	112	715	*	*	151
(iso) butyraat	mg/l	7	34	234	*	*	8
(iso) valeraat	mg/l	11	24	301	*	*	9
(iso) hexanoaat	mg/l	0	5	49	*	*	0
<i>Totaal</i>	<i>mg/l</i>	<i>34</i>	<i>324</i>	<i>1.915</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>330</i>

\* Tijdens analyse zijn om onduidelijke reden geen vetzuren gemeten

# 5

## BUSINESS CASE

### 5.1 INLEIDING

De optie voor toepassing van de Themista<sup>®</sup>/Ephyra<sup>®</sup> is als voorbeeld uitgewerkt voor de rwzi Bath, een actief slibstelsysteem met voorbezinking en slibgisting. Ingedikt primair en spuislib worden vergist in 2 gistingstanks. Primair slib wordt via gravitatie ingedikt. Spuislib wordt met een bandindikker ingedikt. Uitgegist slib wordt ontwaterd met zeefbandpersen waarna het wordt afgevoerd naar SNB. De gistingstanks op Bath worden parallel bedreven. Bij toepassen van de Themista<sup>®</sup>/Ephyra<sup>®</sup> combinatie zou het spuislib worden voorbehandeld met Themista<sup>®</sup> technologie, waarna het samen met het primair slib wordt vergist in de 2 gistingstanks. De 2 tanks worden dan in serie worden geschakeld en bedreven (Ephyra<sup>®</sup> configuratie).

### 5.2 ONTWERPCRITERIA THEMISTA<sup>®</sup>/EPHYRA<sup>®</sup> COMBINATIE

De algemene ontwerpcriteria voor toepassen van de Themista<sup>®</sup>/Ephyra<sup>®</sup> combinatie, waarbij naast voorbehandeling van spuislib in een Themista<sup>®</sup> systeem, 2 gistingstanks in serie worden toegepast zijn:

- Gemiddelde totale Verbleeftijd reactor 1 + reactor 2:  $\geq 12$  dagen.
- Gemiddelde verbleeftijd reactor 1:  $\geq 6$  dagen.
- Tijdens piekaanvoeren mag de verbleeftijd zakken tot  $\geq 10$  dagen totaal en  $\geq 5$  dagen voor reactor 1.
- Thermische behandelingstijd in Themista<sup>®</sup> gemiddeld 30 minuten met 20 minuten tijdens piekaanvoer. Naast thermische behandeling (65-75 °C) wordt H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gedoseerd.
- De gisting wordt voorzien van een Ephyra<sup>®</sup> controller om o.a. de recirculatiestroom te regelen, Recirculatie vindt plaat tussen de tweede en eerste reactor,
- Temperatuur slibgisting kan meso- of thermofiel worden uitgevoerd. pH waardes zoals normaliter toegepast voor slibgisting.
- Voor slibaanvoer wordt uitgegaan van gravitair of mechanisch ingedikt slib voor primair slib en mechanisch ingedikt slib (6-8% DS) voor spuislib.
- De verwijderingsrendementen zijn afhankelijk van het aandeel primair en spuislib in de slibaanvoer.
- De biogasproducties zijn afhankelijk van het verwijderingsrendement en de CZV waarde van de aangevoerde organische stof in het slib.

### 5.3 UITGANGSPUNTEN

De technologische uitgangspunten zijn:

- |                                  |                                  |        |
|----------------------------------|----------------------------------|--------|
| • Slibproducties op de rwzi Bath |                                  |        |
| - Primair slib                   | kg DS/d                          | 13.053 |
|                                  | m <sup>3</sup> /d – na indikking | 220    |
| - Spuislib                       | kg DS/d                          | 12.169 |
|                                  | m <sup>3</sup> /d – na indikking | 180    |



• Slibgisting Bath		
- Aantal tanks	[-]	2
Volume	m <sup>3</sup> /tank	5.430
- m <sup>3</sup> /totaal	10.860	
Verblijftijd	dag	27,2

De gemiddelde verblijftijd in Bath is ruim hoger dan de minimale gemiddelde waarde conform de uitgangspunten (ontwerpcriteria).

- Prestatie bestaande sliblijn Bath. In de huidige situatie (kentallen 2017) wordt circa 25,2 ton DS per dag vergist. Het gemiddelde DS en ODS rendement bedraagt ca 27 en 39%. De biogasproductie is 1,03 m<sup>3</sup> gas/kg ODS verwijderd. Het uitgegiste slib wordt ontwaterd of een zeefbandpers. Het resultaat is 20,3 % DS.
- Specifieke verbruiken
 

- PE ontwatering	g/kg DS	11,7
- Energie ontwatering	kWh/ton DS	55

De financiële uitgangspunten zijn:

- Exploitatie
  - Onderhoud 0,5% van de Civiele en 3% van de investering W/E/M;
  - Elektriciteit 0,09 €/kWh;
  - PE 4 €/kg;
  - Slibafzet 90 €/ton slib

## 5.4 TECHNOLOGISCHE BEREKENINGEN

De resultaten van de technologische berekeningen zijn gegeven in Tabel 11.

TABEL 11

RESULTATEN TECHNOLOGISCHE BEREKENINGEN SLIBGISTING BATH HUIDIGE SITUATIE EN MET THEMISTA®/EPHYRA® COMBINATIE

Parameter	Huidig	Themista®/Ephyra® combinatie	Eenheid
<b>Themista® voorbehandeling</b>			
Energie verbruik	0	285.000	kWh/j
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> verbruik	0	130	ton 35% /j
<b>Slibgisting</b>			
- Slibaanvoer	25.222	25.222	kg DS/d
	17.403	17.403	kg ODS/d
- Slibafvoer	17.706	16.181	kg DS/d
	9.463	8.362	kg ODS/d
- Rendement	29,8	35,8	% DS
	45,6	52,0	% ODS
- Biogas	4.258	4.800	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d
	7.096	8.000	m <sup>3</sup> gas/d à 60% CH <sub>4</sub>
- elektriciteit opwekking	4,768,920	5,755,440	kWh bij 5% affakkelen
<b>Slibontwatering</b>			
- PE verbruik	78	71	ton/j
- elektriciteit	355.448	324.834	kWh/j
- slibkoek afvoer	32.313	29.530	m <sup>3</sup> /j

De extra afbraak met Themista®/Ephyra® bedraagt absoluut 6,4% ODS. De slibafvoer daalt hiermee met circa 560 ton DS ofwel 8,6% minder slibkoek die wordt afgevoerd naar de eindverwerking.

De extra biogasproductie bedraagt 12%. Dit betekent een extra elektriciteitsproductie van bijna 1 miljoen kWh. De netto extra energieproductie waarbij gecorrigeerd is voor het energieverbruik van de Themista® stap, is afgerond circa 700.000 kWh/j. Dit komt overeen met 7 tot 8% van het energieverbruik op de rwzi Bath. Door de verbeterde prestatie van de slibgisting bij het toepassen van de Themista®/Ephyra® combinatie wordt eveneens de energie-efficiency van de zuivering verbeterd en de CO<sub>2</sub> footprint verminderd. De hogere energieproductie en lagere slibafzet vertaald zich verder in lagere jaarlijkse kosten. Dit zal verder in de volgende paragraaf worden toegelicht.

## 5.5 FINANCIËLE BEREKENINGEN

De bedrijfsvoeringskosten voor de slibgisting en -ontwatering zijn gegeven in onderstaande tabel. Kosten voor spuien en indikken van slib zijn voor beide opties gelijk en daarom niet meegenomen.

TABEL 12 BEDRIJFSVOERINGSKOSTEN SLIBGISTING EN SLIBONTWATERING

Parameter	Huidig	Themista®/Ephyra® combinatie	Eenheid
Extra Onderhoud	0	30.000	€/j
E-verbruik	32.000	56.000	€/j
E-opwekking	-429.000	-481.000	€/j
PE-verbruik	310.000	283.000	€/j
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -verbruik	0	41.000	€/j
Slib afzet	2.910.000	2.657.000	€/j
Totaal	2.823.000	2.586.000	€/j
Voordeel		237.000	€/j

Het jaarlijks voordeel voor toepassen van Themista®/Ephyra® bedraagt bijna miljoen euro per jaar. Het berekende voordeel is nog exclusief eventuele subsidies. Om een eenvoudige terugverdientijd van 5, 10 en 15 jaar te hebben zou de investering lager moeten zijn dan afgerond 1,25, 2,4 en 3,6 miljoen Euro. Bij aanpassen en ombouw van bestaande installaties zoals dit bij Bath het geval zou zijn, zijn de benodigde investeringen locatie-specifiek en afhankelijk van hoe en wat er precies aangepast moet worden om tot een serieschakeling te komen. Een op expert judgement gebaseerde schatting komt uit op een investering van circa 2,5 tot 3 miljoen Euro; dit betekent voor Bath een eenvoudige terugverdientijd orde grootte 10 -12,5 jaar. De wat langere terugverdientijd op Bath hangt samen met de langere verblijftijd in de gisting. In principe kan de gisting meer slib verwerken. Als de berekeningen worden uitgevoerd bij een verblijftijd 15 dagen, waarbij dus bijna 2 keer zoveel slib zou worden vergist, bedraagt het jaarlijkse voordeel in de bedrijfsvoeringskosten circa 525.000. De terugverdientijd zou dan order grootte 7,5-10 jaar bedragen. Voor Bath betekent dit dat als er meer slib vergist zou gaan worden de Themista®/Ephyra® optie aantrekkelijker wordt.

# 6

## EVALUATIE

### 6.1 ALGEMEEN

Tijdens het onderzoek bleek dat zowel na de opstart en na de overschakeling van fase I naar fase II het nog een geruime tijd duurt eer een evenwichtssituatie is bereikt, en de systemen vergeleken kunnen worden. De benodigde periode was ca 35 tot 40 dagen. Dit komt overeen met een periode van 2,5 tot 3 keer de verblijftijd in de gisting. Fase III was enkel bedoeld om vast te stellen of de T/E combinatie perioden met hogere belastingen, met slibverblijftijden van 6 tot 8 dagen, kan verwerken. Fase III heeft niet lang genoeg geduurd om ook de afbraakrendementen bij deze verblijftijden te kunnen vaststellen.

### 6.2 SLIBAFBRAAK

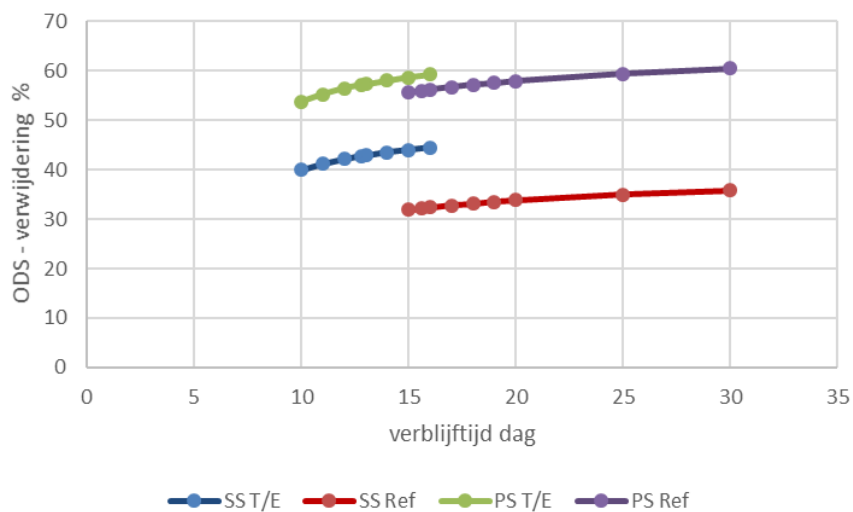
In dit pilotonderzoek is een vergelijking gemaakt tussen een conventionele mesofiele gisting en een combinatie van Themista<sup>®</sup>/Ephyra<sup>®</sup> technologie. Het onderzoek volgt uit eerdere studies gericht op de mogelijkheden om op rwzi Nieuwgraaf een centrale gisting te realiseren, waarbij al het slib van waterschap Rijn en IJssel wordt vergist. De vergelijking in dit onderzoek bestond uit 2 fases:

- Fase I waarbij de referentie reactor en de T/E-combinatie werden gevoed met verschillende typen slib. Verder waren de verblijftijden van beide systemen ongelijk. Deze fase had tot doel de uitgangspunten voor de business case van een centrale slibgisting op de rwzi Nieuwgraaf te herijken.
- Fase II waarbij de voeding voor beide systemen gelijk was en de referentie en T/E combinatie vergeleken kunnen worden. Wel was in deze fase een verschil in verblijftijd en volumetrische belasting van beide systemen.

Voorafgaand aan het pilot onderzoek was voor de referentie en de T/E-combinatie een model opgezet om de ODS verwijdering in de pilotplant te voorspellen. Het model was gebaseerd op parameters afgeleid uit labtesten uitgevoerd in 2014 (zie paragraaf 4.1). Figuur 43 geeft de voorspelde ODS afbraak voor primair en spuislib bij verschillende verblijftijden.

FIGUUR 43

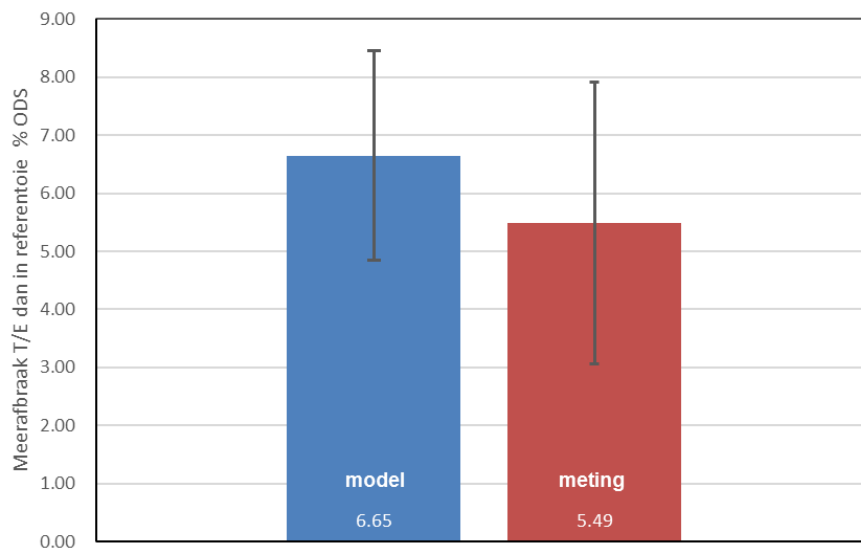
MODELUITKOMSTEN ODS AFBRAAK PRIMAIR EN SECUNDAIR SLIB BIJ VERSCHILLENDE VERBLIJFTIJDEN VOOR DE REFERENTIE EN DE T/E COMBINATIE



Met de modelberekeningen is gekeken wat het voorspelde verschil tussen de referentie en de T/E combinatie zou zijn in fase II, en hoe dit zich verhoudt tot de metingen. De resultaten zijn weergegeven Figuur 44.

FIGUUR 44

ABSOLUTE MEERAFBRAAK IN T/E COMBINATIE TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE IN FASE II INCLUSIEF 95% BETROUWBAARHEIDINTERVAL (DATA VANAF 9/7)



Uit figuur 44 blijkt dat voor de gegeven aanvoer het model een meerafbraak voorspelde van 4,8 tot 8,5% met een gemiddelde van 6,7%. De meetdata geven een bereik van 3,1 tot 7,9% met een gemiddelde van 5,5%. Het gegeven dat de ondergrens van de meerafbraak hoger is dan 0 geeft aan dat de T/E combinatie statistisch gezien tot een hogere afbraak leidt dan de referentie

Bij de gegeven meerafbraak moet ook in ogenschouw worden genomen dat de verblijftijd in fase II in de referentie (gemiddeld 22,4 dag) hoger was dan de verblijftijd (gemiddeld 14,8 dag) in de T/E combinatie. Bij kortere verblijftijden in de referentie zal de afbraak in de referentie afnemen, en de meerafbraak in de T/E combinatie dus toenemen. Modelberekeningen

voorspellen dat bij een verblijftijd van 15 dagen de ODS afbraak in de referentiereactor 2,4% lager ligt dan bij 22,4 dagen. In dat geval zou de meerafbraak voor de T/E-combinatie 2,4% hoger liggen, ofwel - uitgaande van de resultaten van de metingen - een meerafbraak van  $5,5+2,4 = 7,9\%$

Voor Fase I van het onderzoek was de voorspelling, eveneens op basis van modelberekeningen, dat de afbraak voor de referentie en de T/E-combinatie nagenoeg gelijk zou zijn. De metingen geven een gemiddelde ODS afbraak in de referentie en de T/E combinatie van 50,2 en 49,6% ODS. Model berekeningen voorspelden gemiddelde ODS-afbraakrendementen van 48,5% en 48,6%.

Indien de meetdata wordt verwerkt zoals weergegeven in Figuur 44, is de range van de meerafbraak van de referentie -2,3 tot +4,3%. Het gegeven dat de meerafbraak zowel positief als negatief kan zijn betekent dat er statistisch geen meerafbraak is. Dit is in overeenstemming met de verwachting dat voor fase I de afbraak voor beide pilots gelijk zou zijn. De CZV afbraak in fase I laat een gelijk beeld zien aan de ODS metingen.

### 6.3 PIEKBELASTINGEN

Tijdens de piekbelasting is gekeken of de Ephyra<sup>®</sup> reactoren een hogere belasting tot 6-8 dagen verblijftijd (2 x 3 en 2x4 dagen) zouden kunnen verwerken. Tijdens deze test is ook het aandeel primair slib verhoogd voor de fase met 6 dagen verblijftijd. Tijdens de piekbelasting bleef de Ephyra<sup>®</sup> stabiel functioneren. Mede door de recirculatiestroom van de tweede naar de eerste Ephyra<sup>®</sup> reactor bleef de pH voldoende hoog en trad er geen verzuring op. Hiernaast heeft de tweede Ephyra<sup>®</sup> reactor de potentie om het teveel aan ODS voor de eerste reactor nog af te kunnen breken. Dit zou verder onderzocht moeten worden om de maximale afbraak tijdens een 6 daagse verblijftijd te kunnen achterhalen.

### 6.4 VERWERKING PIEKAANVOER

Tijdens Fase IIIa en IIIb is de werking van de T/E combinatie getest met een slibverblijftijd van 6-8 dagen. De T/E combinatie bleef gedurende deze periode met korte verblijftijden stabiel functioneren en trad er geen verzuring op.

### 6.5 EFFECT THEMISTA<sup>®</sup> BEHANDELING

Uit de resultaten van de pilot plant blijkt duidelijk dat tijdens de Themista<sup>®</sup> behandeling onopgeloste CZV voor een deel wordt omgezet in opgeloste CZV. Gemiddeld werd 15% van de onopgeloste CZV in oplossing gebracht. De totale CZV bleef nagenoeg gelijk. Het gemiddelde verschil tussen de totaal CZV voor en na de Themista<sup>®</sup> behandeling was circa 2,5%, waarbij de CZV concentratie na behandeling 2,5% lager is.

### 6.6 BALANSEN

Uit de verschillende berekeningen blijkt dat de gemiddelde berekende biogasproductie lager ligt dan de gemeten biogasproductie. Echter, als de gegevens statistisch worden verwerkt blijkt dat de balansen in het algemeen redelijk sluiten. Dit betekent dat de berekende waarden statistisch overeenkomen met de gemeten waarden.

## 6.7 ONTWATERING

Op locatie zijn ontwateringsproeven met een centrifuge uitgevoerd. Voor ontwatering van uitgegist slib van de T/E combinatie bleek een PE dosering van 27 gPE<sub>act</sub>/kgDS nodig te zijn, waarbij een drogestofgehalte van 24-25% werd behaald. Een lagere PE dosering leidde tot een slechtere centraatkwaliteit. Voor het ontwateren van het uitgegiste slib van de referentie was een lagere PE dosering van 22 gPE<sub>act</sub>/kgDS voldoende, en werd een drogestofgehalte van 22,5-23,5% DS behaald. Een hoger PE dosering leidde niet tot verbetering van het drogestofgehalte van het uitgegiste slib van de referentie.

Het gebruik van ijzer ter verbetering van de ontwaterbaarheid had bij de referentie bij een dosering van 2,5 kg Fe/ton DS geen effect. Toepassing van een Fe concentratie van 2,5 kgFe/ton DS bij het uitgegist slib van de T/E combinatie had een verslechtering van centraatkwaliteit tot gevolg. Om deze reden is de ijzerdosering verhoogd naar 5,0 kg Fe/ton DS. Bij deze dosering was er een duidelijk positief effect van het toevoegen van ijzer; het drogestofgehalte steeg naar 25-26%. Een dosering van 5 kgFe/ton DS is niet hoog volgens de STOWA rapportage “De invloed van kationen en beluchting op slibontwatering” (rapportage 2016-11) waarin met hogere concentraties is gewerkt. Of ijzerdosering tot een vermindering in PE verbruik leidt en/of tot een verbetering is locatie specifiek. De benodigde ijzerdosering is ook locatie specifiek.

## 6.8 FINANCIËEL

Uit de financiële vergelijking blijkt dat als er meer slib wordt vergist, zoals dit bijvoorbeeld bij gecentraliseerde slibgistingen het geval zal zijn, toepassen van de T/E-combinatie voldoende besparingen in de bedrijfsvoering oplevert om een terugverdientijd van lager dan 10 jaar te realiseren.

# 7

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 7.1 CONCLUSIES

In dit pilot onderzoek is een referentie vergister vergeleken met een Themista<sup>®</sup>/Ephyra<sup>®</sup> combinatie. Het onderzoek is opgesplitst in drie fasen:

#### FASE I

In deze fase van het onderzoek was het doel om de business case voor de realisatie van een centrale vergisting op rwzi Nieuwgraaf te valideren. Hiervoor is er een grotere hoeveelheid (secundair extern) slib aan de installatie gevoed met een lagere verblijftijd als gevolg in vergelijking met de referentie CSTR (13,8 dagen i.p.v. 17,2 dagen). Als gevolg hiervan was tevens de verhouding van het primair gevoede slib lager in de T/E combinatie (35% i.p.v. 55%). Ondanks deze verschillen is er in fase I een vergelijkbare organische afbraak van 50,2% voor de referentie en 49,6% voor de T/E combinatie behaald.

#### FASE II

In de tweede fase van het onderzoek werden beide installaties gevoed met een vergelijkbare slibsamenstelling (25% primair slib). De verblijftijden waren 22,4 dagen voor de referentie en 14,6 dagen voor de T/E combinatie. Dit heeft geresulteerd in een absolute gemiddelde meerafbraak van de T/E combinatie van 5,5%: 44,9% voor de T/E combinatie en 39,4% voor de referentie installatie. Relatief komt dit neer op een meerafbraak van 14%.

In fase II is tevens de restvergistbaarheid van beide installaties en van de eerste Ephyra<sup>®</sup> reactor getest. Hieruit valt te concluderen dat er bij beide slibstromen nog een significante hoeveelheid te vergisten slib was (13,3% voor referentie en 15,7% voor de T/E combinatie).

Het effluent van beide installaties is in deze fase ook getest op kationen. De divalente kationen waren aanwezig in vergelijkbare hoeveelheden. Echter was er wel meer ammonium te vinden in het effluent van de Ephyra<sup>®</sup> reactor. Dit duidt op een verdergaande afbraak van het organische materiaal.

#### FASE III

In fase III is de T/E combinatie getest op een lagere verblijftijd van 8 dagen. Vervolgens is nog een piekbedrijf van 6 dagen ingezet waarbij de verhouding primair slib is verhoogd naar 35 – 40%. De minimale pH die de eerste Ephyra reactor bereikte bij dit piekbedrijf was 6,2. Waarna aan het eind van de test nog een licht stijgende trend te zien was. De T/E combinatie heeft geen problemen ondervonden met het verwerken van deze grotere hoeveelheid slib.

Gedurende fase II is er in het laboratorium getest op de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib van beide installaties. Tevens heeft er een ontwateringsproef plaatsgevonden op het slib aan het einde van fase II met een centrifuge. De conclusies uit deze testen zijn:

- Laboratorium testen geven een indicatie voor het PE verbruik tijdens een ontwatering. Echter de absolute ontwateringsresultaten worden niet juist voorspeld.
- Het referentieslib heeft een lagere ontwaterbaarheid behaald dan het T/E slib in de pilot test (22,5-23,5% DS versus 24-25% DS). Voor dit hogere drogestof percentage was wel een hogere PE dosering nodig voor het T/E slib (22 gPE<sub>act</sub>/kgDS versus 27 gPE<sub>act</sub>/kgDS).

Tijdens het onderzoek zijn verschillende effecten van de Themista<sup>®</sup> installatie getest:

- De Themista<sup>®</sup> zorgt ervoor dat er gemiddeld 15% van de totale CZV in oplossing gaat. Deze opgeloste CZV is daardoor makkelijker afbreekbaar gemaakt voor de vergister.
- Themista<sup>®</sup> verlaagt de slibviscositeit. Hierdoor is ook de viscositeit van het uitgegiste slib van T/E combinatie lager dan van de referentiereactor. Hierdoor is de energie-inbreng voor mengen en pompen van het slib lager, waardoor mogelijk hogere drogestof gehalten in de vergisting kunnen worden toegepast.
- Aan de hand van EPS fractionering is bepaald dat de Themista<sup>®</sup> unit de fractie “Tightly bound” omzette in de fractie “Slime”. Deze verhoogde “Slime” fractie is een teken dat de afbreekbaarheid van het slib verbeterd wordt.

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de T/E combinatie stabiel functioneert als serie geschakelde optie met een verblijftijd van 2 x 6,5 – 7,0 dagen.

Overige algemene conclusies die uit dit onderzoek volgen zijn:

- Het primair slib van rwzi Nieuwgraaf heeft een lagere CZV inhoud per gram ODS dan normaal in modellen wordt aangenomen.
- Het afbraakmodel heeft op basis van gemiddelde waarden een redelijk voorspellend karakter.

Doel van het onderzoek was om te testen wat het gecombineerde effect van de Themista<sup>®</sup> en Ephyra<sup>®</sup> zou zijn op de vergistbaarheid van (voornamelijk secundair) slib. Van beide technologieën is bekend dat ze voor een verhoging in omzettingssnelheid en/of toename in maximale afbreekbaarheid zorgen. Omdat er tijdens dit onderzoek geen experimenten zijn uitgevoerd met de Themista<sup>®</sup> of Ephyra<sup>®</sup> afzonderlijk kan uit de data niet gehaald worden welk aandeel van de verbetering bewerkstelligd is door de Themista<sup>®</sup> dan wel de Ephyra<sup>®</sup>.

Voor de financiële haalbaarheid van de combinatie blijkt dat deze afhankelijk is van de toegepaste schaalgrootte. Zo geldt bijvoorbeeld voor de rwzi Bath dat als er 2 keer zoveel slib als nu vergist zou worden, een terugverdientijd van 7,5 à 10 jaar haalbaar lijkt. Uitgaande van de huidige hoeveelheden slib is de terugverdientijd circa 10 à 12,5 jaar.



# 8

## REFERENTIES

Luo, K., Li, Z., Chen, H., Lie, X., Yang, G., Zeng, G. (2013). Novel insights into enzymatic-enhanced anaerobic digestion of waste activated sludge by three-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy. *Chemosphere*, 91, 579-585

Park, C., Abu-Orf, M. M., Novak, J.T. (2006). The Digestibility of Waste Activated Sludges. *Water Environmental Resource*, 78 (59), 59-68

Yu, G. H., He, P. J., & Shao, L. M. (2009). Characteristics of extracellular polymeric substances (EPS) fractions from excess sludges and their effects on bioflocculability. *Bioresource Technology*, 100 (13), 3193-3198.

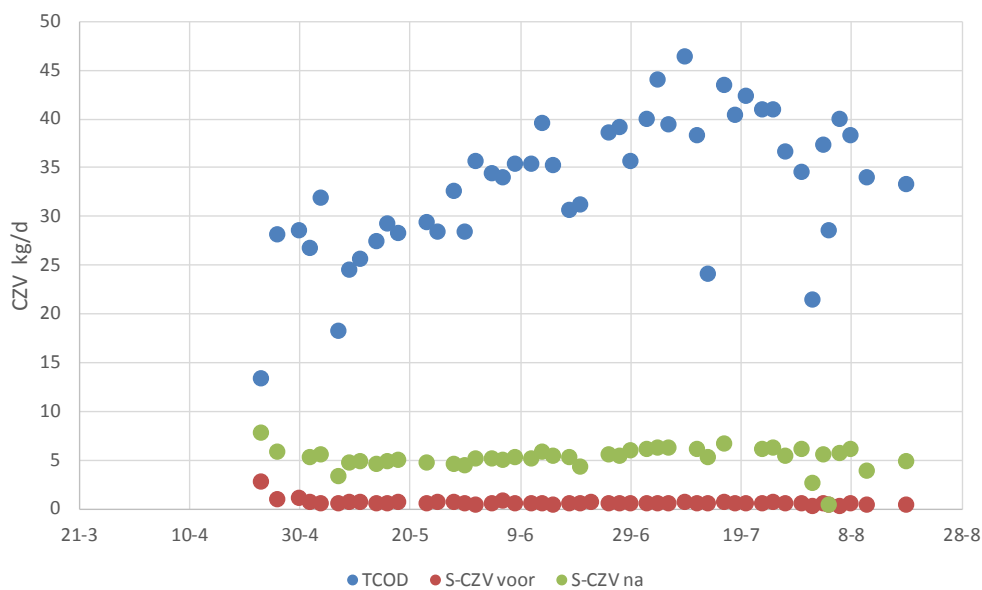
## BIJLAGE A1

## EFFECT THEMISTA® BEHANDELING OP CZV

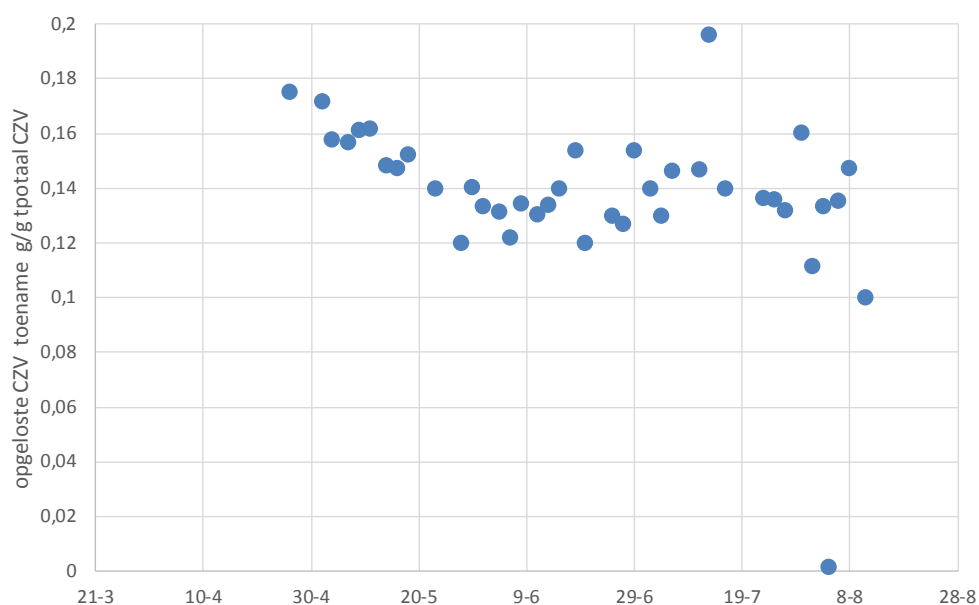
## FASE II

Figuur 45 geeft de CZV concentraties voor en na de Themista® behandeling. Figuur 46 geeft de toename van opgeloste CZV in g per g totaal CZV voor en na de behandeling.

FIGUUR 45 TOTALE CZV EN OPGELOSTE CZV VOOR EN NA THEMISTA® BEHANDELING



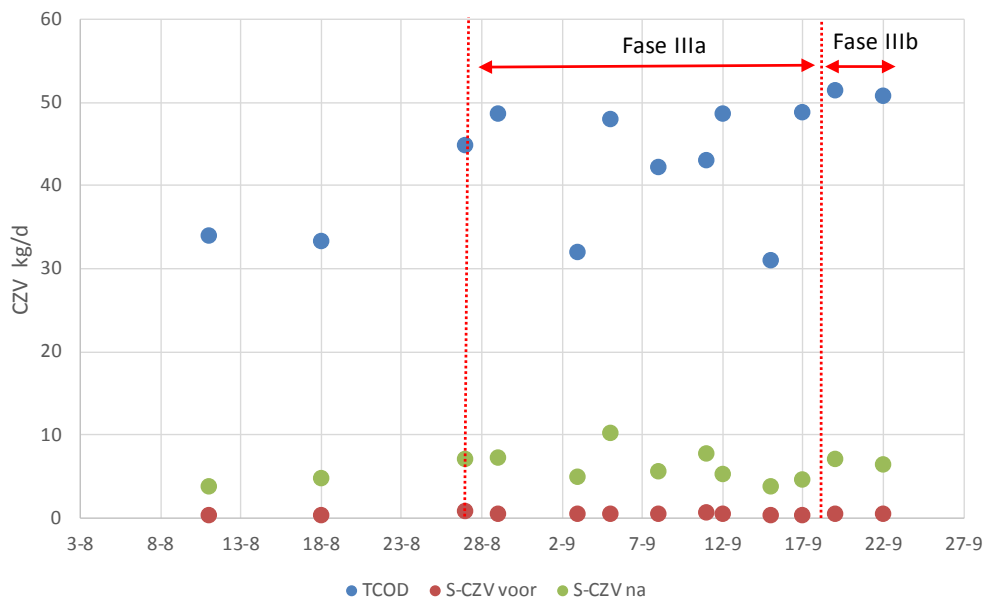
FIGUUR 46 TOENAME OPGELOST CZV PER G TOTAAL-CZV



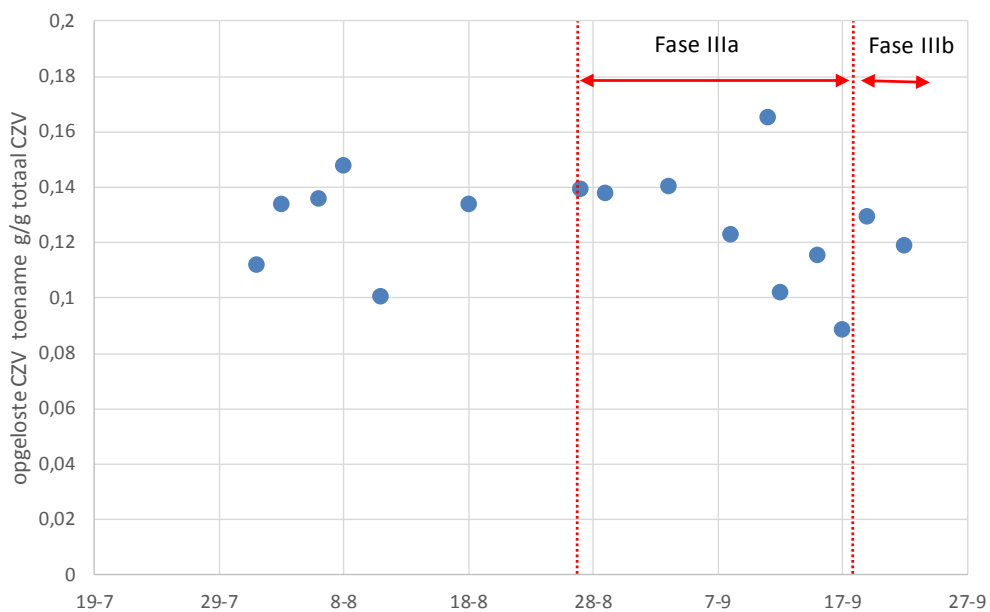
### FASE III

Figuur 47 geeft de CZV concentraties voor en na de Themista® behandeling. Figuur 48 geeft de toename van opgeloste CZV in g per g totaal CZV voor en na de behandeling.

FIGUUR 47 TOTALE CZV EN OPGELOSTE CZV VOOR EN NA THEMISTA® BEHANDELING



FIGUUR 48 TOENAME OPGELOST CZV PER G TOTAAL-CZV



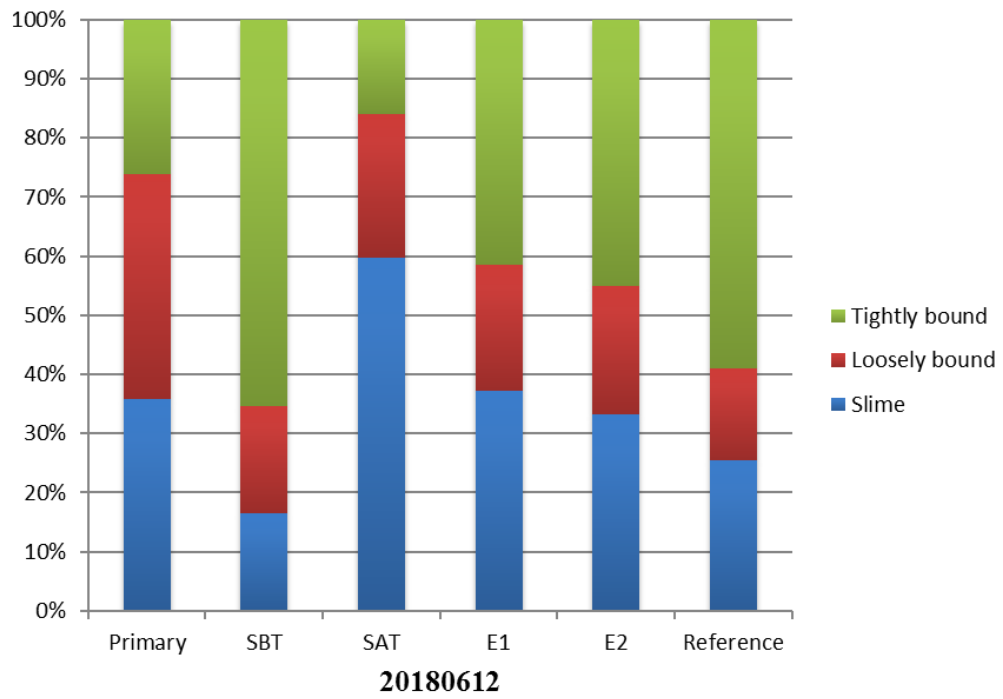
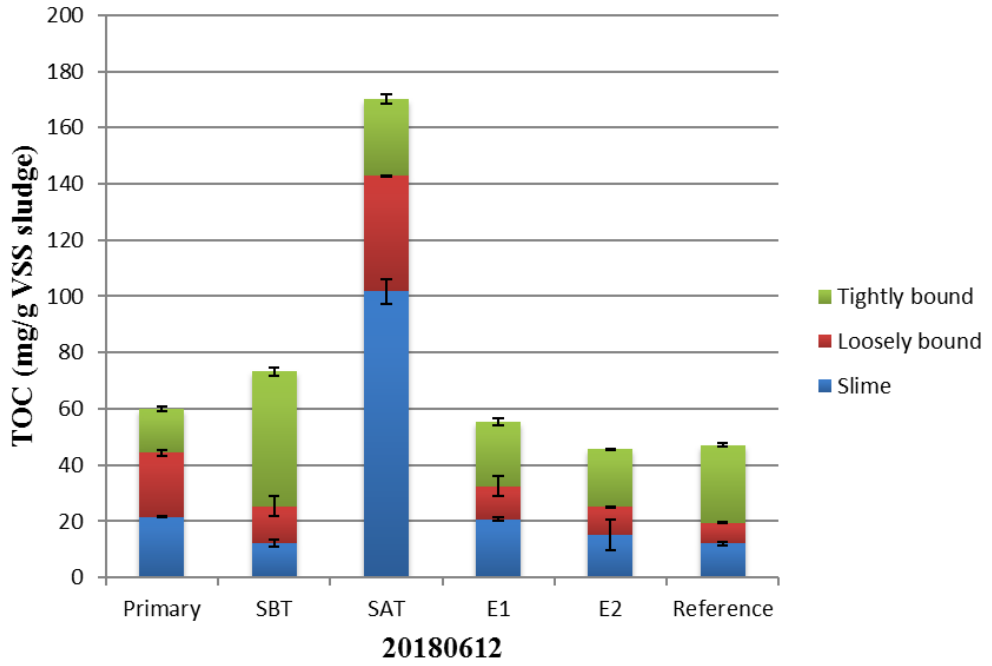
**BIJLAGE A2**

# EPS FRACTIONERING

Bij de TU Delft zijn er zesmaal EPS fractioneringen uitgevoerd. Eén voorbeeld hiervan is in het rapport opgenomen. Onderstaande grafieken geven dezelfde trend weer en zijn weergegeven ter kennisname. Bij alle grafieken geldt: (primary = primair slib; SBT = slib voor Themista<sup>®</sup>; SAT = slib na Themista<sup>®</sup>; E1 = CSTR 1 van T/E; E2 = CSTR 2 van T/E; Reference = Referentie).

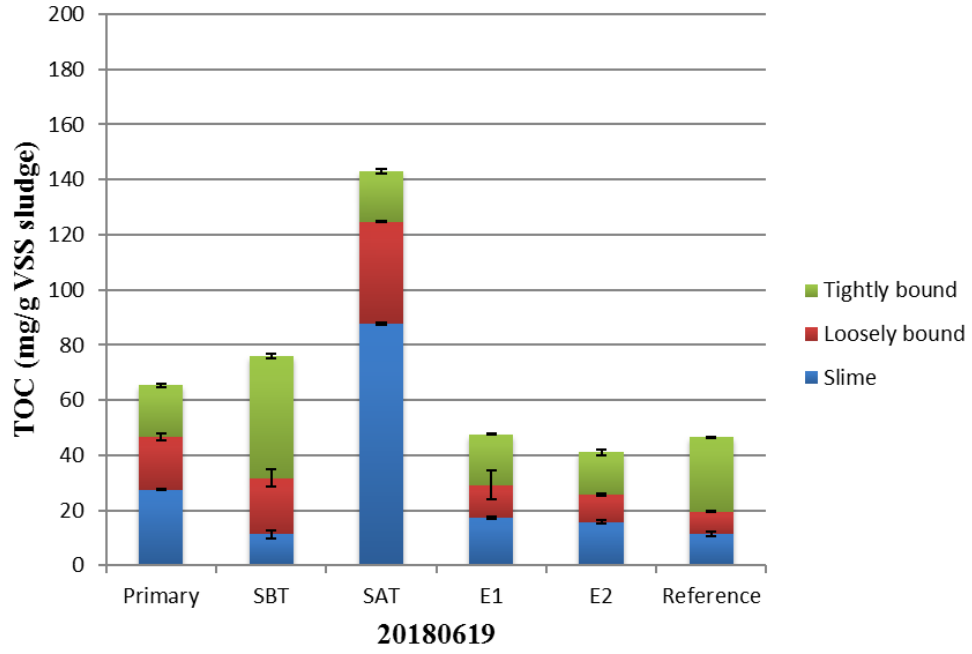
FIGUUR 49

RESULTAAT EPS FRACTIONERING

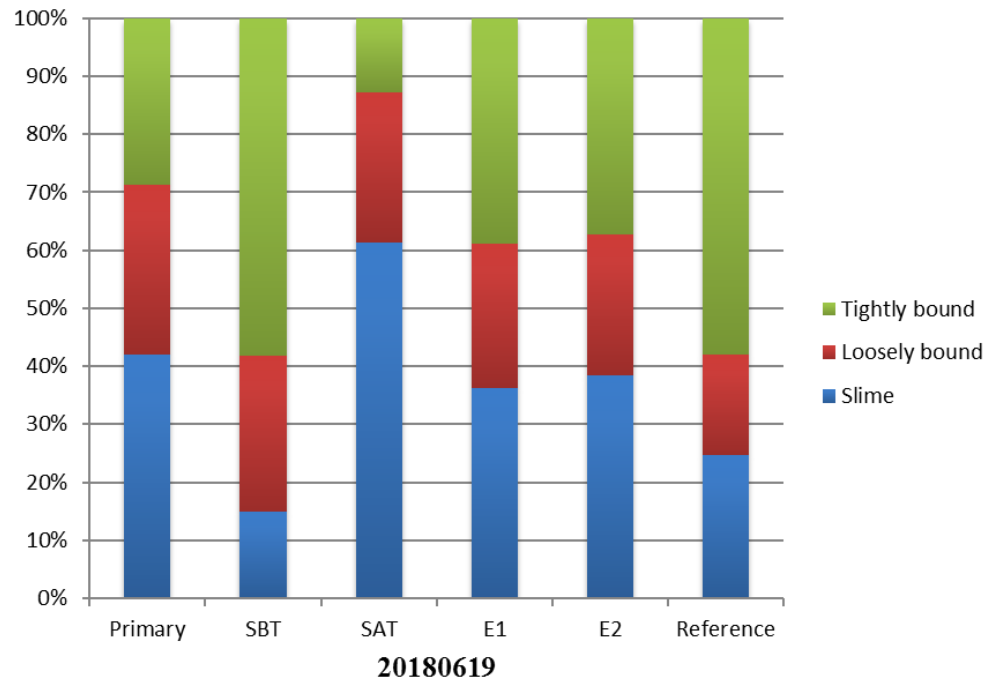


FIGUUR 50

RESULTAAT EPS FRACTIONERING



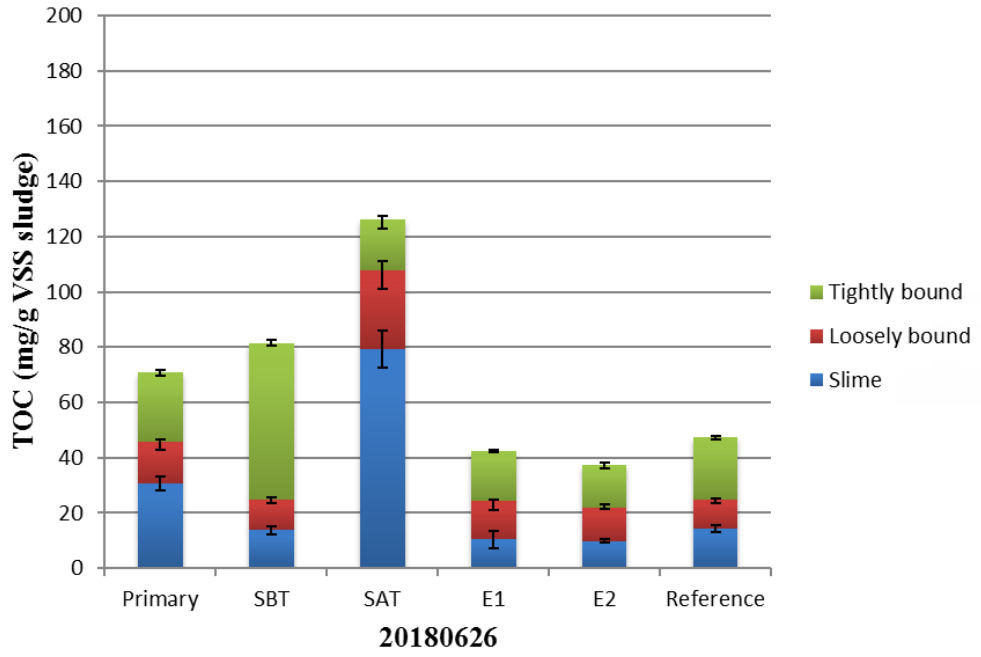
20180619



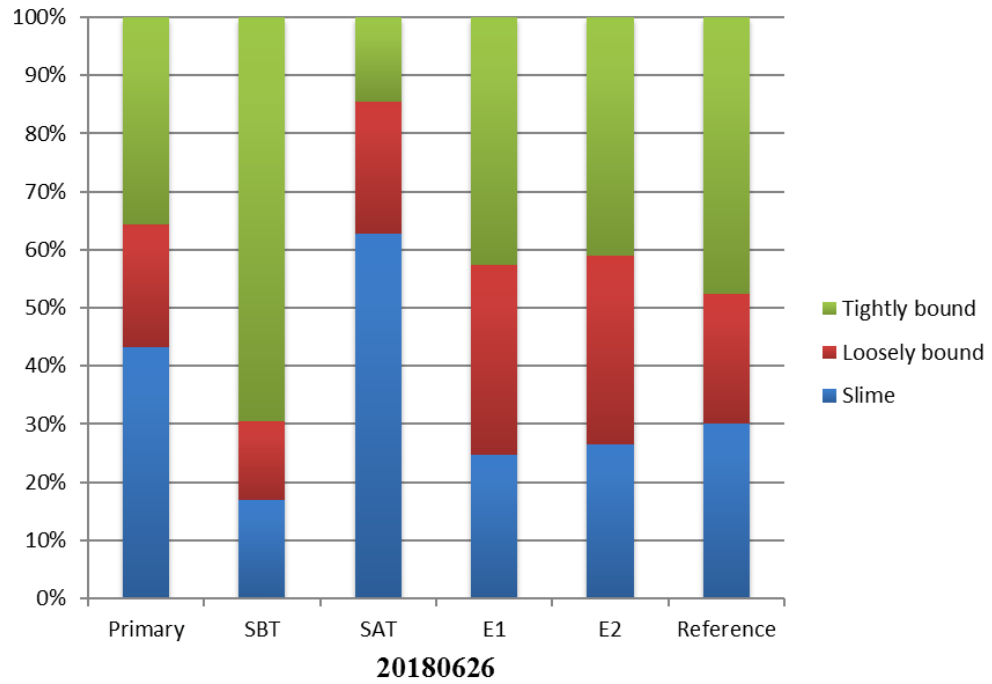
20180619

FIGUUR 51

RESULTAAT EPS FRACTIONERING



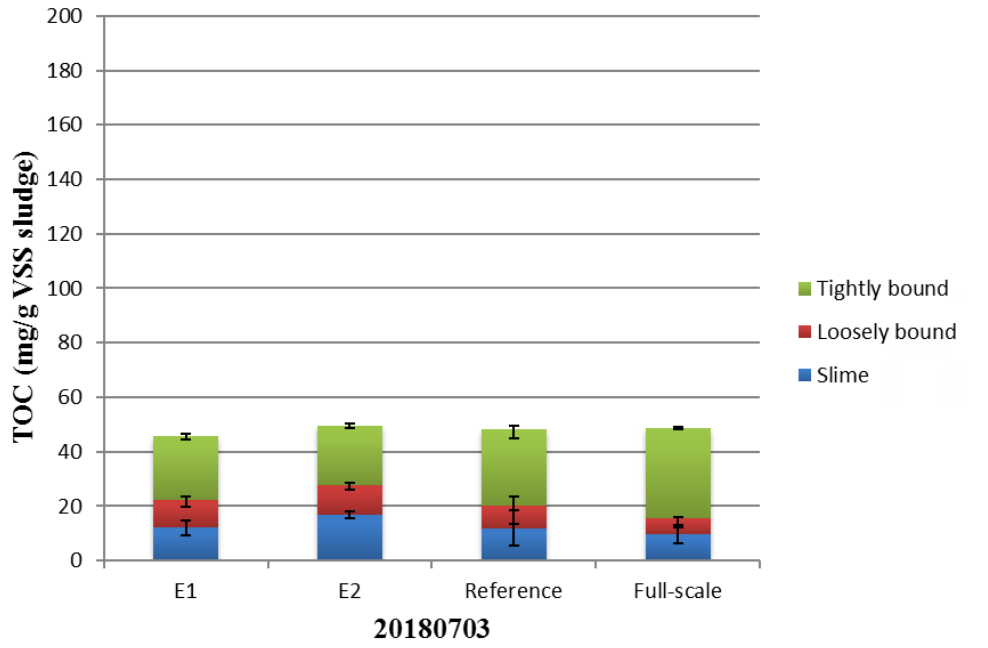
20180626



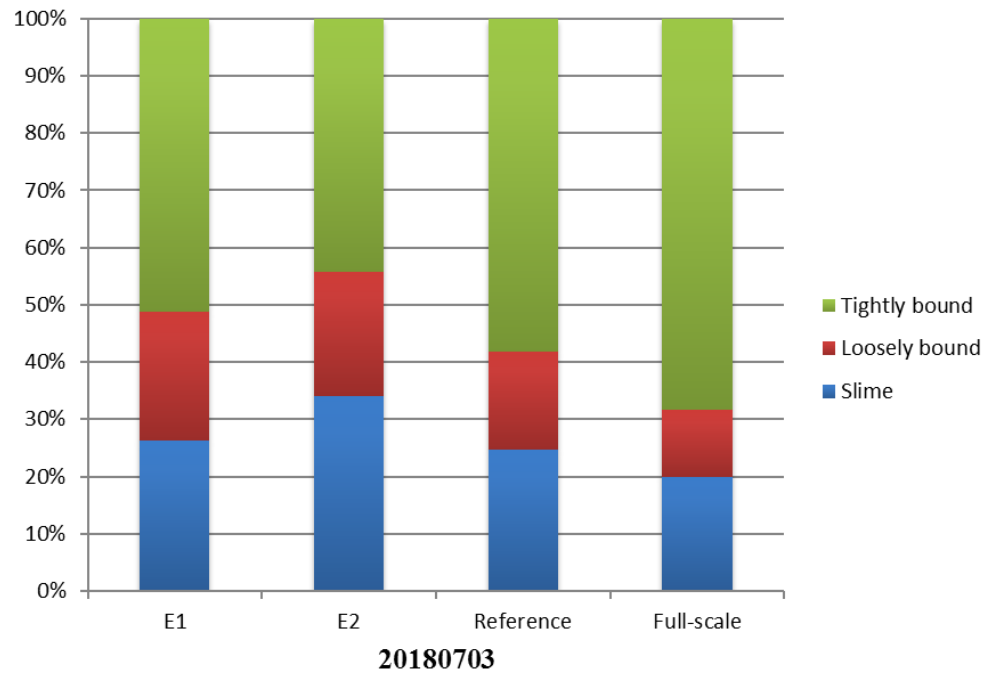
20180626

FIGUUR 52

RESULTAAT EPS FRACTIONERING



20180703

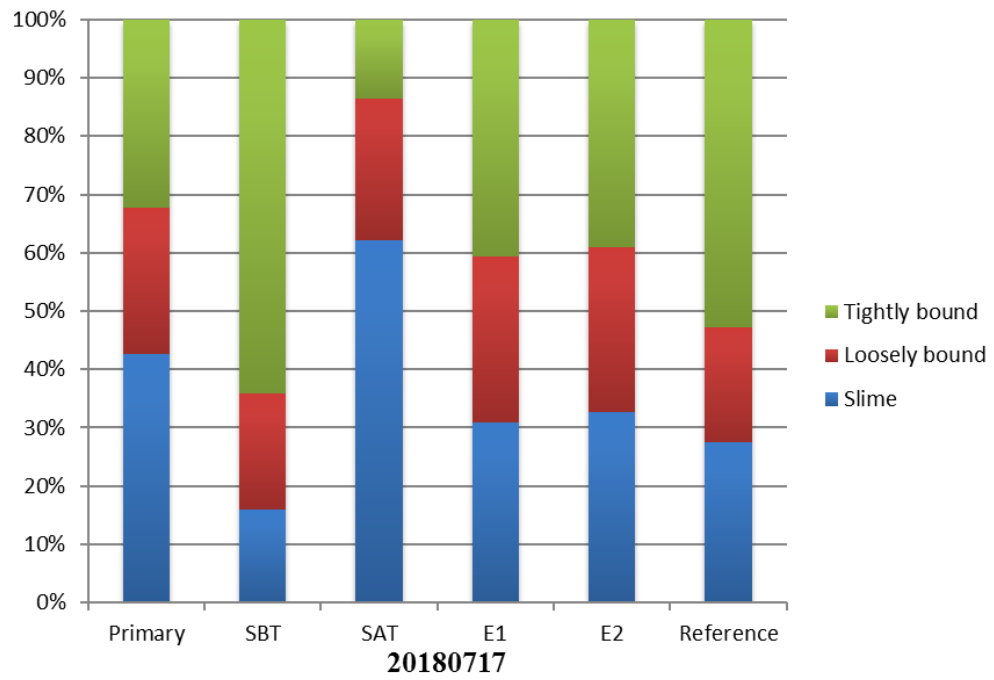
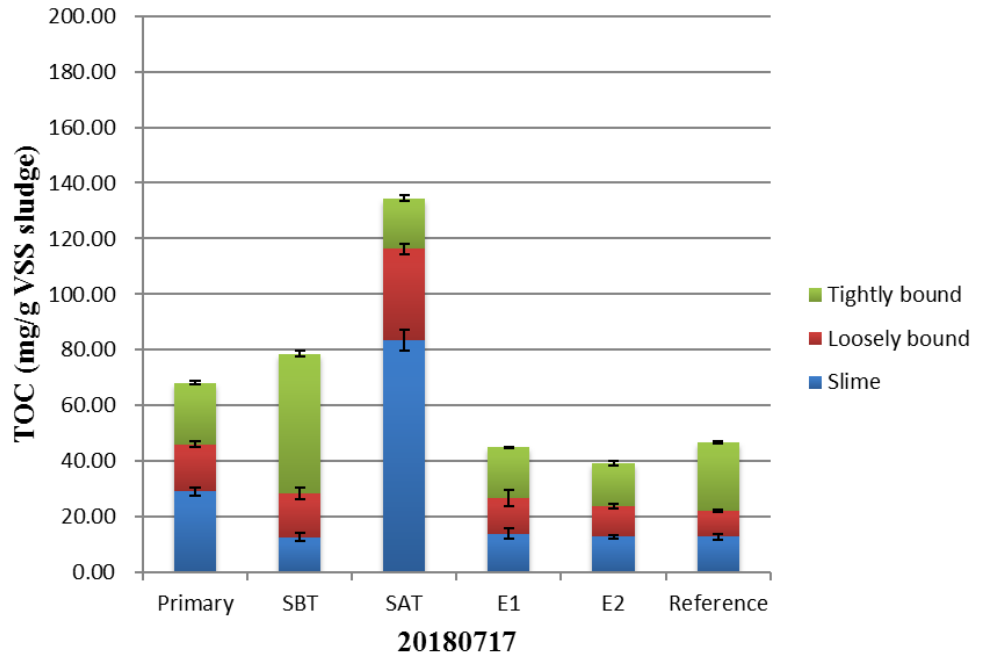


20180703



FIGUUR 53

RESULTAAT EPS FRACTIONERING



FIGUUR 54

RESULTAAT EPS FRACTIONERING

