



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Biogassanlegget hos Sondre Skoglund

Følgeforskningen - Dokumentasjon av drift

NIBIO RAPPORT | VOL. 4 | NR. 104 | 2018



Tormod Briseid* og John Morken**

*Bioressurser og kretsløpsteknologi, Divisjon for miljø og naturressurser, NIBIO

**REALTEK, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet - NMBU

TITTEL/TITLE

Biogassanlegget hos Sondre Skoglund – Følgeforskningen – Dokumentasjon av drift

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Tormod Briseid og John Morken

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
18.12.2018	4/104/2018	Åpen	10585 - 06	17/02716
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-02158-2		2464-1162	22	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet -
NMBU

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

John Morken

STIKKORD/KEYWORDS:

Biogass, Gårdsanlegg, Gjødsel
Biogas, Farm scale , Pig manure

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Bioenergi
Bioenergy

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Biogassanlegget til Sondre Skoglund, levert og driftet av Waterment AS, er under uttesting for behandling av om lag 1000 m³ blautgjødsl fra gris årlig. Selve biogassreaktoren er en granulbasert kompakt ABR-reaktor med kort hydraulisk oppholdstid. Anleggets metanproduksjon, massebalanse og energiforbruk skulle dokumenteres slik det ble driftet en periode høsten 2017. Det må nevnes at driften ikke var fullt ut optimalisert, men at reaktoren fungerte stabilt i testperioden.

Ved å anta at metanproduksjonen hadde vært den samme gjennom hele året som den var under dokumentasjonsperioden, ville den ha utgjort om lag 1/8 av det anslåtte årspotensialet for hele gjødselmengden. Gjødsla sedimenterte i gjødseltanken og ble silt før den passerte reaktoren slik at bare den vannløselige og småpartikulære fraksjonen som ikke var sedimentert ut, ble behandlet. Det er mulig at en økt belastning/økt gjennomstrømning likevel hadde kunnet øke metanproduksjonen noe. Utfordringene lå i at bare en del av gjødsla ble behandlet samt at driften krevde mye energi, spesielt til oppvarming av gjødsla under vinterdrift.

LAND/COUNTRY:

Norge

STED/LOKALITET:

Bjørkedalen

GODKJENT /APPROVED



ROALD SØRHEIM

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



TORMOD BRISEID



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Følgforskningen er et oppdrag Innovasjon Norge har satt ut for å dokumentere driften av flere forskjellige biogassanlegg som Innovasjon Norge har vært med å støtte på investeringssiden. Ordningen er et resultat av Miljøverndepartementets bevilgning over statsbudsjettet innen “pilotanlegg for biogass”.

NMBU ved Fakultet for realfag og teknologi har hatt ledelsen av oppdraget og utfører dette med deltakelse fra NiBio, Østfoldforskning, SINTEF Tel-Tek og Norsøk.

Denne rapporten omhandler biogassanlegget til bonden Sondre Skoglund, et anlegg som er satt opp og drives av selskapet Waterment AS. Anlegget behandler blautgjødning fra gris. SINTEF TelTek, tidligere Tel-Tek er knyttet til utviklingen av teknologien til anlegget og er derfor av habilitetshensyn ikke med på denne rapporten, men har gitt oss nødvendige og verdifulle opplysninger om anlegget og driften av det. SINTEF Tel-Tek har stått for målinger og prøvetaking i dokumentasjonsperioden.

Ås, 18.12.18

Tormod Briseid

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Resultater	7
2.1	Gjødsla som behandles i anlegget.....	7
2.2	Beskrivelse av anlegget.....	8
2.2.1	Reaktortype.....	8
2.2.2	Tilførselen av gjødsel til biogassreaktoren.....	9
2.2.3	Produsert biorest pumpes tilbake til gjødselkummen	9
2.3	Drift og driftsresultater i forsøksperioden (20. november - 1. desember 2017).....	11
2.3.1	Temperaturforhold	11
2.3.2	Hydraulisk oppholdstid	11
2.3.3	Gassmålinger – Gassvolum, gasskvalitet og metanutbytte.....	12
2.3.4	Utnyttelse av produsert biogass	13
2.3.5	Energiforbruk	13
2.3.6	Analyser av råstoffet – Prøver av grisejødsel i gjødselkum 1	14
2.3.7	Analyser av substratet (råstoff etter siling) og produsert biorest.....	14
2.4	Masse- og COD-balanse.....	16
2.4.1	Massebalansen.....	16
2.4.2	COD-balansen.....	17
2.5	Energibalanse	17
3	Diskusjon.....	18
3.1	Utnyttelsen av metanpotensialet.....	18
3.2	Energiforbruket	19
3.3	Utnyttelse av biogass.....	19
4	Konklusjon	20
5	Litteraturreferanser.....	21

1 Innledning

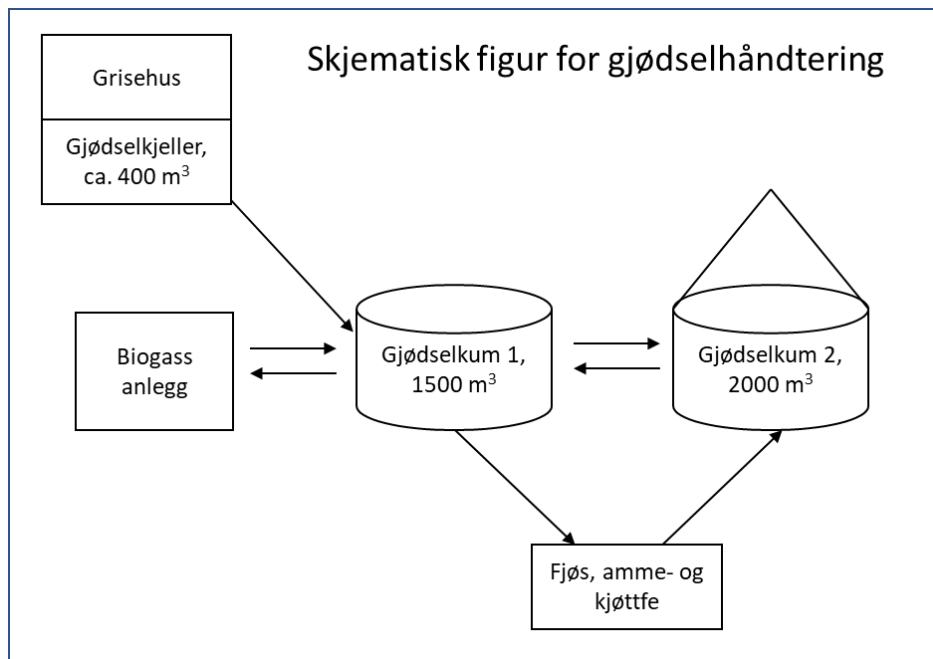
Gården til Søndre Skoglund ligger i Bjørkedalen sørøst i Porsgrunn kommune. På gården har det i lengre tid vært svineproduksjon, avlspurker med salg av spegris, salg av drektige purker og noe slaktesvin. For lagringen av blautgjødsla fra grisene er det en ca. 400 m³ gjødselkjeller under grisehuset og en åpen betongkum på ca 1500 m³ – Gjødselkum 1. For behandling av gjødsla ble det satt opp et biogassanlegg, levert av Waterment AS i 2014 (Figur 1). Anlegget driftes av Waterment AS som et forsøks- og utviklingsanlegg.



Figur 1. Fra høyre mot venstre: biogass reaktorhus med integrerte varmevekslere, returkum i rustfritt stål, bod for instrumentering og varmtvannskjel.

Sommeren 2017 ble det satt opp nytt fjøs for storfe (ammekyr og kjøttfe) og en ny gjødselkum på ca. 2000 m³ med duktak. Det er lagt opp til mulighet for pumping av gjødsl mellom de to kummene og for pumping fra Gjødselkum 1 ned til storfefjøset (Figur 2).

Storfefjøset har spaltegulv og renner for flytegjødsl. I en liten kum utenfor fjøset er det montert en kraftig pumpe for å kunne spyle rennene. Tilsats av grisemøkk til gjødselkjelleren i storfefjøset gir bedre skylling av rennene fordi grisegjødsel har lavere tørstoff enn storfegjødsel. Ved å tynne med grisemøkk er det ikke nødvendig å bruke like mye regnvann. På denne måten reduseres totalvolumet av gjødsl på gården. Dette er en fordel med tanke på utkjøring av gjødsla.



Figur 2. Skjematisk oversikt over gjødsellagring og transport mellom grisehus, gjødselkjeller, Gjødselkum 1, Gjødselkum 2 og biogassanlegg. Det transporteres nå ikke gjødsel fra fjøset til Gjødselkum 1 (1500 m³), bare til Gjødselkum 2 (2000 m³), og heller ikke videre fra Gjødselkum 2 til Gjødselkum 1.

Siden storfefjøset ble tatt i bruk høsten 2017 har det bare blitt pumpet gjødsel fra storfefjøset til Gjødselkum 2. Det har ikke blitt overført gjødsel fra Gjødselkum 2 til Gjødselkum 1 i perioden. Biogassanlegget som skal dokumenteres er knyttet til Gjødselkum 1. Det vil si at hele forsøksperioden omtalt i denne rapporten er biogassanlegget bare kjørt med blautgjødsel fra gris.

2 Resultater

2.1 Gjødsla som behandles i anlegget

Gjødsla som behandles kommer fra om lag 100 årspurker med 7 runder med grising per år. Dette gir om lag 350 grisunger per pulje, det vil si totalt 2450 grisunger per år. Av hver pulje blir 1750 solgt ved en vekt på 30 kg mens de resterende (de antatt beste av hunkjønn) blir solgt etter hvert i litt forskjellig størrelse og gjødselmengden fra disse tilsvarer i følge Sondre Skoglund om lag 700 slaktesvin per år når det gjelder gjødselproduksjon.

I tabell 1 er det satt opp standardtall for mengde gjødsel, tørrstoffinnhold og innhold av næringsstoffer for ulike kategorier gris (Nesheim og Sikkeland 2013). Vi har brukt disse tallene til å beregne mengde gjødsel og næringsstoff gjennom ett år fra 100 årspurker, 1750 smågris og 700 slaktegriser. Resultatene er vist i tabell 2.

Tabell 1. Standardtall for mengde gjødsel, tørrstoffinnhold og innhold av næringsstoffer for ulike kategorier gris (Nesheim og Sikkeland 2013).

Kategori	Størrelse	Ts-% gjødsel	Husdyrgjødsel		Kg/tonn		
			Tonn	Enhet	Total-N	Ammon.-N	P
Smågris	10-30 kg	7,3	0,08	per gris	5,6	3,8	0,75
Årspurke	Inkl. spedgris	6,5	4,74	per år	5,1	3,4	0,94
Slaktegris	31-115 kg	7,8	0,51	per gris	6,3	4,2	0,88

Den totale årlige produksjon av bløtgjødsel er beregnet til 971 tonn, eller 69 tonn gjødseltørrstoff. Denne gjødsla inneholder i alt 5,44 tonn total-N, 3,64 ammonium-N og 870 kg fosfor. Gjødselmengden vil kreve et spredeareal på ca. 250 dekar. Estimater for mengde bløtgjødsel er veldig avhengig av tørrstoffinnholdet. I beregningene i tabell 2 er gjennomsnittlig tørrstoffprosent 7,1. Dersom tørrstoffinnholdet bare er 4 %, vil mengde bløtgjødsel øke til 1725 tonn. Eksempelvis vil en åpen kum med et areal på om lag 400 m² og opp mot 1m nedbør i året gi et betydelig vanntilskudd, og en tilsvarende reduksjon i TS. Men brutto mengde utskilt næringsstoff vil ikke variere med tørrstoffinnholdet. Føring og andre driftsfaktorer kan nok påvirke innholdet av næringsstoffer, men griseproduksjonen er veldig standardisert, og derfor er variasjonen i næringsinnhold relativt liten. Derimot vil utnyttelsesgraden av næringsstoffene variere mye med vanninnhold, lagrings- og spredemåter.

Tabell 2. Mengde gjødsel og næringsstoff produsert per år fra en grisebesetning.

Kategori	Antall dyr	Ts-% gjødsel	Husdyrgjødsel, tonn/år		Næringsstoff, tonn/år		
			Bløtgjødsel	Tørrstoff	Total-N	Ammon.-N	P
Smågris	1750	7,3	140	10	0,78	0,53	0,11
Årspurker	100	6,5	474	31	2,41	1,61	0,45
Slaktegris	700	7,8	357	28	2,25	1,50	0,31
Sum per år			971	69	5,44	3,64	0,87

Ved dette biogassanlegget hygieniseres ikke gjødsla, og den resirkuleres tilbake til Gjødselkum 1. Ikke hygienisert gjødsla kan benyttes på eget og leiet areal, i følge Gjødselvareforskriften.

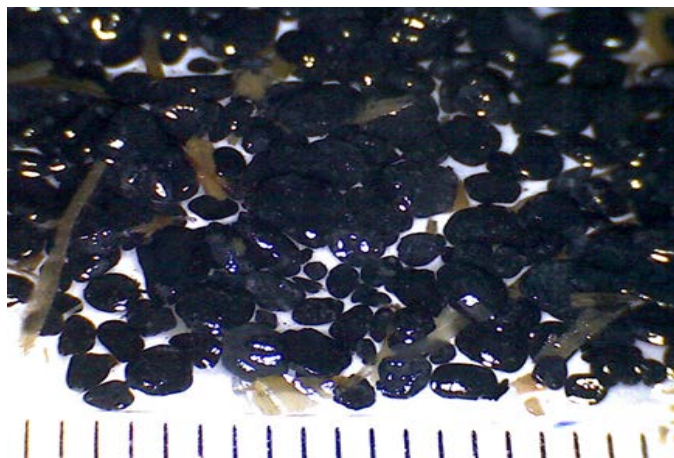
2.2 Beskrivelse av anlegget

2.2.1 Reaktortype

Biogassreaktoren er oppgitt fra leverandør å være en ABR-reaktor (Anaerobic Baffle Reactor). Generelt sett er dette anaerobe reaktorer (uten tilgang på luft) hvor et sett med skillevegger tvinger væsken gjennom flere reaktor-rom slik at det sikres økt kontakttid mellom den mikrobielle kulturen og væskefasen som skal behandles. Reaktorens indre konstruksjon er ikke gjort kjent og er ikke beskrevet her.

I reaktoren forekommer mikroorganismene i granuler som dannes spontant blant annet på grunn av strømningsforholdene i reaktoren. Eksempel på slike granuler er vist i figur 3. Disse granulene har høyere tetthet enn vann. Dette bidrar til å hindre at granuler følger med vannstrømmen ut av reaktoren og muliggjør en høyere gjennomstrømningshastighet enn det vi kan ha i en vanlig helomblandet reaktor. Prinsippene for teknologien er nærmere beskrevet i Veilederen utarbeidet som en del av Følgeforskningsprosjektet (Morken *et al.* 2017).

Granulbaserte reaktorer er vanlige å benytte for industriavløp med organisk materiale løst i vannfasen og med et lavt innhold av partikler som som kan forstyrre granulenes bevegelse. Partikler kan imidlertid også fasilitere granuldannelse og brukes noen ganger i oppstart av slike anlegg. Teknologien muliggjør å behandle store volum med relativt små reaktorer. Siden biogassprosesser er mer effektive ved høyere temperatur ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) benyttes teknologien ofte av industri med høytemperatur på avløp, eller som har tilgang på overskuddsvarme, for å redusere behovet for oppvarming av de store vannmengdene til biogassprosessens temperatur. I Norge finner vi eksempelvis anlegg basert på granul teknologi hos treforedlingsbedriftene Borregaard og Saugbruks. Det spesielle med anlegget på Skoglund er å benytte denne typen teknologi for behandling av husdyrgjødsel. Det kan være en fordel å benytte granulbaserte systemer ved behandling av blautgjødsla fra gris, hvor partikler og vannfase har en tendens til å separeres i gjødselkummen.



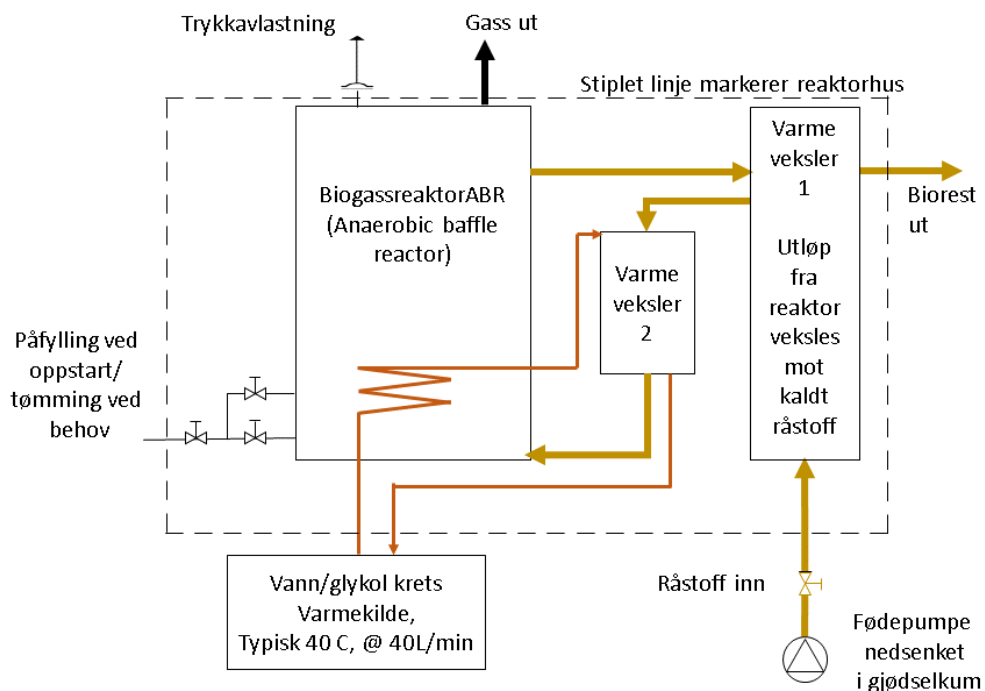
Figur 3. Granuler fra reaktoren hos Sondre Skoglund. Skala millimeter. Lysebrune partikler / planterester kommer fra gjødsla. Foto fra Høgskolen i Sørøst-Norge, tatt ved en tidligere anledning.

2.2.2 Tilførselen av gjødsel til biogassreaktoren

Blautgjødsla pumpes fra Gjødseltank 1 (figur 2) til biogassreaktoren med en dykket fødepumpe (sentrifugalpumpe, Tsurumi) som henger ned i gjødselkummen fra en plattform på toppen av kummen. Denne pumpen er plassert inne i en silkasse med en lysåpning på ca. 2 mm, nettopp for å hindre større partikler i å komme inn i reaktoren. Gitteret kan ha en tendens til å tette seg, spesielt ved omrøring i gjødseltanken, og driften bør da «ta en pause» til slammsetlet har sett seg.

Den silte gjødsla går i rør til reaktoren via Varmeveksler 1 som blir varmet opp av biorest som går fra reaktoren. Gjødsla går videre til Varmeveksler 2 hvor den varmes ytterligere opp ved hjelp av en varmekrets med glykol/vann. Denne varmekretsen holder typisk 40 °C. Det er en Danfoss sirkulasjonspumpe på denne kretsen (ikke tegnet). Begge varmevekslere er utformet slik at de kan åpnes og spyles rene etter behov. Gjødsla går videre inn i bunn av reaktoren. Det er en rustfri stålcoil inne i reaktoren for å bidra til oppvarmingen. En oversiktstegning er vist i figur 4.

J. Hovland 27.11.2017



Figur 4. Skjematisk tegning av biogassanlegget (J. Hovland, 27.11.2017).

2.2.3 Produsert biorest pumpes tilbake til gjødselkummen

Produsert biorest renner ut av reaktoren, over i Varmeveksler 1 for å varme opp innkommende føde. Overskudd av væske renner ut i pumpekum og pumpes tilbake til Gjødseltank 1, det vil si at produsert biorest blandes med ny gjødsla. På denne måten vil noe gjødsla passere biogassreaktoren en, eller flere ganger mens annen gjødsla forblir ubehandlet. Hos Skoglund er utløpet fra reaktoren plassert på toppen av betongveggen for å lede retur bort fra inntaket i et forsøk på å sikre at mest mulig gjødsla blir behandlet.

Styringssystemet registrerer når det går strøm til returpumpen. Dersom reaktoren hadde vært plassert slik at det var naturlig fall ville denne pumpen ikke vært nødvendig. Returen til gjødselkummen skjer i ca. en kvartssirkel avstand fra der fødepumpen er plassert (Figur 5).

For å få riktig fordeling av væske i reaktor fødes reaktoren i pulser. Typisk går fødepumpen i 60 - 80 sekunder for å levere ca 70 liter, for deretter å stå stille i 10 - 40 minutter. Det vil si at det kan fødes mellom 150 og 600 liter/time. Pulsfødning bidrar også til å gi god gjennomskylling av rør. (Erfaring er at dersom grisemøkk får stå stille i rør opp mot en uke kan det tette seg og det er viktig med muligheter til å spyle.)



Figur 5

Gjødseltank 1 med fødepumpen og returstrømmen plassert i om lag en kvartssirkel avstand

Bildet i figur 6 viser reaktoren plassert med gjødseltanken i bakkant.



Figur 6. Biogass reaktorhus med gjødsellager i bakkant og pumpekum for retur i rustfritt stål til høyre.

2.3 Drift og driftsresultater i forsøksperioden (20. november - 1. desember 2017)

2.3.1 Temperaturforhold

Alle temperaturmålinger ble utført daglig i testperioden. Utetemperaturen ble målt på stedet og lå stort sett i området 0 til -8 °C i testperioden. Temperaturen i gjødselkummen lå på mellom 1 og 0 °C, mens overflaten ble dekket med et tynt islag i løpet av perioden. Temperaturen i reaktortanken lå stabilt på 31 °C i forsøksperioden.

Temperaturen i returkummen (Figur 1) var på ca. 17 °C, noe som innebærer at varmeveksler 1 gjenvinner om lag 47% av varmeenergien i bioresten. (Bioresten avkjøles med 14 grader K av en total differans på 30 grader K mellom reaktortank og gjødselkum: $14/30 = 47\%$).

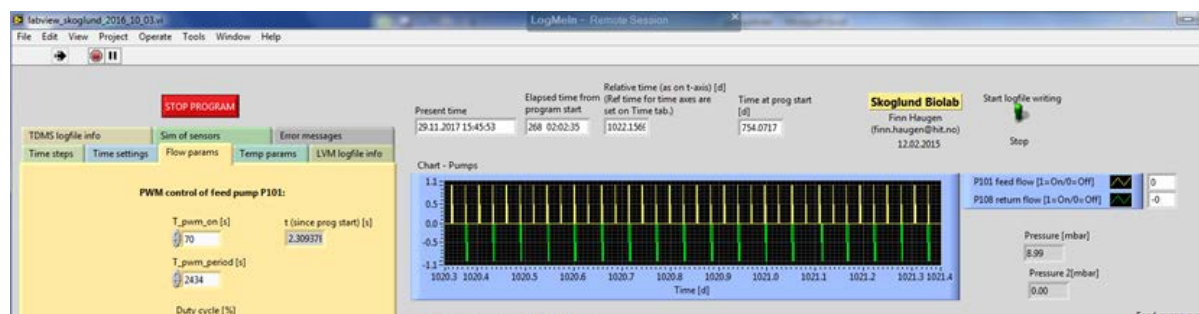
2.3.2 Hydraulisk oppholdstid

Pumpetid og tid mellom hver pumping kan brukes til å styre reaktoren, og dermed gassproduksjon. I forsøksperioden er det kjørt med 70 sekunder (ca 74,7 L) innpumping og 2434 sekunder mellom hver gang pumpen starter. Det vil si innpumping hver 40 minutter i 34 sekunder. Det tilsvarer $35,5$ innpumperinger per døgn = $35,5 \times 74,7 = 2,65 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Aktivt reaktorvolum er ikke nøyaktig kjent, men er oppgitt å være ca. 10 m^3 . Dette vil være avhengig av reaktorens fyllingsgrad som ikke er kjent.

Observasjon av inn- og utpumping ble gjort dagelig, og dette fungerte i hele forsøksperioden. Produsert mengde biorest ble registrert på mandager, onsdager og fredager. HRT (Hydraulisk oppholdstid) i testperioden var $= 10 / 2,65 = 3,77$ døgn eller 90 timer. Det vil si at forsøksperioden strakte seg over mellom 3 og 4 oppholdstider. Det er usikkerhet knyttet til hvor stabil pumpen er over tid. Til sammenligning er det gjort forsøk i liten laboratorieskala med HRT i området fra 42 helt ned til 1.7 timer (Bergland *et al.* 2015) og med stabil drift ved 17 timer.

For å hindre heverteffekt på fødeledning er det satt på en liten slange som lufter på øverste punkt, der hvor føden føres over betongkanten på gjødselkummen. Mens pumpen går renner det ut litt møkk fra denne tynne slangen tilbake i gjødselkummen. Når pumpen stopper suges det litt luft inn i slangen. Det vil si at noe av denne luften følger med inn i reaktoren ved neste innpumping.

Ved innpumping er det noe forsinkelse mellom start og at væske begynner å renne ut av reaktoren. Det vil si at væskevolumet øker inne i reaktoren, og at det dermed presses ut en ekstra mengde gass. I denne forsøksperioden, når det pumpes inn 70 liter hver gang er det observert at det bare presses væske ut av reaktoren for hver annen innpumping - og da renner det ut 140 liter til pumpekummen. Figur 7 viser registrering (skjerm bildedump fra PC) av innpumping (gul topp når pumpe på) og returpumpe (grønn).



Figur 7. Figuren viser registrering (skjerm bildedump fra PC) av innpumping (gul topp når pumpe på) og returpumpe (grønn).

Waterment antar at det er noe motstand i systemet (muligens granuler som trenger noe "kraft" for å bli løftet opp) som gjør at returpumping bare skjer ved hver annen innpumping. Når væsken renner ut av reaktoren, og det skjer litt etter at fødepumpen har stoppet, vil noe luft suges tilbake inn i reaktoren siden gassen nå slippes direkte ut. Det trengs bare én pumpe for å presse væske gjennom varmevekslere og reaktor. Returpumpe er bare nødvendig dersom reaktoren er plassert så lavt at det ikke er fall tilbake til gjødselkum.

2.3.3 Gassmålinger – Gassvolum, gasskvalitet og metanutbytte

Gassvolum ble målt ved bruk av Ritter BG 4 gassmåler av belgtype. Den har bare enveis strømning (måler ikke tilbakesug). Dette ble utført på mandager, onsdager og fredager i testperioden. Måleren ble satt på rett etter en utpumping der det samtidig hadde rent væske ut (og blitt trukket luft inn). Gassproduksjonen ble i snitt målt til 323,7 liter per time eller avrundet til 7,8 m³ per døgn.

Gassens sammensetning ble målt med Biogas 5000 på de samme 3 ukedagene. Denne måleren måler % metan, karbondioksid og oksygen og ppm hydrogensulfid. På grunn av tidvis undertrykk i reaktoren når væske renner ut, får man noe luft inn. Gassmålingene viser at oksygeninnholdet i biogassen er på mellom 2,4 og 3,8 %. Luft inneholder ca 21 % oksygen og 78% nitrogen, noe som skulle tilsi at mellom 5 og 15 % av biogassen er nitrogen.

Den 1. desember ble det gjort et ekstra måleoppsett i det gasskvaliteten ble målet tre ganger over en periode på 1 time 20 minutter. I denne tiden rant det ikke ut væske og oksygen- og nitrogenholdet sank med tiden (tabell 3). Gassens sammensetning er vist i tabell under. Som man ser stiger metanprosenten etterhvert som luft som er blitt suget inn tidligere, blir ført ut av reaktoren med produsert biogass. Siden volummålingene måler totalmengden gass, også nitrogen og oksygen, er første avlesning den som er blitt benyttet i beregningene av metanproduksjonen videre. Dersom de siste målingene skulle legges til grunn, som sannsynligvis er riktigere med hensyn til den egentlige metankonsentrasjonen i den produserte biogassen, måtte man samtidig korrigere det produserte gassvolumet for luftmengden.

Tabell 3 Tabellen viser stigende metan- karbondioksid- og hydrogensulfidkonsentrasjon med tiden mens oksygenet tynnes ut siden luft ikke ble suget inn under måleprosedyren gjort 1. desember.

Tid	08:56	09:50	10:15	enhet
HH:MM	00:00	00:54	01:19	
CH4	62,2	63,9	66,8	%
CO2	19,5	20,9	21,6	%
O2	2,4	2,1	1,3	%
H2S	199	291	469	ppm
Balanse	15,9	13,1	10,3	%

På grunn av tidvis uønsket innsug av luft heftes det nokså stor usikkerhet med hensyn til gassens sammensetning.

- Metankonsentrasjonen ble målt til et snitt på 57% med et spenn fra 53 til 62%.
- Karbondioksidkonsentrasjonen ble målt til et snitt på 18,4% med en variasjon mellom 17,7 og 19,5%.
- Okygenkonsentrasjonen ble målt til et snitt på 3,3% med en variasjon mellom 2,4 og 3,8%.
- Hydrogensulfidkonsentrasjonen ble målt til et snitt på 420 ppm med en variasjon mellom 199 og 590 ppm.
- Nitrogenkonsentrasjonen utgjør sannsynligvis mye av det resterende, men ble ikke målt.

Den 20. november og 1. desember ble det også samlet prøver på gasstette poser og analysert ved bruk av GC på HSN (Høgskolen i Sørøst-Norge). Disse analysene viste et innhold av metan på 65 og 68% og karbondioksid på henholdsvis 34% og 31 %. Disse verdiene avviker relativt mye fra analysene gjort på anlegget ved bruk av Biogas 5000 og omfatter ikke oksygen og nitrogen.

Med denne vurderingen er 57 % metan i biogassen bedre å bruke enn normaliserte beregninger fra GC der oksygen og nitrogen ikke inngår. Dersom man skulle legge GC-målingene til grunn, ville man måtte trekke fra luftmengden fra biogassproduksjonen før beregning av metanproduksjonen.

Med utgangspunkt i at det ble fødet inn 2,65 m³ per døgn og det ble produsert 7,8 m³ biogass med et metaninnhold på 57% blir det produsert 4,5 m³ metan per døgn og et metanutbytte på 1,7 m³ metan per m³ føde (gjødsel fra Gjødselkum 1).

Det ble gjort enkle målinger av gass-sammensetningen i atmosfæren over gjødselkjelleren, over Gjødselkum 1 og returkummen ved bruk av Biogas 5000 for å se om konsentrasjoner kunne være farlige med hensyn til eksplosjonsfare (metan/luft-blanding) eller giftig H₂S-gass. Observasjonene tilsier ingen eksplosjonsfare, men i møkkakjelleren er H₂S-konsentrasjonen rundt grensen i regelverket. Møkkakjelleren er ikke noe arbeidssted, men det bekrefter at man må utvise forsiktighet ved behandling av gjødsel. Denne enkeltmålingen er gjort i en periode med kaldt vær og kaldt gjødsel og det må tas høyde for at det kan være eksplosjonsfarlig gassblandinger tilstede under andre forhold.

2.3.4 Utnyttelse av produsert biogass

Under dokumentasjonsperioden ble den produserte biogassen ikke benyttet og anlegget var heller ikke utstyrt for dette. Anlegget var foreløpig heller ikke utstyrt med fakkell for å forbrenne metan som produseres, det vil si at all produsert metan ble sluppet til atmosfæren i dokumentasjonsperioden, såkalt «kaldfakling».

2.3.5 Energiforbruk

El-forbruk benyttes til fødepumpe, returpumpe, Høiax 4,5 kW el-kassett for oppvarming av vann/glykolkrets, sirkulasjonspumpe for vann/glykol, varmekabler (føderør, returrør biorest, vann til anlegget) og strøm til styringssystem (PC), modem internet og belysning.

Beregnet El-behov til oppvarming av føde inn: Netto oppvarming av føden er ca 16 K (returtemp – gjødselkumtemp). Vi antar varmekapasitet som vann (1,16 kWh/m³*K). Med 2,65 m³/døgn er da oppvarmingsbehovet til føde: $1,16 * 2,65 * 16 = 49 \text{ kWh/døgn}$.

I tillegg kommer varmetilførsel for å kompensere for varmetap fra reaktor. Varmekabel på føderøret bidrar til oppvarming, slik at føden går inn på Varmevexler 1 med noe høyere temperatur. Volumet av

føderøret er imidlertid så lite at dette bidraget er neglisjerbart, men vil fremkomme som en liten del av differensen mellom det målte el-forbruket og det beregnede.

Avlesning av strømmåler ble gjort daglig på et tidspunkt mellom klokken 09:30 og 10:30. Det daglige strømforbruket ble målt til 98 kWh per døgn med relativt små avvik, stor sett mellom 96 og 100 kWh.

Oppvarming av vann/glykol-krets representerer det største forbruket, deretter varmekabler til frostsikring. En mere spesifisert oversikt:

- Varmekabler, PC, modem og annet forbruk (varmekabler er mer enn 90% av dette): 0,7 kW kontinuerlig 24 t/døgn = 16,8 kWh/døgn
- Fødepumpe 0,54 kW, 35,5 ganger per døgn 70 sekunder per gang = 0,37 kWh/døgn
- Returpumpe 0,273 kW 17,75 ganger per døgn 265 sekunder per gang = 0,36 kWh/døgn
- Sirkulasjonspumpe vann/glycol 0,05 kW kontinuerlig = 1,2 kWh/døgn
- Beregnet oppvarmingsbehov føde $1,16 \text{ kWh/m}^3 \cdot \text{K}$ (spesifikk varme for vann) * 2,65 m³/døgn * 16 K (hevet temperatur føde/retur) = 49 kWh/døgn

Sum av dette er om lag 68 kWh/døgn. Varmetap fra reaktor og rørledninger etc. anses å være differansen mellom det målte forbrukt, 98 kWh/døgn, og denne summen, det vil si om lag ~30 kWh/døgn. Varmetapet avhenger selvfølgelig av utetemperatur.

2.3.6 Analyser av råstoffet – Prøver av grisegjødsel i gjødselkum 1

Siden føden som går inn i reaktoren har passert en sil, er det av interesse å analysere innholdet i selve gjødselkummen før det siles.

I forbindelse med utkjøring av gjødsel de siste dagene i oktober ble gjødselkum 1 (kun fra gris) rørt opp og det ble da tatt prøver direkte fra gjødselkummen. Prøven ble tatt ved at det fra fire steder rundt periferien av kummen ble senket ned en 10 liter stålbøtte. Bøtten ble på hvert sted dratt litt bortover bunn før den ble halt opp. Disse 4 prøvene ble slått sammen, rørt godt og prøver tatt i plastflasker. Prøvene ble frosset i påvente av forsendelse. Prøvene ble tatt ca. ett døgn etter opprøring. Da det alltid er mulig at en del partikler sedimenterer raskt er det vanskelig å få en 100% representative prøve.

Gjødselkum 1 ble også rørt opp etter forsøksperioden, 7. desember. Det var da noen cm tykk is. Isen brakk delvis opp (islaget sees på foto, Figur 5), og man kunne observere god sirkulasjon i væsken. Prøver ble hentet på tilsvarende måte som over, men på grunn av delvis isdekke var det bare mulig å få tatt prøve rett under plattformen der pumpen henger, og der hvor retur fra reaktoren kommer.

Prøvene ble analysert ved HSN og parallelle prøver sendt NIBIO og Vestfold Lab for analyse (Tabell 4)

2.3.7 Analyser av substratet (råstoff etter siling) og produsert biorest

Prøver av føde til reaktoren (etter silkassen) ble tatt ut fra en ventil på undersiden av røret mellom fødepumpe og reaktor. Prøven ble tatt rett etter en innpumping for i størst mulig grad unngå at det hadde skjedd sedimentering i røret. Ventilen ble først åpnet en kort stund for å tappe ut eventuelle sedimenterte partikler i ventilen. Deretter ble prøveflasken fylt opp. Prøvene ble oppbevart ved – 20 °C før senere analyse.

Det ble tatt ut prøver hver ukedag (mandag til fredag) gjennom hele forsøksperioden. Prøvene ble sendt til NIBIO for analyse av TS, VS, total COD og fettsyrene maursyre, eddiksyre, propionsyre og smørsyre. Resultatene er vist i tabell 5.

Tabell 4. Analyseresultater av prøver hentet fra Gjødsetank 1 før, og ved slutten av dokumentasjonsperioden.

	Gjødsetkum 1 , prøver fra 31. oktober			Gjødsetkum 1 , prøver fra 7. desember		
	HSN	Vestfol Lab	Nibio	HSN	Vestfol Lab	Nibio
pH	7,4	8,0		7,1	8,1	
Tot COD (mg/L)	21080		31300	17400		40550
Løst COD	9000		9450	8430		7680
TS (g/L)	18,4	17	19,0		22	28,3
VS (g/L)	12,0					
VS/TS (%)	65,5	70,7	66,3		68,8	74,2
Total N (mg/L)*		2200			2400	
Total P (mg/L)*		410			770	
Ammonium (mg/L)	1740	1600		1640		
Format (mg/L)			154			148
Acetat (mg/L)	2818		2793			2630
Propionat (mg/L)	1455		1325			1156
Isobutyrate (mg/L)	250		148			154
Butyrat (mg/L)	323		236			103
Isovalerate (mg/L)	338					
n-valerate (mg/L)	54					
Iso-cap. (mg/L)	0					
Caproate (mg/L)	0					
Heptate (mg/L)	0					
Tot VFA	5237					

* Oppgitt som % av TS fra analyselab, og verdien i tabellen er da omregnet ved bruk av måleverdien til TS

Analysene gjort ved VesfoldLAB inneholder også data for svovel, kalsium, magnesium og kalium og AL-løslig fosfor, kalium, kalsium og magnesium, samt standard tungmetaller (kadmium, kvikksølv, bly, nikkel, krom, sink og kobber). Analysedata i Appendix 1.

Gjødsel er i Gjødsetvareforskriftens tungmetallklasse 0 for bly, nikkel og krom, klasse 1 for kadmium og kvikksølv, klasse 2 for kobber og klasse 3 for sink. De høye verdiene for kobber og sink skyldes føret som benyttes til gris. Gjødset spredt på eget eller eiet areal er imidlertid untatt kvalitetskravene i Gjødsetvareforskriften.

Tabell 5. Tørrstoff, VS, tot COD, løst COD og fettsyrer (mg/L) i gjødseltank 1, føde inn i reaktoren og biorest fra reaktoren. Prøver fra gjødseltanken ble tatt 31. oktober og 7. desember mens analysene av føde og biorest er et resultat av 10 prøver tatt på 10 forskjellige dager (analysert hos NIBIO).

	Gjødseltank 1 Verdier fra tabell 1 (Nibio's data)	Føde (inn i reaktoren)*	Biorest (fra reaktoren)*
TS (g/L)	19,0 / 28,3	12,2 ± 0,9	11,0 ± 0,5
VS (% av TS)	66,3 / 74,2	61,1 ± 2,0	57,1 ± 1,5
Tot COD (g/L)	31,3 / 40,5	18,5 ± 1,1	13,8 ± 1,1
Løst COD (g/L)	9,45 / 7,68		
Formic acid (mg/L)	154 / 148	160 ± 17	179 ± 10
Acetic acid (mg/L)	2793 / 2630	2465 ± 167	833 ± 105
Propionic acid (mg/L)	1325 / 1156	1059 ± 98	492 ± 48
Iso-butyric acid (mg/L)	148 / 154	153 ± 15	nd
Butyric acid (mg/L)	236 / 103	138 ± 14	nd

* TS, VS, COD og innholdet av fettsyrer både i føden og i bioresten var svært stabilt gjennom forsøksperioden og hadde ingen systematisk endring. Resultatene er derfor presentert ved bruk av standardavvik.

2.4 Masse- og COD-balanse

2.4.1 Massebalansen

Reaktoren ble matet med 2,65 m³ gjødsel fra Gjødseltank 1 per døgn, og den hydrauliske oppholdstiden var 3,77 døgn. Standardverdiene for tørrstoffinnholdet i grise gjødsel er i området 7% (Tabell 1). Tørrstoffet i Gjødseltank 1 kan tynnes noe ut ved tilførsel av regnvann og vaskevann fra grisehuset, men de lave verdiene skyldes nok i hovedsak sedimentasjon som ikke lar seg røre opp ved omrøring eller sedimenterer i løpet av det døgnet som går mellom omrøring og prøvetaking. Tørrstoffinnholdet ble ytterligere redusert i føden etter at gjødsel hadde passert silkassen og ligger i området 12,2 g/L i følge tallene i tabell 5 eller målt til 32,3 kg per døgn.

Innholdet av organiske fettsyrer er målt til 4,0 g/L og ammoniuminnholdet er målt til 1,6 g/L. Totalt utgjør disse 2 fraksjonene 14 kg per døgn eller om lag 40% av det målte tørrstoffet. Litt avhengig av pH vil disse fraksjonene dampe av og ikke komme med i det registrerte tørrstoffet. Både VS-verdiene og TS verdiene vil være heftet med denne usikkerheten.

Innholdet av metan ble målt til 57 %. En gassblanding med 60% metan og 40% karbondioksid ved 0°C og 1 atm har en masse på om lag 1,21 kg/m³ eller 9,47 kg per døgn. Variasjoner i trykk og temperatur, samt innhold av vanddamp, nitrogen og oksygen vil gi noe avvik.

Dette innebærer at reaktoren mates med ca. 47 kg/døgn (tørrstoff + fettsyrer og ammonium) og det produseres 37,4 kg/døgn biorest og 9,5 kg biogass. Det er usikkerhet i tallene, men det indikerer en god massebalanse.

2.4.2 COD-balansen

Reaktoren ble tilført 49,0 kg COD per døgn tilsvarende en organisk belastning på 4,9 kg COD per m³ per døgn og 36,6 kg COD per døgn ble ført ut med bioresten. Det kjemiske oksygenforbruk ble således redusert med 12,4 kg per dag, noe som betyr at 25 % av COD ble omsatt til biogass. Teoretisk blir 1 kg COD omsatt til 0,35 m³ metan ved 0 °C og 1 atm trykk. COD balanse bygger på prinsippet om at COD ikke kan dannes eller forsvinne. COD i substrat vil omdannes til COD i effluent (biomasse og uomsatt substrat) og COD i metan. En reduksjon på 12,4 kg vil tilsvare 4,3 m³ metan. 7,8 m³ metan med 57% metaninnhold tilsvarer 4,4 m³ metan, noe som tilsvarer reduksjonen i COD.

Det er altså en god sammenheng mellom målt produsert biogass og målt reduksjon av COD i dokumentasjonsperioden.

Det går med henholdsvis 2, 3 ½ og 5 mol O₂ til fullstendig oksidasjon av henholdsvis ett mol acetat, propionate og butyrate/iso-butyrate. Den målte reduksjonen av disse fettsyrene tilsvarer en COD-reduksjon på 9,4 kg. Hvis valerate og iso-valerate (målt i Gjødsekum 1 av HSN) omsettes like effektivt som butyrate og iso-butyrate vil hele 11,8 kg COD av 12,4 kg målt COD-reduksjon skyldes omsetning av fettsyrer til metan.

Resultatene tyder på at dannet metan i hovedsak skyldes omsetning av lavere fettsyrer. Format ser imidlertid ikke ut til å omsettes i reaktoren.

2.5 Energibalanse

Mye energi vinterstid vil gå til å varme opp føde inn i reaktoren fra ca 1 grad C i Gjødsetank 1 til driftstemperaturen på 31 grader C i reaktoren. Varmeveksleren mellom utgående biorest og innkommende føde varmet føden opp til ca 17 grader C. Videre oppvarming krever tilført energi, beregnet til 49 kWh/døgn. Totalt strømforbruk ble målt til 98 kWh per døgn. Forbruket er nærmere beskrevet i kapittel 2.3.5.

Beregnet energiproduksjon per døgn var 44 kWh (7,8 m³ biogass*57 % metaninnhold* 10 kWh/m³). Dette er en bruttoverdi fordi vi aldri vil kunne utnytte 100% av energien i den produserte biogassen. I forsøksperioden ble ikke energien i den produserte biogassen utnyttet, men metanet sluppet ut til atmosfæren.

Differensen mellom produsert bruttoenergi og forbrukt energi i form av el var -54 kWh/døgn, noe som betyr at anlegget brukte om lag dobbelt så mye energi som det ble produsert. Bildet ville vært bedre sommerstid.

3 Diskusjon

3.1 Utnyttelsen av metanpotensialet

Den totale gjødselproduksjonen fra den angitte besetningen er anslått til 971 m³ (tabell 2). Med et tørrstoffinnhold på 7% tilsvarer dette 68 tonn tørrstoff (tabell 1 og 2). Ved et vanntillegg på 360 m³ per år (i form av regnvann og skyllevann, men fratrukket fordampningen fra gjødseltanken) vil vi eksempelvis få en TS på 5,1%. Gjødseltank 1 har et volum på 1000 m³, og gjødselkjelleren har et volum på 400 m³. Den totale lagerkapasiteten er godt tilpasset produksjonen. Ved spredning av gjødsel to ganger i året har gården god lagerkapasitet. I forsøksperioden pumpes det 2,65 m³ per døgn. Dersom dette ble gjort alle årets dager, ville det bli behandlet om lag 970 m³ gjødsel. Dette innebærer at mesteparten av gjødsla passerer anlegget en gang, noe passerer to eller flere ganger mens noe forblir ubehandlet. Å simulere dette er vanskelig, spesielt fordi blandingen av behandlet og ubehandlet gjødsel er ukjent og fordi volumene i gjødsellageret hele tiden endres. Betrachtingene blir således omtrentlige.

Gjødsla siles før den mates inn i anlegget og bare noe mer enn halvparten av målt COD går inn i anlegget. Av COD som går inn i anlegget omsettes ca. 25%, i hovedsak løste fettsyrer.

Reaktoren er ABR-reaktor, men også basert på granul-teknologi. Denne typen reaktorer er tilpasset å behandle oppløst organisk materiale. Resultatene tyder nettopp på at mesteparten av det som omsettes er oppløst organisk materiale, mest i form av fettsyrer. Partikulært materiale krever ofte lenger oppholdstid. Hydrolysen ser ut til å være begrensende faktor og ikke veksthastigheten til metanogene organismer som er begrensende ved omsetning av VFA.

Metanpotensialet fra blautgjødsel fra gris er oppgitt til 268 m³/tonn VS (Carlsson & Uldal 2009). Reaktoren som behandlet den vannløslige og småpartikulære fraksjonen hadde et utbytte i testperioden på 209 liter metan/kg VS. Forholdet mellom metan og CO₂ var stabilt på om lag 3:1. Anslått årlig produksjon av TS er på 68 tonn per år (tabell 1 og 2). VS i % av TS i gjødseltanken er målt til ca. 70% (tabell 4). Med utgangspunkt i typisk mengde gjødselproduksjon fra dyrene på gården til Skoglund, metanpotensialet hentet fra Substrathåndboka og målte verdier for VS i Gjødsellageret, vil det totale maksimale metanpotensialet anslås til 12.800 m³ metan per år (68 tonn x 70% x 268 m³/tonn VS). Den årlige målte metanproduksjonen fra anlegget, dersom produksjonen hadde vært på samme nivå som i dokumentasjonsperioden hver dag hele året og hvor bare om lag 1/6 av det organiske materialet passerte gjennom anlegget, ville vært 1600 m³ metan. Det vil si at om lag 1/8 av potensialet utnyttet. Dersom anlegget hadde kunnet behandle hele gjødselfraksjonen med samme effektivitet, hadde utnyttelsen økt til 3/4. Siden det målte TS-nivået er så lavt er det overveiende sannsynlig at mesteparten av tørrstoffet og VS er sedimentert i lagertanken samt at mye nedbør i lagertanken forut for forsøksperioden medførte fortynning.

Ved prøvetaking av blautgjødsel bør omrøringen gjøres kontinuerlig, også mens prøvetakingen foregår for å få tatt en representativ prøve (Lorimor et al., 2004). I vårt tilfelle ble prøver tatt fra tanken ett døgn etter omrøring og mye vil kunne ha sedimentert i denne perioden.

Det må nevnes at anlegget har blitt kjørt med en lengre HRT og således en lavere organisk belastning enn tilsvarende forsøk utført i liten laboratorieskala (Bergland *et al.* 2015). En langt raskere gjennomstrømning vil imidlertid kreve mye mer energi til oppvarming av vannet. Hvor fort det er mulig å kjøre fullskala-anlegget med fortsatt stabil drift er også usikkert.

Slik anlegget var driftet i testperioden, hadde det en lav utnyttelse av det totale metanpotensialet til grisegjødsla, og det var i hovedsak de løste fettsyrene som ble omsatt til metan. Om lag 1/3 av eddiksyren ble omsatt, halvparten av propionsyren og all smørsyre (butyrat og iso-butyrat) og muligens valerate/iso-valerate. Det så ikke ut til at maursyre ble omsatt.

3.2 Energiforbruket

Granulbaserte anlegg er konstruert slik at man kan behandle organisk materiale løst i store væskevolum som kan passere gjennom anlegget langt raskere en tilveksten av mikroorganismer/slamproduksjonen. Utfordringen er at det krever mye energi å varme opp store mengder vann. Ofte benyttes denne typen prosesser på industriavløp med oppløst organisk materiale i vann som allerede har en høy temperatur eller bedriften har et overskudd av varme, f.eks. i treforedlingsindustrien. Selv om prosessen her drives på en relativt lav temperatur (ca. 30 grader C), må store mengder vann hele tiden varmes opp fra om lag 0 grader (i forsøksperioden). Til tross for god varmeveksling mellom utgående biorest og innkommende føde, må det benyttes store mengder energi for å opprettholde temperaturen i reaktoren.

Av energibalansen fremgår det at de absolutt største mengdene energi går med til denne oppvarmingen. Slik anlegget driftes i dokumentasjonsperioden var energiforbruket langt større enn energiproduksjonen i form av produsert metan.

3.3 Utnyttelse av biogass

I dokumentasjonsperioden ble ikke energien utnyttet og produsert metan ble heller ikke faklet av, men ble sluppet direkte ut i atmosfæren. Det må forventes at fakkel i nær framtid blir installert.

4 Konklusjon

Biogassanlegget til Søndre Skoglund, levert og driftet av Waterment AS, behandler blautgjødsla fra gris. Det er basert på teknologi vanligvis tilpasset organiske avfallsstrømmer med et lavt partikkelinnhold, men er i følge leverandøren modifisert for å behandle partikkelrike føder. Partikkelinnholdet i føden i testperioden var lavt, oppnådd ved å sile gjødsla før den gikk inn i anlegget, samt det at partikler i grise gjødsla sedimenterer ut raskt under lagring i gjødseltanken og føden var også fortennet med nedbør forut for forsøksperioden.

Selve biogassreaktoren er en granulbasert kompakt ABR-reaktor med en høy væskegjennomstrømning og kort hydraulisk oppholdstid. Resultatene kan tyde på at reaktoren kunne vært egnet til å behandle væskestrømmer med i hovedsak oppløste organiske lett nedbrytbare forurensninger, for eksempel fra perkolasjonsanlegg, og da helst med høyere temperaturer på avløpsvannet som skal behandles. Av energibalansen fremgår det at de absolutt største mengdene energi går med til oppvarming av gjødsla og under dokumentasjonsperioden, gjort under vinterbetingelser, var energiforbruket større enn energiproduksjonen i form av produsert metan.

Reaktoren som jo bare behandlet den vannløslige og småpartikulære fraksjonen hadde et utbytte i testperioden på 209 liter metan/kg VS. Forholdet mellom metan og CO₂ var stabilt på om lag 3:1. Kortere fettsyrer unntatt maursyre ble relativt effektivt omsatt.

Selve reaktoren fungerte stabilt under testperioden – de største utfordringene ligger i at bare en del av gjødsla kan behandles samt at driften krever mye energi, spesielt til oppvarming av gjødsla under vinterdrift. Å vurdere mulighetene av å endre driftsbetingelsene slik at en større andel av gjødsla skulle kunne behandles faller utenfor dette dokumentasjonsprosjektet.

5 Litteraturreferanser

- Bergland, W.H., Dinamarca, D., Toradzadegan, M., Nordgård, A.S.R., Bakke, I og Bakke, R. 2015. High rate manure supernatant digestion. Water Research 76.
- Carlsson, M., & Uldal, M. 2009. Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport Svenskt Gastekniskt Center 200. 1102 – 7371, ISRN SGC-R-200-SE.
- Lorimor, J., Powers, W. and Sutton, A. 2004. Manure characteristics. Manure Management Systems Series, MWPS – MidWest Plan Service, Iowa State University, Iowa.
- Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K-A. og Kvande, K. 2017. Veileder for biogassanlegg – mulighetsstudie, planlegging og drift. Realtek Rapport 56, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet – NMBU. ISSN: 1503-9196.
- Nesheim, L. & Sikkeland E., H. 2013. Mengd utskilt husdyrgjødsel – nye standardtal. Bioforsk Rapport 109/2013, ISBN 978-82-17-01131-6.
- Svensson, K., Kjørlaug, O., Horn, S.J. og Agger, J.W. 2017. Comparison of approaches for organic matter determination in relation to expression of bio-methane potentials. Biomass and Bioenergy 100. S. 31-38.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.

