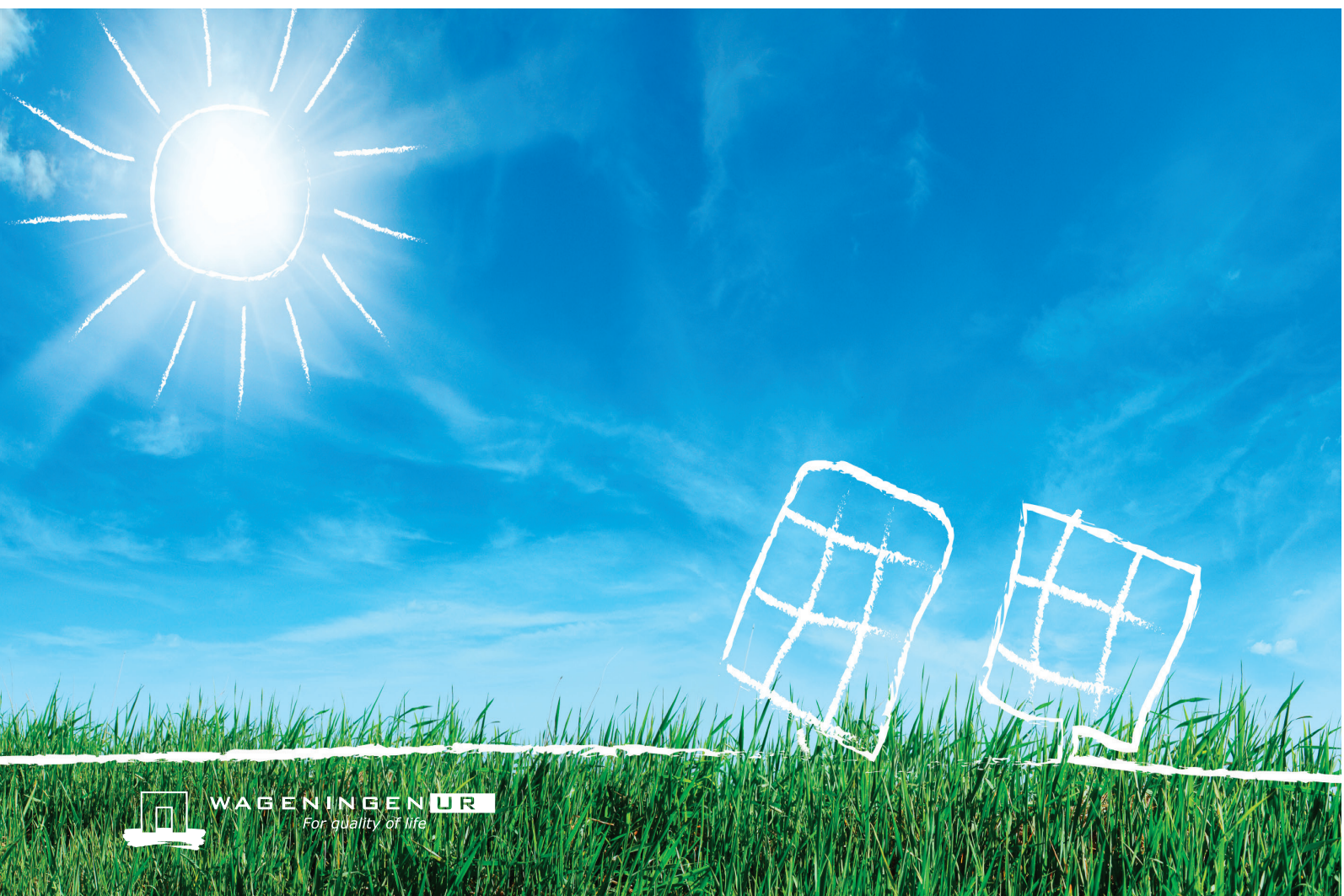


Thermische voorbehandeling van rundveedrijfmest en maïsstro gevolgd door vergisting

Auteur: Paul Hoeksma



Thermische voorbehandeling van rundveedrijfmest en maïsstro gevolgd door vergisting

Auteur: Paul Hoeksma

© 2013 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ACRRES-Wageningen UR.

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is tot stand gekomen dankzij:



ACRRES
wordt mede
gefinancierd door
de Europese Unie



PROVINCIE FLEVOLAND

ACRRES – Wageningen UR

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : info@acrres.nl
Internet : www.acrres.nl

Inhoud

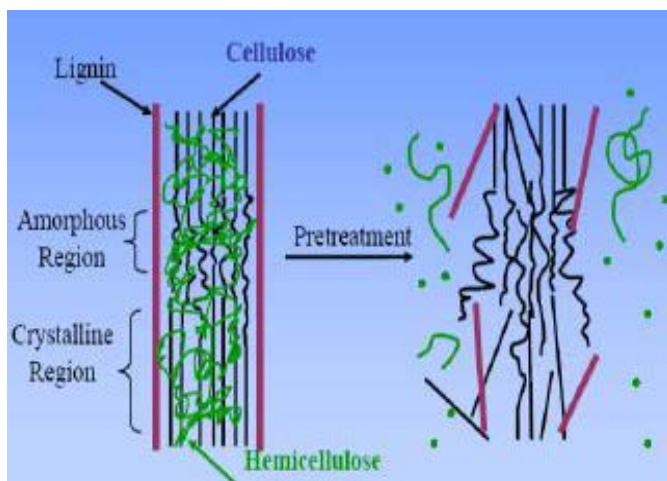
1	INLEIDING.....	5
2	MATERIAAL EN METHODEN	9
2.1	Proefinstallatie	9
2.2	Funtionaliteitstest.....	11
2.3	Laboratoriumtest	11
3	RESULTATEN	13
3.1	Functionaliteitstest	13
3.2	Laboratoriumtest	13
3.2.1	Samenstelling substraten.....	13
3.2.2	Biogasproductie	14
4	DISCUSSIE EN CONCLUSSIES	17
5	LITERATUUR.....	19
	BIJLAGE 1	20

1 Inleiding

Het rendement van co-vergistingsinstallaties staat de laatste jaren in Nederland in toenemende mate onder druk. Dit is deels het gevolg van de schaarste aan energierijke grondstoffen, die geschikt zijn voor co-vergisting in combinatie met mest, waardoor een steeds hogere prijs voor deze producten betaald moet worden. De schaarste aan hoogenergetische grondstoffen wordt onder andere veroorzaakt doordat een deel van deze producten verdwijnt naar ons omringende landen, waar er een hogere prijs voor wordt betaald. Dit heeft te maken met verschillen in subsidieregelingen tussen Nederland enerzijds en Duitsland en België anderzijds, waar de condities aanzienlijk gunstiger zijn met hogere subsidieniveaus en een langere subsidieperiode. Het gevolg van deze ongelijkheid is dat interessante co-producten die hier vrijkomen deels niet voor vergisting in Nederland beschikbaar zijn. Dit betekent dat gezocht moet worden naar alternatieve grondstoffen voor co-vergisting. Beschikbare producten die in beginsel voor vergisting in aanmerking komen, zoals maisstengels, natuurgras, bollenresten etc., bevatten echter een relatief hoog gehalte aan lignocellulose. Lignocellulosestructuren zijn echter moeilijk anaeroob afbreekbaar en hierdoor minder geschikt voor vergisting. Lignine wordt beschouwd als de meest recalcitrante component omdat het onoplosbaar is in water en bestand tegen microbiologische afbraak. De vergistbaarheid van lignocellulose kan in principe worden verbeterd door een voorbehandeling toe te passen.

In het verleden zijn studies uitgevoerd naar de toepassing van diverse voorbehandelingsmethoden, o.a. mechanisch, thermisch, chemisch en enzymatisch en combinaties hiervan, met het doel de productie van biogas en bioethanol uit biomassa te vergroten maar ook om de stabiliteit van rioolwaterslib te verbeteren. Hendriks en Zeeman (2009) hebben de effecten onderzocht van een aantal voorbehandelingen op de belangrijkste componenten van lignocellulosehoudende biomassa, te weten cellulose, hemicellulose en lignine, met als doel de juiste match te vinden tussen substraateigenschappen en voorbehandelingsmethode. Carlsson *et al.* (2012) geven een overzicht van de meest gebruikte voorbehandelingstechnieken, op welke substraten ze hoofdzakelijk worden toegepast en wat de effecten zijn op verschillende substraten en op het vergistingsproces. Voor reststromen uit de voedingsindustrie, oogstresten en mest worden vooral thermische en chemische voorbehandelingen toegepast, zij het tot nu toe vaak slechts op laboratorium en semi-technische schaal. De belangrijkste effecten van thermische voorbehandeling zijn: verkleinen van de deeltjesgrootte, vergroten van de oplosbaarheid en verbetering van de biologische afbreekbaarheid. Deze effecten hangen nauw met elkaar samen. Door verkleining van de deeltjesgrootte neemt de substraattoepervlakte toe en daarmee het aangrijpingsoppervlak voor micro-organismen waardoor de afbreekbaarheid toeneemt. Op deze manier komt organisch materiaal vrij dat eerder niet voor micro-organismen beschikbaar was voor microbiologische afbraak.

Figuur 1 toont schematische de desintegratie van lignocellulose onder invloed van een thermische behandeling.



Figuur 1 Effect van thermische voorbehandeling op lignocellulosestructuren (Mosier et al., 2005)

Acrres in Lelystad beschikt over een co-vergistingsinstallatie, bestaande uit twee reactoren elk met een inhoud van 470 m³, waarin een mengsel van rundveedrijfmest, voerresten en maïsstro wordt vergist bij een temperatuur van 38-39°C en een retentietijd van 60 dagen. Onder deze omstandigheden wordt slechts een bescheiden deel van het sterk vezelige maïsstro afgebroken en in biogas omgezet. Voorbehandeling van het maïsstro gericht op ontsluiting van de beschikbare biomassa zou kunnen leiden tot verhoging van het energetisch rendement. Het bedrijf Sustec te Wageningen heeft een ontsluitingstechnologie (TurboTec genaamd) ontwikkeld die kansrijk lijkt te zijn. Deze technologie bestaat uit een hydro-thermische behandeling bij een temperatuur van ca. 140°C en een druk van 4 – 6 bar. Labtesten, uitgevoerd door Sustec, hebben uitgewezen dat hiermee een 40% hogere biogasopbrengst uit een mengsel van rundveemest en maïsstro (50/50) te realiseren is. Een vergelijkbaar effect is verkregen met GFT.

Bijkomende voordelen van thermische voorbehandeling zijn: (1) hogere belasting van de vergister is mogelijk, (2) lagere viscositeit van het behandelde materiaal waardoor lagere energie input voor mengen van de vergister, (3) verbeterde ontwaterbaarheid van digestaat en (4) gehygiëniseerd product.

De verwachte hogere biogasopbrengst uit biomassa was de voornaamste reden om deze technologie verder te ontwikkelen en als deelproject onder te brengen bij het project EnergieRijk. Bij het opstellen van de business case werd uitgegaan van een mengverhouding van RDM en maïsstro van 1:1. Dit aandeel maïsstro zou minimaal nodig zijn voor een positief rendement van de installatie, mits door thermische voorbehandeling de biogasopbrengst voldoende (verwachting 40%) toeneemt.

Op de proeflocatie van Acrres is een proefinstallatie gerealiseerd waarmee in 2011-2012 onderzoek is uitgevoerd naar het effect van thermische voorbehandeling middels de TurboTec technologie. De technologie is eerder op pilotschaal getest op zuiveringsslib. Bij Acrres wordt de technologie voor het eerst toegepast op een mengsel van vast materiaal en drijfmest.

Doel

De doelstelling van het onderzoek was:

- a) Vaststellen op praktijkschaal van het effect van thermische behandeling middels TurboTec technologie op het economisch rendement van co-vergisting van rundveedrijfmest in combinatie met maïsstro;
- b) Vaststellen van het effect van thermische behandeling op de samenstelling, bemestingswaarde en verwerkbaarheid van het digestaat.

2 Materiaal en methoden

2.1 Proefinstallatie

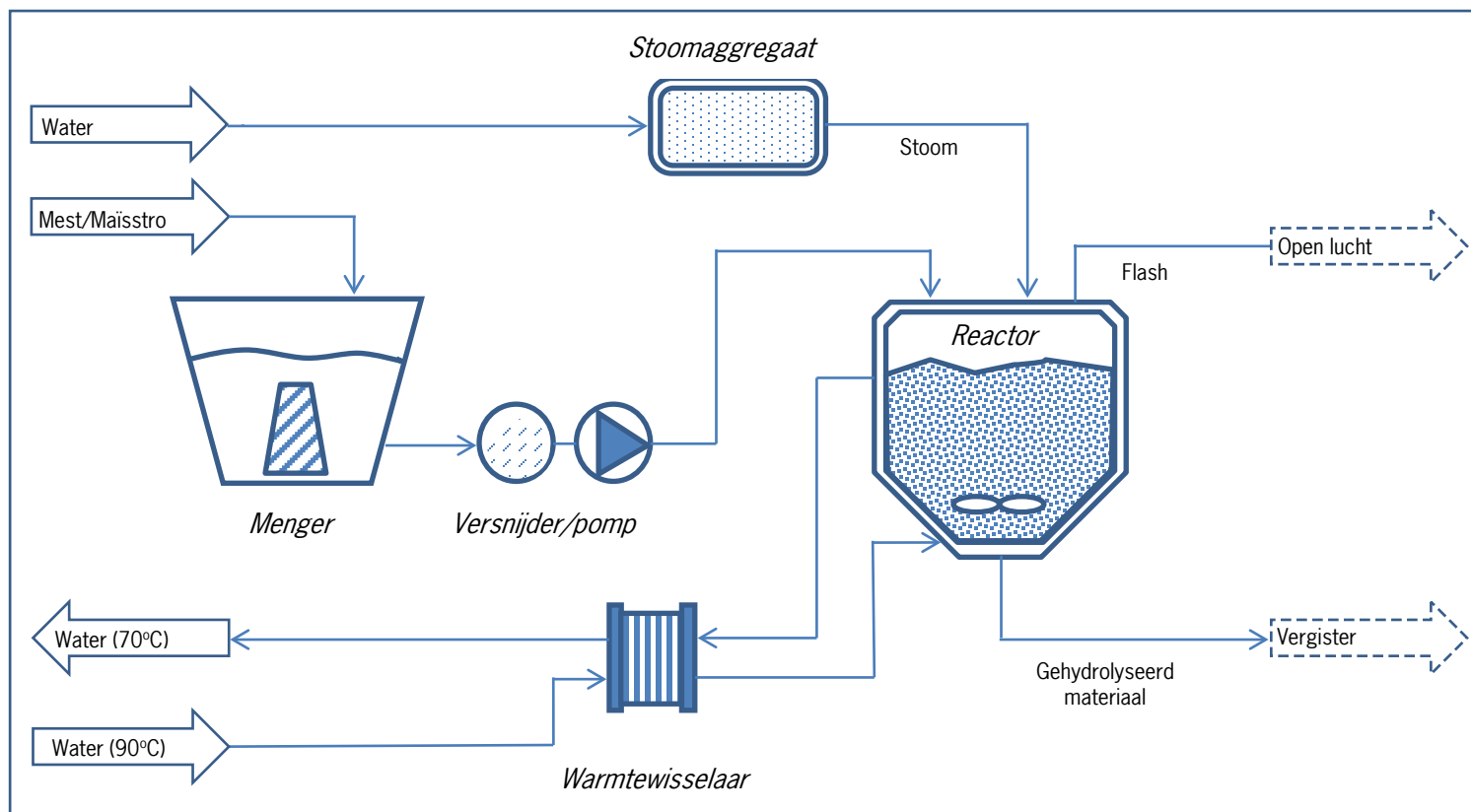
De TurboTec proefinstallatie is ontworpen voor het batchgewijs behandelen van vaste vezelige materialen, zoals maïsstro, GFT, natuurgras etc. Aan de materialen wordt vloeistof (digestaat) toegevoegd zodat mengbaar ruw materiaal met max. 15% droge stof in de reactor wordt gebracht. Verder wordt het ingaande materiaal vooraf verkleind tot < 5 cm. Het TurboTec proces wordt uitgevoerd in een hogedrukreactor. Het proces verloopt in een aantal stappen:

- Voorbewerking van het ruwe materiaal in een mengtank en voorverwarming tot 70°C in de reactor.
- Verhitting tot ca. 140°C door middel van stoominjectie.
- Hydrolyse gedurende 1 uur bij 140°C en 4 - 5 bar.
- *Flashen* van de reactor (plotseling aflaten van de druk).
- Terugkoeling van gehydrolyseerd materiaal door middel van een warmtewisselaar.



Foto 2 **Plaatsing van de TurboTec proefinstallatie bij de co-vergistingsinstallatie van Acres in Lelystad**

Het processchema van de TurboTec proefinstallatie is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Processchema van de TurboTec proefinstallatie

De proefinstallatie is uitgevoerd als *stand alone* installatie, waarbij elektriciteit en stoom door aggregaten worden geleverd. Waterkoeling vindt plaats door middel van een warmtewisselaar met ondersteuning van een 'dry cooler'.

De bruto reactorinhoud van de TurboTec proefinstallatie bedraagt 1500 l. De maximale omvang van een batch bedraagt 1200 l. De *headspace* van 300 l is nodig om de volume toename als gevolg van stoominjectie en temperatuurverhoging te kunnen opvangen. De totale cyclusduur van een batch bedraagt ca. 4 uur. Dit is inclusief mengen, verhitten, procestijd en afkoelen (tot ca. 60°C). De maximale verwerkingscapaciteit is dus $6 \times 1200 = 7200$ l per dag. Dit is ongeveer de helft van de dagelijkse voeding van de vergister.

Het te behandelen substraat, bestaande uit een mengsel rundveedrijfmest en gehakseld maïsstro, wordt aangemaakt in een menger. Deze menger bestaat uit een tank die is voorzien van een langzaam draaiende roerder (ca. 30 rpm) die qua vorm vergelijkbaar is met een wokkel. De mengtijd varieert afhankelijk van de samenstelling van de vaste grondstof en de mengverhouding met de mest. De menger is ontworpen voor het mengen van vast materiaal, o.a. substraat voor co-vergisting. De inhoud van de menger is voldoende om de dagelijkse hoeveelheid te behandelen materiaal in één keer te kunnen aanmaken. Het materiaal wordt batch-gewijs via een versnijder (deeltjes < 30 mm) overgepompt naar de reactor. In de reactor wordt het materiaal voorverwarmd tot 70°C. Er vindt warmte-uitwisseling plaats via een leidingcircuit met thermische olie in de dubbele wand van de reactor. Vervolgens wordt door middel van stoominjectie de temperatuur opgevoerd tot 140°C. De druk loopt hierbij op tot 4 - 5 bar. Na één uur wordt de druk van de reactor afgelaten (*flashen*) en begint het afkoelen tot ca. 55°C,

waarna het behandelde (gehydrolyseerde) materiaal wordt overgepompt naar de vergister.

2.2 Functionaliteitstest

Na plaatsing van de proefinstallatie eind 2011 zijn meerdere testen uitgevoerd om de juiste procescondities vast te stellen waaronder de installatie technisch goed zou kunnen functioneren en om optimale procescondities vast te stellen waarbij een zo hoog mogelijk rendement (lees: maximale biogasproductie) zou worden verkregen. De belangrijkste procesparameter in dit verband is de mengverhouding mest/maïsstro. De bedoeling was om een mengsel te verkrijgen met zoveel mogelijk maïsstro. De functionaliteitstest werd uitgevoerd in samenwerking met Sustec.

Nadat bleek dat de proefinstallatie niet aan de functionaliteitseisen kon voldoen werd besloten het effect van thermische voorbehandeling op de biogasproductie op laboratoriumschaal vast te stellen.

2.3 Laboratoriumtest

Op laboratoriumschaal werd het effect van de thermische voorbehandeling op de biogasproductie vastgesteld voor de volgende substraten:

- Rundveedrijfmest (RDM)
- Mengsel RDM en maïsstro in de verhouding ca. 6 : 1 (w/w)
- Digestaat (uit vergister 1)

Van elk van deze substraten werden 2 batches in de proefinstallatie behandeld. Van elke batch werden vóór en na de behandeling 3 monsters genomen. Met deze monsters werd een biogastest uitgevoerd, dus 6 biogastesten per substraat.

De biogastesten werden uitgevoerd bij 35°C gedurende 42 dagen volgens de standaardmethode GB 21 (DIN 38414) waarbij gebruik werd gemaakt van 50 g substraat waaraan 50 g entmateriaal werd toegevoegd. Dit entmateriaal bestond uit actief korrelslib afkomstig van een waterzuiveringsinstallatie. De testen werden uitgevoerd in glazen flessen waarvan de opening was afgesloten met een septum. Gedurende de testperiode werd dagelijks de druk in de reactoren gemeten. Uit de drukverschillen werd de biogasproductie per tijdseenheid berekend, op basis van het drogestofgehalte, het organischestofgehalte en het totale product. Behalve het volume werd ook het methaangehalte van het gas gemeten.

Van alle monsters werd vooraf de chemische samenstelling vastgesteld. De volgende analyses werden uitgevoerd:

- Droge stof
- Organische stof
- Chemisch zuurstof verbruik (CZV)
- Stikstof, Ammonium
- Fosfaat
- Vluchtige vetzuren (C2 – C5)

De chemische analyses en de biogastest werden uitgevoerd door laboratorium ACMAA in Hengelo.

3 Resultaten

3.1 Functionaliteitstest

Na de opstart van de proefinstallatie met water en vervolgens met RDM werden testen gedaan met mengsels van RDM en maïsstro, in eerste instantie met het doel de maximale hoeveelheid maïsstro in verhouding tot RDM vast te stellen waarmee bedrijfszeker gewerkt zou kunnen worden. Het drogestofgehalte van het mengsel was hierbij de beperkende factor. In verband met verpompbaarheid en mengbaarheid zou het ds-gehalte niet meer dan 20% mogen bedragen. In de planfase werd ervan uitgegaan dat een mengverhouding RDM/maïsstro van 1:1 mogelijk zou moeten zijn. Bij deze verhouding bedraagt het drogestofgehalte van het mengsel ca. 17%.

Uit de testen kwam naar voren dat de proefinstallatie bij een mengverhouding RDM/maïsstro van 1:1 niet naar behoren functioneerde. Er traden problemen op bij het verpompen van het materiaal van de mengtank naar de reactor. Ook na bijmenging van kleinere hoeveelheden maïsstro deed dit probleem zich voor. Het niet naar behoren functioneren van de proefinstallatie had als oorzaak dat onvoldoende mengcapaciteit aanwezig was waardoor niet een homogeen RDM/maïsstro mengsel kon worden verkregen. Het gevolg hiervan was dat verstopping optrad in de leiding vóór de versnijder/pomp unit. Deze verstopping werd mede in de hand gewerkt door een vernauwing van de leiding tussen de menger en de versnijder/pomp.

De roerinrichting in de mengtank, bestaande uit een verticale langzaam draaiende wokkelachtige constructie, bleek niet geschikt om RDM en maïsstro goed met elkaar te mengen, ook niet na enkele technische aanpassingen. Alleen bij kleine hoeveelheden maïsstro, een verhouding RDM/maïsstro van maximaal 5:1, bleek de proefinstallatie naar behoren te kunnen functioneren. Opgemerkt wordt dat de mengtank met roerder, die onderdeel uitmaakte van de proefinstallatie, is ontworpen als menger van vast organisch materiaal (voor co-vergisting) en niet van een mengsel van vloeibaar en vast materiaal.

Het geschikt maken van de proefinstallatie voor het verwerken van grotere hoeveelheden maïsstro, wat voor een rendabele bedrijfsvoering vereist is, vergt substantiële technische aanpassingen aan de menger en het opvoersysteem naar de reactor.

3.2 Laboratoriumtest

3.2.1 Samenstelling substraten

In Tabel 1 wordt de gemiddelde chemische samenstelling gegeven van de substraten waarmee de biogastesten zijn uitgevoerd. De gegeven getallen zijn het gemiddelde van 6 monsters. In Bijlage 1 zijn de analyseresultaten van alle monsters vermeld.

Tabel 1 Gemiddelde samenstelling van de onbehandelde en thermisch behandelde substraten die werden gebruikt voor de biogastesten.

		RDM		RDM / maïsstro		Digestaat*	
		Onbehandeld	Behandeld	Onbehandeld	Behandeld	Onbehandeld	Behandeld
Droge stof	%	6.72	5.47	6.87	6.82	10.73	9.18
Organische stof	%	5.04	4.18	5.27	5.18	8.00	6.98
CZV	mg/l	13100	9133	11233	11567	21000	20500
Stikstof totaal	g/kg	2.71	2.73	2.53	2.54	4.65	3.92
Ammonium	mg/l	1.47	1.08	1.33	1.40	2.05	1.78
Fosfaat	g/kg	1.12	1.16	1.04	1.04	1.75	1.43
Aziijnzuur	g/kg	4.92	5.10	5.02	4.97	0.63	2.28
Propionzuur	g/kg	1.54	1.22	1.45	1.51	0.19	0.32
iso-Buterzuur	g/kg	0.24	0.20	0.23	0.23	0.01	0.09
Buterzuur	g/kg	0.32	0.37	0.36	0.34	0.01	0.14
iso-Valeriaanzuur	g/kg	0.28	0.24	0.27	0.28	0.01	0.16
Valeriaanzuur	g/kg	0.11	0.09	0.10	0.11	0.01	0.16

* Digestaat uit vergister gevoed met rundveedrijfmest, maïs en voerresteren.

Tabel 1 laat zien dat het verschil in gehalten van de gemeten componenten tussen RDM en RDM/maïsstro marginaal is. De kleine hoeveelheid (15%) maïsstro die werd bijgemengd is nauwelijks zichtbaar in een verhoging van het organischestofgehalte ten opzichte van RDM. Het digestaat toont aanzienlijk hogere gehalten dan RDM en RDM/maïsstro. Dit geldt niet voor de gehalten aan vluchtige vetzuren (VVZ), die in het digestaat slechts een fractie zijn van die in de andere substraten. VVZ zijn een gemakkelijke prooi voor anaerobe bacteriën.

De tabel laat verder zien dat het drogestof- en organischestofgehalte van de thermisch behandelde monsters lager is dan van de onbehandelde. Dit is grotendeels het gevolg van de stoominjectie waardoor verdunning van het materiaal optreedt (grotweg zo'n 10% (Stowa, 2012) en voor een klein deel het gevolg van hydrolyse. Het verdunningseffect komt minder duidelijk naar voren bij de andere componenten, welke een wisselend beeld laten zien. Bij RDM/maïsstro is het verschil in samenstelling tussen het behandelde en het onbehandelde materiaal veel kleiner dan bij RDM en digestaat, hetgeen erop duidt dat maïsstro minder gevoelig is voor thermische behandeling dan de andere twee substraten.

Opvallend is dat de VVZ-gehalten van het digestaat na de behandeling duidelijk hoger zijn dan ervoor. Blijkbaar worden tijdens thermische behandeling van het digestaat VVZ vrijgemaakt en gebeurt dit niet of in veel geringere mate bij RDM en RDM/maïsstro.

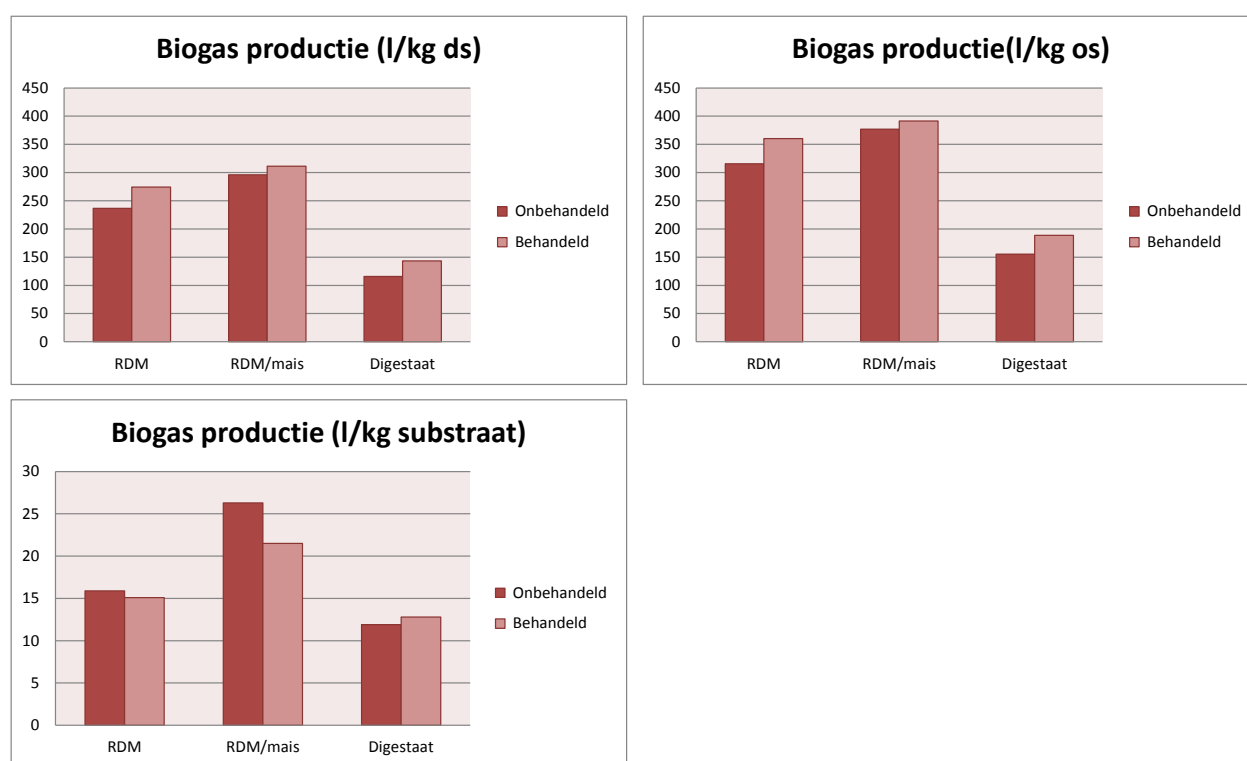
3.2.2 Biogasproductie

In Tabel 2 zijn de resultaten van de biogastesten gegeven. De tabel vermeldt de gemiddelde cumulatieve biogasproducties, uitgedrukt in l/kg droge stof, organische stof en substraat. Tussen haakjes staan de standaarddeviaties.

Tabel 2 Gemiddelde cumulatieve biogasproductie (met standaarddeviatie) van onbehandelde en thermisch behandelde substraten, uitgedrukt in l/kg droge stof, organische stof en substraat.

	Biogas (l/kg ds)		Biogas_ (l/kg os)		Biogas_ (l/kg subst)	
	Onbehandeld	Behandeld	Onbehandeld	Behandeld	Onbehandeld	Behandeld
RDM	237 (16.9)	274 (26.1)	316 (23.6)	360 (35.1)	15.9 (1.6)	15.1 (2.1)
RDM/maïsstro	296 (10.3)	311 (35.2)	377 (13.2)	392 (50.2)	26.3 (1.7)	21.5 (1.4)
Digestaat	116 (9.7)	144 (21.7)	155 (13.6)	189 (27.3)	11.9 (1.0)	12.8 (1.6)

Figuur 4 geeft het relatieve effect weer van de thermische behandeling op de biogasproductie.



Figuur 4 Relatieve biogasproductie van onbehandelde en thermisch behandelde substraten, uitgedrukt in l/kg droge stof, organische stof en substraat.

In Tabel 3 wordt het gemiddelde relatieve effect van thermische behandeling op de biogasproductie uit RDM, RDM/maïsstro en digestaat op basis van organische stof vermeld, in volgorde van toenemend effect.

Tabel 3 Relatieve toename van de biogasproductie uit RDM, RDM/maïsstro en digestaat door thermische voorbehandeling, op basis van organische stof.

	%
RDM/maïsstro	6
RDM	15
Digestaat	23

De resultaten van de biogastest laten zien dat de biogasproductie per kg droge stof en organische stof uit de drie substraten toeneemt in de volgorde RDM/maïsstro-RDM-digestaat. Toevoeging van maïsstro aan het substraat levert dus een hogere biogasproductie op ook zonder thermische voorbehandeling.

De resultaten laten verder zien dat de biogasproducties per kg droge stof en organische stof uit de behandelde substraten hoger zijn dan uit de onbehandelde. De verschillen zijn voor alle drie substraten significant ($P < 0.05$). Het effect van thermische behandeling is op RDM/maïsstro aanzienlijk kleiner dan op RDM en digestaat. Wel is bij RDM/maïsstro de variatie in biogasproductie groter dan bij de andere twee substraten.

Beschouwen we de biogasproducties per kg substraat dan is het effect van de behandeling negatief voor RDM en RDM/maïsstro en voor digestaat licht positief. De verklaring hiervoor is de verdunning van het behandelde substraat als gevolg van stoominjectie.

De gevonden afname van het effect van de behandeling in de volgorde digestaat-RDM-RDM/maïsstro geeft aan dat de thermische behandeling volgens het TurboTec procedé minder effectief is naarmate het substraat 'verser' vezelig materiaal bevat; RDM heeft reeds een vergistingsproces doorlopen in de koeienmaag en digestaat heeft bovendien nog enige tijd in de vergistingsinstallatie doorgebracht.

Tabel 4 vermeldt het gemiddelde methaangehalte van het geproduceerde biogas uit de gebruikte substraten, gemeten aan het eind van de biogastest (op dag 42). Het methaangehalte neemt toe in de loop van het vergistingsproces.

Tabel 4 *Methaangehalte van het geproduceerde biogas uit RDM, RDM/maïsstro en digestaat zonder en met thermische voorbehandeling, gemeten op de laatste dag (dag 42) van de biogastest.*

	Methaangehalte (%)	
	Onbehandeld	Behandeld
RDM	58.5	57.5
RDM/maïsstro	59.9	59.2
Digestaat	53.5	54.8

Het biogas dat uit digestaat is geproduceerd heeft een duidelijk lager methaangehalte dan uit de andere twee substraten. Het meevergisten van maïsstro lijkt een positief effect te hebben op het methaangehalte. De gemeten verschillen in methaangehalte tussen biogas geproduceerd uit onbehandeld en uit behandeld substraat zijn niet significant.

4 Discussie en conclusies

Technische onvolkomenheden van de TurboTec proefinstallatie waren er de oorzaak van dat de geplande praktijkproef niet kon worden uitgevoerd. Daardoor kon het effect van thermische voorbehandeling volgens het TurboTec procedé, bij mengverhouding RDM/maïsstro = 2:1, op het economisch rendement van co-vergisting van rundveedrijfmest in combinatie met maïsstro niet op praktijkschaal worden vastgesteld.

De ervaringen met de TurboTec proefinstallatie hebben geleerd dat deze installatie niet geschikt is voor het verwerken van een mengsel van rundveedrijfmest en maïsstro in een verhouding die perspectief biedt op een rendabele exploitatie van deze technologie op praktijkschaal. Bij het opstellen van de business case werd namelijk uitgegaan van een mengverhouding van RDM en maïsstro van 1:1, oftewel een aandeel van maïsstro van 50%. Dit aandeel maïsstro zou minimaal nodig zijn voor een positief rendement van de installatie, mits door thermische voorbehandeling de biogasopbrengst met tenminste 40% toeneemt.

Uit de praktijktest is gebleken dat het maximale aandeel maïsstro waarbij de proefinstallatie nog naar behoren kan functioneren ca. 15% bedraagt. Om een groter aandeel maïsstro te kunnen verwerken dienen ingrijpende aanpassingen aan de installatie plaats te vinden. De toegepaste mengtechniek voldoet niet en moet vervangen worden door een techniek die is toegesneden op het materiaal dat moet worden verwerkt. De vernauwing van de transportleiding tussen de menger en de versnijder/pomp unit is een *bottleneck* gebleken en moet verwijderd worden. Het is natuurlijk de vraag of het probleem van verstopping van de leiding al wordt ondervangen door een goede menging in de mengtank.

Het gemiddelde effect van thermische voorbehandeling op de biogasproductie uit RDM/maïsstro bleef achter bij het verwachte effect op basis van de labtesten van Sustec. Sustec vond een 40% hogere biogasopbrengst met een 50/50 mengsel RDM/maïsstro. Aangenomen dat de extra biogasopbrengst volledig verkregen is uit maïsstro, zou op basis hiervan uit het mengsel RDM/maïsstro met een aandeel van 15% maïsstro, een meeropbrengst aan biogas van 12% mogen worden verwacht. Gemiddeld werd 6% extra biogas gemeten. Eén batch leverde wel het verwachte resultaat op (11.8%), het resultaat van de andere batch bleef daar ver bij achter (0.9%). Mogelijk dat het verschil in samenstelling van beide batches een rol heeft gespeeld.

De resultaten van de biogastesten tonen aan dat de hogere biogasopbrengst uit thermisch voorbehandeld RDM/maïsstro voor een groot deel afkomstig was uit RDM; de meeropbrengst uit RDM (gemiddeld 15%) was aanzienlijk groter dan die uit RDM/maïsstro. Het onbehandelde mengsel RDM/maïsstro leverde 25% meer biogas op dan onbehandeld RDM.

De thermische voorbehandeling volgens het TurboTec procedé (één uur bij 140°C) bleek weinig of geen effect te hebben op maïsstro. Deze bevinding is in overeenstemming met de aanname in de literatuur dat substantiële effecten op biomassa met een hoog gehalte aan lignocellulose zich manifesteren bij temperaturen boven 150-180°C wanneer eerst hemicellulose en vervolgens lignine beginnen op te lossen (Hendriks en Zeeman, 2009).

Volgens meerdere onderzoekers neemt het effect van thermische voorbehandeling toe met de procestemperatuur.

Algemeen wordt aangenomen dat *flashing*, het plotseling terugbrengen van de werkdruk naar atmosferische druk, leidt tot extra desintegratie van lignocellulosestructuren. In de TurboTec proefinstallatie gebeurt dit door de druk in het reactorvat af te laten via een afsluiter waarbij stoom naar buiten wordt geblazen. Het Noorse bedrijf Cambi heeft een proces voor thermische ontsluiting ontwikkeld dat gebruik maakt van aparte tanks voor hydrolyse en *flashing*. Hierbij wordt het behandelde materiaal uit de hydrolysetank naar de flashtank gebracht onder plotselinge aflat van de druk, waardoor expansie van het materiaal optreedt. Mogelijk is het Cambi-proces effectiever dan het Sustec-proces maar het vergt zeker een hogere investering. Cambi werkt bovendien bij een hogere procestemperatuur (150-170°C) en druk (6-8 bar).

Het was niet mogelijk om betrouwbare gegevens te verzamelen over het energieverbruik van de installatie, noch om een energiebalans op te stellen. De proefinstallatie is opgezet als *stand alone* eenheid zonder koppeling aan de WKK-installatie van Acrres, zodat geen gebruik kon worden gemaakt van de restwarmte van de biogasmotor. Bij de opzet van een praktijkinstallatie ligt het voor de hand deze koppeling wel te maken, zeker als er geen andere bestemmingen voor de restwarmte voorhanden zijn. Berekeningen wijzen erop dat kosteneffectieve thermische voorbehandeling op praktijkschaal alleen mogelijk is als gebruik gemaakt kan worden van goedkope (gratis) energie input.

5 Literatuur

Carlsson, M., A. Lagerkvist & F. Morgan-Sagastume (2012)
The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: A review.
Waste Management 32 (2012) 1634-1650

Hendriks , A.T.W.M. & G. Zeeman (2009)
Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass.
Bioresource Technology 100 (2009) 10-18

Mosier, N, C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapple & M. Ladisch (2005)
Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass.
Bioresource Technology 96 (2005) 673-686

Stowa (2012)
Thermische slibontsluiting. Pilot onderzoek naar de mogelijkheden en randvoorwaarden.
Stowa,rapport 2012 25

Bijlage 1

Substraat	Behandeling	DS (g/kg)	OS (g/kg)	OS (%)	CZV (mg/l)	Stikstof (g/kg)	Ammonium (g/kg)	Fosfaat (g/kg)	C2 (g/kg)	C3 (g/kg)	i_C4 (g/kg)	C4 (g/kg)	i_C5 (g/kg)	C5 (g/kg)
RDM	Onbehandeld	65.0	48.9	75.2	17000	3.13	1.40	1.23	4.70	1.50	0.23	0.28	0.28	0.11
RDM	Onbehandeld	66.0	49.4	74.8	14000	3.15	1.50	1.39	5.10	1.63	0.24	0.30	0.29	0.12
RDM	Onbehandeld	64.0	48.1	75.2	11000	2.93	1.40	1.17	4.90	1.60	0.24	0.29	0.29	0.11
RDM	Behandeld	49.0	37.1	75.7	6200	2.17	1.10	0.88	4.50	1.10	0.19	0.33	0.24	0.08
RDM	Behandeld	57.0	44.3	77.7	10000	3.02	1.10	1.20	5.00	1.20	0.20	0.35	0.26	0.08
RDM	Behandeld	52.0	40.0	76.9	7700	3.02	1.00	1.32	4.50	1.10	0.19	0.33	0.24	0.08
RDM	Onbehandeld	70.0	53.3	76.1	13000	2.29	1.50	0.93	5.10	1.60	0.24	0.36	0.28	0.11
RDM	Onbehandeld	70.0	53.8	76.9	14000	1.68	1.50	0.78	4.90	1.40	0.23	0.33	0.27	0.11
RDM	Onbehandeld	68.0	49.1	72.2	9600	3.07	1.50	1.20	4.80	1.50	0.24	0.35	0.28	0.11
RDM	Behandeld	55.0	41.2	74.9	8800	2.86	1.10	1.30	4.90	1.20	0.19	0.37	0.23	0.09
RDM	Behandeld	59.0	44.9	76.1	14000	3.13	1.10	1.25	5.60	1.30	0.20	0.40	0.24	0.09
RDM	Behandeld	56.0	43.1	77.0	8100	2.18	1.10	1.00	6.10	1.40	0.21	0.42	0.25	0.09
RDM/malsstro	Onbehandeld	86.0	67.7	78.7	11000	3.35	1.30	1.22	5.80	2.00	0.27	0.60	0.30	0.12
RDM/malsstro	Onbehandeld	82.0	63.8	77.8	13000	2.02	2.00	0.84	5.80	2.00	0.27	0.58	0.30	0.12
RDM/malsstro	Onbehandeld	86.0	66.9	77.8	12000	2.12	1.30	0.88	5.30	1.90	0.26	0.56	0.29	0.11
RDM/malsstro	Behandeld	71.0	56.9	80.1	7800	2.10	1.00	0.78	5.00	1.30	0.20	0.40	0.25	0.08
RDM/malsstro	Behandeld	69.0	55.2	80.0	12000	3.12	1.10	1.40	5.40	1.30	0.22	0.42	0.27	0.09
RDM/malsstro	Behandeld	58.0	44.9	77.4	15000	3.69	1.10	1.16	5.60	1.40	0.21	0.42	0.26	0.09
RDM/malsstro	Onbehandeld	95.0	75.1	79.1	16000	1.95	1.50	0.82	6.20	2.30	0.27	1.20	0.29	0.13
RDM/malsstro	Onbehandeld	96.0	75.7	78.9	11000	2.26	1.50	0.92	8.40	3.00	0.31	1.50	0.32	0.15
RDM/malsstro	Onbehandeld	93.0	73.2	78.7	33000	6.68	1.50	5.06	7.10	2.60	0.28	1.30	0.31	0.14
RDM/malsstro	Behandeld	74.0	59.0	79.7	11000	2.54	1.10	0.99	6.40	1.50	0.22	0.62	0.27	0.09
RDM/malsstro	Behandeld	74.0	59.6	80.5	6600	2.38	1.10	0.94	6.00	1.40	0.22	0.57	0.26	0.09
RDM/malsstro	Behandeld	74.0	58.9	79.6	12000	2.74	1.10	0.96	6.40	1.50	0.22	0.62	0.28	0.09
Digestaat	Onbehandeld	107.0	79.9	74.7	17000	4.66	2.10	1.72	0.50	0.09	0.01	0.01	0.01	0,005
Digestaat	Onbehandeld	108.0	81.2	75.2	19000	5.05	2.00	1.78	0.46	0.09	0.01	0.01	0.01	0,005
Digestaat	Onbehandeld	108.0	80.7	74.7	18000	4.24	2.10	1.76	0.44	0.08	0.01	0.01	0.01	0,005
Digestaat	Behandeld	93.0	69.8	75.1	31000	4.20	2.00	1.48	1.90	0.18	0.10	0.07	0.17	0,005
Digestaat	Behandeld	95.0	71.8	75.6	27000	4.30	2.00	1.61	1.80	0.17	0.09	0.06	0.16	0,005
Digestaat	Behandeld	95.0	71.4	75.2	20000	4.00	2.00	1.48	1.80	0.18	0.01	0.07	0.17	0,005
Digestaat	Onbehandeld	107.0	80.0	74.8	20000	4.19	2.10	1.79	0.84	0.32	0.02	0.02	0.02	0.01
Digestaat	Onbehandeld	108.0	79.6	73.7	19000	5.00	1.90	1.68	0.80	0.30	0.02	0.01	0.02	0.01
Digestaat	Onbehandeld	106.0	78.5	74.1	33000	4.75	2.10	1.76	0.75	0.25	0.02	0.02	0.02	0.01
Digestaat	Behandeld	89.0	68.9	77.4	11000	3.51	1.60	1.33	2.90	0.49	0.11	0.22	0.14	0.02
Digestaat	Behandeld	89.0	67.8	76.2	20000	3.85	1.50	1.36	2.50	0.44	0.11	0.20	0.14	0.23
Digestaat	Behandeld	90.0	69.0	76.7	14000	3.65	1.60	1.32	2.80	0.47	0.11	0.21	0.15	0.23

