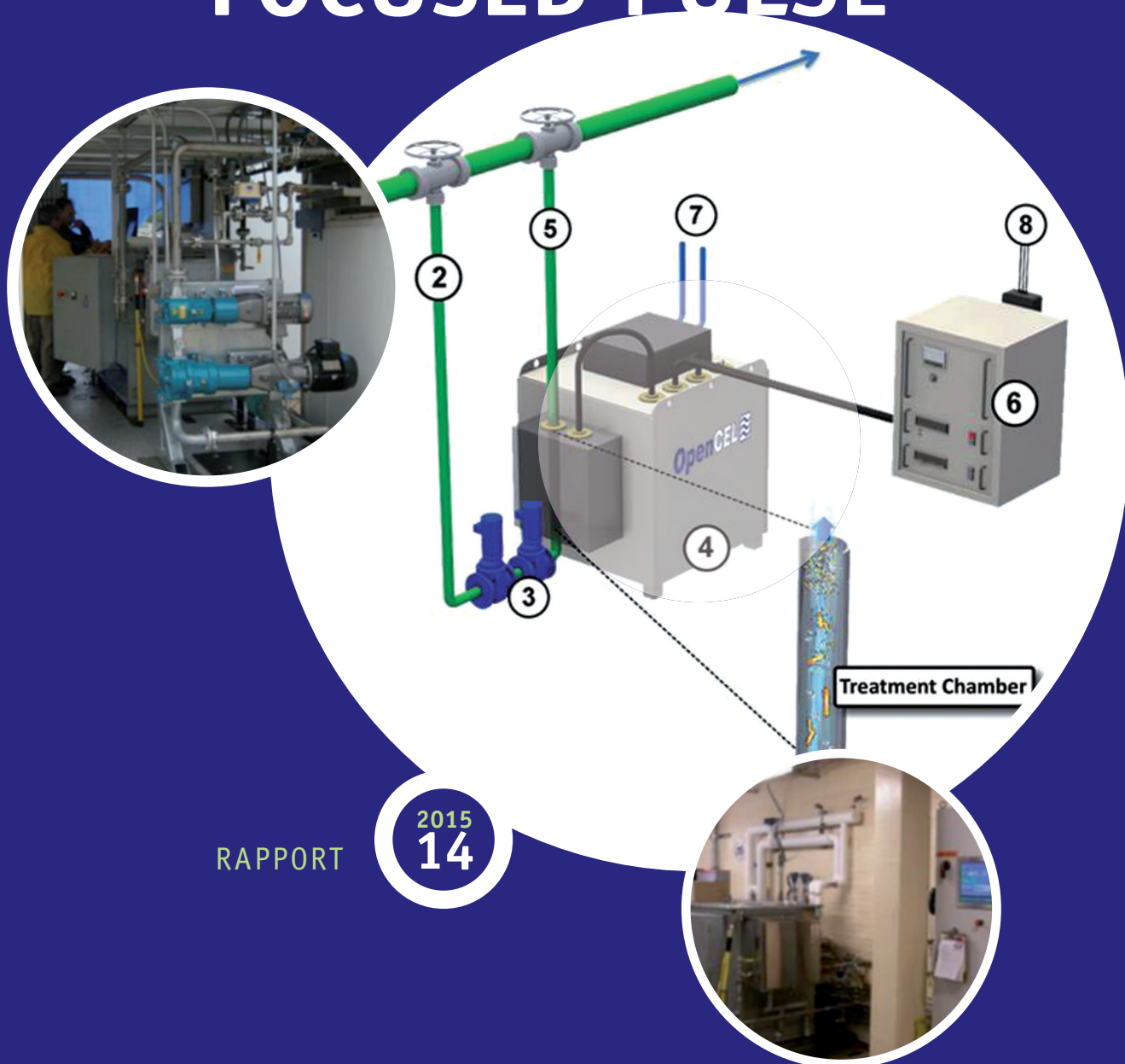


VERKENNING VOORBEHANDELING SURPLUSLIB MET FOCUSED PULSE



RAPPORT

2015
14

VERKENNING VOORBEHANDELING SURPLUSLIB
MET FOCUSED PULSE

RAPPORT

2015

14

ISBN 978.90.5773.708.4



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

UITVOERDERS
Remmie Neef, Brightwork BV
Hans Wouters, Brightwork BV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Alex Sengers, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Bonnie Bult, Waterschap Reest en Wieden, thans Wetterskip Fryslân
Coert Petri, Waterschap Rijn en IJssel
Enna Klaversma, Waternet
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2015-14
ISBN 978.90.5773.708.4

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

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

TEN GELEIDE

De waterschappen willen in 2020 minstens 40% van het energieverbruik zelf opwekken. In de Meerjarenaafspraken energie-efficiency (2008), Klimaatakkoord (2010), Lokale Klimaatagenda (2011) Green Deal (2014), Ketenakkoord Fosfaat en recentelijk het SER Energieakkoord (2013) zijn beleidsmatige afspraken gemaakt over energie- en fosfaatterugwinning. Energie- en kostenbesparing zijn belangrijke uitdagingen voor de toekomst.

Met het toepassen van slibdesintegratie en kan er meer zuiveringsslib omgezet worden in biogas. Hiervoor zijn verschillende technieken op de markt waarvan de Thermische Druk Hydrolyse de bekendste is en in Nederland al op een RWZI wordt toegepast en andere projecten in voorbereiding zijn. De Thermische Druk Hydrolyse is niet de enige techniek die extra biogasproductie beoogt; één hiervan is de Focused Pulse Technology die gebruik maakt van elektrische energie om celwanden en -membranen te breken. Deze studie beschrijft de werking van deze technologie en laat zien welke ervaringen hiermee zijn opgedaan op pilot of praktijkinstallaties. Tevens wordt nader ingegaan op de toepasbaarheid van deze technologie voor de Nederlandse situatie.

De gerapporteerde uitkomsten over Focused Pulse in literatuur laten geen eenduidig beeld zien. Sommige zijn zelfs onrealistisch en leiden tot twijfel over de betrouwbaarheid van de gerapporteerde gegevens. Hierdoor kon op basis van de geïnventariseerde data niet worden vastgesteld dat er sprake is van een significante hogere organische stof afbraak. In het beste geval is deze afbraak min of meer vergelijkbaar met Thermische Druk Hydrolyse.

In de vergelijking tussen Focused Pulse en Thermische Druk Hydrolyse kan op economische gronden vastgesteld worden dat met de huidige prestaties van Focused Pulse deze technologie (nog) niet kan wedijveren met Thermische Druk Hydrolyse. Kritisch element voor de Focused Pulse technologie is de prestatie van de behandelkamer en de frequente vervanging die noodzakelijk is. Dit leidt tot significant hoge jaarlijkse kosten. Er is zelfs sprake van een negatief resultaat waar het gaat om realiseren van een besparing in de verwerking van zuiveringsslib om de investeringen mee terug te verdienen. De leverancier is nu aan zet om een haalbare business case te creëren door de behandelkamer dermate te verbeteren zodat de kosten voor onderhoud dalen. Pas dan wordt het interessant om een vervolgonderzoek te overwegen.

Joost Buntsma

SAMENVATTING

Het optimaliseren van het gistingproces door het toepassen van slibdestructie om zo de biogasproductie te maximaliseren en de afvoer van zuiveringslib te verminderen heeft de interesse van vele waterschappen. Een van de technologieën die daarbij in de belangstelling staat, is die van de thermische druk hydrolyse (TDH). Inmiddels is een installatie in bedrijf in Venlo en zijn anderen in voorbereiding of worden gebouwd. Een van de alternatieve technologieën is Focused Pulse, wat gebaseerd is op het blootstellen van slib aan een elektrische puls met een hoog voltage. De techniek wordt gebruikt voor elektroporatie (tijdelijk een opening in de celwand creëren om plasmide of DNA in de cel te brengen) en kan dienen als alternatief voor pasteurisatie in de voedingsmiddelenindustrie. Daarbij is het met name interessant voor producten waarbij verhitten risico of kwaliteitsverlies met zich meebrengt. De toepassing voor zuiveringslib is ontwikkeld in de U.S.A en op de markt gebracht door OpenCEL. Er zijn twee full scale installaties in bedrijf op rwzi's in Mesa (Arizona) en Racine (Wisconsin).

De celwand en -membraan is opgebouwd uit fosfolipiden en peptidoglycaan. Dat zijn beide polaire moleculen hetgeen resulteert in een negatieve lading. Deze eigenschap zorgt er dus voor dat cellen vatbaar zijn voor het effect van sterke elektrische velden. Door een hoog energieniveau toe te passen is de schade aan de cel permanent en komt de inhoud vrij. Onderzoekers zagen het potentieel van deze technologie als voorbehandeling van zuiveringslib en de mogelijkheid om daarmee meer energie te winnen. Het onderzoek heeft zich gericht op het ontwikkelen van de juiste behandelkamer en hiervoor wordt de specifieke term Focused Pulse (FP) gebruikt. Bij FP gaat het om korte pulsen van 2 tot 15 microseconden. De spanning verloopt niet volgens een sinusoidale, zoals bij wisselstroom. Het gaat om een kortstondig elektrisch veld van circa 10 kilovolts en duizenden ampères met een vermogen van zo'n 10 megawatts. Maar doordat de pulsen kortstondig zijn, blijft het gemiddelde vermogen per installatie beperkt tot 100 tot kilowatt volcontinu. Een bijkomend effect is dat slib door de behandeling met pulsen opwarmt met zo'n 11 °C. Dat betekent een besparing aan energie voor het opwarmen van slib voor de gisting.

De voordelen van TDH zijn bekend, restwarmte van de WKK kan worden benut, extra afbraak van organische stof met een hogere biogasopbrengst en een betere slibontwatering. De voordelen van FP zijn de eenvoud van de techniek en daarmee simpele inpasbaarheid in bestaande installaties en de kleine voetafdruk. FP kent niet de voordelen van een betere ontwatering. Daarentegen is het voordeel dat er minder risico op biofouling in warmtewisselaars is, terwijl dat met name in continue TDH systemen wel kan optreden.

Het FP systeem van OpenCEL is leverbaar in twee capaciteiten, namelijk 6 en 12 m³/h. Bij deze techniek heeft de behandelkamer specifieke afmetingen, wat betekent dat deze niet variabel is en niet zonder meer kan worden afgestemd op het te behandelen debiet. Hierdoor zijn er maar twee ontwerpgroottes ontwikkeld. De effectiviteit van FP is ondermeer afhankelijk van het voltage, de pulsduur, puls frequentie en geleidbaarheid, hetgeen tevens de energie-input bepaalt. Deze is met 0,34-0,7 kWh/kg DS surplusslib vergelijkbaar met TDH. Een belangrijke factor hierin is de geleidbaarheid van het surplusslib. Een hogere geleidbaarheid zal leiden tot meer energie-input.

Na een periode van laboratorium onderzoek is een installatie geplaatst op de Mesa Northwest Water Reclamation Plant waarmee een mengsel van primair- en surplusslib werd behandeld.

Om het effect van deze behandeling vast te stellen, zijn op laboratoriumschaal gistingproeven uitgevoerd. Hierbij is vastgesteld dat na behandeling het opgeloste CZV in het slib toeneemt en de biogasproductie met 40% steeg bij het behandelen van 63% van de totale primair- en surplusslib productie. In een andere publicatie worden afwijkende resultaten gemeld en ontstaat er twijfel over de behaalde resultaten met FP. Dit wordt nog eens bevestigd als met de summieri gegevens na berekeningen blijkt dat de afbraak aan ODS in het surplusslib 96% dient te zijn om de gerapporteerde biogasopbrengsten te behalen. Dat is onmogelijk, oftewel de gepubliceerde resultaten kunnen niet juist zijn. Bijzonder is dat OpenCEL bij een marktverkenning uitkomt op een ODS afbraak van 55% hetgeen overeen met wat voor TDH wordt aangenomen. Voor de RWZI Mesa (225.00 i.e.) is een potentiële besparing van € 490.000,- per jaar berekend, maar dit is met de beperkte beschikbare gegevens niet verifieerbaar.

De tweede full scale installatie staat op de Racine Wastewater Utility (circa 210.000 i.e.), Wisconsin, en is in december 2012 in bedrijf gekomen. De FP installatie behandelt alleen het surplusslib en dat is 33% van de totale slibproductie. Uit de beschikbare jaarcijfers valt af te leiden dat de biogasproductie met 4% is gestegen, maar dit ligt binnen de variatie die ook zonder het toepassen van een voorbehandeling wordt gemeten. Tegelijkertijd nam de afbraak van de totale ODS (primair- en surplusslib) met gemiddeld 20% toe. Het effect van FP is op basis van de beschikbare gegevens moeilijk vast te stellen. Het beeld wordt anders bij de aanname dat de afbraak van primair slib niet wordt beïnvloed en de toename aan biogas kan worden toegeschreven aan meer afbraak van ODS in het surplusslib. De afbraak van ODS is dan gestegen van 29% naar circa 56%.

Een belangrijke constatering is dat de behandelkamer een beperkte levensduur heeft. Van 2014 is bekend dat deze in maart en mei is vervangen. Te zien is dat de biogasproductie daalt in juli en zakt naar waarden van voor de in gebruik name van FP. Gebleken is dat de levensduur van de behandelkamer zo rond een maand uitkomt, dat is 3.600 m³ behandeld surplusslib.

Uit de bedrijfsgegevens van de RWZI Racine is niet eenduidig vast te stellen of de behandeling van surplusslib met FP effect heeft. Dit is wel mogelijk op theoretische gronden. Hierbij speelt mee dat surplusslib maar 33% van de totale slibstroom is naar de gisting, waardoor veranderingen in bijvoorbeeld biogasproductie minder snel duidelijk worden. Op grond van de verkregen informatie is dus niet vast te stellen of het gewenste effect met FP is bereikt.

Over 2014 zijn de besparingen ten opzichte van het referentiejaar 2011 door de beheerder van de installatie in beeld gebracht. Deze blijken minimaal te zijn en dan zijn daarin nog niet eens de kosten voor vervanging van de behandelkamer meegenomen. Als deze wel worden meegenomen is er geen positieve business case en wordt de investering in een FP installatie niet terug verdiend.

Met de beschikbare informatie is een business case doorgerekend voor het behandelen van 6,6 ton DS/d aan surplusslib (voor een RWZI van circa 200.000 i.e.) met FP. Deze is vergeleken met een TDH installatie. De business case voor FP is negatief en de belangrijkste reden is het hoge bedrag voor onderhoud en met name de vervanging van de behandelkamer. Om een positieve business case te krijgen dient hierin een verbetering te worden bewerkstelligd door of minder frequent vervangen van de behandelkamer of lagere kosten per vervanging. Maar ook als de onderhoudskosten kunnen worden verlaagd, zal de FP ten opzichte van TDH in deze business case slechter scoren met een terugverdientijd van rond de 20 jaar. Voor TDH ligt deze rond de 8 jaar. Dit betekent dus dat de leverancier aan zet is om het toepassen van FP voor de Nederlandse markt aantrekkelijk te maken.

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 toegestap 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 onderzoekslijnen 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 van 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.

SUMMARY

Dutch water utilities are interested in optimizing sludge digestion processes by applying upstream sludge destruction technologies. One of those technologies considered viable is thermal hydrolysis (TH). One TH plant is operating now at WwTW Venlo (Waterbedrijf Limburg). One other plant is under construction in the Netherlands. The Focused Pulse (FP) technology has been considered as a potentially viable alternative. The technology applies electrical pulses, using high currents, onto the sludge, in order to open the cell walls and membranes. The technology may serve as an alternative for pasteurization in the food industry in those cases where heating may cause a loss of quality of the product. The FP application in municipal sludge has been developed in the USA and marketed by OpenCEL. Two full scale plants are in operation: WwTW Mesa (Arizona) and Racine (Wisconsin).

Cell walls and membranes are composed of polar phospholipids and peptidoglycan, resulting in a negative charged component. Strong electrical fields may harm the cell permanently, causing the cell content to be released. For municipal sludge this will create the possibility to harvest higher energy output during digestion of the FP treated sludge.

OpenCEL has focused its research upon the proper design of the pulse chamber. In this chamber the sludge is treated by electrical pulses of 2 – 15 microseconds, creating electrical fields of 10 kV, with a temporary power input of 10 MW. The average power consumption of a typical plant is restricted to 100 kW on a continuous basis. The FP will simultaneously result in a partial heating (10 - 12 degrees C) of the sludge.

The advantages of thermal hydrolysis processes are evident: residual heat from CHPs may be used, organic matter is degraded to a higher degree and sludge dewatering is more efficient. The advantages of FP are related to the simplicity of the process and the small footprint. However FP does not impact the sludge dewatering efficiency.

Commercial FP systems are available in two capacities: 6 and 12 m³/h. The technology has been fully optimized around the pulse chamber and therefore the dimensions of the chamber are restricted to both capacities only. The FP efficiency depends upon voltage, pulse duration, pulse frequency and sludge conductivity. Generally the specific energy input is comparable with TH processes: 0.34 – 0.70 kWh/kg DS WAS. Higher sludge conductivities will result in higher energy input requirements.

A first full scale FP plant has been built at WwTW Mesa Northwest Water Reclamation Plant. The FP plant treats a mixture of primary sludge and WAS. Initial lab digestion tests revealed an increase of soluble COD and consequently an increase in biogas production of 40%, based upon FP treatment of 63% of the total primary and RAS production. However the consistency of these results have been doubted both in literature and after further analysis of the reported data. The reported biogas production at the Mesa plant can only be matched by 96% degradation of the organic dry solids. This seems impossible and hence the results should be discarded. OpenCEL has executed a market survey based upon an organic dry solids degradation percentage of 55%, equal to the results of TH processes. It may therefore be concluded that the former reported results cannot be reliable. Hence it seems questionable whether the potential savings due to implementing the FP process at WwTW Mesa (225,000 PE), calculated at € 490,000 per annum, will be achieved.

The second full scale plant equipped with a FP process is Racine WwTW (210,000 PE), in operation since the end of 2012. The FP process treats WAS only, which is about one third of the total sludge production at the Racine plant. The reported results indicate an increase in biogas production of only 4%. This percentage is well within the variability range and hence the results are not convincing.

Analyzing the FP process features it is clear that the treatment chamber is a crucial element. So far this chamber has a limited lifetime: based upon the data presented approximately 4,000 m³ of WAS may be treated during the lifetime of the treatment chamber. For Racine the replacement frequency becomes once per month. The consequential operational costs are considerable.

For Racine the annual savings have been reported, comparing 2014 (with FP treatment) and 2011 (without FP treatment). Taking into consideration the replacement frequency of the treatment chamber the conclusion is that a positive business case is not established.

For the Dutch circumstances a business case has been set up, treating 6.6 tons of WAS dry solids per day using the FP process. A comparison has been made with a business case based upon thermal hydrolysis. It becomes evident that FP is not economically viable, due to high operational costs, including chamber replacements. Return on investments are only reached after 15 - 20 years, while thermal hydrolysis reaches ROI's of about 8 years. It may be concluded that particularly the replacement costs for the treatment chamber is jeopardizing the business case. At the moment this needs to be resolved first prior to initiating any further pilots/trials in the Netherlands.

CONCLUSIONS

Focused pulse (FP) technology for municipal sludge pretreatment, prior to sludge digestion has been introduced as a good alternative for other pretreatment technologies, e.g. thermal hydrolysis. Within the framework of this exercise literature has been reviewed, plant managers has been interviewed, discussions have been organized with the technology provider and projections have been made for FP technology based plants. The results have been used to determine the present feasibility of the technology for Dutch water utilities.

The following conclusions may be drawn:

- After over two years of intensive application studies and product development by OpenCEL (following the purchase by Trojan), the reported results of the efficiency of the technology are not sufficient to meeting the technical and economic justification target for OpenCEL to be a viable technology. Furthermore, reproducing the original Mesa, AZ results could not be achieved.
- A significantly higher degradation of organic matter due to FP could not be achieved under laboratory, pilot and nor full-scale conditions. In the most positive case, the results with regard to enhancement of sludge degradation in digesters following FP treatment are similar to thermal hydrolysis processes, but in most cases less than, and in no case proved to be better.
- The expected increase in removal percentage of organic dry solids in the digester as measured by %VSR, after implementing FP as a pretreatment step, can be calculated at levels of only 5% to 15% at best based upon the interpretation of the results to date. This is much lower than the typical percentages obtained for TH, and lower than those originally published from the Mesa case study. Similarly biogas production will be increased in line with the increase in removal rates of organic dry solids.

- The published increase of the dewatering efficiency of 2% has not been achieved at the Racine WwTW. A marginal 1% increase has been determined. Due to the nature of thermal hydrolysis, TH will achieve much higher levels, in the range of 5 – 10% increase.
- Analyzing the operational results of the Racine WwTW, equipped with a FP process unit indicated that the treatment chamber is a critical element in the process set-up. After approximately 4,000 m³ of sludge treated the chamber needs to be replaced, as no further sludge degradation beyond the normal degradation levels in digesters are recorded. The replacement costs for the treatment chamber are indicated to be € 20,000. With 6 – 12 replacements per annum this will kill the business case.
- An economic comparison between implementation of thermal hydrolysis and FP indicates that at present FP cannot compete with TH. The lifetime expectancy of the treatment chamber should be increased to at least 6 months and/or the replacement costs should be reduced considerably to improve the business case economics.

Summarizing it may be concluded that at present FP is not a promising alternative for thermal hydrolysis processes. It is crucial to reduce the operational costs by developing an efficient and cost effective treatment chamber in order to be able to achieve a reasonable business case. It is up to the technology supplier to address this, after which a further testing of the technology in the Netherlands may be considered.

DE STOWA IN BRIEF

The Foundation for Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are all ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater treatment installations and dam inspectors.

The water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative legal and social scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed based on requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as knowledge institutes and consultants, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

The money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some 6,5 million euro.

For telephone contact number is: +31 (0)33 - 460 32 00.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 2180, 3800 CD Amersfoort.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

VERKENNING VOORBEHANDELING SURPLUSLIB MET FOCUSED PULSE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	AFKORTINGENLIJST	1
2	INLEIDING	2
3	ACHTERGRONDEN	3
3.1	Theorie	3
3.2	Voorbehandelen van surplusslib	3
3.3	Beschrijving technologie elektrische puls	4
3.4	Vergelijking Focused Pulse met thermische druk hydrolyse	7
3.5	Technische systeemopzet	8
3.6	Processturing	9
3.7	Energieverbruik	11

4	ERVARINGEN MET FOCUSED PULSE	13
4.1	Marktverkenning door OpenCEL	13
4.2	Praktijk referenties	15
4.2.1	Mesa Northwest Water Reclamation Plant	15
4.2.2	Racine Wastewater Utility	18
5	NEDERLANDSE SITUATIE	27
5.1	Vergelijking met Nederlands onderzoek naar Thermische Druk Hydrolyse	27
5.2	Uitgangspunten	27
5.3	Business case Focused Pulse met Thermische Druk Hydrolyse	30
6	CONCLUSIES	32
	LITERATUUR	34
	BIJLAGE	
	SLIBSTROMEN RACINE IN GISTING EN NAAR ZEEFBANDPERSEN	35

1

AFKORTINGENLIJST

DS	Droge stof
FP	Focused Pulse
OS	Organische stof
ODS	Organisch droge stof
PE	Poly-elektrolyet
PEF	Pulsed Electric Field
TDH	Thermische druk hydrolyse
TI	Treatment intensity, behandelingsintensiteit (in kWh/m ³)
TVT	Terugverdiëntijd
USD	Amerikaanse dollar

2

INLEIDING

Energie staat bij vele waterschappen hoog op de agenda. Er wordt gekeken naar de optimalisatie van het gistingproces en het toepassen van slibdesintegratie om zo de biogasproductie te maximaliseren. Eén van de technologieën die daarbij in de belangstelling staat is die van de thermische druk hydrolyse (TDH). Inmiddels is er één TDH installatie operationeel op de rwzi Venlo; andere installaties zijn in voorbereiding of worden gebouwd: Apeldoorn, Amersfoort, Hengelo, Echten (proef) en Tilburg. De thermische druk hydrolyse op zuiveringsslib wordt al langer toegepast; de eerste full scale installatie dateert van 1996. Er worden ook nog alternatieve technieken geïntroduceerd. Enkele voorbeelden zijn desintegratie met ultrasone geluidsgolven, hydrodynamische cavitatie en Focused Pulse Technology. Over desintegratie met ultrasone geluidsgolven en hydrodynamische cavitatie is in 2008 een STOWA rapport [10] verschenen. De Focused Pulse technologie is in Nederland nog onbekend.

De techniek van Focused Pulse (FP) is gebaseerd op het blootstellen van slib aan een elektrische puls met een hoog voltage. De techniek wordt gebruikt voor electroporatie (tijdelijk een opening in de celwand creëren om plasmide of DNA in de cel te brengen) en wordt als alternatief voor pasteurisatie toegepast in de voedingsmiddelen industrie. Het is voor zuiveringsslib ontwikkeld in de U.S.A en er zijn twee full scale installaties in gebruik. Met als doel een hogere afbraak aan organische droge stof, meer biogasproductie en reductie van de hoeveelheid af te voeren slib. Waar thermische druk hydrolyse gebruik maakt van druk en warmte is dat voor FP elektrische energie. Vooral de simpelheid van de techniek en het feit dat een hogere efficiency wordt geclaimd, maakt dat deze techniek de moeite waard is verder te onderzoeken. Hiertoe is literatuur geraadpleegd, zijn praktijk resultaten geïnterpreteerd en is informatie verkregen van de leverancier van deze techniek: OpenCEL. Verder is intensief contact geweest met de bedrijfsvoerder van de installatie op de RWZI Racine in de U.S.A en onderzoekers van Biodesign Institute van de Arizona State University; Regents Professor B. Rittmann (PhD) en P. Parameswaran (Assistant Research Scientist).

In hoofdstuk 3 worden de achtergronden van de technologie beschreven. De ervaringen die zijn opgedaan met FP installaties zijn geïnterpreteerd en worden in hoofdstuk 4 uiteengezet. Daarbij wordt bijzondere aandacht besteed aan de consistentie van de behaalde resultaten. Een nadere beschouwing van de inzetbaarheid van deze techniek voor de Nederlandse situatie van slibverwerking is uitgevoerd in hoofdstuk 5. Tenslotte volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

3

ACHTERGRONDEN

3.1 THEORIE

Tijdens het vergisten van zuiveringslib vindt de afbraak van organisch materiaal in vier fases plaats: hydrolyse, acidogenese (of fermentatie), acetogenese en methanogenese. De acidogenese en acetogenese fase zijn beter bekend als de verzuringsfase. Iedere fase kent zijn eigen procesomstandigheden, maar vinden in een goed gemengde slibgisting simultaan plaats. Het gaat in feite om een serie van stappen waarbij het eindproduct van één micro-organisme de voeding is voor de volgende stap. Daarbij zal de traagst verlopende fase het eindresultaat bepalen en dat is in dit geval de hydrolyse. De complexe onopgeloste stoffen, zoals complexe organische bestanddelen, eiwitten, koolhydraten en vetten, worden omgezet in opgeloste stoffen als suikers, hogere vetzuren en aminozuren. De omzetting vindt plaats met exo-enzymen uitgescheiden door fermentatieve bacteriën en dit proces wordt beïnvloed door de pH en temperatuur [9].

Voorafgaand aan de hydrolyse van surplusslib vindt afsterving van de biomassa plaats en zal met name de mate waarin celwanden en -membranen worden doorbroken de uiteindelijke afbraak aan organische stof bepalen. In de huidige traditionele gistinginstallatie is de afbraak van surplusslib vrij beperkt. In zijn algemeenheid wordt een percentage van 30-35% afbraak van organische stof aangehouden waar dat voor primairslib 50-60% bedraagt. Om dus meer biogasopbrengst uit het vergisten van surplusslib te realiseren zal ingezet moeten worden op het 'kraken' van meer celwanden en -membranen. Een bijkomend effect zal zijn dat daarmee ook de verblijftijd in de gisting kan worden verlaagd omdat de hydrolyse stap dus sneller zal verlopen.

3.2 VOORBEHANDELEN VAN SURPLUSLIB

Méér dan 30 jaar geleden is uit onderzoek [3] naar voren gekomen dat hydrolyse in feite de limiterende factor is in het gistingsproces en dat celmembranen nogal weerbarstig zijn voor organismen om af te breken. Deze limitatie kan grotendeels worden opgeheven door een pre-hydrolyse stap, ofwel het breken van het celmembraan. Daarbij zijn ook de celwanden een barrière die geslecht dient te worden om uiteindelijk zoveel mogelijk organische stof beschikbaar te maken voor omzetten in biogas. De structuur van celwand en celmembraan is complex en vergt veel energie voor de opbouw. Dat houdt ook in dat veel externe energie nodig is voor de afbraak, of dat nu thermisch, mechanisch, chemisch of elektrisch is. In aanvulling hierop zal de energie daarbij direct op de celwand en celmembraan gericht dienen te zijn. Het effect (rendement) is minder als energie eerst van de ene naar de andere vorm overgebracht moet worden, zoals thermische behandeling waarbij stoom geproduceerd moet worden om vervolgens het slib te verhitten. Chemische behandeling en Pulsed Electric Field zijn toepassingen waarbij direct de celwand en -membraan worden aangetast en daarmee theoretisch effectiever zijn. Uiteraard moet de extra energie inbreng opwegen tegen de energiewinst uit vergisting om de inzet van een dergelijk proces te rechtvaardigen.

Al in 1978 (Haug et al) is onderzoek verricht naar het effect van thermische en chemische voorbehandeling van (organisch) slib. Dit onderzoek geldt nog steeds als het diepgaande onderzoek (standaard werk) naar voorbehandeling van slib tot verbeteren van de vergistbaarheid. Hierbij zijn op laboratoriumschaal testen uitgevoerd bij temperaturen van 150 tot 225 °C en verblijftijden in de gisting van 15 dagen. De optimale temperatuur bleek 175 °C te zijn en met het behandelen van 100% surplusslib zijn de volgende effecten gemeten:

- de opgeloste fractie aan CZV nam toe met meer dan 700%,
- afbraak van organische stof nam toe met 75%,
- toename van de biogasproductie met 70%,
- de droge stof slabafvoer daalde met meer dan 35%.

Tijdens deze testen en later onderzoek is vastgesteld dat remming in de gisting kan optreden als gevolg van de vorming van 'bijproducten'. Zo zal bij een hogere afbraak ook meer ammonium vrijkomen en kan uiteindelijk het gistingsproces remmen (bij waarden hoger dan 3.000 mg NH₄/l). In een aantal gevallen blijkt dat het gistingsproces zich herstelde na een acclimatiseringsperiode.

Het toepassen van thermische energie als voorbehandeling van slib kan als standaard techniek worden bestempeld. Er zijn al vele installaties gerealiseerd gebaseerd op het batch principe waarbij slib in een reactor wordt verhit onder een bepaalde druk. Voorbeelden van thermisch druk hydrolyse (TDH) zijn Cambi (in 1989 begonnen met een installatie voor hout), Lysotherm (SH+E Group) en BioThelys® (Kruger, Veolia). Een andere ontwikkeling is het continue systeem van Sustec (eerste referentie rwzi Venlo) en waarvan inmiddels andere installaties in voorbereiding zijn in Nederland. Voor alle systemen geldt dat ze worden gecombineerd met een druk van circa 6 bar. Een belangrijk voordeel van TDH is ook nog het effect op de ontwaterbaarheid van uitgestist slib. Door verandering in de viscositeit is het slib beter te ontwateren tot hogere droge stofgehalten en dat levert forse besparingen op in transport en slibeindverwerking. Het toepassen van thermische energie brengt ook een aantal nadelen met zich mee, zoals:

- meer geuremissie,
- corrosie en aanslag in warmtewisselaars,
- meer behoefte aan thermische energie (met hoge calorische waarde) dat voor een (groot) deel geproduceerd wordt uit de extra biogasproductie.

Deze nadelen hebben geleid tot onderzoeken naar en het ontwikkelen van alternatieve voorbehandelingen waarbij gebruik gemaakt wordt van magnetron bestraling, ultrasoon geluid, chemicaliën of druk in combinatie met het opwekken van cavitatie. Daarnaast wordt geëxperimenteerd met de opzet en uitvoering van gistingstanks. Bij deze alternatieven hoort ook de technologie van de elektrische puls: Pulsed Electric Field (PEF).

3.3 BESCHRIJVING TECHNOLOGIE ELEKTRISCHE PULS

De techniek van de elektrische puls is interessant omdat de energie direct ingrijpt op de celwand en -membraan in tegenstelling tot vele andere technieken waarbij de energie naar een ander vorm (bijvoorbeeld warmte) omgezet wordt en sprake is van energie verliezen. De elektrische puls heeft tot gevolg dat de celwanden en -membranen van cellen in het (surplus)slib worden opengeboken. In de wetenschap wordt gesproken over lyse: de dood van een cel door het breken van het membraan. Het effect van elektriciteit wordt versterkt door de eigenschappen van de celwand en het celmembraan. Deze bestaan uit fosfolipiden en

peptidoglycaan en zijn beide polaire moleculen. De opbouw is zo dat dit resulteert in een negatieve lading aan de buitenkant van de cel. Deze eigenschap zorgt er dus voor dat cellen vatbaar zijn voor het effect van sterke elektrische velden. Deze eigenschap heeft er overigens voor gezorgd dat PEF in eerste instantie voor andere toepassingen is ontwikkeld. Het kan worden gebruikt voor *elektroporatie* om tijdelijk een opening in de celwand te creëren om plasmide of DNA in de cel te brengen en voor medische toepassingen. In de voedingsindustrie is PEF onderzocht als alternatief voor pasteurisatie. Hier lag de ontdekking aan ten grondslag dat bij elektroporatie (met een laag energieniveau) de celwand weer sluit en dit bij een hoog energieniveau niet het geval is en voor afsterven van de cel zorgt. Een permanente opening van de celwand maakt het mogelijk dat moleculen in de cel komen met als effect dat deze 'opzwelt' en uiteindelijk scheurt. Er zijn full scale PEF installaties in het buitenland in gebruik voor pasteurisatie in de voedingsmiddelenindustrie, maar het is geen gemeengoed. In Nederland wordt dit systeem (koude pasteurisatietechnologie) door Cool Wave Processing in de markt gezet onder de naam PurePulse, bijvoorbeeld voor het behandelen van vruchtsappen en bepaalde zuivelgroepen. Ook hier geldt net als voor de zuiveringslib toepassing dat de technologie nog in ontwikkeling is. Er zijn 30 industriële PEF generatoren operationeel in foodprocessing [17], waarvan één voor sinaasappelsap in Nederland. Belangrijk 'selling point' is, dat het medium niet opgewarmd hoeft te worden hetgeen voor pasteurisatie wel het geval is. Opwarmen, ofwel thermische pasteurisatie heeft als nadeel dat de kwaliteit en structuur van het voedingsmiddel achteruit gaan. Wat betreft zuivel speelt nog mee dat in de huidige regelgeving ook bepaalde enzymen (bijvoorbeeld lipase en fosfatase) geïnactiveerd moeten worden en dat kan alleen met pasteurisatie. PEF inactieveert deze enzymen niet en kan dus niet worden voldaan aan de wetgeving voor gepasteuriseerde melk [17]. De kosten voor industriële PEF technologie liggen rond de 1 eurocent per liter.

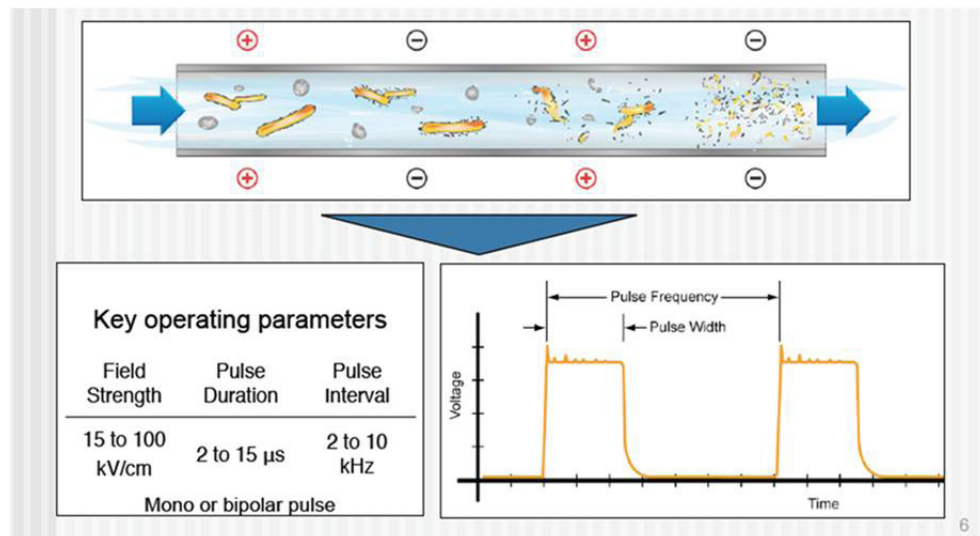
Onderzoekers zagen het potentieel van deze technologie als voorbehandeling van zuiveringslib en de mogelijkheid om daarmee meer energie te winnen. Het onderzoek (Ohio State University, USA) heeft zich onder meer gericht op het ontwikkelen van de juiste behandelkamer (Treatment Chamber). Voor deze specifieke toepassing wordt de term Focused Pulse™ (FP) Technology gehanteerd. De eerste onderzoeken naar de werking van dit principe zijn uitgevoerd in 1998-2000 in een pilot test op de Lancaster Ohio wastewater treatment facility [3]. Hier is getest met retourslib waarbij gemeten is aan het elektriciteitsverbruik, CZV-totaal en opgelost, ammonium en Kjeldahl-stikstof (Kj-N). Hierbij is geconstateerd dat het gehalte aan opgelost CZV toenam (73%) evenals het gehalte aan ammonium (30%) en Kj-N (34%). Tevens is een afname in activiteit van pathogene organismen gemeten. De uitkomsten van dit onderzoek is de basis geweest tot het verder ontwikkelen van deze techniek en het doen van meer (pilot) onderzoek. Vanaf 2005 is het onderzoek in nauwe samenwerking met Arizona State University voortgezet met als doel FP te gebruiken voor een hogere efficiency van anaerobe omzetting. Door biomassa kwetsbaarder te maken voor omzetting wordt een hogere biogasopbrengst gerealiseerd.

In Figuur 3.1 is het werkingsprincipe weergegeven.

Bij FP gaat het om korte pulsen van 2 tot 15 microseconden. De spanning verloopt niet volgens een sinusoidale, zoals bij wisselstroom. Het gaat om een kortstondig elektrisch veld van circa 10 kilovolts en duizenden ampères met een vermogen van rond de 10 megawatts. Maar doordat de pulsen kortstondig zijn, blijft het gemiddelde vermogen per installatie beperkt tot zo'n honderd kilowatt volcontinu.

FIGUUR 3.1

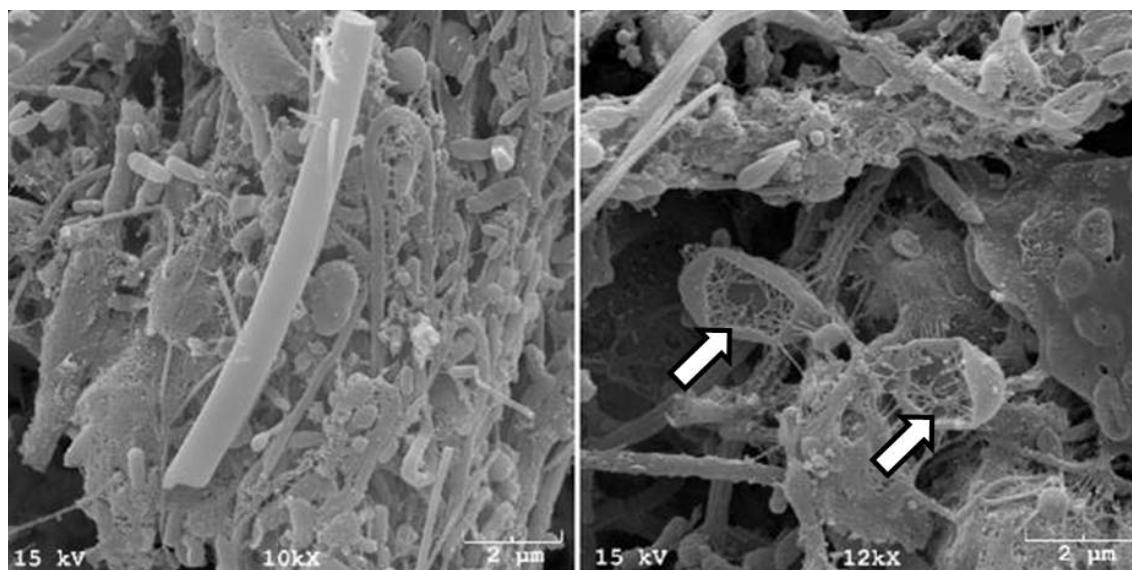
WERKINGSPRINCIPE VAN ELEKTRISCHE PULS (BRON: OPENCEL)



Praktisch gezien houdt dit in dat elektroden aan de uiteinden van de behandelkamer zijn aangebracht gescheiden door een isolator. Op het moment dat er spanning op de elektroden wordt gebracht (hierbij wordt gebruik gemaakt van condensatoren) ontstaat er een elektrisch veld. De stroom gaat door het slib in de behandelkamer van de ene naar de andere elektrode.

FIGUUR 3.2

HET OPENBREKEN VAN DE CELLEN EN UITEEN VALLEN VAN DE VLOKSTRUCTUUR. LINKS EEN SLIBVLOK VOOR BEHANDELING EN RECHTS OPENGEBARSTEN CELLEN (BIJ PIJLEN) NA BEHANDELING MET FP [3]



Naast het kraken van de cellen (zie Figuur 3.2) wordt ook de vlokstructuur aangetast en vallen de vlokken uit elkaar.

Een bijkomend effect is dat het slib door de behandeling met pulsen opwarmt. In essentie is het zo dat hoe meer pulsen hoe meer het te behandelen medium (slib) opwarmt. De mate waarin, is daarbij ook afhankelijk van de geleidbaarheid van het slib. Een hoge geleidbaarheid leidt tot het opwarmen van het slib met wel meer dan 15 °C. Bij een lage geleidbaarheid ligt dit in de orde van grootte van 10 °C. Voor surpluslib geldt in zijn algemeenheid dat de temperatuur met circa 10 - 11 °C stijgt [3]. Er zijn geen gegevens bekend over slibsoorten met

verschillende geleidbaarheid en stijging van de temperatuur. Deze opwarming draagt direct bij aan de toename van de temperatuur in de slibgisting en betekent dus een energiebesparing voor het opwarmen van slib.

3.4 VERGELIJKING FOCUSED PULSE MET THERMISCHE DRUK HYDROLYSE

Voor Focused Puls geldt net als voor de TDH technologie, dat de behandeling alleen zin heeft met surplusslib. Primair slib bevat niet of nauwelijks celmateriaal, zodat behandeling niet of nauwelijks effect heeft. Slibmengsels worden wel met FP behandeld, maar in zijn algemeenheid niet bij thermische druk hydrolyse. Het primair slib wordt bij de TDH met het verhitte surplusslib opgewarmd. Hiermee ontstaat in feite een koeling van het surplusslib en krijgt het mengsel een voor gisting gewenste temperatuur. In sommige gevallen zal een extra koeling met effluent noodzakelijk zijn als de hoeveelheid primair slib te gering is.

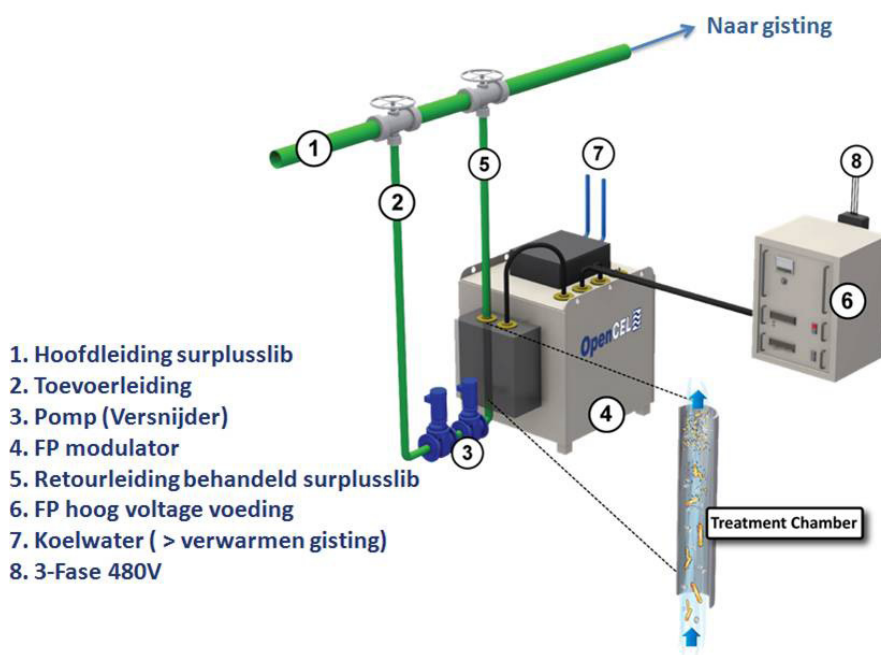
De behandeling met FP beïnvloedt slechts in beperkte mate de ontwaterbaarheid van het slib. Dit is een direct gevolg van het feit dat het slib niet “gekookt” wordt, zoals bij TDH systemen wel gebeurt.

Eén van de grote operationele voordelen van FP is dat geen warmteoverdrachtsprocessen (in de orde van grootte als bij TDH) plaatsvinden. Die processen brengen het risico met zich mee dat biofouling optreedt in de warmtewisselaars. In thermische slibdestructietechnieken is dit een punt van (operationele) aandacht, gericht op een zo effectief mogelijke energie inbreng.

Een FP installatie neemt in vergelijking met andere systemen minder ruimte in beslag en zal daardoor in veel gevallen goed in te passen zijn op bestaande RWZI's. Hier speelt ook als voordeel mee dat alleen een in- en uitgaande sibleiding hoeft te worden aangesloten en wordt de inpassing nog flexibeler (zie Figuur 3.3)

FIGUUR 3.3

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VOORBEHANDELING SURPLUSSLIB



Op hoofdlijnen is in onderstaande Tabel 3.1 een vergelijking opgenomen, zoals OpenCEL die hanteert voor communicatie naar de klant, tussen FP en thermisch slib hydrolyse op basis van het batch principe (Cambi en Kruger, Veolia).

TABEL 3.1 VERGELIJKING OPENCEL MET THERMISCH DRUK HYDROLYSE (BRON: OPENCEL)

Parameter	FP (OpenCEL)	Thermische Druk Hydrolyse
Behandeling van	Toevoer gisting	Toevoer gisting
Slibstroom	Surplusslib (3% - 6% DS) Primair- en surplusslib (3%-6% DS)	Surplusslib (tot circa 16% DS) Verdunnen naar 9% voor vergisten met primairslib of effluent
Gistingproces	Mesofiel of Thermofiel	Mesofiel
ODS-verwijdering (surplusslib)	70-80%	50 - 65%
Biogas toename	50-100%	50-100%
Slibkoek %DS toename	0 - 2 procentpunt	5 - 10 procentpunt
Footprint	Klein	Groot
Kapitaalkosten (CapEx)	Matig	Hoog
Inzet personeel	Minimaal	Fors
Schaalbaarheid	Flexibel/ Modulair	Vast
Bijproducten	Geen	Caramelisatie producten
Terugverdientijd	3-5 jaar	>10 jaar

Onvermeld is nog dat voor FP geen voorontwatering nodig heeft hetgeen wel het geval is bij TDH. Dat betekent voor dat aspect geen exploitatielasten en minder investeringen.

De waarden vermeld voor thermisch komen overeen met wat doorgaans gehanteerd wordt. Zaken als footprint en terugverdientijd hangen sterk af van de specifieke locatie en hoeveelheid slib dat wordt behandeld. Ze moeten dan ook als relatief en ten opzichte van elkaar worden gezien.

3.5 TECHNISCHE SYSTEEMOPZET

Het FP systeem van OpenCEL is beschikbaar in twee capaciteiten:

- OC150 die 6 m³/h aan (surplus)slib kan behandelen met een droge stof percentage in de range van 3- 6% (Figuur 3.4),
- OC300 die 12 m³/h aan (surplus)slib kan behandelen met een droge stof percentage in de range van 3- 6%.

Wat hier relevant is, is dat de kern van de techniek in de behandelkamer zit, met specifieke afmetingen. Het gaat er om de verblijftijdspreiding in de kamer zo klein mogelijk te houden. Dat kan worden bereikt met een laminaire doorstroming. In het midden tussen de wanden van de kamer is de stroomsnelheid ongeveer twee keer zo groot als gemiddeld. Dan is bekend hoelang de snelste deeltjes in de kamer verblijven en kan de frequentie van de pulsen hierop worden afgestemd. Dit betekent dus dat de behandelkamer niet variabel is en niet zonder meer kan worden afgestemd op het te behandelen debiet, zodat er maar twee ontwerpgroottes zijn ontwikkeld. Dit geldt ook voor de industriële PEF installaties (voedingsmiddelen). Zo heeft Pure Pulse installaties met een capaciteit van 600, 1.200 en 1.800 liter per uur. Daarbij wordt geen ronde buis als behandelkamer toegepast. Hoe die er uit ziet wil men niet prijsgeven.

De OC150 is grofweg geschikt voor de behandeling van surplusslib van een rwzi met een schaalgrootte van 150.000 - 200.000 i.e., de OC300 met een schaalgrootte van 300.000 - 400.000 i.e.

De installatie kan modulair worden uitgebreid bij grotere slibproducties. Een OC150 installatie heeft een kleine footprint en past in een zeecontainer (Figuur 3.4) en vraagt in een gebouw dus ook niet veel ruimte.

FIGUUR 3.4

OC150 IN CONTAINER



Het essentiële onderdeel van de FP installatie is de behandelkamer en die is aan slijtage onderhevig, dat wil zeggen de effectiviteit van dit onderdeel afneemt in de tijd. OpenCEL geeft vooralsnog een werkingsduur aan van de behandelkamer van 2 - 3 maanden en dient dan vervangen te worden.

3.6 PROCESSTURING

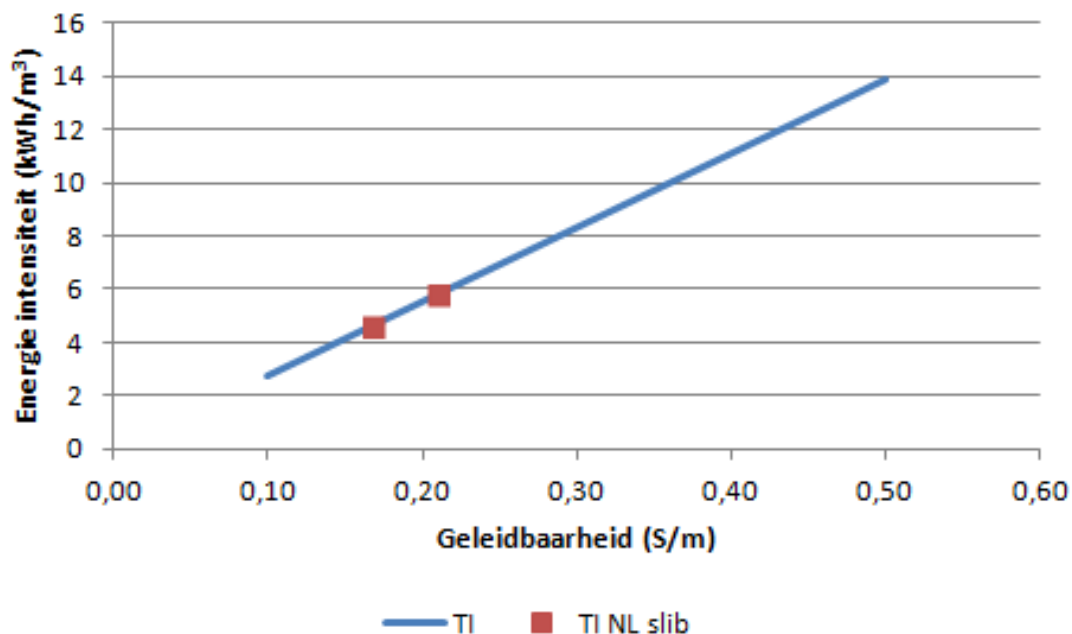
Er is een aantal parameters die van invloed zijn op de intensiteit (en dus het effect) van de behandeling. In de volgende formule is de relatie tussen deze parameters weer gegeven.

$$TI = K * \frac{V^2 * D * f * \tau * HRT}{L^2}$$

- TI = Behandeling intensiteit (kWh/m³)
- V= Voltage (circa 10kV)
- D = Pulsduur (circa 10 µs)
- f = Puls frequentie (circa 1.000 Hz)
- τ =Geleidbaarheid (circa 0,1 S/m)
- L = Lengte van de behandelkamer (1 cm)
- HRT = Verblijftijd in behandelkamer (circa 0,01 s)
- K = Constante

Het voltage (V), de pulsduur (D), lengte van de behandelkamer (L) en de frequentie (f) zijn van toepassing voor een praktijk FP installatie. Voor de beschikbare OpenCEL installaties (OC150 en OC300) staat de lengte van de behandelkamer vast, maar kunnen V , D , en f binnen grenzen worden veranderd. Deze gegevens behoren voornamelijk tot het intellectueel eigendom van OpenCEL. Per installatie worden de setpoints vastgesteld voor de specifieke toepassing. De geleidbaarheid is een eigenschap van de slibstroom die wordt behandeld en is een belangrijke factor. Een hoge geleidbaarheid zal leiden tot een hogere energie intensiteit (input). Er zijn geen specifieke waarden voor geleidbaarheid in (onvergist) slurrieslib gevonden in de geraadpleegde literatuur. Voor de TI formule is als uitgangswaarde 0,1 S/m opgegeven. Ook over geleidbaarheid van slibben op Nederlandse RWZI's is niet veel bekend. In een STOWA rapport over de fundamentele aspecten van slibontwatering [20] zijn een aantal waarden gevonden voor slurrieslib van Veghel en Mierlo zijnde respectievelijk 0,21 en 0,168. En voor uitgegist slib van de RWZI Amsterdam Oost van 0,54. In het STOWA rapport over efficiëntie polymergebruik slibontwatering zijn voor vijftal RWZI's waarden opgegeven voor geleidbaarheid in uitgegist slib en deze liggen in de range van 0,7 tot 1 S/m [21]. De geleidbaarheid van slurrieslib ligt, op basis van de genoemde summierende gegevens, lager dan uitgegist slib en zo rond de 0,2 S/m. In onderstaande Figuur 3.5 is uitkomst van de TI formule gegeven voor verschillende waarden voor geleidbaarheid. Hieruit blijkt dat de impact groot is. Zo zal in dit voorbeeld de energie input voor slib met een waarde van 0,21 S/m 25% hoger liggen ten opzichte van een waarde van 0,168.

FIGUUR 3.5 EFFECT VAN GELEIDBAARHEID OP DE INPUT VAN ENERGIE (OP BASIS VAN TI FORMULE)



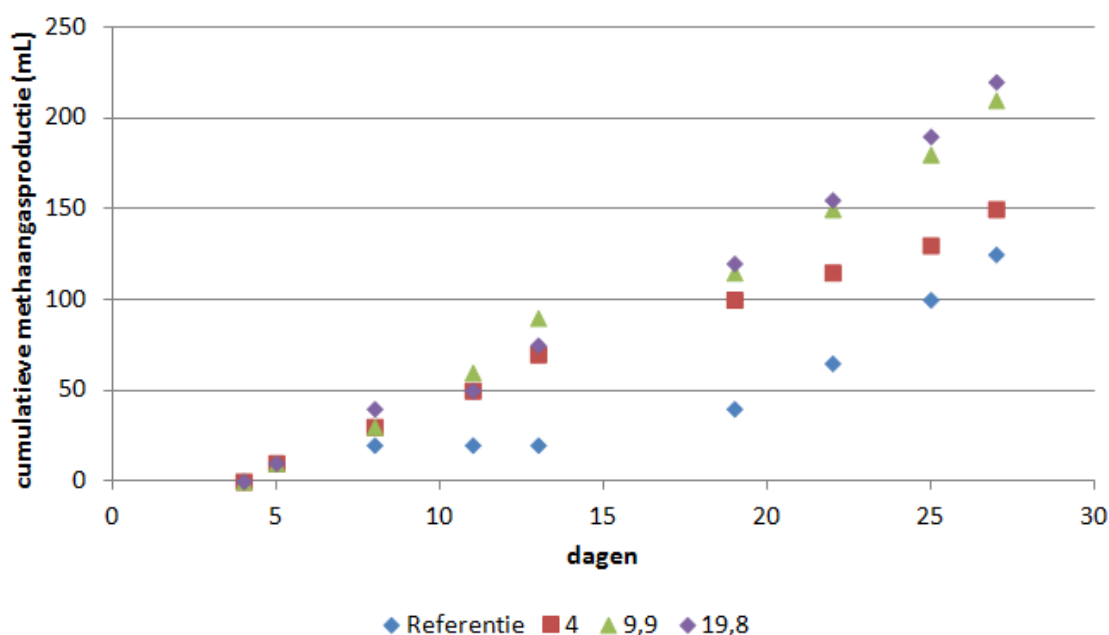
De geleidbaarheid kan worden beïnvloed door verdunning of door toevoeging van zouten, maar hierover is niet specifiek gerapporteerd. De HRT kan naar believen worden veranderd door het debiet door de behandelkamer te wijzigen, bijvoorbeeld door te recirculeren.

De invloed van de pulsduur (en dus op de intensiteit) is in een aantal experimenten nader onderzocht en de resultaten zijn te zien in Tabel 3.2. De spanning, puls frequentie en verblijftijd zijn tijdens deze experimenten constant gehouden.

TABEL 3.2 EFFECT VAN DE PULSDUUR OP CZV NA BEHANDELING VAN SURPLUSLIB MET CIRCA 5% DS [5]

Parameter	Onbehandeld	Behandeld A	Behandeld B	Behandeld C
Intensiteit (kWh/m ³)	0	4	9,9	19,8
Elektrisch veld (kV/cm)	0	24,5	24,5	24,5
CZV (mg/l)	9.400	9.800	10.500	10.400
CZV opgelost (mg/l)	< 20	180	310	1.060

Om het effect van de verschillen pulstijden op de biogasproductie vast te stellen zijn op laboratoriumschaal gistingstoeven uitgevoerd. Hieruit blijkt dat een fors grotere pulstijd en dus intensiteit, niet tot substantieel hogere gasproductie leidt. Een intensiteit (energie-inbreng) van 19,8 kWh/m³ levert nauwelijks een hoger biogasproductie op ten opzichte van 9,9 kWh/m³.

FIGUUR 3.6 EFFECT VAN PULSDUUR (ALS ENERGIE-INBRENG IN KWH/M³) OP BIOGASPRODUCTIE [5]

In de praktijk zal het er op neer komen dat aan de hand van de pulsduur er voor wordt gezorgd dat de intensiteit van de slibbehandeling uitkomt op een waarde rond de 10 kWh/m³ (200 kWh/ton DS).

3.7 ENERGIEVERBRUIK

De effectiviteit van FP is afhankelijk van de 'treatment intensity' ofwel de intensiteit van de behandeling, en wordt uitgedrukt in kWh/m³ slib (vorige paragraaf). Uit testen met slib van de WWTP Mesa is gebleken [5] dat bij 10 kWh/m³ een duidelijke stijging van de fractie aan opgelost CZV optreedt (Tabel 3.2) met een hogere biogasproductie ten opzichte van onbehandeld slib.

De intensiteit van de behandeling kan worden berekend met de formule in paragraaf 3.6.

Om voorbehandelingen voor slibdestructie met elkaar te kunnen vergelijken is wellicht een waarde van kWh/kg DS beter. Daarmee wordt het effect van de concentratie van de droge stof weggenomen. Ter vergelijking zijn in onderstaande Tabel 3.3 een aantal technologieën vergeleken.

TABEL 3.3

BEHANDELINGSINTENSITEIT VAN EEN AANTAL VOORBEHANDELINGEN

Technologie	Droge stof	kWh/kg DS surpluslib	kWh/m ³
OpenCEL	3% - 6%	0,34 – 0,7	10 - 20
Cambi	circa 16%	0,5 – 0,6	circa 89
TurboTec® [8]	11%	circa 0,65	circa 72
Ultrasoon [10]	4%	0,10 – 0,15	4 - 6

Voor toepassing in de voedingsmiddelenindustrie wordt een specifiek energieverbruik van 10 tot 100 kJ/l product opgegeven en dat komt neer op 2,8 tot 28 kWh/m³ en ligt dus in dezelfde orde van grootte als voor zuiveringslib [16,19].

4

ERVARINGEN MET FOCUSED PULSE

Er is een aantal artikelen gepubliceerd over onderzoek dat is uitgevoerd naar het effect van FP op de afbraak van organisch materiaal en biogasopbrengst. Deze artikelen vormen ook de basis van de beschrijving van de praktijk referenties. Rode draad in de artikelen zijn de onderzoeken die zijn uitgevoerd op één installatie: de Mesa Northwest Water Reclamation Plant. Daarnaast wordt door OpenCEL gerefereerd aan de installatie op de Racine Wastewater Utility die sinds eind 2012 operationeel is. Van deze installatie is informatie verzameld uit jaarverslagen [11,12,13] en heeft overleg plaatsgevonden met de bedrijfsvoerder.

4.1 MARKTVERKENNING DOOR OPENCEL

OpenCEL heeft een rekenmodel ontwikkeld om de haalbaarheid van een OpenCEL installatie op een RWZI met gisting te bepalen. De uitkomst van het model is een inschatting van de financiële voordelen op basis van de toename in de afbraak van organische stof (OS) en biogasproductie. Het betreft dus een rekenexercitie om de potentie van de techniek vast te stellen en kan niet generiek worden geïnterpreteerd.

Om een indruk te krijgen van de afbraak van organische stof in bestaande gistingen is door OpenCEL een inventarisatie uitgevoerd [7], gebaseerd op 31 Amerikaanse RWZI's met gisting. Op basis hiervan zijn de haalbare voordelen bepaald. Uit deze inventarisatie is naar voren gekomen dat de afbraak in de gisting sterk afhankelijk is van de verhouding primair- en surplusslib. Uitgangspunt is dat primairslib beter te vergisten is en een hogere afbraak van organische stof kent dan surplusslib. Voor primairslib wordt veelal een afbraak van OS aangehouden van 60% - 70%. Als bekend is wat de verhouding aan primair- en surplusslib is en de afbraak in de gisting, kan de bijdrage van het aandeel surplusslib worden berekend. Vervolgens kan met een aanname van het effect van OpenCEL de toename aan biogas worden berekend.

Om de gegevens vanuit de Amerikaanse markt te kunnen vergelijken met de Nederlandse is in Tabel 4.1 een overzicht van een aantal kentallen gegeven. Uitgaande van de wisselkoers op 1 april 2015 (USD 1 = € 0,93).

TABEL 4.1 SAMENVATTING BELANGRIJKE PARAMETERS VAN 31 RWZI'S IN DE U.S.A. [7]

	Influent (m ³ /d)	Surplus slib fractie	Verblijftijd gisting (dagen)	Organische stof afbraak	Elektriciteit (€/kWh) Inkoop	Aardgas (€/m ³)	Slibeind-verwerking (€/tonDS)
Gemiddeld	272.550	40%	24	53%	€ 0,07	€ 0,32	€ 247
(min.-max.)	(8.328-1.362.748)	(16-100%)	(16-42)	(44-65%)	(€ 0,05- € 0,13)	(€ 0,20- € 0,61)	(€17-€ 793)

De kosten voor slibeindverwerking betreffen die voor transport van het ontwaterde slib en kosten voor afzet, bijvoorbeeld storten of andere 'land applications' waarmee veelal de landbouw wordt bedoeld. De kosten voor slibeindverwerking liggen gemiddeld op € 247/ton DS met een variatie van € 17 – 793,- per ton droge stof. De droge stof gehalten voor ontwaterd slib liggen in de U.S.A in dezelfde orde van grootte 20% - 25% en bij een gehalte van 25% komen de gemiddelde kosten dan op € 62,- per ton.

Met het rekenmodel en de gegevens van de RWZI's is berekend in welke mate het behandelen van FP leidt tot hogere organische stof afbraak en dus meer biogas en minder slib om af te voeren. In Tabel 4.2 is hier een overzicht van gegeven.

TABEL 4.2 SAMENVATTING OPERATIONELE VOORDELEN MET VOORBEHANDELING MET FP OP 31 RWZI'S IN DE U.S.A. [7]

	Surplusslib fractie	Verblijftijd gisting (dagen)	Toename OS afbraak	Minder slibproductie	Toename biogasproductie
Gemiddeld	40%	24	36%	25%	40%
(min.-max.)	(16-100%)	(16-42)	(11-67%)	(8-44%)	(10-76%)

De gemiddelde fractie aan surplusslib bedraagt 40% van de totale slibproductie op een RWZI en behandeling met FP zal gemiddeld ongeveer 36% meer afbraak aan OS opleveren en 40% aan biogas. Met de aanname dat de OS in surplusslib in een gisting met gemiddeld 33% wordt afgebroken zal dat met een FP behandeling 45% kunnen worden. Dat is lager dan de 55% waar TDH systemen veelal van uitgaan of zelfs claimen. Met een OS fractie van rond de 70% betekent dat een daling van de slibafzet met 25%.

Minder slibproductie, meer biogas, meer energieopwekking en dus minder energie-inkoop (ook als wordt gecompenseerd voor de energie input voor de FP installatie) leveren een economisch voordeel op en dat wordt in Tabel 4.3 toegelicht.

TABEL 4.3 SAMENVATTING ECONOMISCHE VOORDELEN MET VOORBEHANDELING MET FP OP 31 RWZI'S IN DE U.S.A. [7]

	Minder slibproductie	Minder energiekosten	Kosten exploitatie (€/ton DS)	Jaarlijkse besparingen
Min.	€ 10.000	€ 45.000	€ 16	€ 35.000
Max.	€ 2.980.000	€ 2.294.000	€ 63	€ 4.423.000
Gemiddeld	€ 644.000	€ 529.000	€ 28	€ 1.158.000

Bij een gemiddeld debiet van 272.550 m³/d (99.480.622 m³/j) is het voordeel rond de € 0,01 per m³ behandeld afvalwater.

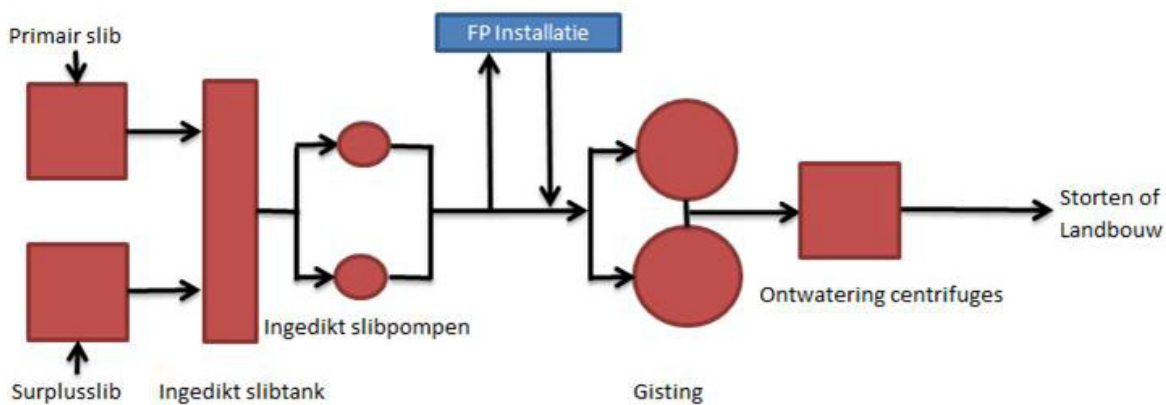
Als wordt uitgegaan van gemiddelden dan lijkt de uitkomst van deze marktverkenning te zijn dat er veel 'winst' te behalen valt met het voorbehandelen van surplusslib met FP. De minimale en maximale waarden in Tabel 4.2 en Tabel 4.3 laten zien dat de bandbreedte groot is en daarmee ook de onzekerheid of deze voordelen ook daadwerkelijk te behalen zijn. Het zal dus enorm afhangen van de specifieke situatie van slibverwerking of de gepresenteerde voordelen te behalen zijn.

4.2 PRAKTIJK REFERENTIES

4.2.1 MESA NORTHWEST WATER RECLAMATION PLANT

Er is sinds 2007 een full scale installatie operationeel op de Mesa Northwest Water Reclamation Plant (in beheer bij de City of Mesa, Arizona, U.S.A.). De RWZI (circa 225.000 i.e.) heeft een maximale capaciteit van 76.000 m³ afvalwater per dag (gemiddeld 45.000 m³/d) en produceert gemiddeld 380 m³ aan primair- en surplusslib per dag met een droge stofgehalte van gemiddeld 5%. De verhouding in het geproduceerde slib is 50% primairslib en 50% surplusslib. De OpenCEL installatie is geplaatst tussen de slibbuffers na de indikcentrifuges en de gisting. Het behandelt dus een mengsel van primair- en surplusslib (Figuur 4.1).

FIGUUR 4.1 PROCESSHEMA MESA NORTHWEST WATER RECLAMATION PLANT



De gisting wordt bedreven op een temperatuur van 35 tot 38 °C met een verblijftijd van 30 tot 35 dagen. Op deze installatie zijn in de periode september 2007 tot en met februari 2008 testen uitgevoerd [1] om vast te stellen wat het effect van de behandeling met Focused Pulse is op de vorming van meer opgelost CZV, afbraak van organische stof in de gisting en toename van de biogasproductie. De testen hebben betrekking op het behandelen van de totale slibstroom naar de gistingstanks bestaande uit primair- en surplusslib. De OpenCEL pilot had een capaciteit van 8 m³/h aan slib met een droge stofgehalte van 5 – 6%. Er is een versnijdende pomp gebruikt om er voor te zorgen dat er geen verstoppingen optreden in de behandelkamer waar het slib wordt bloot gesteld aan de elektrische pulsen.

Monsters van het onbehandelde en behandelde slib zijn in het laboratorium gebruikt voor het uitvoeren van gistingsproeven om vast te stellen wat het effect is van de elektrische puls. Daarbij zijn de elektrische parameters van de puls (frequentie en pulsduur) en de behandel-tijd gevarieerd en is inzicht verkregen over de optimale instellingen en 'behandeltijd'. Het ging tijdens dit onderzoek om kort durende instellingen van de FP installatie en waarbij vervolgens op laboratorium schaal gistingsproeven zijn uitgevoerd.

EFFECT VAN FOCUSED PULSE OP AFBRAAK EN BIOGASPRODUCTIE

Een goede indicatie over het effect van het 'kraken' van slib is de toename aan opgelost CZV in de slibstroom na de voorbehandeling. Tijdens het onderzoek op de RWZI Mesa is dit effect gemeten (Tabel 4.4).

TABEL 4.4

CONCENTRATIE (MG/L) VAN OPGELOSTE STOFFEN IN ZOWEL ONBEHANDELD ALS BEHANDELD SURPLUSLIB [3]

Parameter	Onbehandeld	Behandeld met FP	% Verandering
Opgelost CZV	1.285	3.310	158%
Opgelost organische koolstof	350	760	117%
NH ₄ -N	120	140	15%

Het effect is te zien aan de toename van opgelost CZV en dat is in feite het substraat voor de productie van biogas. De stijging is een goede indicatie voor de toename van de biogasproductie. De ammonium concentratie neemt nauwelijks toe en is waarschijnlijk te verklaren uit het feit dat bij het kraken van de cellen er wel organisch N vrij komt, maar nog niet is gehydrolyseerd naar ammonium. De uitkomsten van de gistingstoeven op laboratoriumschaal voor de afbraak aan droge stof en de organische fractie zijn weergegeven in Tabel 4.5. Er zijn geen resultaten gepubliceerd van de full scale gisting op Mesa.

TABEL 4.5

AFBRAAK AAN DROGE STOF EN ORGANISCHE FRACTIE GEMETEN IN LABSCHAAL VERGISTERS [3]

Stroom	Droge stof (g/l)	Organische droge stof (g/l)	Afbraak droge stof (%)	Afbraak organische droge stof (%)
Behandeld in	24	18		
Behandeld uit	16	11	32%	41%
Onbehandeld in	24	18		
Onbehandeld uit	21	14	13%	21%

De vraag is wat de waarde van deze proeven is als bij onbehandeld slib 'slechts' 13% afbraak aan droge stof wordt behaald. Van een mengsel van 50% primair- en 50% surplusslib is afbraak van meer dan 30% aannemelijk en dat wordt bij deze testen alleen met het voorbehandelde slib(mengsel) behaald. Hiermee ontstaat twijfel omtrent de relevantie van deze metingen.

Uit een ander onderzoek [5] is naar voren gekomen dat een stijging van de biogasproductie niet direct te relateren is aan de gemeten stijging van opgelost CZV door behandeling met FP. Met andere woorden de toename aan biogasproductie doet verwachten dat er meer opgelost CZV ontstaat, hetgeen niet het geval was in dit onderzoek. Een veronderstelling die wel logisch is omdat opgeloste CZV (substraat) direct beschikbaar is voor de gistingbacteriën en zal worden omgezet in methaan en CO₂. Tijdens het onderzoek bleek dat een stijging van opgelost CZV met 10% leidde tot een grotere stijging van de biogasproductie. Als verklaring wordt gegeven dat het effect van FP is, dat meer colloïdaal materiaal wordt gevormd die niet gemeten wordt als opgelost CZV (met 0,2 µm filter) maar wel beschikbaar is voor de productie van biogas door de methaanvormende bacteriën.

Om het effect full scale te bepalen is gemeten aan de biogasproductie en het slib in en uit de gisting. De uitkomsten zijn vergeleken met een periode voor de inbedrijfname van de Open-CEL installatie.

Tijdens het onderzoek is niet de volledige stroom aan primair- en surplusslib behandeld. Bij de start bedroeg dit percentage 43% en nam toe naar 63% van de slib hoeveelheid. Tijdens de proefperiode steeg de gemiddelde biogasproductie met 40% ten opzichte van de periode voor toepassing met FP (OpenCEL). Op basis van deze meting is een schatting gemaakt dat bij het behandelen van 95% van de hoeveelheid slib de biogasproductie met 60% stijgt en de afvoer van uitgestig slib in dezelfde orde van grootte zal dalen. Een goede onderbouwing van deze cijfers ontbreekt. In een andere publicatie [2] over deze locatie wordt gerapporteerd dat 52,7%

van de totale slibproductie (dat is primair- en surplusslib) is behandeld met FP en zou een toename van 31,9% van de gasproductie opleveren en 16,8% reductie van af te voeren slib hoeveelheid. De gepresenteerde gegevens geven hiermee aanleiding tot twijfel over de behaalde resultaten en het effect van FP.

Uit de publicaties over het onderzoek met FP wordt geen directe inzage gegeven of met berekeningen aangetoond in welke mate de afbraak van organische stof verbetert als gevolg van het openbreken van de actief slib cellen. Met de summieri gegevens en op basis van een aantal (algemene) aannames over het gistingsproces kan toch een indicatie worden verkregen (Tabel 4.6). De gegevens ontleent aan publicaties over het Mesa onderzoek [1] zijn onderstreept.

TABEL 4.6

BEREKENING BIOGASPRODUCTIE EN AFBRAAK DROGE STOF IN GISTING

Parameter	Waarde		Eenheid
Slibproductie onvergist totaal	<u>19</u>		ton DS/d
Primairslib	<u>9,5</u>		ton DS/d
Organische stof primair	<u>7,6</u>		ton ODS/d
Surplusslib	<u>9,5</u>		ton ODS/d
Organische stof surplusslib	<u>6,7</u>		ton ODS/d
FP (OpenCEL)	Zonder	Met	
Afbraak primair	60%	60%	
Afbraak primair	4,6	4,6	ton ODS/d
Afbraak surplusslib	33%	96%	
Afbraak surplusslib	2,2	6,4	ton ODS/d
Afbraak slib totaal	6,8	10,9	ton ODS/d
Gasproductie, berekend	6.128	9.625	m ³ biogas/d
Gasproductie, opgegeven	<u>6.100</u>	<u>9.760</u>	m ³ biogas/d
Stijging gasproductie		57%	
Uitgegist slib	<u>12,2</u>	<u>8,1</u>	ton DS/d
Daling		-34%	
Slib afbraak	47%	77%	ODS
Slib afbraak	36%	58%	DS
Stijging		62%	

Uit Tabel 4.6 blijkt dat de afbraak van de organische fractie in het surplusslib bijna volledig (96%) dient te zijn om de gemeten stijging in biogasproductie en slibproductie afname te bewerkstelligen die in de artikelen worden opgegeven. Deze waarden zijn onmogelijk en derhalve kunnen de gepubliceerde resultaten over FP niet juist zijn. De gepubliceerde gegevens zijn dus te summier om conclusies aan te verbinden. Bijzonder is verder dat de marktverkenning met het rekenmodel uitkomt op 55% afbraak van OS in surplusslib. Ter vergelijking: ook Cambi rekent gemiddeld met een afbraak aan organische stof in surplusslib van 55%.

ENERGIE

De energie input voor de Mesa installatie ligt gemiddeld op zo'n 16 kWh/m³ en dat is hoger dan de drempelwaarde van 10 kWh/m³ die uit onderzoek naar voren kwam. Dit komt neer op 0,32 kWh/kg DS, maar heeft betrekking op het primair- en surplusslib mengsel. Daar het effect van FP op primair slib minimaal is, betekent dit dat de energie input alleen betrokken op het droge stof aandeel van het surplusslib uit komt op 0,64 kWh/kg DS. Ter vergelijking: voor een TDH batchproces ligt dit tussen de 0,5 en 0,6 kWh/kg droge stof.

Aanvullend wordt gesteld dat 90% van de verbruikte energie wordt teruggewonnen in de vorm van het opwarmen van het slib. Er is een temperatuur toename gemeten van 11 °C en dat zou dus een aanzienlijke besparing betekenen op de energie die nodig is om slib op te warmen in de gisting. Het hangt van de afstand tussen de FP unit en de gisting af of dit voordeel maximaal kan worden benut. Maximaal zou dit 44% aan energie voor opwarming van slib kunnen besparen er van uitgaande dat het slib in de winter circa 10 °C bedraagt (aannahme) en moet worden opgewarmd naar 35 °C.

De energiebalans komt er dan als volgt uit te zien (Tabel 4.7). Hierbij wordt opgemerkt dat gas wordt ingekocht voor het opwarmen van slib en met de opwarming door de FP behandeling daarop kan worden bespaard en dus kan worden gerekend als een energie opbrengst.

TABEL 4.7 ENERGIEBALANS OPENCEL IN MESA (OP BASIS VAN GEGEVENS IN TABEL 4.6 [3])

Parameter	Waarde		Eenheid
	Zonder	Met	
OpenCEL			
Elektra uit biogas	14,5	22,8	MWh/d
Energie opwarming slib		5,4	MWh/d
Energieverbruik OpenCEL		6,1	MWh/d
Energieopbrengst	14,5	22,0	MWh/d
Energieopbrengst	5.288	8.045	MWh/jaar

KOSTEN

Voor de installatie op Mesa is op basis van de onderzoeksresultaten een economische haalbaarheid berekend [1] en die komt uit op een jaarlijks voordeel van \$ 540.000,- ofwel € 491.500,- (koers van 1 april 2015 1 USD is € 0,93). En dat is een besparing van € 137,- per ton droge stof aan behandeld (uitgaande van 100%) surplusslib. In deze berekening zijn de besparingen voor het verbruik voor poly-elektrolyet (PE) voor ontwatering en investeringen niet meegenomen.

TABEL 4.8 POTENTIEEL ECONOMISCHE VOORDEEL INZET OPENCEL OP RWZI MESA

Kostenpost	Zonder FP	Met FP	Verschil	Eenheidsprijs	Jaarlijks voordeel
Biogas (m ³ /d)	6.000	9.500	3.500	€ 0,27	€ 339.000
Slibeindverwerking (ton DS/d)	12,3	7,4	4,9	€ 256	€ 458.000
Elektriciteit				€ 837	€ -305.500
Totaal					€ 491.500

De 'opbrengst' van het behandelen van surplusslib met FP komt dan uit op € 0,03/m³ behandeld afvalwater. Hetgeen hoger is dan de marktverkenning van OpenCEL van € 0,01/m³. Voor een onderbouwing van deze cijfers in de praktijk is geen bewijs gevonden.

4.2.2 RACINE WASTEWATER UTILITY

RWZI

In december 2012 is een OpenCEL installatie in Racine, Wisconsin in bedrijf genomen. De RWZI, in beheer bij de City of Racine, behandelt gemiddeld 74.000 m³ afvalwater/d (circa 210.000 i.e.) en de waterlijn bestaat uit grof vuilverwijdering, voorbezinktanks, actief slibstelsysteem (propstroomsysteem) en nabezinktanks. De fosfor wordt chemisch verwijderd met het doseren van ijzerchloride op de voorbezinktanks. Er vindt desinfectie van het effluent plaats met natriumhypochloriet.

FIGUUR 4.2

OVERZICHT RACINE WASTEWATER UTILITY (MET KARAKTERISTIEKE BOLVORMIGE GASHOUDER) AAN LAKE MICHIGAN [11]



De primairslib productie bedraagt gemiddeld $200 \text{ m}^3/\text{d}$ en de ingedikt surplusslib productie gemiddeld $103 \text{ m}^3/\text{d}$ met 5% droge stof. De specifieke slibproductie komt uit op $0,74 \text{ kg DS/kg BZV}$ verwijderd bij een slibbelasting van $0,07 \text{ kg BZV/kg DS}$. Het surplusslib wordt ingedikt met bandindikers en PE. Het hoge aandeel primairslib wordt verklaard door de pre-precipitatie van fosfaat met ijzer. Op basis van de opgegeven slibproductie is de verhouding primair/surplusslib gemiddeld 66%/33%. Het organische stof gehalte van het surplusslib bedraagt gemiddeld 78% en is vergelijkbaar met de Nederlandse situatie. De OpenCEL installatie heeft een capaciteit om 100% van de surplusslib productie te kunnen behandelen (Figuur 4.3). Daarna wordt het gemengd met primairslib uit de voorbezinktanks en wordt het mengsel vergist bij een temperatuur van 35°C en vervolgens ontwaterd met zeefbandpersen tot circa 23% droge stof en afgezet in de landbouw. In 2013, met FP voorbehandeling, bedroeg de droge stof afbraak in de gisting gemiddeld 42%.

FIGUUR 4.3

OPSTELLING OPENCEL OP RACINE WWU



WERKING OPENCEL

In de jaarverslagen [11, 12, 13] wordt niet specifiek ingegaan op de werking van de OpenCEL en de resultaten die er mee zijn behaald. Als wordt gekeken naar het rendement voor droge stof afbraak dan is deze niet gestegen. De afgelopen 3 jaar liggen deze waarden in dezelfde orde van grootte. Als nader wordt ingezoomd op de primair- en surplusslib producties dan valt op dat die voor primairslib is gedaald en voor surplusslib gestegen als 2013 wordt vergeleken met 2011 (Tabel 4.10). Met de gegevens die bekend zijn uit de jaarverslagen kan worden berekend wat de specifieke gasproductie is geweest over de periode 2011 – 2013 (Tabel 4.9).

TABEL 4.9

SPECIFIEKE GASPRODUCTIE RACINE WWU

Parameter	Jaar			Eenheid
	2011	2012	2013	
Totaal aan droge stof naar gisting	13.802	14.598	13.821	kg DS/d
Totaal aan organische stof naar gisting	10.380	10.116	10.004	kg ODS/d
Afgebroken aan organische stof	5.862	5.902	6.103	kg ODS/d
Gasproductie	5.208	5.474	5.796	m ³ /d
Specifieke gasproductie	888	927	950	l/kg ODS afgebroken

Uit Tabel 4.9 blijkt dat de specifieke gasproductie iets is gestegen en dat is een indicatie dat meer organische stof beschikbaar is voor anaerobe afbraak. Het is aannemelijk dat de specifieke gasproductie voor het primair slib niet zal wijzigen en zou de stijging toe te wijzen zijn aan meer afbraak van de organische fractie in het surplusslib. Op basis van de hypothese dat de afbraak van primair slib niet gewijzigd is, kan worden berekend in hoeverre de gasproductie en afbraak van surplusslib is toegenomen. Hierbij is de aanname dat de specifieke gasproductie voor primair slib 1.080 l/kg afgebroken organische stof bedraagt [14] en het rendement voor de afbraak van organische stof 60% is.

TABEL 4.10

BEREKENDE AFBRAAK EN BIOGASPRODUCTIE GISTING RACINE WWU

Parameter	Jaar			Eenheid
	2011	2012	2013	
Primairslib, droge stof	9.623	10.294	8.627	kg DS/d
Primairslib, organische stof	7.121	7.103	5.953	kg ODS/d
Surplusslib, droge stof	4.179	4.304	5.194	kg DS/d
Surplusslib, organische stof	3.260	3.013	4.051	kg ODS/d
Uitgegist ontwaterd	2.885	2.822	2.802	kg ODS/d
Afbraak gisting	42,6%	43,3%	42,3%	
Gasproductie	5.208	5.474	5.796	m ³ /d
Stijging		5%	6%	
Berekende gasproductie uit surplusslib				
Gasproductie aandeel primair	4.272	4.262	3.572	m ³ /d
Gasproductie aandeel surplusslib	936	1.212	2.224	m ³ /d
Stijging		30%	84%	
Afbraak surplusslib organische stof	936	1.212	2.224	kg ODS afgebroken/d
Afbraak surplusslib organische stof	29%	40%	55%	
Stijging		40%	37%	

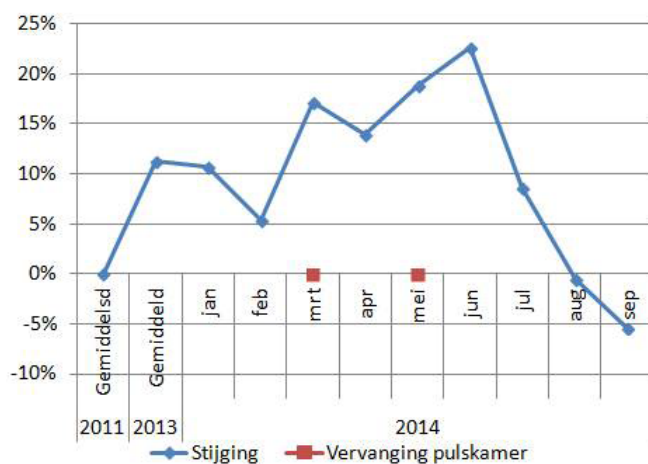
Als sec gekeken wordt naar de toename in de gasproductie of de afbraak van droge stof in de gisting dan is daarin geen overduidelijk toename te constateren. Dat komt neer op zo'n 6% tussen 2012 en 2013 en ligt binnen de normale variatie die ook zonder het toepassen van een voorbehandeling wordt gemeten.

Als de specifieke gasproductie en vervolgens de afbraak aan organische stof voor surplusslib wordt berekend is het beeld anders. De gasproductie voor surplusslib is gestegen. Hierbij wordt direct opgemerkt dat dit niet volledig kan worden toegeschreven aan het effect van de behandeling met FP (OpenCEL), de surplusslibproductie is ook gestegen. De afbraak aan organische stof is in 2013 ten opzichte van 2012 gestegen met 37% en komt uit op 55% tegen 29% in 2011.

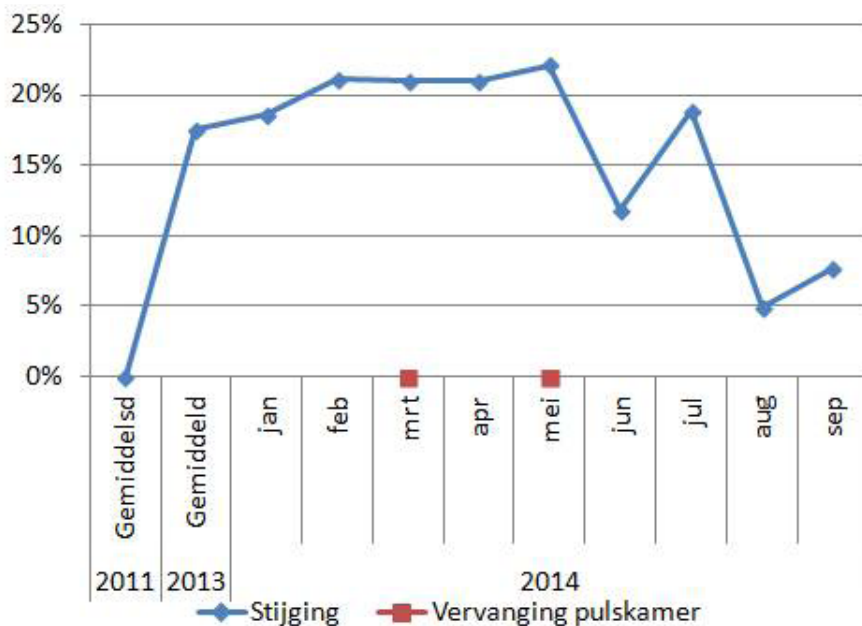
Voorgaande uitkomsten zijn op basis van jaargemiddelden, maar de vraag die daarbij rijst is hoe de prestatie er over een jaar uit ziet. In hoeverre is er sprake van een consistent functioneren. Van het jaar 2014 zijn de maandgegevens bekend [15] en dat geeft het volgende beeld wat de biogasproductie betreft.

FIGUUR 4.4

BIOGASPRODUCTIE IN 2014, GEMIDDELD OVER 2013 EN 2011 ALS REFERENTIE JAAR



FIGUUR 4.5 STIJGING AFBRAAK ORGANISCHE STOF TOTAAL IN 2014, GEMIDDELD OVER 2013 EN 2011 ALS REFERENTIE JAAR



In documentatie [15] over het functioneren van de FP installatie is opgenomen dat men uitgaat van een specifieke biogasopbrengst van 1.000 l/kg organische stof afgebroken. Als op basis van deze waarde het rekenvoorbeeld zoals uitgevoerd voor Tabel 4.10 wordt herhaald met de jaargemiddelden voor 2011, 2013 en de maanden januari tot en met september van 2014, wordt een indruk verkregen van de afbraak van surplusslib. Er van uitgaande dat de biogasproductie uit primairslib 'stabiel' is, kan de specifieke biogasopbrengst worden berekend. De afbraak van organische stof uit surplusslib kan dan worden berekend door de biogasproductie uit primairslib af te trekken van het totaal en vervolgens te delen door de specifieke biogasproductie. Dit geeft het volgende overzicht (Tabel 4.11).

TABEL 4.11 BEREKENDE AFBRAAK EN BIOGASPRODUCTIE GISTING RACINE WWU IN 2011, 2013 EN 2014 [15]

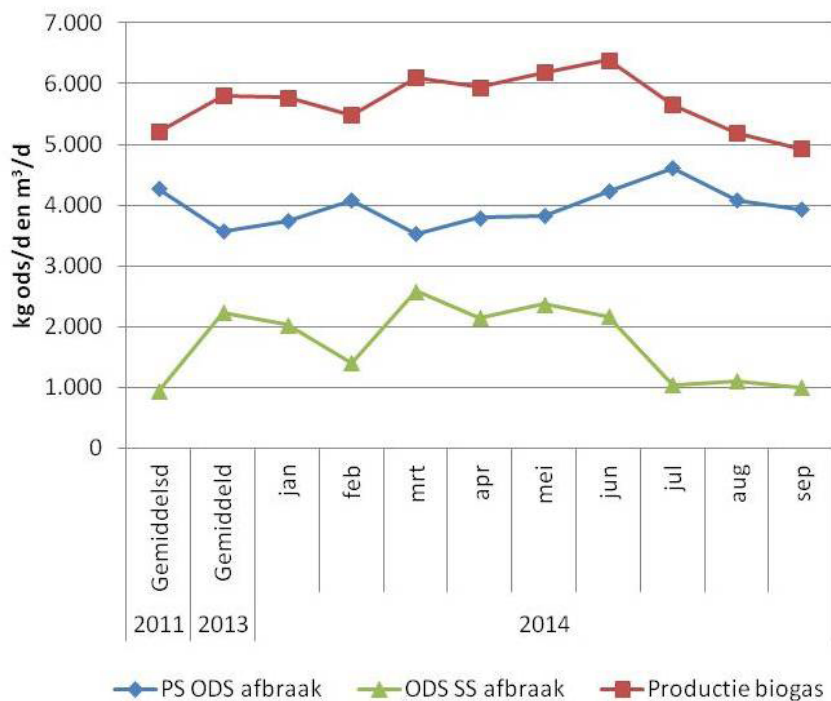
Parameter			2011	2013	2014								
			Gem.	Gem.	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep
Primair	ODS	kg/d	7.121	5.953	6.231	6.797	5.868	6.320	6.362	7.039	7.677	6.803	6.544
	afbraak		60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	ODS afbraak	kg/d	4.272	3.572	3.739	4.078	3.521	3.792	3.817	4.223	4.606	4.082	3.926
	Biogas PS	m³/d	4.272	3.572	3.739	4.078	3.521	3.792	3.817	4.223	4.606	4.082	3.926
Totaal	Biogas	m³/d	5.208	5.796	5.768	5.488	6.104	5.936	6.188	6.384	5.656	5.180	4.928
Surplus	Biogas SS	m³/d	936	2.224	2.029	1.410	2.583	2.144	2.371	2.161	1.050	1.098	1.002
	ODS afbraak	kg/d	936	2.224	2.029	1.410	2.583	2.144	2.371	2.161	1.050	1.098	1.002
	Afbraak		29%	55%	57%	44%	65%	57%	55%	57%	28%	37%	30%

De op deze wijze berekende afbraak van organische stof in surplusslib laat een stijging zien ten opzichte van het referentie jaar 2011. Op basis van deze berekening een stijging van gemiddeld 94% in de periode januari t/m juni. In bijlage 1 zijn de slibstromen naar de gisting en zeefbandpersen weer gegeven. Daaruit blijkt dat in de periode januari t/m juni in 2014 de organische stof (totaal van primair- en surplusslib) afbraak met 19% is gestegen. Daar FP geen effect heeft op primairslib is deze stijging afkomstig van het surplusslib. Van de totale slibstroom is 34% surplusslib en dat zou betekenen dat de ODS afbraak van het surplusslib met 57% is gestegen.

Opvallend is dat de afbraak scherp terugvalt vanaf juli 2014 naar waarden die overeenkomen met 2011. Op verzoek van de beheerder van Racine is de behandelkamer niet vervangen. Dat vindt meestal plaats na behandeling van ongeveer 3.600 m³ slib en dat is na ruim een maand behandelen van het surplusslib. Met het niet vervangen van de behandelkamer wilde men meer inzicht krijgen op de levensduur en effectiviteit. In Figuur 4.6 is te zien dat in juli de biogasproductie scherp daalt, ruim een maand na de laatste vervanging van de behandelkamer op 24 mei 2014. Dit geeft aan dat de behandelkamer niet meer effectief is. Op 24 oktober is de behandelkamer weer vervangen.

In de periode met nog een goed functionerende behandelkamer varieerde de organische stof afbraak van 44% tot 65% en dat is vergelijkbaar met waarden voor TDH installaties. De volgende grafiek (Figuur 4.6) laat zien dat de totale biogasproductie meer lijkt te worden bepaald door de afbraak van surplusslib dan van primairslib. In juli stijgt de afbraak van primairslib, maar daalt scherp voor surplusslib en daalt ook de totale biogasproductie.

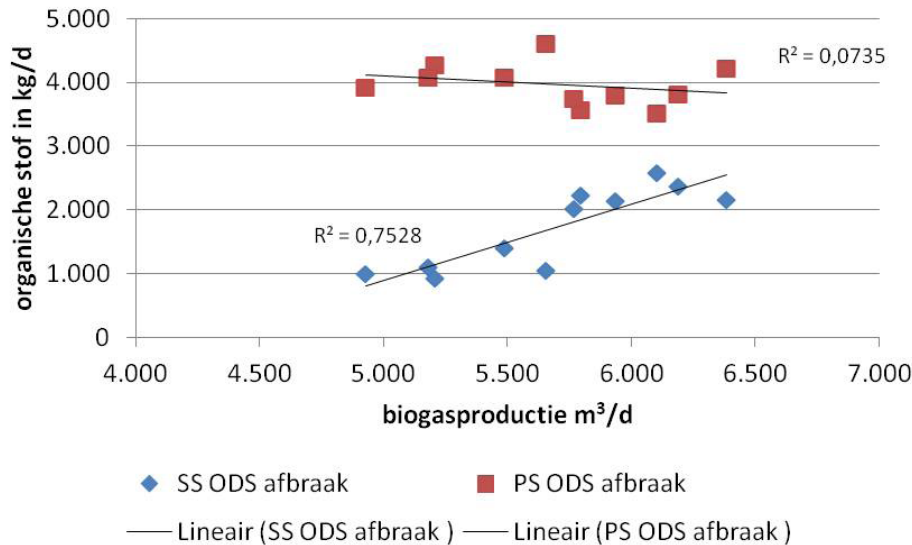
FIGUUR 4.6 AFBRAAK (BEREKEND) VAN ORGANISCH STOF EN BIOGASPRODUCTIE (IN KG EN M³/D)



In Figuur 4.7 is deze relatie nog duidelijker te zien.

FIGUUR 4.7

BIOGASPRODUCTIE IN RELATIE TOT DE BEREKENDE ORGANISCHE STOF AFBRAAK IN PRIMAIR- EN SECUNDAIRSLIB



Uit het voorgaande blijkt dat het niet eenvoudig is om uit de bedrijfsgegevens van de RWZI Racine vast te stellen of de behandeling van surplusslib met OpenCEL effect heeft. Daarbij speelt met name mee dat het aandeel surplusslib op de totale slibstroom naar de gisting 33% is, waardoor de veranderingen in bijvoorbeeld biogasproductie minder snel duidelijk worden. Alleen op theoretisch gronden valt hierover een indruk te krijgen. Op grond van de verkregen informatie is dus niet vast te stellen of het gewenste effect bereikt is.

Als het berekende afbraak rendement voor ODS wordt beschouwd dan lag die voor 2013 op gemiddeld 55% en voor de periode januari tot en met juni in 2014 op gemiddeld 56%. Dat ligt onder de claim van OpenCEL van 70% tot 80%. Opvallend is wel dat dit overeenkomt met wat wordt aangenomen voor TDH installaties. Een waarde van 29% afbraak van ODS voor 2011 in Racine is ook voor Nederlandse begrippen een normale waarde.

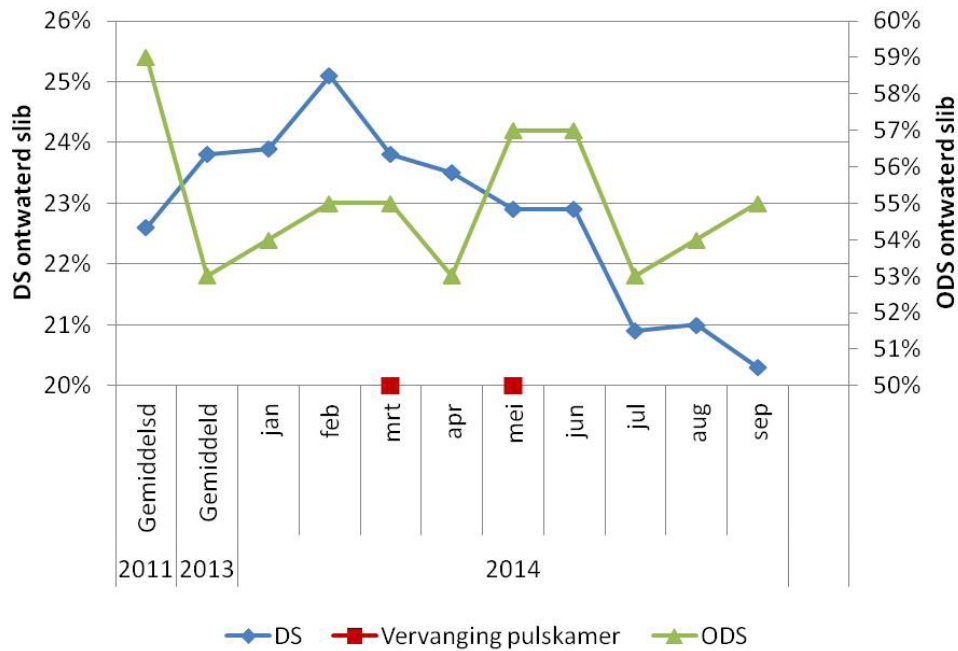
De biogasproductie uit het surplusslib ligt in de periode januari tot en met juni van 2014 gemiddeld 126% hoger in vergelijking met het referentiejaar. OpenCEL claimt hier een toename van 150% tot 200%. Nogmaals wordt hierbij opgemerkt dat de hoeveelheid surplusslib ook is gestegen en de stijging van de biogasproductie niet volledig voor rekening komt van FP.

SLIBONTWATERING

In Figuur 4.8 is het droge stofgehalte van het ontwaterd slib weergegeven. Het gemiddelde over 2011 bedroeg 22,6% en lag in begin 2014 wat hoger om vervolgens te dalen naar waarden die een weinig hoger liggen dan voor 2011. Vanaf juli daalt het droge stofgehalte verder en dat valt samen met de eerder geconstateerde daling in de afbraak van organische stof. Duidelijk is dat FP geen significante verbetering in de ontwatering van het uitgegiste slib zal bewerkstelligen zoals dat wel door leveranciers van TDH installaties wordt geclaimd.

FIGUUR 4.8

DROGE STOFGEHALTE ONTWATERD SLIB



Wat opvalt, is dat het droge stofgehalte van het ontwaterde slib scherp daalt in juli en samenvalt met een daling van de biogasproductie (Figuur 4.4). Eerder is al vastgesteld dat de behandelkamer niet langer effectief is, met een levensduur van gemiddeld één maand en laatste vervanging in mei 2014, en dat dat dus ook zijn weerslag heeft op de ontwaterbaarheid. Het lijkt er dus op dat OpenCEL de ontwaterbaarheid van het behandelde slib met 1 - 2 procentpunt verbetert.

Het ontwaterde slib wordt gebruikt voor bemesting in de landbouw op jaarlijks zo'n 40 hectare en dat is 56 kg DS/m² per jaar.

KOSTEN

De kosten in 2012 bedroegen voor de W/E installatie USD 1,5 miljoen (1,4 miljoen euro) met voor civiele werkzaamheden zo'n USD 0,5 miljoen (0,47 miljoen euro).

Het toepassen van FP zou voor de RWZI Racine een aantal besparingen of opbrengsten kunnen opleveren:

- Meer biogasproductie en dus energieproductie.
- Minder slibafvoer.
- Minder verbruik van poly-elektrolyet (PE) op de zeefbandpersen.
- Terugwinning van warmte vanuit de WKK door meer biogas verstoken voor slibverwarming

Daar staan de kosten voor het gebruik van FP tegenover voor elektriciteitsverbruik, onderhoud, personeel en verbruiksgoederen zoals vervanging van de behandelkamer.

In onderstaand overzicht is het kostenplaatje voor 2014 weergegeven waarbij is uitgegaan van een wisselkoers van 1 USD is € 0,93 (1 april 2015). Hierin zijn niet de kosten voor de vervanging van de behandelkamer meegenomen, omdat die nog voor rekening van de leverancier zijn.

TABEL 4.12 BESPARINGEN BIJ GEBRUIK VAN OPENCEL PER JAAR OP RWZI RACINE OPGEGEVEN DOOR BEHEERDER[15]

Parameter	2011	2014	Besparing/Kosten
Biogasproductie (opbrengst)	€ 265.541	€ 309.679	€ 44.138
Slibafvoer	€ 456.511	€ 439.168	€ 17.343
PE verbruik	€ 14.062	€ 14.129	€ -67
Minder bedrijfsuren zeefbandpersen	€ 63.400	€ 60.889	€ 2.511
Warmte terugwinning	€ -	€ 6.886	€ 6.886
Energie OpenCEL	€ -	€ -37.297	€ -37.297
Verbruiksgoederen OpenCEL	P.M.	P.M.	
Netto			€ 33.513
Prognose leverancier			€ 214.830

Voor FP (OpenCEL) was als target uitgegaan van een besparing van € 214.830,- per jaar, maar uit Tabel 4.12 blijkt dat dit bedrag daar ver onder ligt (16%).

Belangrijkste kostenpost is de vervanging van de behandelkamer. Op de rwzi Racine is een gemiddelde levensduur van 1 miljoen gallon ofwel 3.600 m³ aangehouden op advies van de leverancier. Dat komt bij een debiet aan surplusslib van 103 m³/d neer op 35 dagen. Het vervangen van de behandelkamer kost (richtprijs OpenCEL) zo'n € 20.000,- en dat betekent zo'n € 200.000,- per jaar. De verwachting is uitgesproken om te komen tot een revisie van de behandelkamer met als richtprijs € 3.000,-. De beheerder van Racine heeft speciale afspraken met OpenCEL ten aanzien van aanschaf en onderhoud aan de installatie (vandaar dat deze ook niet in Tabel 4.12 zijn opgenomen) en is terughoudend met het verstrekken van informatie hierover zodat van deze praktijkinstallatie de exacte kosten voor behandelkamer vervanging niet bekend zijn. Maar als de werkelijke kosten worden meegenomen is de uitkomst van de business case negatief.

De leverancier (Pure Pulse) van PEF installaties voor levensmiddelen geeft een levensduur aan van 6 maanden. Zij hebben dit bereikt door het toepassen van speciale legeringen in de behandelkamer en die ook weer af te stemmen op het te behandelen medium. Als eenzelfde aanpassingen mogelijk zou blijken voor FP komt de business case er positiever uit te zien. Hoewel in de huidige situatie de kosten voor vervanging nog gedragen worden door de leverancier.

Het specifieke onderhoud aan de installatie wordt uitgevoerd door OpenCEL. De versnijdende pomp is betrouwbaar gebleken waaraan om de 6 – 9 maanden onderhoud wordt gepleegd. De koeler heeft een aantal maal problemen opgeleverd en is vervangen door OpenCEL. De koeler is van belang voor de warmte die wordt geproduceerd in het elektrische gedeelte van de installatie.

VEILIGHEID, GEZONDHEID EN MILIEU ASPECTEN

De installatie produceert een hoge piepende toon die gehoorbescherming vereist als in de omgeving ervan wordt gewerkt. Er is niets bekend over een eventueel effect op pacemakers of ander soortgelijke medische apparaten.

5

NEDERLANDSE SITUATIE

In Nederland is één thermische druk hydrolyse operationeel en deze staat op de rwzi Venlo en is van het type TurboTec. Verder zijn op een aantal andere rwzi's projecten in voorbereiding voor toepassen van thermische druk hydrolyse. Het belangrijkste verschil met de FP technologie is dat deze gebruikt maakt van elektrische energie en TDH van (rest)warmte. Dat maakt dat in geval van een rwzi of centrale slibverwerking, waarbij het slib wordt vergist en een WKK installatie aanwezig is, een TDH voordeel heeft door de aanwezigheid van restwarmte. De vraag doet zich dan ook voor onder welke omstandigheden de FP technologie interessant is. Het lijkt immers niet interessant om met de extra biogasopbrengst elektriciteit te produceren. Hierbij komt dan ook restwarmte vrij die voor een groot deel niet benut wordt. Wellicht is het interessanter om dan de extra biogas die wordt geproduceerd op te werken naar aardgaskwaliteit en die af te zetten of te leveren aan het net.

Van de 348 RWZI's in Nederland zijn er 52 groter dan 150.000 i.e. waarvan circa 29 met een gistinginstallatie.

5.1 VERGELIJKING MET NEDERLANDS ONDERZOEK NAAR THERMISCHE DRUK HYDROLYSE

Aan de hand van de proef- en praktijk installaties in de USA is een indruk verkregen van de mate van organische stof afbraak die wordt gerealiseerd met de technologie. Bij slibmengsels van 66% primair en 33% surplus slib wordt een toename van de OS verwijdering gevonden. Voor het onbehandelde slib vindt een OS verwijdering plaats in de vergister van 30 – 35%, bij toepassing van de voorbehandeling wordt een verwijdering tot 60% berekend op basis van gerapporteerde gegevens. Deze resultaten (hoewel omgeven met twijfel) zijn enigszins vergelijkbaar met de resultaten zoals beschreven in het STOWA rapport Thermische slibontsluiting [22] over de proeven met CAMBI op rwzi Hengelo. Daarin komt naar voren dat de ODS-verwijdering 32% bedroeg van een onbehandeld mengsel van 20%/80% (primair/surplus). Daarbij is een verbetering met 40% (voor het mengsel) gemeten door de behandeling van surpluslib met TDH: ODS-verwijdering 45%. Uit berekeningen volgt dat de ODS-verwijdering van het surpluslib gestegen is van 27% naar 44%, een stijging van 63%. Dit komt overeen met opgaven van Cambi die uitgaat van een stijging van circa 65%.

5.2 UITGANGSPUNTEN

Voor de business case wordt uitgegaan van een thermische druk hydrolyse waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen een continu proces (zoals Turbotec van Sustec) en een batch proces (zoals Cambi). In Tabel 5.1, Tabel 5.2 en Tabel 5.3 zijn de uitgangspunten voor het doorrekenen van de business case opgegeven. De gehanteerde uitgangspunten zijn dezelfde als in het STOWA rapport naar de kansen van een innovatief concept voor slibverwerking: de Pasturi Destructie. Hierin wordt de business case van Pasturi Destructie ook vergeleken met TDH.

TABEL 5.1 SLIBPRODUCTIE

Parameter	Waarde	Eenheid
<i>Primair slib</i>		
Gemiddelde productie	6.600	kg DS/d
Gemiddeld debiet	165	m ³ /d
DS %	4%	
Organisch stofgehalte	75%	
<i>Surpluslib</i>		
Gemiddelde productie	6.600	kg DS/d
Gemiddeld debiet	165	m ³ /d
DS %	4%	
Organisch stofgehalte	70%	

Deze slibproductie past bij een RWZI met een grootte van rond de 200.000 i.e.

TABEL 5.2 UITGANGSPUNTEN BUSINESS CASE VOOR FP EN TDH

Parameter	Zonder behandeling	FP	TDH	Eenheid
DS % ingaand		5%	13%	
PE dosering voorindikking			10,2	kg PE actief/kg DS
Energieverbruik TDH + voorindikking			45	kWh/ton DS
Stoomverbruik			150	kg/ ton slib
Stoomverbruik			700	kg/ton DS
Stoomproductie			0,75	kW/kg stoom
Gisting				
DS % naar gisting	4%	5%	9%	
Organische stof primair slib	75%	75%	75%	
Organische stof primair slib	1,8	1,8	1,8	kg CZV/kg ODS
Afbraak primair slib	60%	60%	60%	
Organische stof surpluslib	70%	70%	70%	
Organische stof surpluslib	1,42	1,42	1,42	kg CZV/kg ODS
Afbraak surpluslib	33,8%	53%	53%	
Relatieve toename afbraak		57%	57%	t.o.v. zonder
Gasproductie	0,35	0,35	0,35	m ³ CH ₄ /kg CZV verw.
Gasproductie	65%	65%	65%	CH ₄ in biogas
Gasproductie	900	900	900	l/kg ODS afgebroken
Gasproductie, theoretisch max.	1.080	1.080	1.080	l/kg ODS afgebroken
Opbrengst WKK	40%	40%	40%	Elektriciteit
Opbrengst WKK	15%	15%	15%	Thermische energie hoog
Opbrengst WKK	25%	25%	25%	Thermische energie laag
<i>Slibontwatering</i>				
DS %	23%	24%	29%	
PE verbruik zeefbandpers	8,5	10,2	10,2	g actief/kg DS
Energieverbruik zeefbandpers	50	50	50	kWh/ton DS
<i>Realisatie kosten globaal</i>				
Bouwkosten		200.000	120.000,-	EUR/ton DS.d
Bouwkosten voorindikking			31.000,-	EUR/ton DS.d

In Tabel 4.11 is de afbraak van organische stof in surplusslib theoretisch bepaald en komt de stijging uit op gemiddeld 94%, maar dit is een te positieve schatting van de prestatie, een irreële waarde. Voor FP is derhalve een stijging van de afbraak van organische stof in surplusslib van 57% aangehouden. Dit is gebaseerd op gegevens (zie ook bijlage 1) uit de evaluatie van de OpenCEL installatie op Racine [15] en is in feite een afgeleide waarde en niet onomstotelijk vastgesteld.

Voor TDH is uitgegaan van 50% ODS afbraak met nog een drie procentpunt extra afbraak als gevolg van een langere verblijftijd in de gisting door het hogere droge stofgehalte van het te vergisten slib.

TABEL 5.3

INANCIËLE UITGANGSPUNTEN

Parameter	Waarde	Eenheid
Opslagfactor montage	20%	
Elektriciteitskosten	0,125	EUR/kWh
Aardgasprijs	0,5	EUR/m ³
Polymeerkosten	4,72	EUR/kg actief PE
Kosten slibeindverwerking	80	EUR/ton ontwaterd slib
Onderhoudskosten W	5%	van bouwkosten
Onderhoudskosten E	2,5%	van bouwkosten
Onderhoudskosten C	0,5%	van bouwkosten
Onderhoudskosten WKK	1,96	EUR/draaiuur
Personeel	60.000	EUR/fte
Reële rente	2,75%	
Afschrijving C	40	jaar
Annuïteit	0,0415	
Afschrijving W	15	jaar
Annuïteit	0,0823	
Afschrijving E	15	jaar
Annuïteit	0,0823	
Staartkosten (incl. BTW en 10% onvoorzien)	1,62	

5.3 BUSINESS CASE FOCUSED PULSE MET THERMISCHE DRUK HYDROLYSE

In Tabel 5.4 zijn de uitkomsten van de business case voor FP en TDH weergegeven.

TABEL 5.4 UITKOMST BUSINESS CASE FP EN TDH

Parameter	Zonder behandeling	FP	TDH	Eenheid
DS gisting in	4,0%	5%	9%	
Toevoer naar gisting	4.789	4.789	4.789	ton DS/j
Primairslib	2.395	2.395	2.395	ton DS/j
Surplusslib	2.395	2.395	2.395	ton DS/j
ODS afbraak surplusslib	33,8%	53,0%	53,0%	
Uitgegist slibproductie	3.430	2.822	2.822	ton DS/j
DS afbraak	34%	41%	41%	
Stijging DS afbraak		22%	22%	
Ontwaterd slib	23%	24%	29%	
Gasproductie	4.321	4.725	4.723	m ³ /d
Stijging gasproductie		20%	20%	
Biogas naar WKK		4.488	4.487	m ³ /d
Biogas voor bijstoken				m ³ /d
Investering totaal		€ 2.200.000	€ 1.949.000	
<i>Exploitatie</i>				
Kapitaalslasten E/W		€ 181.000	€ 158.000	per jaar
Kapitaalslasten C			€ 1.000	per jaar
Energieverbruik destructie		€ 61.000	€ 14.000	per jaar
Voorontwatering			€ 25.000	per jaar
Onderhoud		€ 285.000	€ 50.000	per jaar
Bediening		€ 6.000	€ 30.000	per jaar
Totaal		€ 535.000	€ 278.000	per jaar
<i>Opbrengsten</i>				
Extra elektriciteitsopbrengst		€ 63.000	€ 65.100	per jaar
Besparing slibeindverwerking		€ 166.000	€ 303.500	per jaar
Totaal		€ 229.000	€ 368.600	per jaar
Saldo		€ -122.974	€ 249.600	per jaar
Terugverdientijd		Negatief	7,8	

De totale investeringen voor FP of TDH liggen in dezelfde orde van grootte.

De opbrengst voor extra elektriciteitsproductie is het verschil tussen het verstoken van bio-gas in een WKK zonder en met voorbehandeling van surplusslib. Als daar het elektriciteits-verbruik van de behandeling op in mindering wordt gebracht is het netto resultaat voor FP € 2.000,- en voor TDH € 51.000,-.

Voor de TDH speelt mee dat het voorontwateren van het slib kosten met zich meebrengt, maar voor de FP geldt dat de vervanging van de behandelkamer een forse kostenpost is samen met het reguliere onderhoud: naar schatting € 285.000,-. Opgebouwd uit 14 maal een vervan-ging van de behandelkamer (€ 20.000,- per keer en na 3.600 m³) en onderhoud aan de overige mechanische en elektrische onderdelen. Een groot verschil ten voordele van de TDH zijn de kosten voor de slibeindverwerking. Doordat TDH slib met een hogere droge stof concentratie kan worden afgevoerd, komt dit bedrag fors lager uit dan met FP. De besparingen op de slib-ontwatering zijn gering en dat heeft er mee te maken dat het verbruik van polymeer stijgt na

het voorbehandelen van surplusslib. Voor FP blijkt dit uit het financieel overzicht over de evaluatie van de installatie op Racine [15], voor TDH is dit vast gesteld aan de hand van praktijk-cases. Voor beide destructiemethodes is hiervoor een schatting gemaakt: 8,5 g actief PE/kg DS onbehandeld en 10,2 voor behandeld slib.

De business case voor FP is negatief en de belangrijkste reden is het hoge bedrag voor onderhoud en dan met name de vervanging van de behandelkamer. Dat is in feite ook de post waar 'aan gesleuteld moet worden' om de business case positief te krijgen. Dat houdt in dat de kosten voor vervanging drastisch moeten dalen tot een bedrag onder de € 3.000,- per vervanging of de levensduur met bijna een factor 5 tot 6 verlengen. De vraag is of dit in de praktijk is te realiseren voor zuiveringsslib. Ter vergelijking; de levensduur van een behandelkamer in industriële PEF installaties ligt rond de zes maanden en dat is een factor zes langer dan voor de FP (OpenCEL) installatie. Op dit moment is onvoldoende inzicht in de constructie van beide behandelkamers om in te schatten of dit op termijn voor FP (OpenCEL) kan gaan lukken. Evenmin of de prijs voor een behandelkamer zal dalen.

Maar ook als de onderhoudskosten kunnen worden verlaagd, zal de FP ten opzichte van TDH in deze business case slechter scoren met een terugverdientijd van rond de 20 jaar.

Om zaken wat meer in perspectief te plaatsen is het vermeldenswaardig dat bij een verdubbeling van de primair- en surplusslib hoeveelheden de FP al beter scoort ten opzichte van de TDH. Dat heeft er mee te maken dat de investeringen (zonder staartkosten) voor FP met maar 25% toenemen voor het behandelen van 13,2 ton droge stof per dag en voor TDH bij benadering met een factor 2. Stel dat de onderhoudskosten lager worden voor FP dan worden de terugverdientijden mogelijk vergelijkbaar.

Een ander belangrijk financieel voordeel voor de TDH is het hoger droge stof percentage van het ontwaterde slib en daarmee lagere kosten voor slibeindverwerking dan voor FP.

6

CONCLUSIES

De Focused Puls technologie maakt gebruik van elektrische pulsen om de celwanden en -membranen van bacteriën te kraken met als doel tijdens vergisten meer biogas te produceren en een reductie in af te voeren hoeveelheid slib te realiseren. De technologie om celwanden en -membranen te openen met een elektrisch puls (elektroporatie) bestaat al enige tijd maar is vooral in de afgelopen tien jaar verder ontwikkeld voor zuiveringslib. Op de Mesa Northwest Water Reclamation Plant is een full scale installatie getest waarbij een mengsel primair- en surplusslib is behandeld voordat het wordt vergist. Hier is onderzoek uitgevoerd om te bepalen wat het effect is op afbraak van organische stof in het surplusslib en de biogasproductie. Het onderzoek naar deze aspecten is voornamelijk uitgevoerd op laboratoriumschaal. Door het behandelen van het mengsel is de specifieke organische stof afbraak van surplusslib moeilijk te bepalen. De gerapporteerde uitkomsten van dit onderzoek in literatuur laten dan ook geen eenduidig beeld zien. Sommige zijn zelfs onrealistisch en leiden tot twijfel over de betrouwbaarheid van de gerapporteerde gegevens. Hierdoor kon op basis van de geïnventariseerde data niet worden vastgesteld dat er sprake is van een significante hogere organische stof afbraak. In het beste geval is deze afbraak min of meer vergelijkbaar met TDH.

In december 2012 is op de Racine Wastewater Utility een FP installatie in bedrijf genomen die alleen het surplusslib behandelt en daarna met primairslib wordt gemengd voor vergisting. Van deze installatie zijn praktijkgegevens bekend uit jaarrapporten en een besprekingsverslag over de werking van de installatie. Als een vergelijking wordt gemaakt tussen 2012 (zonder) en 2013 (met FP) dan is de specifieke biogasproductie (uitgaande van de jaarrapporten) met 6% gestegen. Dit ligt binnen de normale variatie die ook zonder het toepassen van een voorbehandeling wordt gemeten. Het punt is dat de verhouding aan primair-/surplusslib 66%/33% is en veranderingen aan afbraak en biogasopbrengst in de surplusslib fractie binnen de normale variatie zullen vallen. Uit de beschikbare gegevens kan worden afgeleid dat bij een goed functionerende behandelkamer de organische afbraak zo'n 55% kan bedragen. In deze periode van 6 maanden is tweemaal de behandelkamer vervangen en dat komt er op neer dat na het behandelen van circa 3.600 m³ surplusslib geen effect meer optreedt en de afbraak terugvalt naar normale waarden van rond de 29%, hetgeen normaal is voor onbehandeld surplusslib. Hieruit blijkt dus de kwetsbaarheid van de behandelkamer voor de elektrische pulsen en de beperkte 'levensduur'. Met een geschatte vervangingswaarde van circa € 20.000,- per vervanging vormt dit een forse kostenpost in de exploitatie en komt de financiële haalbaarheid in het geding.

Uit de prestaties van de full scale installatie in Racine en de exploitatieoverzicht kan worden opgemaakt dat er geen positieve business case kan worden gerealiseerd. De gerealiseerde besparingen zijn minimaal, zelfs negatief als ook de kosten voor vervanging van de behandelkamer worden meegenomen. Dit rechtvaardigt niet het investeren in FP.

In de vergelijking tussen FP en TDH kan op economische gronden vastgesteld worden dat met de huidige prestaties van FP deze technologie (nog) niet kan wedijveren met TDH. Kritisch element voor de FP technologie is de prestatie van de behandelkamer en de frequente vervanging die noodzakelijk is. Dit leidt tot significant hoge jaarlijkse kosten. Er is zelfs sprake van een negatief resultaat waar het gaat om realiseren van een besparing in de verwerking van zuiveringslib om de investeringen mee terug te verdienen. In de business case moet de behandelkamer meer dan 12 maal per jaar vervangen worden. Om een positief resultaat te krijgen zal de levensduur met een factor 5 tot 6 moeten worden verlengd of de kosten per vervanging drastisch moeten dalen. Met de huidige kennis en ervaring van het systeem is dat uiterst twijfelachtig.

In paragraaf 3.4 is Tabel 3.1 opgenomen waarin door OpenCEL het verschil met thermisch druk hydrolyse is opgenomen. Ten aanzien van een aantal aspecten kunnen daar de volgende kanttekeningen bij worden geplaatst. Voor FP is een ODS verwijdering van 70 – 80% opgegeven tegenover 50 – 60% voor TDH. Op basis van praktijkgegevens is niet vast te stellen dat de 70 – 80% verwijdering van organische stof kan worden bereikt. Dat heeft er te mee te maken dat als surplusslib met primairslib wordt vergist het rendement afgeleid moet worden uit de totale slibstroom en dat is lastig. Zelfs op basis van berekeningen wordt geen rendement gevonden van 70 – 80%, het ligt dan eerder in de buurt van de waarden voor TDH 50 – 60%. Hetzelfde geldt voor de biogasproductie, deze is niet een factor 1,5 of 2 hoger. Wat overigens ook geldt voor een TDH. De stijging van biogasproductie zal in principe net zo groot zijn als de stijging aan ODS afbraak, dus ook niet meer dan 50 – 60%. Het droge stofgehalte van het ontwaterde slib zou met FP tot 2 procentpunt kunnen stijgen, waar dat voor TDH wel 5 – 10 procentpunt kan zijn. Op basis van de praktijk gegevens van de Racine Wastewater Utility blijkt dat het ontwaterde slib met behandeling van FP een droge stof gehalte bereikt van 23,7% waar deze gemiddeld in 2011 22,6% bedroeg. Dit is een stijging van één procentpunt en ligt binnen de opgegeven range.

De kapitaallasten werden in eerste instantie voor FP lager geschat dan voor een TDH installatie. Uit de business case (rond de 200.000 i.e.) blijkt dit niet en mogelijk pas geldt vanaf een bepaalde schaalgrootte. Om een terugverdientijd te realiseren die korter is dan met TDH, dienen vooral de kosten voor onderhoud aanzienlijk teruggebracht te worden. Daarnaast zal meer afbraak aan organische stof (dan nu aantoonbaar is) en dus meer biogasopbrengst bijdragen aan een betere business case en dus lagere terugverdientijden.

In feite is de leverancier nu aan zet om een haalbare business case te creëren door de behandelkamer dermate te verbeteren dat de kosten voor onderhoud dalen. Pas dan wordt het interessant om een vervolg te overwegen in de vorm van een test met een FP installatie. Hierbij gaat de voorkeur uit naar een proef op een RWZI waar het mogelijk is om alleen het behandelde surplusslib te vergisten, met twee parallelle straten. Op deze wijze kan het effect van onbehandeld en behandeld slib worden bepaald.

LITERATUUR

- 1 Rittman, B. E., Hyung-sool, L., Zhang, H., Alder, J., Banaszak, J. E., Lopez R., 2008, Full-scale application of focused-pulsed pre-treatment for improving biosolids digestion and conversion to methane, *Water Science & Technology* 58 .10 (2008), 1895 – 1901.
- 2 Banaszak, J.E., Burrowes, P., Lopez, R., Focused-pulsed treatment of waste water activated sludge: a year review, 5th Canadian Residuals and Biosolids Conference, Niagara Falls, Ontario.
- 3 OpenCEL, The Technology behind OpenCEL.
- 4 Lee, I., Rittman, B.E., Effect of low solids retention time and focused pulsed pre-treatment on anaerobic digestion of waste activated sludge, *Bioresource Technology* 102 (2011), 2542 – 2548.
- 5 Salerno, M.B., Lee, H., Parameswaran, P., Rittman, B.E., Using a pulsed electric field as a pretreatment for improved biosolids digestion and methanogenesis, [...] 831-839 (2009).
- 6 Sheng, J., Vannela, R., Rittman, B.E., Evaluation of cell-disruption effects of pulsed-electric-field treatment of *Synechocystis* PCC 6803, *Environmental Science & Technology* (2011).
- 7 Banaszak, J.E., Economic benefits of Enhanced anaerobic digestion: a survey, OpenCEL.
- 8 Hol, A., Luning L., Van Dijk, L., De Man A., Eerste full scale continue thermische druk hydrolyse van slib operationeel op rwzi Venlo: efficiënt en effectief, H₂O-online, 10 september 2014.
- 9 STOWA rapport. Handboek Slibgisting, STOWA 2011-16.
- 10 STOWA rapport. Slibdesintegratie, STOWA 2008-10.
- 11 Racine Water and Wastewater utilities, Annual report 2011.
- 12 Racine Water and Wastewater utilities, Annual report 2012.
- 13 Racine Water and Wastewater utilities, Annual report 2013.
- 14 Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Fourth Edition, 2003.
- 15 Walton, J., Memorandum OpenCEL Technology performance at Racine, September 2014.
- 16 Factsheet DIL Elcrack[®], Pulsed Electric Field Processing, German Institute of Food Technologies DIL.
- 17 Besseling, R., PEF voor zuivel en kaas gaat industrieel, *Zuivelzicht*, 17 november 2011.
- 18 Roller, E. te, Verse sappen, sauzen en soepen blijven wekenlang goed, *Fluids Processing Benelux* nr. 3, mei 2014.
- 19 Factsheet Pure Puls.
- 20 STOWA. Fundamentele aspecten van slibontwatering, deel 1 samenvattend verslag, STOWA OR 94-02/1
- 21 STOWA rapport. Efficiëntie polymeergebruik slibontwatering, STOWA 2014-08.
- 22 STOWA rapport. Thermische slibontsluiting. Pilotonderzoek naar de mogelijkheden en randvoorwaarden, STOWA 2012-25.

BIJLAGE 1

SLIBSTROMEN RACINE IN GISTING EN NAAR ZEEFBANDPERSEN

Parameter		2011 Gem	2013 Gem	2014 jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep
Q	m ³ /d	326	307	318	307	303	299	299	307	307	280	299
Primairslib		72%	65%	68%	72%	66%	67%	62%	68%	64%	65%	62%
DS		4,2%	4,5%	4,0%	4,4%	4,3%	4,4%	4,9%	4,9%	5,4%	4,8%	4,5%
ODS		75,2%	72,4%	76,7%	73,8%	76,2%	76,1%	73,0%	71,9%	68,8%	73,2%	73,9%
DS	kg/d	13.802	13.821	12.798	13.533	12.935	13.249	14.653	15.024	16.641	13.385	13.404
ODS	kg/d	10.380	10.004	9.819	9.989	9.854	10.081	10.702	10.801	11.444	9.795	9.910
Q	m ³ /d	326	307	318	307	303	322	299	318	318	318	318
DS		2,6%	2,4%	2,2%	2,2%	2,2%	2,2%	2,3%	2,5%	2,6%	2,6%	2,5%
ODS		59%	53%	54%	55%	55%	53%	57%	57%	53%	54%	55%
DS	kg/d	4.994	3.900	3.778	3.710	3.664	3.752	3.921	4.531	4.382	4.464	4.372
ODS	kg/d	5.386	6.103	6.041	6.279	6.190	6.330	6.782	6.270	7.063	5.330	5.538
Stijging ODS afbraak		0%	18%	19%	21%	21%	21%	22%	12%	19%	5%	8%

Uit de tabel blijkt dat in de periode januari t/m juni in 2014 de organische stof afbraak (primair- en surplusslib) met gemiddeld 19% is gestegen. Daar FP geen (of nauwelijks) effect heeft op primairslib is deze stijging afkomstig van het surplusslib. Van de totale slibstroom is 34% surplusslib en dat betekent dat de ODS afbraak van het surplusslib met 57% is gestegen.

