



Otto Kluiving, Waterschap Hunze en Aa's

Yede van der Kooij, Wetterskip Fryslân

Frank Brandse, Waterschap Reest en Wieden

Hans Banning, PROCES-Groningen

Innovatieve methoden voor verhogen biogasopbrengst bij vergisten van spui- en primair slib

Het combineren van thermofiele en mesofiele vergisting van spuislib leidt op laboratoriumschaal tot een toename van de biogasopbrengst met 35 tot 40 procent ten opzichte van de gangbare mesofiele vergisting. Voorbewerking van spuislib met de Cambi-methode (slibontsluiting onder hoge druk en temperatuur) geeft de hoogste toename in biogasopbrengst (20 tot 100 procent). Daarnaast leidt het combineren van een temperatuur- en drukbehandeling tot een toename van 25 procent van de biogasopbrengst. De resultaten van de enzymatische voorbewerking zijn niet eenduidig; bij een aantal tests is een verhoging van de biogasopbrengst van 10 tot 30 procent gemeten.

De biogasopbrengst bij vergisting van spuislib per kilogram organische stof is laag in vergelijking met de biogasopbrengst van andere soorten biomassa. Vanwege de matige afbreekbaarheid en dus de slechte vergistbaarheid van spuislib resteert een relatief grote hoeveelheid residu na vergisting. Ook de ontwaterbaarheid van dit residu is slecht. De eindverwerking van dit residu, conform het Landelijk AfvalbeheersPlan, is thermische eindverwerking al dan niet met energieretrieving. Dit betekent een hoge kostenpost voor de waterschappen, die tot wel 25 procent van de gehele waterzuiveringsketen kunnen bedragen.

PROCES-Groningen voerde samen met de vijf noordelijke waterschappen een verkennend onderzoek uit naar de mogelijkheden om de biogasopbrengst te verhogen bij het vergisten van spuislib en primair slib. Het onderzoek is medegefinancierd door de provincies Groningen, Friesland en Drenthe. Er zijn twee mogelijke routes onderzocht: het combineren van thermofiele en mesofiele vergisting én voorbehandelen van het spuislib om de afbreekbaarheid tijdens het vergisten te verbeteren¹⁾. Een gevolg van een betere afbreekbaarheid van het slib is een verhoogde reductie van de hoeveelheid residu na vergisting, waardoor de verwerkingskosten significant afnemen.

Materialen en technieken

Slib

In het onderzoek is slib van verschillende waterschappen gebruikt. Uit analyses van de spuislibmonsters (96 monsters) bleek dat een aanzienlijke spreiding in het asgehalte voorkomt. Het asgehalte varieert tussen de 18,4 en 37,7 gewichts% droge stof. De gemiddelde waarde is 24,7 gewichts% droge stof.

Vergistingstesten

De vergistingstesten zijn door PROCES-Groningen uitgevoerd in vergisters van 20 liter. De vergisters worden semi-batchgewijs gevoed (afhankelijk van de omzettingssnelheid wordt dagelijks of per twee dagen gevoed). Procesparameters, zoals de biogasopbrengst en -samenstelling, pH, concentratie vluchtige vetzuren en ammonium en de geleidbaarheid, worden gedurende de tests gemeten. Mesofiele vergisting vindt plaats bij 37°C; thermofiele vergisting bij 55°C.

Combinatie thermofiele en mesofiele vergisting

Het slib is achtereenvolgens onder thermofiele (twee in serie geschakelde vergisters) en onder mesofiele condities in een derde reactor vergist, waarbij een deel van materiaal vanuit de tweede thermofiele vergisting wordt teruggeluid naar de eerste

thermofiele vergister. De voeding van de eerste thermofiele vergister bestaat dus uit gelijke hoeveelheden 'vers' spuislib substraat en recirculatieslib uit de tweede thermofiele vergister. De andere helft van het afgetapte materiaal uit de tweede thermofiele vergister wordt als voeding voor de mesofiele vergisting gebruikt. De verblijftijd bedraagt 14 dagen in de thermofiele vergisters gevolgd door 7 dagen in de mesofiele vergister. Deze test wordt vergeleken met de resultaten van mesofiele vergisting met een verblijftijd van 21 dagen.

Een tweede serie testen is uitgevoerd met een mix van slib (primair en spuislib). Bij deze testen is thermofiele vergisting van de mix gevolgd door een mesofiele vergisting zonder interne recirculatie. Het digestaat van de thermofiele vergister (verblijftijd 7 dagen) is de voeding voor de mesofiele vergister (verblijftijd 12 dagen). Tevens zijn vergelijkende testen met mesofiele vergisting uitgevoerd. De totale verblijftijd voor beide tests is 19 dagen.

Vorbewerking van slib

De voorbewerkingstechnieken zijn erop gericht de structuur van de biomassa open te breken, waardoor het materiaal beter afbreekbaar is tijdens de vergisting. Hiervoor zijn verschillende strategieën ontwikkeld: fysische ontsluiting (temperatuur en/of druk

behandeling), enzymatische ontsluiting en pH verhoging of verlaging. Fysische voorbereiding vindt plaats door gedurende korte tijd de druk te verhogen gevolgd door een snelle drukverlaging (homogeniseren). Een tweede vorm van fysische voorbereiding is het verhogen van de temperatuur (pasteurisatie). Ook de gelijktijdige combinatie van druk- en temperatuurverhoging (Cambi-methode) kan effectief zijn en is in dit onderzoek toegepast. De drukbehandeling is uitgevoerd bij CUTEC (Clausthaler Umwelttechnik-Institut) in Duitsland. CUTEC heeft de beschikking over een hoge druk homogenisator van Invensys APV (type Gaulin G5-4,3B). Hierin is het slib voorbereid bij verschillende drukken (8, 16, 32 en 150 bar).

Slib is onderworpen aan verschillende temperatuurbehandelingen (pasteurisatie) bij 60° en 72°C gedurende een uur. Voorbereiding door middel van de Cambi-methode is eveneens bij CUTEC uitgevoerd. Het slib is gedurende 30 minuten verhit tot 165°C bij een druk van 8 bar. Vervolgens is het slib onmiddellijk van druk afgelaten in een gekoeld flash-vat.

Enzymatische ontsluiting is uitgevoerd door het slib in een reactor te plaatsen en te verwarmen tot 45 of 55°C. Na dosering van de enzymen (protease, cellulase, hemicellulase of glucanase of een mix van deze enzymen) wordt het mengsel gedurende 24 uur bij de ingestelde temperatuur gemengd.

Resultaten gecombineerde vergisting

De gasproductie van de thermofiele-thermofiele-mesofiele geschakelde (TTM) vergisters bedraagt in totaal 310 l/kg organische stof, terwijl de biogasopbrengst in de referentietest, de mesofiele vergister, 225 l/kg organische stof is.

De gasproductie van de afzonderlijke vergistingsstappen in deze test zijn:

- eerste thermofiele vergister: 210 l/kg organische stof, CH₄-gehalte circa 70 procent;
- tweede thermofiele vergister: 50 l/kg organische stof, CH₄-gehalte 75 tot 80 procent;
- mesofiele vergister: 50 l/kg organische stof, CH₄-gehalte 75 tot 80 procent.

De gasproductie bij de gecombineerde thermofiele-mesofiele vergisting gaat geleidelijk naar een stabiele eindsituatie. In die eindsituatie bedraagt het verschil in gasproductie tussen mesofiele vergisting en TTM ongeveer 85 l/kg organische stof (toename van 35 tot 40 procent ten opzichte van de referentietest). Tevens blijkt dat de gemiddelde gasproductie bij mesofiele vergisting over de laatste vier weken van de testen geleidelijk oploopt. Het hoge methaangehalte (70 tot 80 vol%) zou kunnen wijzen op een hoge eiwit- of hoge vetfractie in de voeding.

De combinatie van een in serie geschakelde thermofiele vergisting met een verblijftijd van zeven dagen met een mesofiele

vergisting met een verblijftijd van twaalf dagen resulteert in een biogasopbrengst van 360 liter per kilo organische droge stof. Ten opzichte van een mesofiele vergisting met een verblijftijd van 19 dagen levert de geschakelde vergisting een stijging van de gasproductie op van 60 liter biogas per kilo organische stof. Deze stijging komt vrijwel geheel voor rekening van de thermofiele vergisting met zeven dagen verblijftijd. De additionele biogasopbrengst van de nageschakelde mesofiele vergister is beperkt.

Resultaten voorbereiding spuislib op de biogasopbrengst

Pasteuriseren en homogeniseren

Spuislib is na pasteurisatie bij 60°C bij verschillende drukken (8, 16, 32 en 150 bar) gehomogeniseerd. De thermofiele vergistingsresultaten zijn vergeleken met die van spuislib dat niet is gepasteuriseerd, maar wel gehomogeniseerd bij 16 bar.

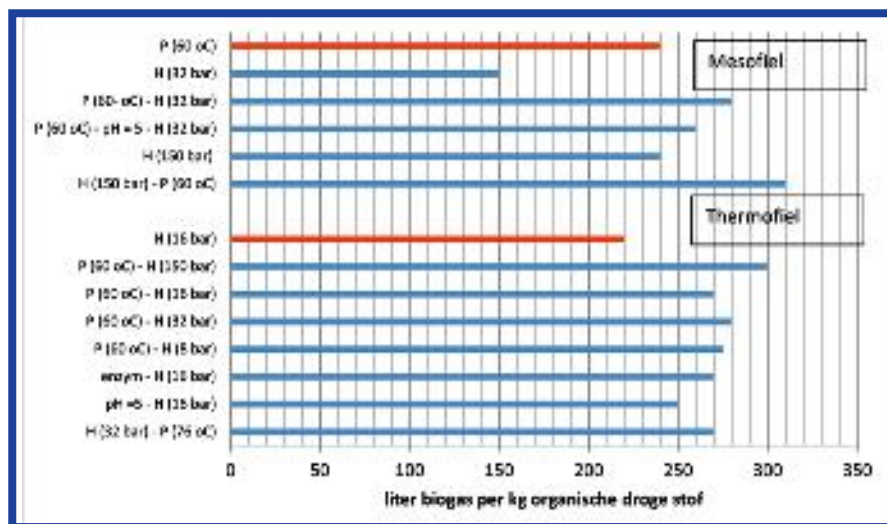
In een tweede serie testen is spuislib in

verschillende combinaties en volgorde van technieken voorbehandeld. Homogenisatie is hier toegepast bij twee drukken (32 of 150 bar) in combinatie met andere voorbereidingen (pasteurisatie bij 60°C en pH-verlaging). Het voorbehandelde spuislib is vervolgens mesofiel vergist.

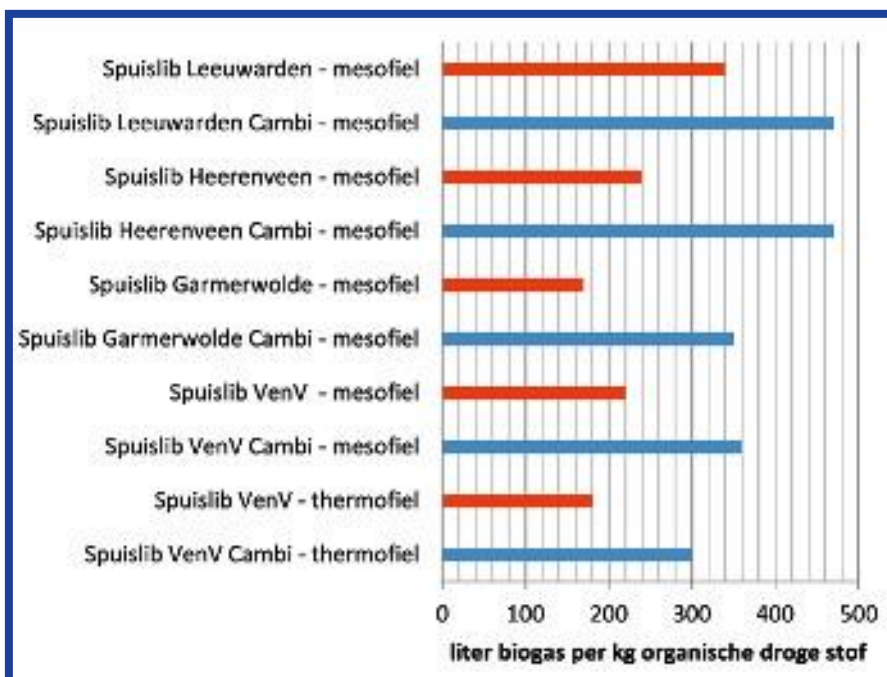
De toename van de biogasproductie door het toepassen van alleen homogeniseren als voorbereiding van het spuislib is beperkt. Indien het slib eerst wordt gepasteuriseerd en vervolgens wordt gehomogeniseerd, resulteert dit in een positief effect (ongeveer 25 procent toename) op de biogasproductie. Er is geen duidelijk effect van de hoogte van de druk tijdens homogenisatie.

Het verlagen van de pH levert relatief de laagste biogasopbrengst op in vergelijking met andere voorbereidingen. In afbeelding 1 zijn de biogasopbrengsten uit de testen samengevoegd. Het bovenste deel van de grafiek laat het effect van voorbereiding op

Afb. 1: Biogasopbrengst na verschillende voorbereidingen van spuislib. P = pasteurisatie, H = homogeniseren.



Afb. 2: Biogasopbrengst na voorbereiding van verschillende spuislibben met de Cambi-methode (rood = blanco; blauw = na voorbereiding met Cambi-methode).



de biogasopbrengst bij mesofiele vergisting zien; het onderste deel toont de thermofiele vergistingsresultaten. De biogasopbrengst van beide delen in de grafiek kunnen niet onderling vergeleken worden omdat ander uitgangsmateriaal is gebruikt.

Enzymatische voorbereiding

Gemiddeld bedraagt de toename in biogasopbrengst bij de vergisting van spuislib na enzymatische voorbereiding tien tot 15 procent; bij primair slib loopt dit op tot 30 procent. Het positieve effect van enzymatische voorbehandeling is met name bij thermofiele vergisting vastgesteld. Bij mesofiele vergisting waren de resultaten niet altijd duidelijk positief in tegenstelling met eerdere tests met enzymatische voorbehandelde andere substraten. Uit de testen kan niet eenduidig worden geconcludeerd dat een bepaald enzym effectiever is dan andere enzymen of enzymcombinaties. Het combineren van enzymatische voorbereiding met pasteurisatie levert geen additionele biogasopbrengst op.

Cambi-methode

Bij CUTEK zijn spuislibben via de Cambi-methode voorbereid. Het behandelde slib is mesofiel of thermofiel vergist om de biogasproductie vast te stellen (zie afbeelding 2). Ter vergelijking zijn vergistingstesten uitgevoerd onder identieke omstandigheden met niet voorbehandeld slib.

Omdat verschillende slibben zijn gebruikt, kunnen de absolute gasopbrengsten van de testen niet onderling vergeleken worden. Alle tests, zowel bij mesofiele als thermofiele vergisting, vertonen een duidelijke verhoging van de biogasopbrengst. De gemiddelde stijging van de biogasproductie na voorbehandeling met de CAMBI-methode bedraagt voor de testen 80 procent.

Discussie

Andere voorbereidingsmethoden die zijn toegepast, te weten homogeniseren, pasteuriseren, pH-verhoging en -verlaging en enzymatische voorbereiding, bleken minder effectief dan de Cambi-methode. De invloed van homogenisering, zowel voor mesofiele als thermofiele vergisting, is beperkt. Gemiddeld wordt na homogenisatie een verhoging van de biogasopbrengst bij de vergisting van spuislib van 15 procent behaald. Het combineren van homogeniseren met pasteuriseren levert een toename in biogasproductie op van gemiddeld 25 procent. De hoogte van de druk heeft weinig effect op de biogasopbrengst.

De combinatie van homogenisatie met andere voorbereidingstechnieken, zoals pH-verlaging of enzymatische behandeling, levert geen noemenswaardige extra toename van de biogasopbrengst op. Eerder is elders aangetoond dat de combinatie pasteurisatie-enzymatische voorbehandeling wel leidt tot een verhoging van de biogasopbrengst^{2),3)}.

In sommige tests is een positief effect van enzymatische voorbereiding op de vergistbaarheid gemeten. Gemiddeld bedraagt

deze verhoging van de biogasopbrengst na enzymatische bewerking 10 tot 30 procent. Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat geen specifiek enzym is gevonden dat een duidelijk hogere effectiviteit vertoont in vergelijking met andere enzymen. Dit geldt voor zowel mesofiele als thermofiele vergisting.

Een mogelijke verklaring voor het beperkte effect van voorbereiding is dat de bacteriënbioomassa goed bestand is tegen de omstandigheden tijdens voorbereiding. De celwand van de bacteriën is blijkbaar voldoende robuust om de toegepaste voorbereidingsmethoden te doorstaan, waardoor de biomassa niet of onvoldoende wordt ontsloten. Onder extreme condities, zoals bij de Cambi-methode, neemt na voorbehandeling de biogasopbrengst van spuislib significant toe.

Conclusies

Spuislib is een heterogeen materiaal dat aanzienlijk kan variëren in samenstelling. Voor het uitvoeren van dit type onderzoek dient altijd een blanco test te worden meegenomen met slib uit dezelfde partij om een vergelijking van de resultaten mogelijk te maken. Vanwege de heterogeniteit van het slib blijven praktijktesten met spuislib uit een specifieke zuiveringsinstallatie altijd noodzakelijk om de resultaten te verifiëren. De gasopbrengst van de geschakelde thermofiele-mesofiele vergisting van spuislib is hoger dan die van de mesofiele vergisting. De toename bedraagt 35 tot 40 procent. De biogasopbrengst van de tweede thermofiele stap en de mesofiele stap in de geschakelde vergistingstest zijn lager dan die van de eerste thermofiele stap, maar dragen bij aan de overall biogasopbrengst. Omdat de biogasopbrengst van de tweede thermofiele vergistingsstap relatief laag is, kan de thermofiele vergisting beperkt worden tot één reactor gevolgd door een reactor waar mesofiele vergisting plaatsvindt. Homogenisering van het slib heeft een gering effect op de biogasopbrengst bij thermofiele vergisting. Het combineren van homogeniseren met andere voorbereidingstechnieken, zoals pasteurisatie, pH-verlaging of enzymatische behandeling levert een duidelijke toename van de biogasopbrengst op. Dit geldt voor zowel mesofiele als thermofiele vergisting.

De uitgevoerde tests geven een positief beeld van de resultaten van de behandeling van spuislib via de Cambi-methode. Een biogasopbrengst vergelijkbaar met de opbrengst van het vergisten van bijvoorbeeld primair slib of mais (berekend op biogasproductie per kilogram organisch materiaal gevoed per dag), is echter niet gehaald.

lage pH	5%
hoge pH	0%
pasteuriseren	5%
enzymen	0-30%
homogeniseren	15%
pasteuriseren/homogeniseren	25%
Cambi-methode	20-100%
combinatie thermofiele/ mesofiele vergisting	35-40%
(t.o.v. separate mesofiele vergisting)	

Uit het onderzoek komen als meest kansrijke opties voor het verhogen van de biogasopbrengst - naast de ontsluiting met de Cambi-methode - het combineren van thermofiele en mesofiele vergisting én voorbehandeling met gecombineerde pasteurisatie/homogenisatie.

De resultaten van de uitgevoerde testen hebben nog niet geleid tot een eenduidige keuze voor een (combinatie van) voorbereidingstechnieken als meest kansrijke route. Aanvullend onderzoek is nodig om de resultaten van een aantal opties verder uit te werken en vervolgens te verifiëren op pilotschaal. Pas dan kan een voorontwerp van een volledige voorbereidingsinstallatie gemaakt worden met bijbehorende economische evaluatie. De resultaten van dit onderzoek kunnen goed worden gebruikt bij andere onderzoekstrajecten die lopen bij de waterschappen, zoals de Energiefabriek en de bouw van een thermische slibontsluiting.

LITERATUUR

- 1) PROCES-Groningen (2012). Onderzoek naar innovatieve methoden voor de voorbehandeling van spuislib; samenvattend eindrapport.
- 2) Davidson A. en J. La Cour Jansen (2006). Pre-treatment of wastewater sludge before anaerobic digestion - hygienisation, ultrasonic treatment and enzyme dosing. *Vatten* 62, pag. 335-340.
- 3) Warthmann R., S. Baum en U. Baier (2011). Biological active compounds in combination with physical pre-treatment for boosting efficiency of anaerobic digestion. ADSW&EC-conferentie in Wenen.