

# FØLGEFORSKNING - BIOGASS- ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD



**TITTEL/TITLE**

FØLGEFORSKNING - BIOGASS-ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

INGVAR KVANDE, ANNE-KRISTIN LØES, HAMID GHAHARAMANI

<b>DATO/ DATE:</b>	<b>RAPPORT NR./ REPORT NO.:</b>	<b>TILGJENGELIGHET/ AVAILABILITY:</b>	<b>PROSJEKT NR./ PROJECT NO.:</b>	<b>SAKSNR./ ARCHIVE NO.:</b>	
13.12.2017	NR.9/VOL 2/2017	ÅPEN	4010		
<b>ISBN-NR./ISBN-NO:</b>		<b>ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:</b>	<b>ISSN-NR./ISSN-NO:</b>	<b>ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:</b>	<b>ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:</b>
978-82-8202-043-5		VERSJON NR 1		22	VEDLEGG

**OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:**

INNOVASJON NORGE

**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

GURI BJØNNES HOTVEDT

**STIKKORD/KEYWORDS:**

STORFEGJØDSEL, GASSUTBYTTTE, ENERGIBALANSE

COW MANURE, GAS YIELD, ENERGY BALANCE

**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

BIOGASS

BIOGAS

**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

FØLGEFORSKNING, DET VIL SI DOKUMENTASJON AV GASSPRODUKSJON, DRIFT, ENERGIBRUK OG ENERGIPRODUKSJON FRA BIOGASS-ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD ER GJENNOMFØRT I TIDSROMMET 19.JUNI TIL 29.SEPTEMBER 2017. RESULTANENE REFLEKTERER IKKE STABIL DRIFT (ULIK ORGANISK BELASTNING), MEN PEKER I SAMME RETNING SOM TIDLIGERE RESULTATER OG ERFARINGER:

FØLGEFORSKNINGEN VISER AT DET ER AVGJØRENDE FOR STABIL BIOGASSPRODUKSJON Å OPPNÅ GOD GJØDSELYLT FRA FJØS TIL BIOGASSANLEGG. PROBLEMER MED PROPELLOMRØING I FJØSET FØRTE TIL AT RÅSTOFFET HADDE LAVT TØRRSTOFF-INNHOLD OG TESTEN TYDER PÅ AV RÅSTOFFET INNEHOLDT EN HØY ANDEL LETT-OMSETTELIG ORGANISK MATERIALE.

MÅLT SPESIFIKT METANUTBYTTE FOR DEN KONTINUELIG OMØRTE REAKTOR-LØSNINGEN ER HØYT PÅ GRUNN AV TILSTANDEN PÅ RÅSTOFFET OG ANSES IKKE FOR Å VÆRE REPRESENTATIVT.

UTBYTTE I FORM AV ENERGIPRODUKSJON I KILOWATT-TIMER ER RELATIVT LAVT OG VIL VÆRE BEGRENSET SELV MED HOMOGEN GJØDSEL FOR ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD. ANLEGGET ER BYGD MED TANKE PÅ UTNYTTELSE AV FISKESÅPE SOM TILLEGGSRÅSTOFF FOR Å OPPNÅ LØNNSOMHET.

INTERN ENERGIBRUK I ANLEGGET ER RELATIVT HØY OG KAN TIL DELS TILSKRIVES RELATIVT HØY ENERGIBRUK FORBUNDET MED PUMPE- OG VARMEVEKSLER -LØSNING FOR OPPVARMING SAMT FOR LANGE RØRFØRINGER FOR TRANSPORT AV GJØDSEL OG SUBSTRAT MED TILHØRENDE VARMETAP. BIORESTEN VISER TILSVARENDE

NÆRINGSINNHOLD SOM TIDLIGERE TESTER MEN INNHOLD AV KOBBER OG SINK ER HØYERE ENN GRENSEVERDIEN FOR KLASSE 0 I GJELDENDE GJØDSELVAREFOKSKRIFT.

THE DOCUMENTATION OF GAS PRODUCTION AND PLANT OPERATION OF THE TINGVOLL BIOGAS PLANT WAS PERFORMED FROM 19<sup>TH</sup> OF JUNE TO 29<sup>TH</sup> OF SEPTEMBER 2017. THE RESULTS DO NOT REFLECT STABLE OPERATING CONDITIONS BUT SHOW THAT:

IT IS VITAL TO ESTABLISH A CONTROLLED MIXING AND FLOW OF MANURE TO ATTAIN A STABLE GAS-PRODUCTION. PROBLEMS WITH THE MANURE MIXING SYSTEM RESULTED IN THE MANURE HAVING A LOW DRY MATTER CONTENT BUT A HIGH FRACTION OF HIGHLY DEGRADABLE ORGANIC MATTER.

BECAUSE OF THE MANURE COMPOSITION A HIGH SPECIFIC METANHE YIELD WAS MEASURED THAT IS NOT CONSIDERED TO BE REPRESENTATIVE TO THE PRODUCTION WITH A HOMOGENOUS MIX OF THE MANURE.

THE ENERGY YIELD IN KWH IS RELATIVELY LOW AND WILL BE LIMITED EVEN WITH A HOMOGENEOUS MIX OF THE MANURE. THE PLANT IS DESIGNED TO UTILIZE FISH SOAP AS AN ADDITIONAL SUBSTRATE TO ATTAIN A ECONOMICALLY VIABLE PLANT.

THE INTERNAL ENERGY USAGE IS RELATIVELY HIGH. THIS CAN BE ATTRIBUTED TO THE PUMP- AND HEAT- EXCHANGER SYSTEM FOR EXTERNAL HEATING AND COMPENSATION FOR HEAT LOSSES AND THE RELATIVELY LONG PIPES FOR TRANSPORTING MANURE AND DIGESTATE.

THE DIGESTATE SHOWS A SIMILAR COMPOSITION OF NUTRIENTS AS FOUND IN EARLIER TESTS. THE DIGESTATE ANALYSIS SHOWS THAT THE ZINK AND COPPER-CONTENT IS HIGHER THAN THE LIMIT FOUND FOR QUALITY CLASS 0 IN THE REGULATION FOR UTILIZATION OF MANURE AND DIGESTATE.

LAND/COUNTRY:

NORGE

FYLKE/COUNTY:

MØRE OG ROMSDAL

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

TINGVOLL

STED/LOKALITET:

TINGVOLL GARD

GODKJENT /APPROVED

Turid Strøm

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Ingvar Kvande

# Forord

Arbeidet med biogass-anlegget på Tingvoll Gard har pågått siden 2011. Erfaringene viser at det å utvikle effektive anlegg og i mindre skala enn anleggene som bygges i Europa tar tid, og det har krevd kompetanseheving på mange plan. I løpet av denne tiden er relativt mange komponenter skiftet ut for å få anlegget til å fungere bedre og for å kunne bruke til forsknings- og utviklingsarbeid. Både anleggseier, leverandører og andre har stått på for å få anlegget til å fungere bedre. Det ligger mange erfaringer bak konklusjonene i denne rapporten, noe som gjør at man vil kunne lykkes med bygging og utvikling av nye anlegg. Vi takker Innovasjon Norge, Møre og Romsdal Fylkeskommune og Enova for økonomisk støtte til å utvikle anlegget. Vi retter også en stor takk til alle som har vært med på prosessen så langt, og vi ser frem til videre utvikling av biogass på gårdsnivå i tiden som kommer.

Tingvoll – 13.12.2017

Ingvar Kvande

## Forkortelser og uttrykk m/ forklaringer

<b>BIOREST</b>	I en biogassprosess dannes biogass, mens den gjenværende massen som da tas ut av reaktoren etter prosessen betegnes biorest.
<b>COD</b>	Chemical Oxygen Demand – Kjemisk oksygenforbruk. Måles vanligvis ved oksidasjon med kromat.
<b>HRT</b>	Hydraulic retention time – Hydraulisk oppholdstid
<b>Organisk belastning</b>	Hvor mye organisk materiale som tilføres råtnetankene pr tid. og volum reaktor.
<b>Råstoff</b>	Det organiske materialet som benyttes i en biogass-prosess
<b>SUBSTRAT</b>	Substratet er det organiske materialet som mates inn i en biogassprosess. Det kan enten være råstoffet direkte, dersom råstoffet ikke krever noen form for forbehandling, eller forbeholdt råstoff. I denne rapporten er substrat betegnelsen brukt på det organiske materialet som befinner seg i råtnetanken og som oppvarmes eller omrøres i den forbindelse. Dvs. ved tilsats av fiskesåpe eller annet tilleggs-substrat vil blandingen som til enhver tid befinner seg i råtnetankene kalles for substrat.
<b>TS</b>	Total Solids – totalt tørrstoff
<b>VFA</b>	Volatile Fatty Acids – flyktige fettsyrer. Eddiksyre og andre kortkjedede fettsyrer som dannes ved lagring og i prosessen.
<b>VS</b>	Volatile Solids (den organiske delen av TS). Måles vanligvis ved å foraske prøven ved 550 °C etter TS måling. VS er differansen mellom TS og asken.

Det henvises til biogassveileder (Morken et al, 2017) for detaljer og ytterligere informasjon om begrep som brukes i forbindelse med biogass.

# Innhold

Forord .....	4
Forkortelser og uttrykk m/ forklaringer .....	5
Innhold .....	6
Innledning .....	7
Anleggsbeskrivelse .....	7
Forsøk .....	11
Driftsperiode og kommentarer rundt driftsproblemer .....	11
Driftsbetingelser og analyser i forsøksperioden .....	11
Råstoff .....	12
Resultat og diskusjon .....	13
Nedbrytning og gassproduksjon .....	13
Intern energibruk .....	15
Ekstern energibruk .....	16
Metanlekkasjer .....	17
Bioresten – innhold av næringsstoffer og tungmetaller .....	17
Feilkilder .....	18
Konklusjoner .....	19
Litteraturreferanser .....	20

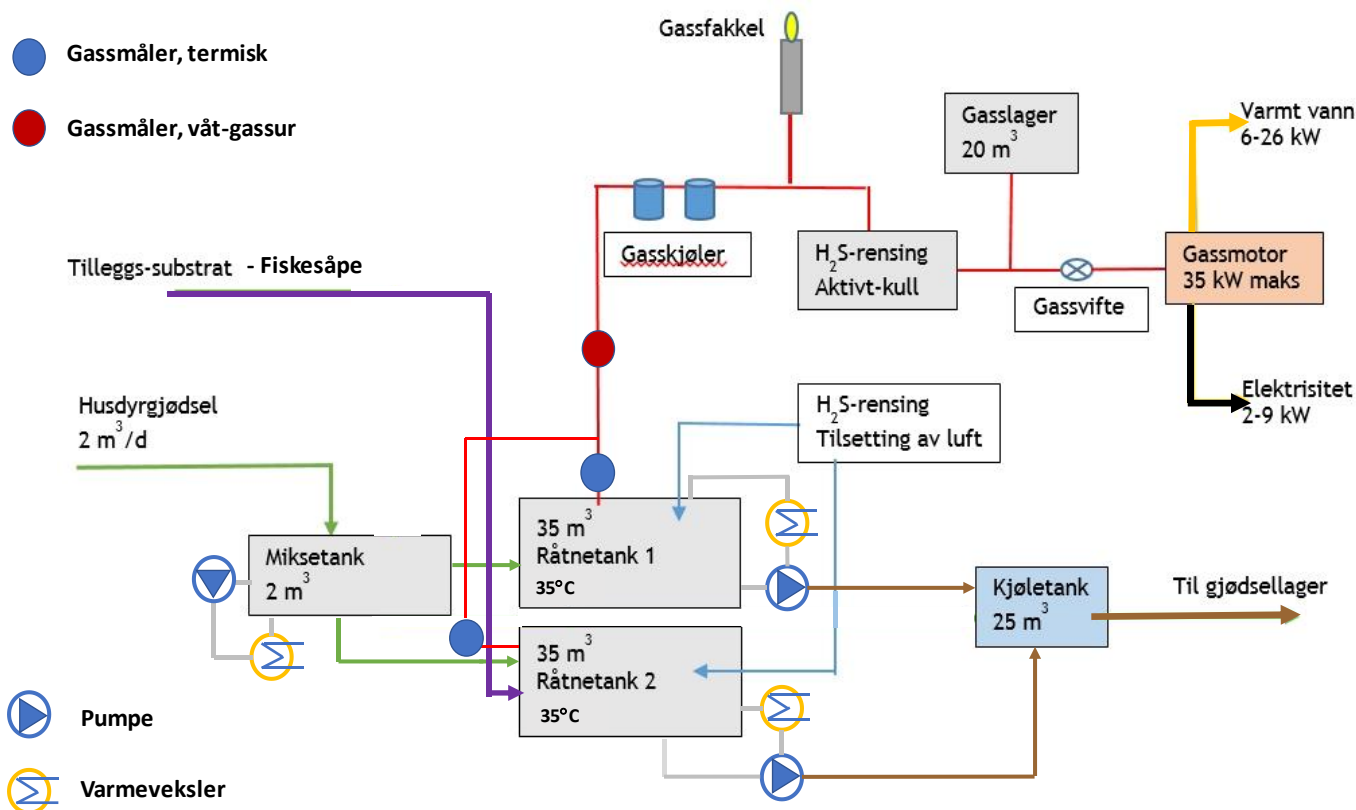
# Innledning

Biogass-anlegget på Tingvoll Gard eies av Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK). Innovasjon Norge og ENOVA har bidratt med midler til henholdsvis anlegget med råtnetanken og varmesentralen der gass-motoren er installert. Ideen om å satse på biogass var et resultat av at man i 2009 bestemte seg for å bygge nytt fjøs på Tingvoll gard og at stortingsmelding nr. 39, *Klimautfordringene - landbruket en del av løsningen* ga grunnlag for satsing på biogass. NORSØK fikk tidlig innsikt i at biogass som løsning kan på gårdsnivå kan være utfordrende både ift. valg av løsninger og ift. økonomi. NORSØK sin satsing på fornybar energi ligger i vedtektene og grunnlaget er å være tidlig ute med å teste og utvikle løsninger på gårdsnivå for å kunne gi anbefalinger som vil gjøre det mulig å ta i bruk slike løsninger. Valget om å satse på biogass henger også sammen med tilgang på ulike typer fiskeavfall i området som fiske-ensilasje, fiskesåpe og bleikejord og muligheten for å utnytte disse lokalt.

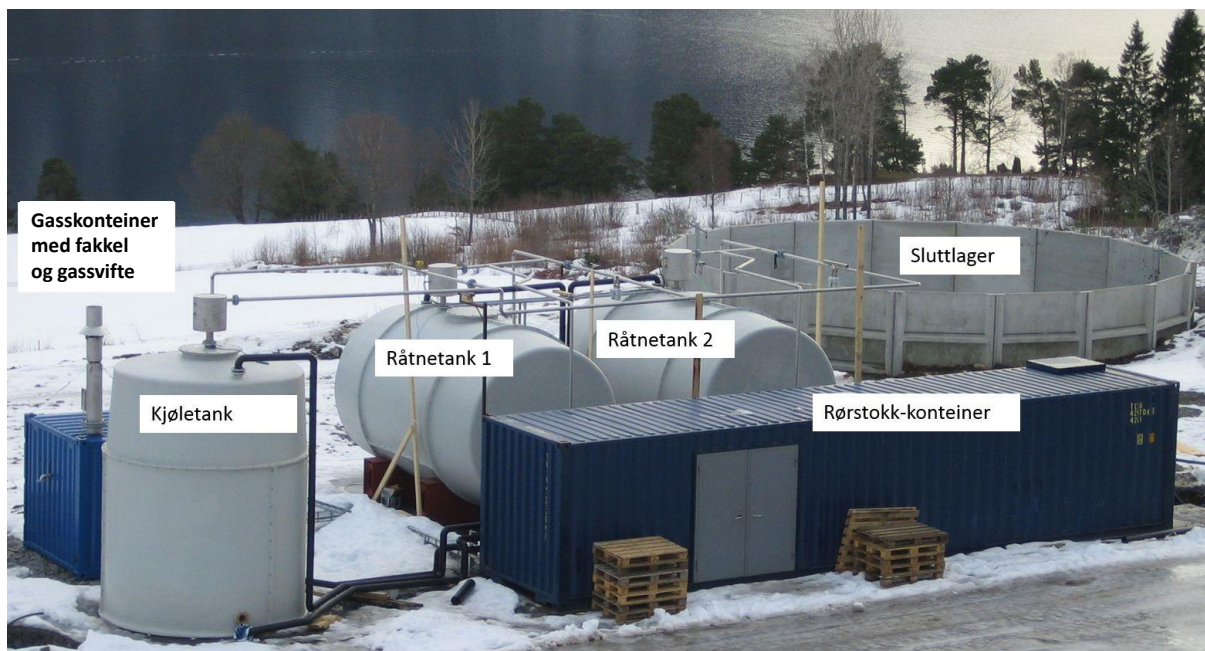
## Anleggsbeskrivelse

Råstoffet som brukes i anlegget på Tingvoll gard er hovedsakelig storfegjødsel (ca. 600 tonn) fra økologisk melkeproduksjon med 23 årskyr + påsett. Fiske-såpe/avfall (1-5 vekt %) fra Omega-3 produksjonen til GC Rieber Oils AS i Kristiansund tenkes anvendt som tilleggs-råstoff.

Enkelt flytskjema for anlegget er vist i figur 1. Anlegget ble igangsatt ved årsskiftet 2011/2012. Varmesentral for bruk av gassen ble montert i 2012. Propell og fiberkutter er installert i ettertid henholdsvis i fjøset og før miksetanken for å sikre homogen gjødsel til et pumpebasert system (se vedlegg 1). Gasslager, kolonne for rensing med aktivt kull og ny varmesløyfe med solvarme og el-backup ble montert våren 2015. I 2016 ble rørstokken ombygd ved hjelp av midler for pilotanlegg for biogass fra Innovasjon Norge for å kunne kjøre reaktorene separat. I tillegg er et solvarmesystem installert i tilknytning til anlegget for å se på i hvor stor grad dette kan bidra med prosessvarme.



Figur 1. Forenklet flytskjema for biogassanlegget på Tingvoll Gard. Grønn linje – gjødsel, lilla linje – fiskesåpe, grå linje – substrat i tanken (rundpumping/kompensasjon for varmetap), brun linje - biorest før og etter kjøletank. Rød linje – gass. Oransje linje – varmt vann og svart linje – elektrisitet.



Figur 2. Oversiktsbilde av biogassanlegget før ferdigmontering, isolasjon og overbygg. Fjøset med pumpekum for blautgjødning ligger ca. 100 m vest for anlegget, dvs. til høyre for bildet. Gasslager på 20 m<sup>3</sup> er plassert til venstre for kjøletank og gasskonteiner.

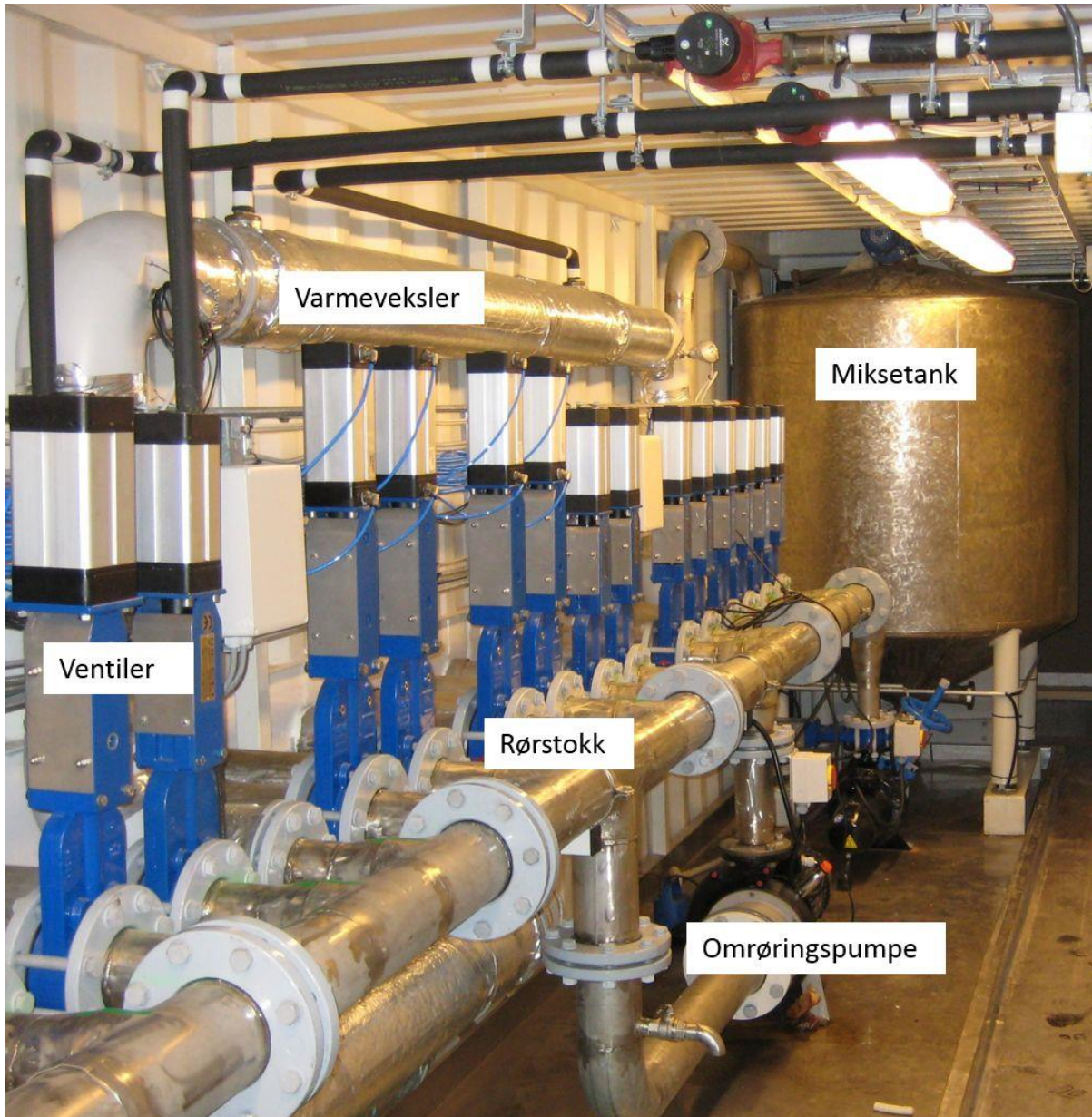
Anlegget har to råtnetanker- kontinuerlig omrørt (CSTR) laget av glassfiber, råtnetank 1 og 2 (se figur 1 og 2.), hver med et totalvolum på 35 m<sup>3</sup> (70 m<sup>3</sup> totalt). Disse er isolert med isolasjon tilsvarende 20 cm standard Glava mineralull. Råtnetankene, rørstokk-konteiner og styringskonteiner er bygd inn i et hus (uisolert) med tanke på å lettere kunne drive forsøks- og utviklingsvirksomhet. Begge tankene ble i utgangspunktet bygd med skillevegg og med mulighet for gassomrøring. Skilleveggene var ikke god nok og måtte tas ut, dvs. begge tankene er uten skillevegg. Kun den ene tanken, råtnetank 2, ha i dag fungerende gassomrøring.

Blautgjødning fra pumpekum/flyterenner (74 m<sup>3</sup>) i fjøset, veies ut (veiecelle) i en miksetank på 2 m<sup>3</sup> og forvarmes før innmating. Denne er plassert i rørstokk-konteineren (figur 3). Løsning for tilsats av fiskesåpe (eller annet råstoff) skal gjøres fra palletank direkte inn i den ene reaktoren.

Råtnetankene varmes og røres (indirekte) ved rundpumping gjennom dobbeltvegget varmeveksler (vann til gjødning) – 1 i miksetank (oppvarming før innmating og 1 på hver av råtnetankene (kompensasjon for varmetap). Arealet for varmeoverføring på hver veksler er ca. 5 m<sup>2</sup>. Anlegget ble levert med en løsning for oppvarming ved hjelp av en væske/væske varmepumpe (7 kW). Varmepumpen skal gjenvinne varme fra bioest som går ut fra råtnetankene (vha. kjøletank) eller tilføres varme fra el-kolbe som også er montert på kald side av varmepumpen. Per dags dato (24.10.2017) er varmepumpen ute av drift. I kjøletanken blir temperaturen senket til ca. 15 °C før råtneresten blir ført ut i sluttlager. Kjøletanken (ca. 25 m<sup>3</sup>) fungerer også som (statisk) gasslager. Fra kjøletanken pumpes råtneresten ut til et sluttlager på 640 m<sup>3</sup> som vist i figur 2. Ny varmesløyfe ble montert i 2014 med mulighet for å varme opp råstoffet i miksetanken samt tilføre varme til hver av råtnetankene. Varmetilførsel skjer ved hjelp av el-kolbe (8 kW) og solvarme (30 kWp).

Omrøringspumpene på hver tank vist i figur 1 og 3 flytter substratet både i forbindelse med oppvarming og omrøring. Figur 3 viser rørstokken og ventilene som brukes for å styre substrat inn og ut av råtnetankene. Massen i råtnetank 1 omrøres ved rundpumping av substrat. Massen i råtnetank 2 omrøres ved hjelp av at noe av gassen i systemet brukes sammen med substratet i et Landia gass-mix system (<http://www.landia.co.uk/mixers/gasmix>) som benytter seg av venturi-effekten ([http://en.wikipedia.org/wiki/Venturi\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Venturi_effect)), der hastigheten på en væske øker når tverrsnittet av røret den presses gjennom blir redusert.





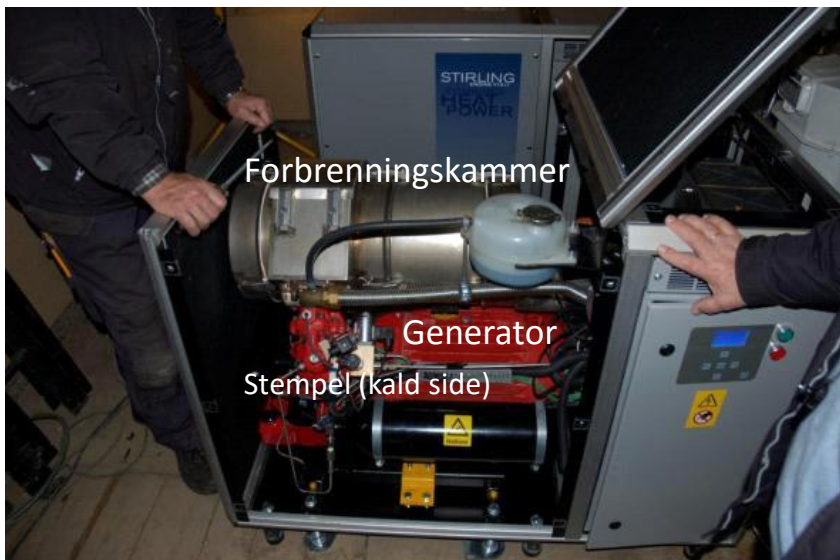
Figur 3. Rørstokk-kontainer, med varmeveksler, omrøringspumpe og miksetank. Bildet er tatt før det ble lagt isolasjon på rørstokk og miksetank.

Ved biogassproduksjon vil en viss mengde nytt substrat tilføres og en tilsvarende mengde biorest tas ut daglig fra råtnetanken. Mengden vil være avhengig av ønsket hydraulisk oppholdstid i råtnetanken.

Hydrogensulfid ( $H_2S$ ) -rensing skjer biologisk som det legges til rette for ved hjelp av luft-tilsats (3 – 5 volumprosent av gassproduksjonen), samt ved hjelp av et aktivt-kull filter, se figur 1. Ved tilsats av luft oksiderer mikro-organismer  $H_2S$  i hovedsak til elementært svovel, mens noe oksideres til sulfat. Vann kondenseres ut i domer på  $0,25\text{ m}^3$  over reaktorene og kondenspotter på gassrørledningen. Et partikkelfilter tar ut eventuelle partikler i gassen. Et gasslager på  $20\text{ m}^3$  er montert for å sikre jevn gass-tilførsel til gassmotoren. Gassen ledes fra biogass-anlegget 400 meter til varmesentralen nede i den gamle driftsbygningen. Trykket og gasshastigheten kontrolleres vha. en gassvifte (inntil 200 mbar trykk inn på gassmotoren). Gassviften og kull-filteret står i en EX-sikret (område sikret mot eksplosjon) gasskonteiner.

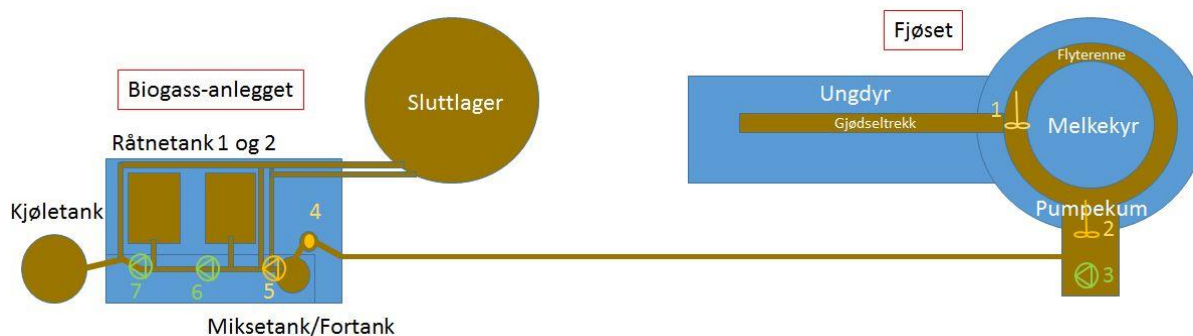
Gassen anvendes i en Stirling Cleanergy V161gassmotor (Figur 4). Arbeidsgassen er helium. Effekten på motoren er oppgitt til å være 2-9 kW strøm og 8-25 kW varme avhengig av gasshastighet og konsentrasjon av metan i biogassen. Den har en tilsvarende el-virkningsgrad på 25 % og en totalvirkningsgrad på 92-97 %.

Anlegget er automatisert og styres ved hjelp av CX-supervisor (OMRON). Det er montert to termiske målere (FCI ST100) for gassmåling, en for hver tank samt et Ritter gassur (TG10) på gassrøret etter at gassen fra råtnetanker og kjøletank er samlet. En GA5000 portabel gass-analysator ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO$ ,  $O_2$ ) brukes for å måle sammensetning av biogassen.



Figur 4. Stirling V161 CHP

## Detaljer - innmating av storfe gjødsel



Figur 5. Gjødsel flyt frem til og gjennom biogass-anlegget på Tingvoll Gard.

Gjødsel fra ungdyra og melkekyr samles i pumpekum før det sendes til biogass-anlegget ved hjelp av pumpe (Figur 5 og 3). Propell er satt inn i overgangen mellom gjødseltrekket (figur 6, 1) og flyterenna samt i pumpekummen (figur 6, 2), for å påse homogen innblanding og jevn flyt av gjødsel ut fra fjøset. Figuren viser også en maserator (Rotacut 3000) (figur 5, 4) som ble satt inn for å kutte fiber og ta ut stein og store partikler.



Figur 6. Propell (1) fastmontert ved enden av gjødseltrekket september 2014.

# Forsøk

## Driftsperiode og kommentarer rundt driftsproblemer

Væskevolumet i reaktorene er 30 m<sup>3</sup> og den hydrauliske oppholdstiden for anlegget er 30 dager. Forsøksperioden for anlegget ble først satt til 3 hydrauliske oppholdstider, ble seinere noe utvidet og gikk fra 19.juni (Uke 25) til 29.september (Uke 39). Som del av forberedelsene ble termisk gassmåler installert på tank 2, slik at tank 1 og tank 2 hadde identisk måling og at Ritter-gassuret kunne brukes til kontroll og kalibrering. Ved oppstart hadde anlegget vært i stabil drift med storfe gjødsel som råstoff siden nyttår, dvs. rånetankene hadde fått 1 tonn med ny storfe gjødsel hver per dag (se diskusjon om tørrstoffprosent nedenfor). Stirling-motoren hadde da vært i drift kun deler av vinteren og våren på grunn av at gassvifta ikke ga stabilt og høyt nok trykk. Gassvifte ble skiftet i slutten av juni.

Problemer med gjødsel flyt i fjøset ble dessverre ikke avdekket før testen startet. I selve forsøksperioden ble det målt en økning i gassproduksjon fra uke til uke (samme mengde, 1 tonn storfe gjødsel pr. dag). Problemer med innmating av gjødsel oppsto 30.juli (Uke 30) tiltok i starten av august. Dette viste seg å være forårsaket av skumdannelse i miksetanken. Dette skummet var tjukt og luftig. Pumpen som tilfører råstoff fra miksetanken til rånetankene fikk problemer i og med at dette skummet la seg foran pumpa slik at pumpa ikke fikk «tak» i råstoffet. Samtidig med skumproblemene sank pH i rånetankene fra 7,7 til 7,5, og 21.august (Uke 34) ble innmating stoppet noen dager. Skummingen avtok noe og pH stabiliserte seg. En forsiktig innmating startet derfor opp igjen 28.august (Uke 35). Innmatingen var oppe på 1 tonn pr. dag 8.september (Uke 36). Grunnet driftsproblemer ble det ikke foretatt nye gassmålinger i slutten av forsøksperioden og resultatene som presenteres for perioden 28.juni (Uke 26) til 30.juli (uke30) representerer den delen av forsøksperioden med mest stabil drift.

På grunn av tekniske problemer med solvarme-anlegget (oppsto vår 2017) ble dette ikke ble brukt til tilførsel av prosessvarme i forsøksperioden.

## Driftsbetingelser og analyser i forsøksperioden

Tabell 1 viser driftsbetingelser for biogass-anlegget i forsøksperioden.

Tabell 1. Driftsbetingelser for biogass-anlegget forsøksperioden

Råstoff inn i hver rånetank pr. dag	1000 kg, fordelt på 2 innmatninger a 500 kg Rånetank 1: 04:00 og 16:00 Rånetank 2: 10:00 og 22:00
Hydraulisk oppholdstid og type rånetank	30 dager, kontinuerlig omrørt (CSTR)
Temperatur rånetanker	35 °C
Forvarming miksetank før innmating	42 °C
Oppvarming	Elektrisk
Nivå kjøletank	40 %
Varmegjenvinning	Nei
Gass-rensing	Luft-tilsats og kull-filter
Utetemperatur	11-25 °C
Temperatur i bygg	17-25 °C

Innmatingen i rånetankene skjer ved at 500 kg biorest først tas fra kjøletank til sluttlager etterfulgt av at 500 kg substrat/biorest tas til kjøletank før 500 kg nytt råstoff mates inn i rånetankene.

Oppvarming av råstoffet skjer ved at det forvarmes i miksetanken til 42 °C. Det er ingen direkte oppvarming av substratet i rånetankene. Kompensasjon for varmetap i rånetanken skjer ved at substratet som befinner seg i tankene rundpumpes og varmes i rør-varmeveksler (en på hver tank).

Utkondensasjon av vann i gassen skjer via kondensfeller rett etter hver tank samt i kondensfelle i gasskonteiner. Disse tømmes ukentlig. Luft-tilsetningen i rånetankene ble ved hjelp av rotameter justert opp og ned i takt med gassproduksjonen, noe som reduserte H<sub>2</sub>S-nivået fra ca. 1300 ppm H<sub>2</sub>S til 200-300 ppm H<sub>2</sub>S. Kull-filteret i gasskonteineren renses H<sub>2</sub>S videre ned til 0 ppm.

Anlegget ble bygd med varmegjenvinningsløsning for substratet/bioresten i kjøletanken. Varmepumpa som gjenvinner varmen fungerte ikke og kostnad for innkjøp av ny varmepumpe er så vidt høy at dette ikke er prioritert per dags dato.

Prøve av storfe gjødsel, prøve fra Råtnetank 1 (RT1) og Råtnetank 2 (RT2) og fra kjøletank ble tatt ut hver onsdag og satt på fryserom. Et utvalg av prøvene (uke 26-30 og uke 39) ble sendt til analyse. Prøver for analyse av TS, VS, COD og VFA ble sendt til NMBU/NIBIO, mens prøver fra uke 30 ble analysert for total-N, Ammonium, fosfor og tungmetaller hos Vestfold-lab.

Biogass-anlegget brukte utelukkende elektrisitet til å dekke oppvarmings-, omrørings-, og andre behov i biogass-anlegget under testperioden. Egen strømmåler for biogass-anlegget ble avlest hver mandag. I tillegg ble de de fire komponentene som brukte mest strøm i biogassanlegget logget for å registrere hvor mange driftstimer de hadde per dag, uke, måned og år.

Gassproduksjonen ble målt med TG10 Ritter våt-gassur hver onsdag i ukene før problemene med skum tiltok. Det ble gjort målinger fra kl 09.00 til kl 17.00 med ca. 2 timers mellomrom.

På grunn av problemer med gass-vifta er det ikke direkte data på gass-utnyttelse i Stirling-motoren. Motoren ble etter skifte til ny vifte kjørt ved ulike pådrag for å se hva som er mulig å få ut i strøm- og varme-produksjon sammenlignet med hva leverandøren oppgir.

## Råstoff

Tabell 2 viser egenskapene til storfe gjødsel, det vil si TS, VS, COD og innhold av VFA samt organisk belastning for perioden gjødsel ble brukt. TS-verdiene i starten av forsøksperioden er lave. Dette henger sammen ovennevnte problemer med gjødsel flyt, at dyra var ute på beite på dagtid, samt at det i perioden ble gjennomført vasking av fjøset. Det var installert propellomrører i fjøset for å sikre flyt av gjødsel ut til pumpekum. Denne hadde i løpet av våren mistet funksjon. Propellomrøreren ble reparert i slutten av juni. Kjøring av propell samt tilsats av vann i juli og august førte til at akkumulert gjødsel (i perioden propellomrøreren ikke fungerte) gradvis ble tatt ut av fjøset og til pumpekummen. Dette forklarer den økende tørrstoffprosenten underveis i forsøksperioden. Chemical oxygen demand, COD (mengden organisk materiale som kan brytes ned) er høy til å begynne med i forsøksperioden for så å falle de to neste ukene. Dette henger nok sammen med vasking av fjøs. Den relativt høye COD-verdien for uke 30 er representativ for perioden der propellomrøreren ikke har fungert og kan mest sannsynlig tilskrives at vann renner forbi fast gjødsel inne i fjøset og «tar med seg» lettløselig organisk material på vei ut i pumpekummen. Grunnet lav TS og VS i gjødsel har også den organiske belastningen vært relativt lav i forsøksperioden.

Summen av VFA øker betydelig i løpet av forsøksperioden fram til uke 39 da det blir en sterk reduksjon. Det er mulig at dette henger sammen med skummingen observert i miksetank og pumpekum, samt fall i pH i råtnetankene. Råtnetankene ble ikke åpnet fysisk så det er vanskelig å slå fast i hvilken grad det har vært skumming der.

Tabell 2. Egenskaper storfe gjødsel; TS, VS, COD og innhold av VFA samt organisk belastning for perioden gjødsel ble brukt.

Storfe-gjødsel	TS [%]	VS av TS [%]	COD [g/l]	LA [g/l]	FA [g/l]	AA [g/l]	PA [g/l]	IBA [g/l]	BA [g/l]	IVA [g/l]	VA [g/l]
U26	2,8	69	51,0	n.d.	n.d.	0,034	0,099	0,038	n.d.	n.d.	n.d.
U27	2,8	72	42,9	n.d.	0,068	0,898	0,186	0,036	0,058	0,021	n.d.
U28	2,2	67	36,7	n.d.	0,036	1,825	0,406	0,086	0,180	0,073	n.d.
U29	3,9	77	52,5	n.d.	0,022	4,771	1,260	0,188	0,503	0,181	n.d.
U30	4,6	79	64,7	n.d.	0,043	4,953	1,293	0,194	0,446	0,146	n.d.
U39	4,8	79	59,4	n.d.	n.d.	0,184	0,036	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

\*LA – melkesyre, FA- maursyre, AA – eddiksyre, PA – propionsyre, IBA – Iso smørsyre, BA – smørsyre, IVA -iso valeriansyre, VA-valeriansyre.

# Resultat og diskusjon

## Nedbrytning og gassproduksjon

Tabell 3 viser TS, VS, COD og nedbrytningsgrad av storfe gjødsel i rånetanker og kjøletank. I rånetankene var pH 7,7 fra nyttår og frem til 30/7 da den sank til 7,5. Igjen må det påpekes at måledata representerer en periode der organisk belastning og prosess ikke var stabil.

Tallene viser for RT1 og RT2 en nedbrytninggrad på henholdsvis 28 og 24 % for uke 26 og 40,3 og 40,7 for uke 30 i perioden da drifta var mest stabil. Tilsvarende tall for henholdsvis separatert storfe gjødsel og storfe gjødsel funnet andre undersøkelser er 24 og 37 % (Deublein og Steinhauser, 2008).

Nedbrytningsgrad beregnet ut fra tallene for storfe gjødsel og kjøletank virker ikke å være anvendelig for denne forsøksperioden, da verdiene ikke gjenspeiler direkte det som skjer i rånetankene. Resultatene skyldes mest sannsynlig variasjonen i TS og VS i storfe gjødsel inn til biogassanlegget og forsøket har ikke gitt oversikt over forsinkelsen i tid ift. når substratet/bioresten beveger seg fra rånetank til kjøletank. Det er også mulig at det har vært sedimentering i kjøletanken og at omrøring før uttak av prøve derfor ikke nødvendigvis gir en representativ prøve. Mest sannsynlig er ustabilitet i forsøksperioden og/eller uttak av ikke-representativ prøve årsaken til at COD-verdiene avviker fra det man skulle forvente. For eksempel er COD-verdien for RT2 U26 høyere enn for råstoffet inn. COD-tallene er derfor ikke diskutert videre.

Tabell 3. TS, VS, COD og VFA-verdier for substratprøver tatt fra rånetankene (RT1 og RT2) og kjøletanken (KT).

	TS [%]	VS av TS [%]	COD	[kg VS] Storfe gjødsel	[kg VS] Tank	Nedbrytning [%]
RT1 U26	2,09	66,28	45,9	135,2	97,0	28,3
RT1 U30	3,06	70,89	35,3	254,4	151,8	40,3
RT1 U39	4,28	76,39	60,9	265,4	228,9	13,8
RT2 U26	2,16	67,31	52,2	135,2	101,8	24,7
RT2 U30	3,04	70,85	35,2	254,4	150,8	40,7
RT2 U39	4,33	77,25	56,3	265,4	234,1	11,8
KT U27	2,38	64,51	40	141,1	107,5	23,8
KT U28	2,47	67,81	37,5	103,2	117,2	-13,6
KT U29	3,23	72,22	39,2	210,2	163,3	22,3
KT U30	2,97	70,9	38,1	254,4	147,4	42,1
KT U39	4,05	75,33	48	265,4	213,6	19,5

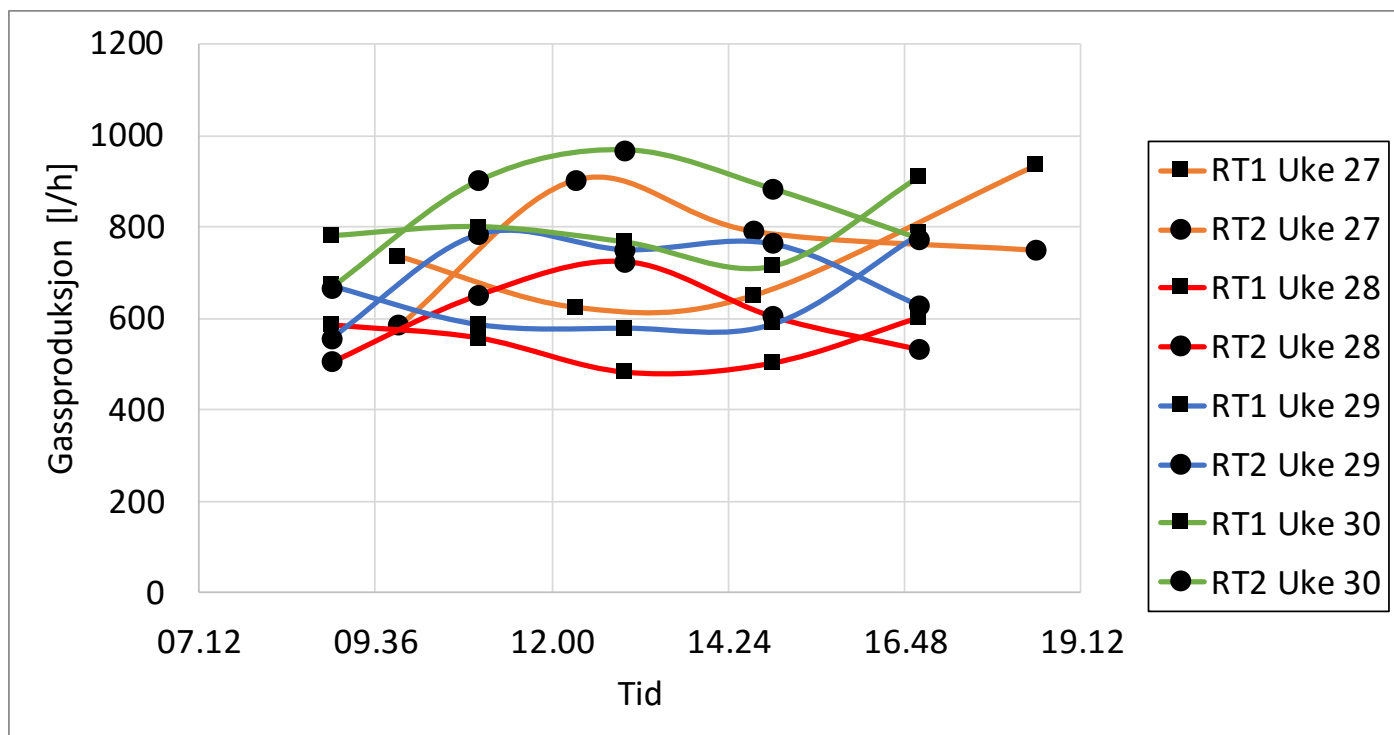
Tabell 4 viser at innholdet av målte flyktige fettsyrer i substratet i rånetankene var relativt lave. Dette tyder på at det meste av fettsyrene er omsatt. Eddiksyre er et mellomprodukt i biogassprosessen. Mengden eddiksyre detektert er relativt lav, men høyest for uke 30 da TS i gjødsel hadde stabilisert seg på et høyere nivå og gassproduksjonen var på sitt høyeste (se nedenfor). Det er sannsynlig at verdiene for propionsyre og iso-smørsyre kan tilskrives innholdet av VFA i gjødsel inn til biogassanlegget (se tabell 2). Fra og med uke 29 indikerer økende verdier for propionsyre og iso-smørsyre (vanligvis ikke tilstede) og synkende verdi for eddiksyre (et visst nivå viser god prosess) at prosessen er hemmet. Dette kan skyldes skumming og forhøyede verdier av VFA og/eller økt organisk belastning som nevnt ovenfor.

Tabell 4. Flyktige fettsyrer g/l funnet i substratet fra råtnetankene (RT1 og RT2) og i kjøletanken (KT)

	LA	FA	AA	PA	IBA	BA	IVA	VA
RT1 U26	n.d.	0,0044	0,0158	0,0279	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
RT1 U30	n.d.	n.d.	0,0292	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
RT1 U39	n.d.	0,0206	0,1132	0,1194	0,0359	n.d.	n.d.	n.d.
RT2 U26	n.d.	0,0045	0,0244	0,0345	0,0144	n.d.	n.d.	n.d.
RT2 U30	n.d.	0,0049	0,0613	0,1391	0,0412	n.d.	n.d.	n.d.
RT2 U39	n.d.	0,0332	0,2544	0,1163	0,0213	n.d.	n.d.	n.d.
KT U27	n.d.	0,0072	0,0230	0,0382	0,0179	n.d.	n.d.	n.d.
KT U28	n.d.	n.d.	0,0312	0,0306	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
KT U29	n.d.	n.d.	0,0459	0,0833	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
KT U30	n.d.	0,0056	0,0774	0,1184	0,0398	n.d.	n.d.	n.d.
KT U39	n.d.	0,0591	3,3610	0,8277	0,0970	0,2150	0,0633	n.d.

\*LA – melkesyre, FA- maursyre, AA – eddiksyre, PA – propionsyre, IBA – Iso smørsyre, BA – smørsyre, IVA -iso valeriansyre, VA- valeriansyre.

Figur 7 viser gassproduksjon i reaktorene målt med TG10 Ritter våt-gassur for uke 27-30. Gassproduksjonen henger sammen med variasjonen i TS og VS inn til råtnetankene, dvs. en nedgang fra uke 27 til uke 28 og en økning til uke 29 og til uke 30. Grafen må leses ut fra at innmating skjer for RT1 kl 04 og 16 og for RT2 kl 10 og 22. Det er gjort målinger som tyder på at nedbrytningen i RT2 skjer raskere etter innmating enn i RT1, men det er for få målinger til å konkludere.



Figur 7. Gassproduksjon i råtnetankene som funksjon av tid for uke 27-30

Tabell 5 viser organisk belastning, spesifikk gassproduksjon, metan-innhold og energiproduksjon i råtnetankene. Døgnproduksjonen er beregnet ut fra gassproduksjonen for tidspunktet midt mellom innmating, dvs. kl 10 for RT1 og kl 16 for RT2 multiplisert med 24. Gassproduksjonen i RT2 ble målt til å være noe høyere enn i RT1 med unntak fra for uke 28 (lik

gassproduksjon). Metan-innholdet i RT1 varierte fra 55,2 til 59,6 vol%, mens den i RT2 varierte fra 58,6 til 60,1. På grunnlag av data innsamlet i denne forsøket er det ikke mulig å slå fast om dette er representativt og eventuelt kan tilskrives forskjeller mellom gass-omrøringen i RT2 og omrøring ved rundpumping i RT1. Den spesifikke metanproduksjonen er relativt høy, 0,31 – 0,55 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS sammenlignet med 0,1–0,26 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS som man vil forvente å oppnå for storfegjødsel. Dette tyder på at storfegjødsel har hatt et høyt innhold av lett-omsettelig organisk materiale. Dette henger sammen med situasjonen i fjøset der flytting av gjødsel ikke har fungert pga. problemer med propell-omrøreren. Mest sannsynlig så er råstoffet som har blitt brukt i testen vært vann som har tatt med seg lett-løselig og lett-omsettelig organisk materiale fra den faste massen (som har blitt liggende igjen i fjøset). I uke 28 og 29 har arbeidet med å flytte på gjødsel i fjøset resultert i at mer organisk materiale har blitt tatt med og at TS har økt i råstoffet. Dette førte til fallende spesifikk metanproduksjon. Dette kan skyldes økt innhold av tungtomsettelig karbon. Det kan i tillegg eller også skyldes at kulturen i råtnetankene hadde begrenset kapasitet med tanke på å omdanne mer lett-omsettelig organisk materiale, dvs. mikro-organismene var få og/eller ikke tilpasset for å håndtere den relativt raske endringen i sammensetning på gjødsel.

Gassproduksjonen er omregnet til et totalt teoretisk utbytte i kWh (før tap i gasskjel eller motor) og ligger mellom 181,9 og 227,2 kWh for forsøksperioden. Til sammenligning er teoretisk utbytte ved tilsats av 2,5 vektprosent fiskesåpe 126,9 m<sup>3</sup> som vil kunne gi nok gass til å kjøre Stirling-motoren på fullt pådrag. Det er viktig å påpeke at anlegget er designet for å kjøre med tilleggstråstoff og at det ikke er rimelig å anta at man kan oppnå lønnsomhet kun med storfegjødsel som råstoff for reaktor-løsningen som er brukt på Tingvoll gard. Det henvises til tilstøtende vurdering av økonomi- og klimanytte gjennomført av Østfoldforskning for flere betraktninger på dette.

Tabell 5. Organisk belastning, metan-innhold, spesifikk metan- og biogass- produksjon og energiproduksjon.

	kg VS/døgn	Organisk belastning [kg VS/m <sup>3</sup> reaktor døgn]	m <sup>3</sup> biogass/døgn	Spesifikk biogassproduksjon [m <sup>3</sup> biogass/ kgVS]	CH <sub>4</sub> [vol%]	Spesifikk metanproduksjon [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS]	Energiproduksjon [kWh]
U27	40,6	0,7	35,9	0,88	59,1	0,52	212,0
U28	29,9	0,5	27,3	0,91	60,0	0,55	164,0
U29	59,4	1,0	31,8	0,53	57,1	0,31	181,9
U30	72,4	1,2	38,8	0,54	58,5	0,31	227,2

## Intern energibruk

Gjennomsnittet av strømforbruket per uke for biogass-anlegget ble avlest til å være 1050 kWh. Tabell 6 viser hvor mye de 4 største komponentene som trekker strøm bruker. For forsøksperioden var strømbruken for disse komponentene samlet per dag i snitt 139 kWh. Dette tilsvarer 973 kWh/uke (16,2 kWh/uke og m<sup>3</sup> reaktor). Dette er høyere enn det som ble målt på høsten ved Åna, men betydelig lavere enn det som ble målt på anlegget på Tomb (Morken et al. 2015). 93 % av strømforbruket i biogass-anlegget er knyttet til oppvarming og omrøring/fordeling av varme.

I forsøksperioden ble temperaturen i pumpekummen målt til å være 17 °C. Hvis man antar at oppvarmingsbehovet for gjødsel er det samme som for vann, så er oppvarmingsbehovet 1,16 kWh/°C og m<sup>3</sup> råstoff. Oppvarming fra 17 °C til 42 °C i miksetanken tilsvarer da et varmebehov på ca. 58 kWh. Tilsvarende mengde elektrisitet som varmebehovet brukes i pumpene i anlegget for å fordele varmen, dvs. 58,9 kWh. Årsaken er at pumpene i anlegget på Tingvoll gard er noe overdimensjonert samtidig som arealet på varmevekslerne er noe begrenset. Varmekolbene avga hver dag ca. 80 kWh med varme. Det vil si at ca. 22 kWh går tapt i rørrnett og fordelingen av varmen. Fordelingsnett for varme til varmevekslere på miksetank og råtnetanker er ca. 30 meter. Hvis man antar et varmetap på 15 W/meter blir dette et varmetap på 450 W eller ca. 11 kWh over et døgn. Resten av varmetapet stammer mest sannsynlig i hovedsak fra miksetank og fra gjødselrør i forbindelse med at substratet fra råtnetankene omrøres vha. hovedpumpe til og fra varmeveksler på råtnetankene.

Tabell 6. Energibruk biogass-anlegget på Tingvoll gard

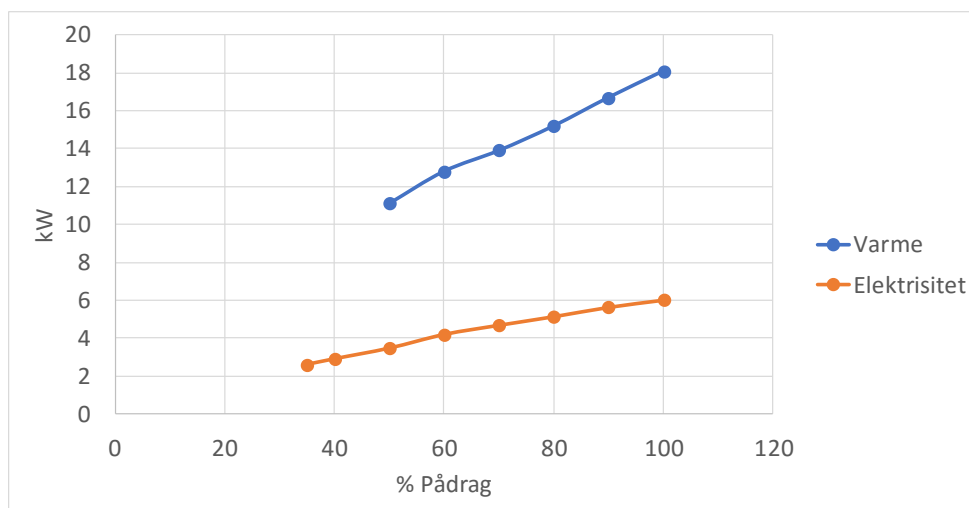
	Effekt [kW]	Driftstid Gj. Snitt forsøksperioden [timer]	Strømbruk forsøksperioden [kWh]	Driftstid 2016 [timer]	Strømbruk 2016 [kWh]
Varmekolber, oppvarming av vann	8	10	80,0	4302	34416
Pumpe distribusjon av vann til varmeveksler miksetank og råtnetanker	0,37	19,8	7,3	5695	2107
Pumpe omrøring miksetank/forvarming	1,1	17,3	19,0	3463	3809
Pumpe omrøring/kompensasjon av varmetap	4,4	7,4	32,6	3494	15374
Total strømbruk [kWh]			139		55706

Hvis man ser på strømforbruket over et helt år og deler dette på 365 så blir dagsforbruket ca. 153 kWh. Høyere energi- og strømbruk om vinteren henger nok i hovedsak sammen med et større varmebehov for oppvarming av råstoff. Med en temperatur på f.eks. 7 °C på gjødsle/råstoffet vil varmebehovet for oppvarming være 81,2 kWh. Det antas at huset som er bygd rundt biogass-anlegget bidrar i betydelig grad til å redusere varmetapet om vinteren og varmetap på grunn av vind.

Tallene viser at oppvarmingen av råstoffet kunne vært mer effektiv. Varmetapet kunne nok i større grad vært unngått ved annen utforming på systemet for å oppnå kortere rørstrekk. En løsning med omrøring ved rundpumping av substratet er fordelaktig sammenlignet med omrøring i tank hvis omrøringsenheten i tanken går i stykker da vedlikehold er enklere, men det er tydelig at det er en bakdel med stort strømtrekk for den store pumpa med en slik løsning.

### Ekstern energibruk

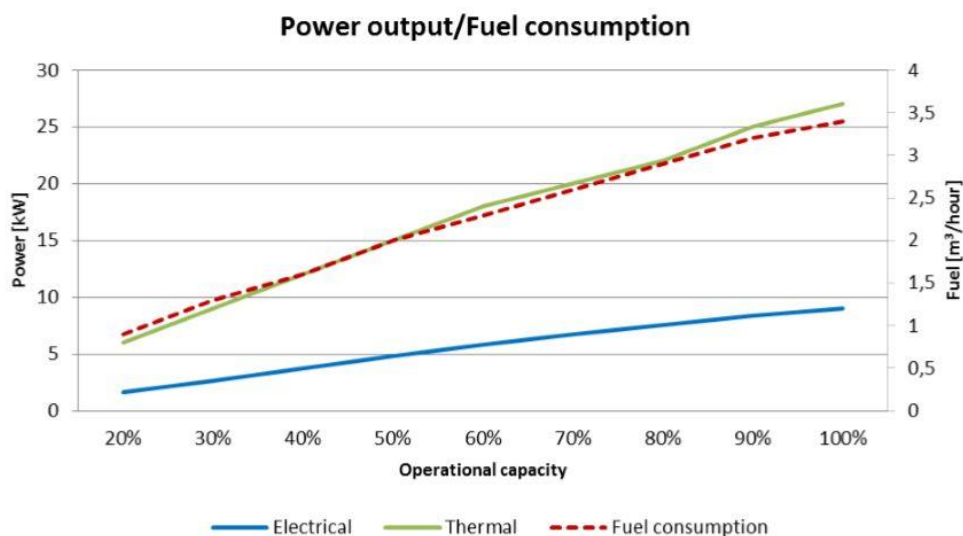
Figur 8 viser resultater fra testen av varme- og elektrisitets-produksjon i Stirling-motoren. Testen ble utført med Tur-temperatur på vannet til Stirling-motoren på 35-38 °C og en retur-temperatur på 45-48 °C. På 100 % pådrag på Stirlingmotoren oppnådde den en produksjon på ca. 6 kW elektrisitet og 18 kW varme. I følge leverandøren skal det være mulig å oppnå litt høyere elektrisitet (7 kW) - og varme-produksjon (ca. 20 kW). Metan-innholdet er høyt i forhold til spesifikasjonene for motoren, så dette er sannsynligvis ikke årsaken.



Figur 8. Resultater fra test av varme- og elektrisitets-produksjon i Stirling-motoren. Effekt som funksjon av pådrag.

Figur 9. viser gassforbruk (CH<sub>4</sub>) for motoren som funksjon av utbytte i kW (el og varme) i manualen til Cleanergy (Thorn/Cleanergy, 2009). Ved 100 % pådrag bruker gassmotoren omregnet ca. 5,8 m<sup>3</sup> biogass/time. I løpet av en dag tilsvarer dette en produksjon på 140 m<sup>3</sup> biogass. Dvs. tilsats av såpe må økes noe for å dekke behovet til gassmotoren jfr. en dagsproduksjon på ca. 127 m<sup>3</sup> med tilsats av 2,5 vekt % fiskesåpe (tabell 5).





Figur 9. Utbytte i kW strøm og el samt gassforbruk som funksjon av pådrag i %. (Thorn/Cleanergy, 2009)

## Metanlekkasjer

Det er i prosjektet ikke foretatt målinger på metanslipp for anlegget. GA 5000 som måler metan har ikke god nok oppløsning for måling av små konsentrasjoner. Når anlegget ble bygd og ved vedlikeholdsoperasjoner brukes såpevann for å sjekke etter lekkasjer. Såpevann gir tydelig utslag når en kobling ikke er tett nok. Det er i de fleste tilfeller nødvendig å bruke noe tid på å veksle mellom å slippe opp og dra til koblinger for å unngå spenninger i rør/flens som gir lekkasjer. De lave VFA-verdiene i kjøletanken tyder ellers på at ubetydelig potensial for metanproduksjon fra bioresten i sluttlageret. Det er tidligere foretatt målinger på restpotensialet i biorest fra kjøletank, der dette også ble funnet å være ubetydelig (Kvande og Løes, 2014).

## Bioresten – innhold av næringsstoffer og tungmetaller

Tabell 7 og 8 viser resultatene fra Vestfold-lab for næringsinnhold i storfegjødsel matet inn i råtnetank, de to råtnetankene, og kjøletank som råtneresten passerer før sluttlager. Reduksjonen på 20-29 % TS i forhold til storfegjødsel (Tabell 3) vil påvirke konsentrasjonene av mineraler og andre elementer som ikke tapes gjennom gassproduksjon (C, H, O, S, noe N). Tallene i tabell 7 er sammenlignbare med tall fra tidligere analyser for prosjektet «Biogassbehandling av husdyrgjødsel, hvordan påvirker det jordas fruktbarhet? Etablering av et feltforsøk for å undersøke dette under norske forhold -SOILEFFECTS» hvor gjødseleffekten til bioresten har blitt studert (Johansen et al, 2015)

Tabell 7. TS og innhold av makronæringsstoffer i storfegjødsel, RT1, RT2 og kjøletank (Uke 30). Usikkerhet TS, N-total og Ammonium-N  $\pm 10$  %. Usikkerhet Fosfor og Kalium  $\pm 20$  %.

	TS	N-total	Ammonium-N	Andel NH <sub>4</sub> av Total-N	Fosfor	Kalium
	[%]	[g/kg gjødsel]	[g/kg]	[%]	[g/kg]	[g/kg]
Storfegjødsel	4,7	1,9	1,1	56,4	0,4	2,6
RT1	3,5	1,4	1,2	80,9	0,4	2,6
RT2	3	1,8	1,1	62,6	0,3	2,5
Kjøletank	2,4	1,2	1,1	88,7	0,2	2,4

Tabell 8 viser innhold av tungmetaller i prøver tatt av biorest i kjøletanken.

Tabell 8. innhold av tungmetall i prøver biorest hentet fra kjøletank (Uke 30)

Tungmetaller	[mg/kg TS]	[g/tonn]
Kadmium, Cd	0,12	0,3
Kvikksølv, Hg	0,06	0,1
Bly, Pb	0,13	0,3
Nikkel, Ni	11,4	27,4
Krom, Cr	1,87	4,5
Sink, Zn	242	580,8
Kobber, Cu	58,5	140,4

I gjødselvarsforskriften må verdiene for Zn og Cu være under 150 mg/kg TS og 50 mg/kg TS for å tilfredsstille kravene for kvalitetsklasse 0. Tabell 8 viser at for biorest-prøvene fra anlegget ligger høyere enn dette, med verdier for Zn og Cu på henholdsvis 242 mg/kg TS og 58,5 mg/kg TS. Det er ikke uvanlig at biorest ikke tilfredsstiller kravene i gjødselvarsforskriften. Det er naturlig at konsentrasjonen av metaller øker når tørrstoffinnholdet avtar. Dette er en av årsakene til at gjødselvarsforskriften er under revisjon. Gjennomsnittlig innhold av sink (Zn) og kobber (Cu) var 29,7 og 10,36 mg per kg TS, i gjennomsnitt for 1644 prøver av silo tatt ut i årene 1990-1993 i Wexford, Irland (Rogers og Murphy, 2000). Norske verdier (Sleteng 2017) basert på 2983 prøver av surfôr med <40% kløver fra 2013-16 var 33,5 mg Zn per kg TS og 5,9 for Cu (2969 prøver). Anrikning av metaller fra fôr til gjødsel er en naturlig prosess i dyra sin fordøyelse. En undersøkelse fra Storbritannia fant i gjennomsnitt 180 mg Zn og 50 mg Cu per kg DM i husdyrgjødsel fra storfe. Dette er verdier på nivå med grenseverdiene for klasse 0, og viser at den norske gjødselvarsforskriften kanskje er satt noe lavt. Til sammenlikning har en nylig vedtatt standard for kompost i Canada tillatt inntil 500 mg Zn og 100 mg Cu per kg TS til høyeste kvalitetsklasse av kompost (OME 2017). Hvis vi regner oss tilbake til det opprinnelige tørrstoffinnholdet i gjødsla, ville innholdet av Zn og Cu vært henholdsvis ca. 120 og 30 mg, noe som er godt under grenseverdiene.

## Feilkilder

Utgangspunktet for forsøksperioden var at biogassproduksjonen skulle være stabil over en periode som tilsvarte tre oppholdstider. Dette ble ikke oppnådd på grunn av skumdannelse nevnt ovenfor. Det er mulig at skummingen kan tilskrives et utslipp av melk i gjødselsystemet. Et annet problem var at det ble tilført vaskevann i perioden, noe som medførte lavt og svært varierende tørrstoffinnhold i gjødsla.

På grunn av vanskeligheter med omrøringsutstyr i fjøset og dårlig flyt av gjødsel ut fra fjøset, ble uttak av prøver svært usikre, og variasjonene mellom prøver ble store. Spesielt prøver som er analysert på COD var dessverre beheftet med store usikkerheter. Dette har gjort at massebalanse-beregninger ikke har vært mulig å gjennomføre.

Målingene av gassproduksjon ble ikke akkumulative, og produksjonstillene er derfor basert på gjennomstrømningsverdier ved gitte måletidspunkt. Akkumulert gassproduksjonen er derfor svært usikker, og man har derfor valgt å ikke beregne massebalanse.

Gass-sammensetning, og intern energibruk fremstår som relativt sikre målinger med en målefeil på +/- 2 %.

# Konklusjoner

Dataene som er innhentet i forsøket ved Tingvoll Gard representerer ikke er en stabil driftssituasjon. Til tross for dette bekrefter forsøket tidligere erfaringer. Vasking av fjøset gav lavt tørrstoffinnhold i gjødsla, men mest sannsynlig med en stor andel lett-omsettelig organisk materiale. I tillegg ble forsøksperioden ødelagt av skumming og driftsproblemer, slik at det var en periode mellom uke 31 og 38 med svært ustabil drift.

- Mye av den ustabile driften kan tilskrives problemer med gjødselføring i tilknytning til fjøset. En gjennomtenkt utforming av gjødselføring i fjøset og oppfølging av dette er derfor avgjørende for å kunne oppnå stabil gassproduksjon og drift.
- Spesifikk metangassutbytte var kunstig høyt på grunn av den ovennevnte situasjonen i fjøset. Spesifikk metanproduksjon ble estimert til 0,31-0,55 m<sup>3</sup>/kg VS. Tidligere forsøk har hatt variasjoner mellom 0,12 og 0,22 m<sup>3</sup>/kg VS.
- I perioden i juli da biogassproduksjonen var mest stabil varierte nedbrytningsgraden 24,7 og 40,7 %.
- Generelt gir storfe gjødselføring lite energi per volumenhet. I denne testen var TS-innholdet begrenset og produsert energi i kilowatt-timer viser relativt lave verdier fra 164 – 227. Det vil derfor være nødvendig med et tilleggsråstoff for å øke gassproduksjonen nok til at et slikt anlegg kan være økonomisk drivverdig. I de periodene under forsøket det var drift av anlegget, varierte tørrstoffinnholdet mellom 2,2 og 4,8 %. Den organiske belastningen beregnet til 0,5 – 1,21 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolum og dag. Normalt ville man forvente at gjødsla inneholdt 6 – %, og da ville den organiske belastningen være på ca. 2 kg VS/m<sup>3</sup> reaktorvolum og dag.
- Internbruk av energi både til oppvarming av substrat, og energi til pumper, og omrørere ble målt til 16,2 kWh/uke og m<sup>3</sup> reaktor. Energibruken for å holde anlegget i gang er relativt høy, med samme energimengde brukt for å flytte og distribuere varmen som for å varme opp råstoffet. Årsaken er at pumpene i anlegget på Tingvoll er noe overdimensjonert samtidig som arealet på varmevekslerne er noe begrenset. Varmetapet i anlegget er betydelig og kunne vært begrenset med kortere rørføringer både for varmetilførsel av vann og for flytting av gjødselføring inn og ut av tanker m/u oppvarming.
- Stirlingmotoren på Tingvoll Gard leverer nær opptil spesifikasjonene fra leverandøren. Tester viste at ca. 25 av energien ble levert som elektrisitet og 75 % som varme.
- Analyse av bioresten viser at innhold av sink og kobber i bioresten er høyere enn grenseverdien for klasse 0 i gjeldende gjødselføreforskrift.

# Litteraturreferanser

Deublein, D., Steinhauser, A., 2008, Biogas from Waste and Renewable resource: An introduction. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2008.

Fjørtoft, K, Morken, J, Hanssen, JF., Briseid, T., 2014, Methane production and energy evaluation of a farm scaled biogas plant in cold climate area, Bioresource Technology, 169:72-79.

Johansen, A., Pommeresche, R., Riley, H., Løes, AK., 2015, Anaerobic digestion of animal manure – implications for crop yields and soil biota in organic farming., "Nordic View to Sustainable Rural Development", Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga, Latvia, 16-18 June 2015 pp.97-102 ref.8

Kvande, I., Løes, AK., 2014, Energiproduksjon, klimaeffekt og avlingseffekt i et gårdsbasert biogassanlegg, Bioforsk rapport 9, 98,

Morken, J., Fjørtoft, K., Briseid, T., 2015. Agricultural biogas plants - energy balance. Nordic view to sustainable rural development. Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga.

Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K.-A., Kvande, I. Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift, Realtek Rapport 2017

Nicholson FA., Chambers BJ, Williams JR, Unwin RJ 1999. Heavy Metal Contents of Livestock Feeds and Animal Manures in England and Wales. Bioresource Technology 70:23-31.

Ontario Ministry of the Environment (OME) 2017. Ontario Compost Quality Standards. <https://www.ontario.ca/page/ontario-compost-quality-standards>

Rogers P, Murphy, W 2000. Levels of Dry Matter, Major Elements (calcium, magnesium, nitrogen, phosphorus, potassium, sodium and sulphur) and Trace Elements (cobalt, copper, iodine, manganese, molybdenum, selenium and zinc) in Irish Grass, Silage and Hay. <http://homepage.eircom.net/~progers/0forage.htm#silcompt>

Solli, L., Bergersen, O., Sørheim, R., Briseid, T., 2014, Effects of a gradually increased load of fish waste silage in co-digestion with cow manure on methane production, In Waste Management, 34, 8: 1553-1559

Sleteng ES 2017. Mineraler i grovfôr og behovsnormene. Buskap 2-2017. <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/mineraler-i-grovfor-og-behovsnormene/>

Thorn, S., 2009, Cleanergy gas module specification, Document no 631012-004

**Nøkkelord:**

Biogass, følgeforskning produksjon og drift, egenskaper biorest

**Key words:**

Biogas, Documentation of process performance, digestate properties

**Andre aktuelle  
publikasjoner fra  
prosjekt:**



Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK er ei privat, sjølvstendig stifting.  
Stiftinga er eit nasjonalt senter for tverrfaglig forskning og kunnskapsformidling for å utvikle økologisk landbruk.

NORSØK skal bidra med kunnskap for eit meir berekraftig landbruk og samfunn.  
Fagområda er økologisk landbruk og matproduksjon, miljø og fornybar energi.

Norsk senter for økologisk landbruk / Gunnars veg 6 / NO-6630 TINGVOLL / Telefon: +47 930 09 884 / E-post: [post@norsok.no](mailto:post@norsok.no)