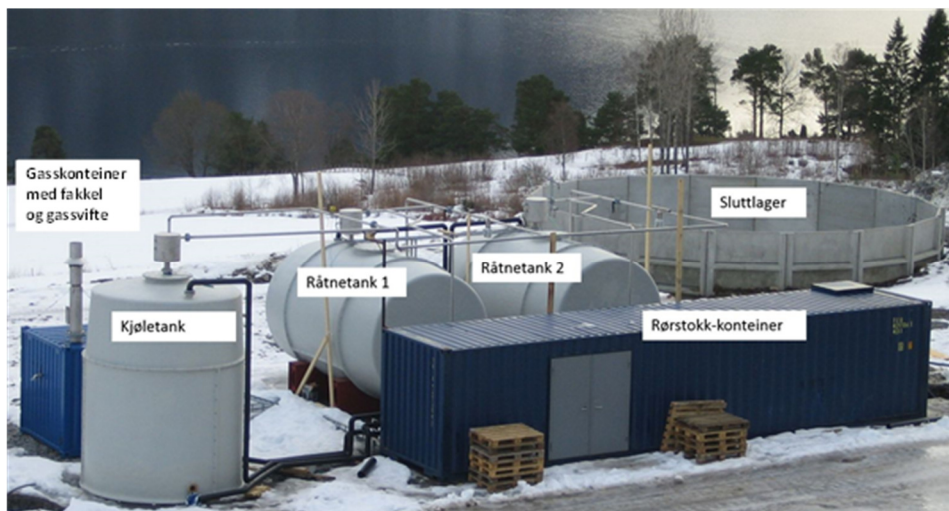


# Bioforsk Rapport

Bioforsk Report  
Vol. 9 Nr. 98 2014

## Energiproduksjon, klimaeffekt og avlingseffekt i et gårdsbasert biogassanlegg



Ingvar Kvande, Anne-Kristin Løes  
Bioforsk Økologisk

[www.bioforsk.no](http://www.bioforsk.no)





<i>Tittel:</i> Energiproduksjon, klimaeffekt og avlingseffekt i et gårdsbasert biogassanlegg
<i>Forfattere:</i> Ingvar Kvande og Anne-Kristin Løes

<i>Dato:</i> 11.juli 2014	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 20189	<i>Saksnr.:</i>
<i>Rapport nr.:</i> 9(98)/2014	<i>ISBN-nr.:</i> 978-82-17-01297-9	<i>Antall sider:</i> 37	<i>Antall vedlegg:</i>

<i>Oppdragsgiver:</i> Forskningsmidler over jordbruksavtalen	<i>Kontaktperson:</i> Ingvar Kvande, <a href="mailto:ingvar.kvande@bioforsk.no">ingvar.kvande@bioforsk.no</a>
-----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<i>Stikkord:</i> Biogass, gjødsling, råtnerest, klimagassutslipp, fiskesåpe, bleikejord, fiskeensilasje, bygg, raigras	<i>Fagområde:</i> Biogassbehandling av husdyrgjødsel
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------

*Sammendrag:*

Prosjektet «Dokumentasjon av energiproduksjon og klimaeffekt i et gårdsbasert biogassanlegg for husdyrgjødsel og ulike typer fiskeavfall» (BIOGASDOK, 2012-14) ble finansiert av Forskningsmidler over jordbruksavtalen med totalt 925 000 NOK. Målet var å måle gassutbytte ved utråtning av husdyrgjødsel og ulike tilleggssubstrat av energirikt avfall fra lokal fiskeindustri, og å se på utslipp av metan under lagring og avlingseffekt av ulike råtnerester. Biogassanlegget eies av NORSØK og ligger på Tingvoll gard i Møre og Romsdal. Det ble igangsatt høsten 2011. Ferdigstillelse av biogassanlegget på Tingvoll har tatt lenger tid enn planlagt. Dette har i hovedsak å gjøre med at anlegget er et pilot-anlegg med stor grad av utprøving av komponenter/løsninger for å nærme seg kostnadsnivå for gårdsanlegg som kan rettferdiggjøres økonomisk. Etter noen nødvendige endringer har det fra høsten 2012 vært mulig å kjøre anlegget med jevn produksjon. Anlegget har to råtnetanker som kjøres parallelt, og er derfor egnet til å prøve ut og sammenlikne ulike substrat og prosesser.

En viktig faktor for økonomien i biogassproduksjon å begrense gjennomsnittlig oppholdstid i råtnetank. Vi har undersøkt gassutbytte ved ulike innmatingsmengder, fra 1 til 2 tonn fordelt på to innmatninger per døgn. Med høyeste innmatingsmengde kom vi opp i en samlet gassproduksjon på 55 m<sup>3</sup> per døgn, og målt per kg organisk materiale (målt som glødetap, «volatile solids») var gassproduksjonen i denne testperioden mellom 170 og 250 liter CH<sub>4</sub> per kg VS. Metaninnholdet i biogassen lå i samme periode stort sett mellom 60 og 63% (volumprosent). På grunn av begrensninger i gasshåndteringssystemet ble forsøket avsluttet tidligere enn planlagt og ytterligere testing er nødvendig etter at

dette er utbedret for å stadfeste hvilken gassproduksjon man kan forvente ved kortere oppholdstid i råtnetankene.

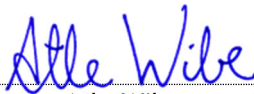
I påvente av at det skulle bli mulig å teste fiskeavfall i full skala, ble råtnerest produsert med blautgjødning og ulike typer fiskeavfall i små råtnetanker i vannbad. Gassproduksjon ble ikke målt, men gassdannelse pågikk i alle råtnetankene. I tillegg til praktiske vanskeligheter i anlegget tok det langt tid å få tillatelse fra Mattilsynet til å prøve ut fiskesåpe i biogassanlegget. Delmål 2 er ikke besvart i henhold til planene, men testing av fiskeavfall i full skala vil bli gjennomført. Erfaringer og resultat vil bli dokumentert og offentliggjort.

Det antas at biogassbehandling kan redusere utslipp av metan fra husdyrgjødsellagre. For å undersøke dette sammenliknet vi ubehandlet blautgjødning, råtnerest tatt fra råtnetank og råtnerest tatt fra kjøletank. Kjøletanken er plassert mellom råtnetank og sluttlager, og kjøler substratet raskt ned til 10-15 °C. Hensikten er å stanse gjæringen og unngå restproduksjon av metan i sluttlager. Gjødsla ble fylt i 60 liters fat og lagret ved 20-25 °C. Ubehandlet gjødning og råtnerest direkte fra råtnetank (aktiv råtnerest) produserte betydelige mengder metan, mens råtnerest fra kjøletank hadde ubetydelige utslipp. Kjøletanken ser dermed ut til å fungere etter hensikten, og forsøket viser betydningen av å avslutte utråtningsprosessen på en god måte. Ved dårlig planlagt behandling av aktiv råtnerest kan det i verste fall bli større metantap fra sluttlager enn det ville blitt uten utråtning av gjødsla.

Råtnerest av blautgjødning tilsatt bleikejord, såpe og ensilasje ble sammenliknet med råtnerest av bare gjødning og ubehandlet blautgjødning i et potteforsøk med bygg og raigras sommeren 2012. Andelen lett tilgjengelig nitrogen ( $\text{NH}_4$  som andel av total-N) var ikke høyere i råtnerest (55-65 %) enn i ubehandlet gjødning (67 %). pH var noe høyere i råtnerest (8,0-8,1) enn i ubehandlet gjødning (7,8). Med økende pH øker faren for at lett tilgjengelig N forsvinner som gass når gjødsla spres på jorden. Selv om det ikke var mer ammonium-N i råtnerestene, ga disse likevel gjennomgående noe høyere avlinger enn ubehandlet gjødning. Dette gjaldt spesielt råtneresten med fiskeensilasje, der tilsetningen av ensilasje økte innholdet av både nitrogen og fosfor. Råtneresten med bleikejord kom gjennomgående noe dårligere ut enn øvrige råtnerester, men hadde likevel noe høyere avlinger enn ubehandlet gjødning selv om forskjellene ikke alltid var statistisk signifikante. Det ser altså ikke ut til at tilsetning av fiskeavfall har noen negativ effekt på avlingsnivået i korn.

Land:	Norge
Fylke:	Møre og Romsdal
Kommune:	Tingvoll
Sted/Lokalitet:	Tingvoll gard

Godkjent



Atle Wibe,  
Forskningsjef Bioforsk Økologisk



Anne-Kristin Løes  
Prosjektleder

## Innhold

1.	Prosjektet «Biogassdokumentasjon» .....	4
2.	Bakgrunn og beskrivelse av biogass-anlegget på Tingvoll Gard.....	5
3.	Erfaringer og innledende resultater fra biogassanlegget .....	9
3.1	Oppstart og ferdigstillelse .....	9
3.2	Godkjenning av fiskesåpe som tilleggssubstrat .....	10
3.3	Energiutbytte med storfegjødsel .....	11
3.3.1	Materiale og metoder .....	11
3.3.2	Resultater .....	12
4.	Energiutbytte med fiskeavfall .....	16
5.	Utslipp av klimagasser .....	18
5.1	Test 1 - 2012 .....	18
5.1.1	Materiale og metoder .....	18
5.1.2	Resultater og diskusjon test 1 .....	19
5.2	Test 2 - 2013/2014 .....	22
5.2.1	Materiale og metoder .....	22
5.2.2	Resultater og diskusjon test 2 .....	22
6.	Produksjon av råtnerest til gjødselvirkningsforsøk .....	26
6.1	Materiale og metoder .....	26
6.2	Resultater .....	27
7.	Gjødselvirkning av ulike typer råtnerest .....	29
7.1	Materiale og metoder .....	29
7.2	Resultater .....	31
7.3	Oppsummering .....	35
8.	Oppsummering og videre forskningsbehov .....	36
9.	Referanser .....	37

## Forkortelser og definisjoner brukt i rapporten

Bleikejord	Bleikejord er et produkt som dannes ved å tilsette finmalt mineralmateriale som leirminerale eller kalsiumkarbonat til varm olje under trykk, for å felle ut fargestoffer, vitaminer og andre stoffer man ikke ønsker i rein omega 3
CH <sub>4</sub>	Metan, gass, viktig andel av biogass
CHP	Combined heat and power, kombinert produksjon av varme og elektrisk strøm
CO <sub>2</sub>	Karbondioksid
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	enhet som brukes i klimagassregnskap. Enheten tilsvarer den effekten en gitt mengde (som regel et tonn) CO <sub>2</sub> har på den globale oppvarminga over en gitt tidsperiode (som regel 100 år).
Fiske-ensilasje	Død fisk fra oppdrettsanlegg, tilsatt maursyre for å drepe smittsomme mikro-organismer
Fiskesåpe	I et tidlig rensetrinn i produksjonen av omega-3 fjernes ustabile fettstoffer (som lett harskner) ved tilsetning av lut. Det dannes da ei såpe som inneholder 98-99 % organisk materiale (fett, se tabell 3.1).
H <sub>2</sub> S	Hydrogensulfid, inngår i biogass, giftig og korrosiv, uønsket ved forbrenning
Inokulum	Startkultur (for utråtningsprosess)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, FNs klimapanel
MCF	Methane conversion factor, metanutslipp som andel av potensielt metanutslipp for gjødsla.
Mesofil prosess	Utråtning ved moderate temperaturer, typisk 35-37 °C
Nm <sup>3</sup>	Normalkubikkmeter, 1 m <sup>3</sup> gass ved temperatur 0 °C og trykk 760 mmHg (101 325 Pa)
Oppholdstid	Væskevolum råtnetank dividert med mengde innmatet nytt substrat per døgn
Organisk belastning	Konsentrasjon av organisk materiale (per kubikkmeter og døgn).
ppm	parts per million, deler per million, mål på konsentrasjon
Råtnerest	Restene etter utråtningsprosessen, høyt innhold av plantenæring
Total-N	Summen av nitrat-nitrogen (NO <sub>3</sub> -N), nitritt-nitrogen (NO <sub>2</sub> -N), ammoniakk-nitrogen (NH <sub>3</sub> -N) og organisk bundet nitrogen.
TS	Tørrstoff, organisk og uorganisk materiale
VFA	Volatile fatty acids, flyktige fettsyrer
Vol %	Volumprosent, konsentrasjon
VS	Volatile solids, organisk materiale, måles ved gløding ved 550 °C

# 1. Prosjektet «Biogassdokumentasjon»

---

Prosjektet «Dokumentasjon av energiproduksjon og klimagassutslipp i et gårdsbasert biogassanlegg for husdyrgjødsel og ulike typer fiskeavfall» (BIOGASDOK) ble finansiert av Forskningsmidler over jordbruksavtalen, med en økonomisk ramme på totalt 925 000 NOK (750 000 fra JA, resten egne midler) og prosjektperiode januar 2012- juli 2014. Målet var å måle gassutbytte ved utråtning av husdyrgjødsel og ulike tilleggssubstrat av energirikt avfall fra lokal fiskeindustri, se på utslipp av metan under lagring, og studere avlingseffekt av ulike råtnerester. Rapporten beskriver også praktiske erfaringer knyttet til oppstart og jevnlig drift av et biogassanlegg tilpasset en besetning på 30-60 melkekyr.

Biogassanlegget som er undersøkt er bygget av Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK) på Tingvoll gard i Møre og Romsdal. Oppstart av anlegget var høsten 2011. Etter noen nødvendig justeringer var det mulig å kjøre anlegget med jevn gassproduksjon fra 2012. Anlegget er knyttet til et fjøs med økologisk melkeproduksjon på 24 årskyr. Anlegget har to råtnetanker som kjøres parallelt, og er derfor egnet til å prøve ut og sammenlikne ulike substrat og prosesser.

Biogassanlegg med husdyrgjødsel som eneste substrat er per i dag ikke lønnsomme med bakgrunn i norske klimaforhold, kostnadsnivå og energipriser. Energirikt fiskeavfall er en lokal ressurs langs kysten, som kan brukes for å øke energiutbyttet ved utråtning av husdyrgjødsel. I BIOGASDOK har vi gjort forsøk med fiskeensilasje fra lokal produsent av avslaks, AquaGen AS på Tingvoll, og bleikejord og såpe fra produsent av omega 3, G.C. Rieber Oils AS i Kristiansund. Bleikejord og såpe er biprodukter fra rensing av fiskeolje, og inneholder betydelige mengder fiskefett. Prosjektplanene forutsatte at disse substratene skulle testes i full skala, men det har dessverre ikke vært mulig i praksis. Det vi har gjennomført i BIOGASDOK-prosjektet er følgende:

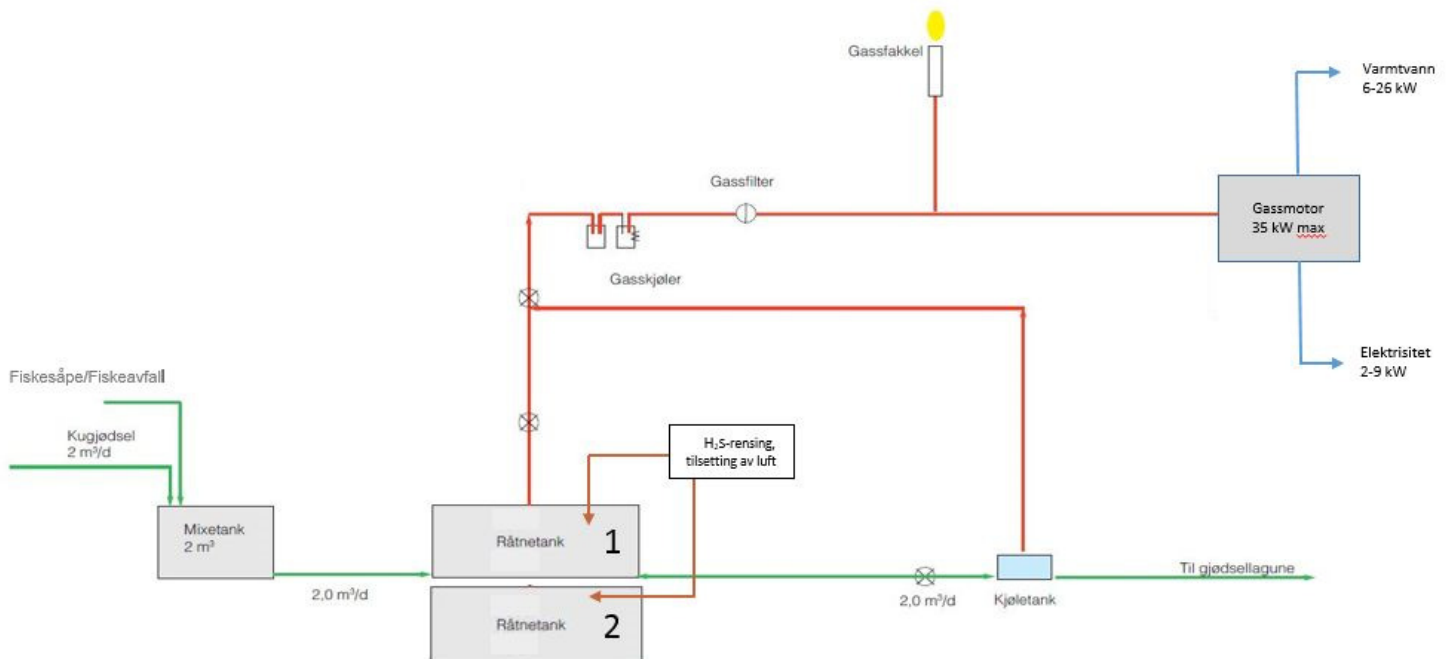
- Vi har dokumentert erfaringer fra etablering og oppstart av et gårdsbasert biogassanlegg under norske forhold, med et norsk firma som leverandør av en ny type anlegg
- Vi har dokumentert gassutbytte og metaninnhold i biogassen ved innmating av ulike mengder husdyrgjødsel per dag. Oppholdstiden har blitt forsøkt halvert fra 30 til 15 døgn, dvs. en dobling i innmatet mengde organisk materiale/døgn.
- Vi har studert avlingseffekt av råtnerest av husdyrgjødsel med ulike typer energirikt fiskeavfall, der råtneresten ble framstilt i små råtnetanker i vannbad
- Vi har gjort en enkel test for å undersøke om biogassbehandling kan redusere utslipp av metan fra husdyrgjødsel. Det ble gjort ved å sammenlikne gassproduksjonen i ubehandlet husdyrgjødsel, gjødsel tatt direkte fra råtnetank og råtnerest tatt fra kjøletårnet hvor hensikten blant annet er å stanse gjæringsprosessen før utslipp i sluttlager.

I denne rapporten har vi samlet resultater fra disse aktivitetene. Testingen av fiskeavfall i full skala vil bli gjennomført så snart det er mulig, og erfaringene vil bli beskrevet og offentliggjort.

Prosjektet har hatt en styringsgruppe i prosjektperioden bestående av Morten Holvik fra Biopower Norway AS/Front Tech AS, Per Harald Agerup fra Norges Bondelag, Roald Sørheim fra Bioforsk Jord og Miljø/Bioforsk Øst avd. Ullensvang og Merete Furuberg fra Norsk Bonde- og Småbrukarlag. Styringsgruppen har hatt 6 møter i løpet av prosjektperioden, og har gitt råd om planlegging av prosjektaktiviteter og diskutert resultater med tanke på utforming av den faglige rapporten.

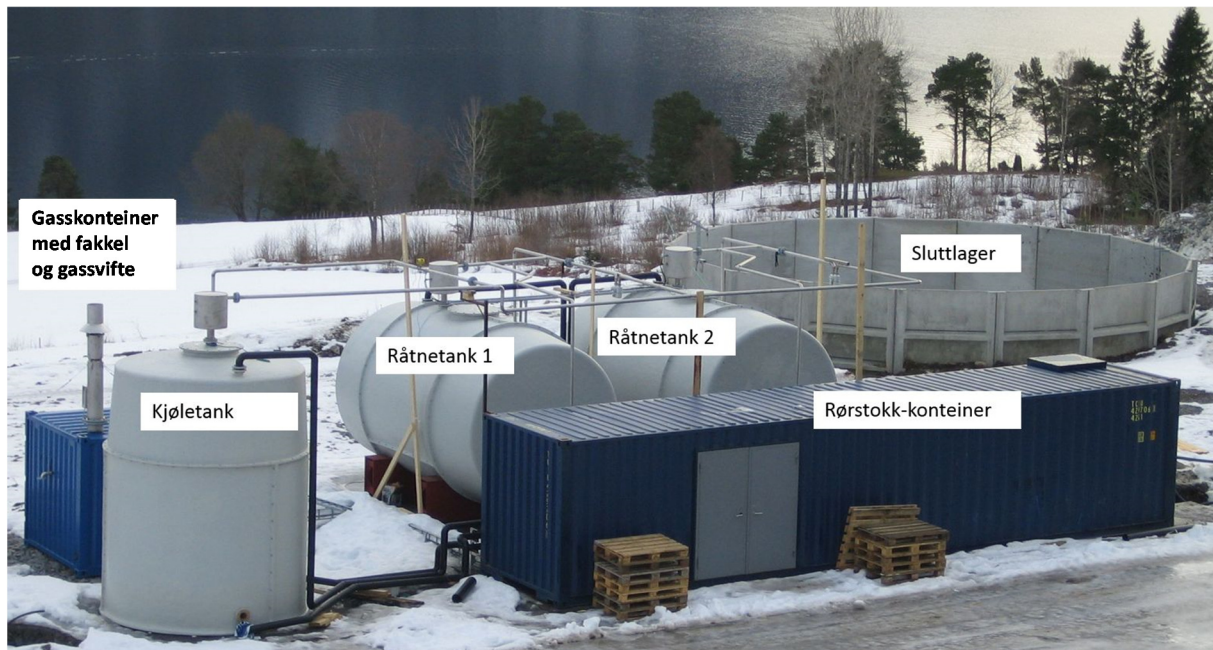
## 2. Bakgrunn og beskrivelse av biogassanlegget på Tingvoll Gard

Biogass-anlegget på Tingvoll Gard eies av Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK). Anlegget har blitt levert av Biopower Norway AS. Innovasjon Norge og ENOVA har bidratt med penger til henholdsvis anlegget med råtnetanken, og varmesentralen der gassmotoren er installert. Bygging av anlegget startet i 2010 med formontering av rørstokk, rør, pumper, ventiler, varmpumpe m.m. i rørstokk-konteiner og renskonteiner. Råtnetanker og konteiner kom til Tingvoll senhøsten 2010. Montering, isolasjon av råtnetank og bygging av hus over anlegget ble foretatt i løpet av 2011. Enkelt flytskjema for anlegget er vist i figur 2.1. Oversiktsbilde av anlegget før ferdigmontering, isolasjon og overbygg er vist i figur 2.2. Varmesentral med en Cleanergy C9G Stirling gassmotor («combined heat and power», CHP) for bruk av gassen ble montert i 2012. Motoren har en maks. effekt på 35 kW (strøm + varme).



Figur 2.1 Forenklet flytskjema for biogassanlegget på Tingvoll Gard





Figur 2.2. Oversiktsbilde av biogassanlegget før ferdigmontering, isolasjon og overbygg. Fjøsset med pumpekum for blautgjødning ligger ca. 100 m vest for anlegget, dvs. til høyre for bildet.

### Hovedelementer i biogass-anlegget på Tingvoll

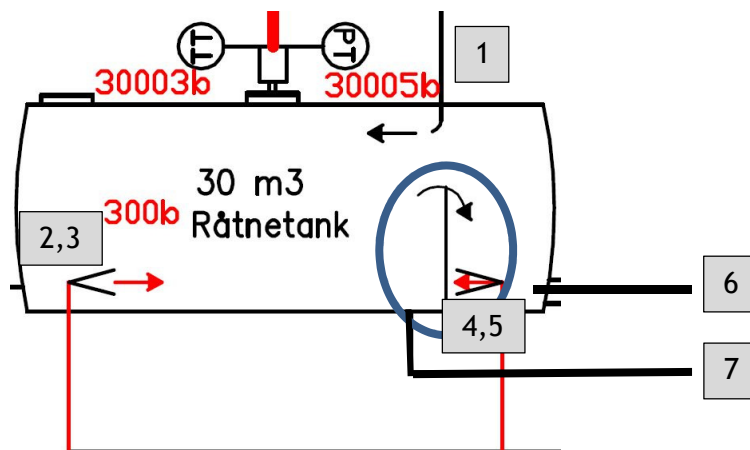
Anlegget har to råtnetanker laget av glassfiber, råtnetank 1 og 2 (se figur 2.2.), hver med et totalvolum på 35 m<sup>3</sup>. Under kjøring fylles råtnetankene med 30 m<sup>3</sup>, mens resten av volumet (5 m<sup>3</sup>) er gassfylt. Disse er isolert med isolasjon tilsvarende 20 cm standard Glava mineralull. Den ene av råtnetankene, råtnetank 2 har et skilleveggsystem for å unngå tap av mikroorganismer ved uttak (2 ganger daglig) av råtnerest. Denne utformingen har Biopower fått tildelt midler fra Innovasjon Norge for å teste og utvikle. Hypotesen er at skilleveggs-funksjonen skal kunne gjøre det mulig å redusere oppholdstiden i råtnetanken, fordi gjæringa kommer raskere i gang for nytt substrat når mikroorganismene holdes tilbake i tanken. Lavere oppholdstid kan gi redusert råtnetankstørrelse og lavere total kostnad for biogassanlegget.

Innholdet i råtnetankene varmes og blandes uten mekaniske deler, ved at substrat pumpes fra råtnetankene og ut i rørstokken i konteineren og tilbake. Nytt substratet, som hovedsakelig er storfegjødning/blautgjødning fra pumpekum (74 m<sup>3</sup>) i fjøsset, blandes og veies ut i en miksetank som rommer ca. 2000 liter. Denne er plassert i rørstokk-konteineren. Etter omrøring mates substratet inn i råtnetankene. Miksetanken står på en veiecelle for å kunne kontrollere innmatet mengde. Fiskesåpe tilsvarende inntil 5 vekt % av innmatet substrat (Ward 2012) planlegges brukt i tillegg til gjødning når anlegget kommer i full drift.

Omrøringspumpen indikert i figur 2.4 flytter substratet både i forbindelse med oppvarming og omrøring. Figur 2.4 viser også rørstokken og ventilene som brukes for å styre substrat inn og ut av råtnetankene. Massen i tankene kan omrøres ved rundpumping av substrat eller 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.

Ved kontinuerlig biogassproduksjon vil en viss mengde nytt substrat tilføres og en tilsvarende mengde råtnerest tas ut daglig fra råtnetanken. Mengden vil være avhengig av ønsket oppholdstid i råtnetanken. Oppholdstid (gjennomsnittlig) er definert som den tiden nytt substrat oppholder seg i råtnetanken før det tas ut av råtnetanken igjen. Valg av oppholdstid vil avhenge blant annet av mengde tilført substrat og hvor raskt nedbrytningen skjer. Det er viktig å påpeke at utråtningen er anaerob, dvs. foregår i en atmosfære uten oksygen. I praksis vil det være noe oksygen tilgjengelig og luft kan også tilsettes i små mengder for å rense biogassen for H<sub>2</sub>S uten at dette vil forstyrre prosessen i en råtnetank av typen som er i anlegget på Tingvoll gard vil mikroorganismene som omdanner organisk materiale til biogass befinne seg i hele substratet, men vil være spesielt tallrike i flytelaget som danner seg øverst i tanken. Det er vanskelig å unngå at en del mikroorganismer følger med råtneresten som pumpes ut. Skilleveggsystemet skal hindre dette.

Figur 2.3 viser et tverrsnitt av råtnetank med inntak, uttak og skillevegg (indikert med blå ring). Det er mulig å tilføre nytt og sirkulere substrat på 5 måter; Gjennom toppen av tanken (1), i bunnen av tanken på kortsiden uten (2) eller sammen med gass (rør 3, < rød pil)) og på langsiden uten (4) eller sammen med gass (5, > rød pil). Det siste alternativet tilsvarer gassomrøring konsentrert til det lille kammeret til høyre for skilleveggen i figur 2.3. Substrat kan tas ut fra lite eller stort kammer (6 og 7).

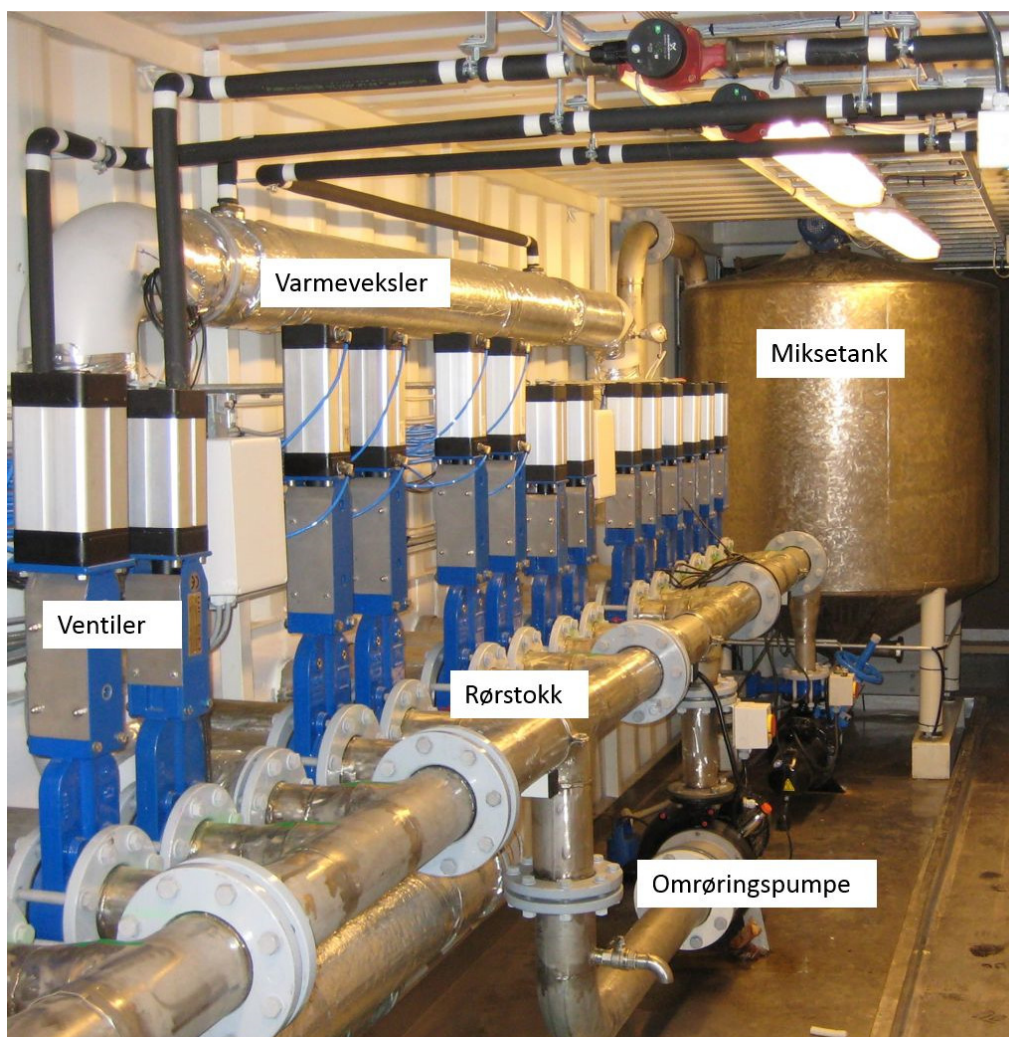


Figur 2.3 Figur av råtnetank som viser plassering av inntak og uttak av substrat/råtnerest, skillevegg og mulige alternativer (1-5) for innmating, sirkulering og tapping av substrat.

Oppvarming skjer ved at substratet pumpes gjennom varmeveksleren (vist i figur 2.4). Varmeveksleren er et dobbeltvegget rør med vannkappe. Substrat pumpes gjennom det indre røret mens oppvarmet vann pumpes motsatt vei i den ytre delen av røret. En væske/væske varmpumpe er per i dag oppvarmingskilden. Varmepumpen kan hente/gjenvinne varme fra substrat/råtnerest som går ut fra råtnetankene eller fra el-kolbe som også er montert på kald side av varmpumpen. For mer effektiv oppvarming og for å bedre det totale energiregnskapet skal en ekstra-varmekrets basert på el-kolbe og solvarme installeres.

Innmating av nytt substrat skjer via miksetanken og med en egen pumpe. Ved innmating tappes en tilsvarende mengde substrat ut av råtnetanken. Denne råtneresten pumpes til en kjøletank for å senke temperaturen til ca. 15 °C, samtidig som varmen gjenvinnes.

Kjøletanken (ca. 25 m<sup>3</sup>) fungerer også som (statisk) gasslager, i tillegg til de ca. 5 m<sup>3</sup> over substratet i hver råtnetank. Fra kjøletanken pumpes råtneresten ut til et sluttlager på 640 m<sup>3</sup> som vist i figur 2.2.



Figur 2.4. Rørstokk-konteiner, med varmeveksler, omrøringspumpe og miksetank.

Hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S) -rensing skjer biologisk. Dette er nødvendig for å beskytte rørsystemet og gassproduksjonen mot korrosjon. Ved tilsats av luft i råtnetankene dekomponerer mikroorganismer H<sub>2</sub>S i hovedsak til elementært svovel, mens noe dekomponeres til sulfat. Gassen er mettet med vanddamp som kondenseres ut i domer på 0,5 m<sup>3</sup> over råtnetankene, og i kondenspotter på gassrørledningen. Et partikkelfilter tar ut eventuelle partikler i gassen før en gassvifte brukes til å sende gassen i rør i en strekning på ca. 400 m ned til varmesentralen hvor gassmotoren er installert. En gassfakkel er montert på taket av gasskonteineren for automatisk forbrenning av biogassen ved overproduksjon/ikke forbruk av gass eller hvis det skulle oppstå sikkerhetsmessige problemer som f.eks. lekkasjer.

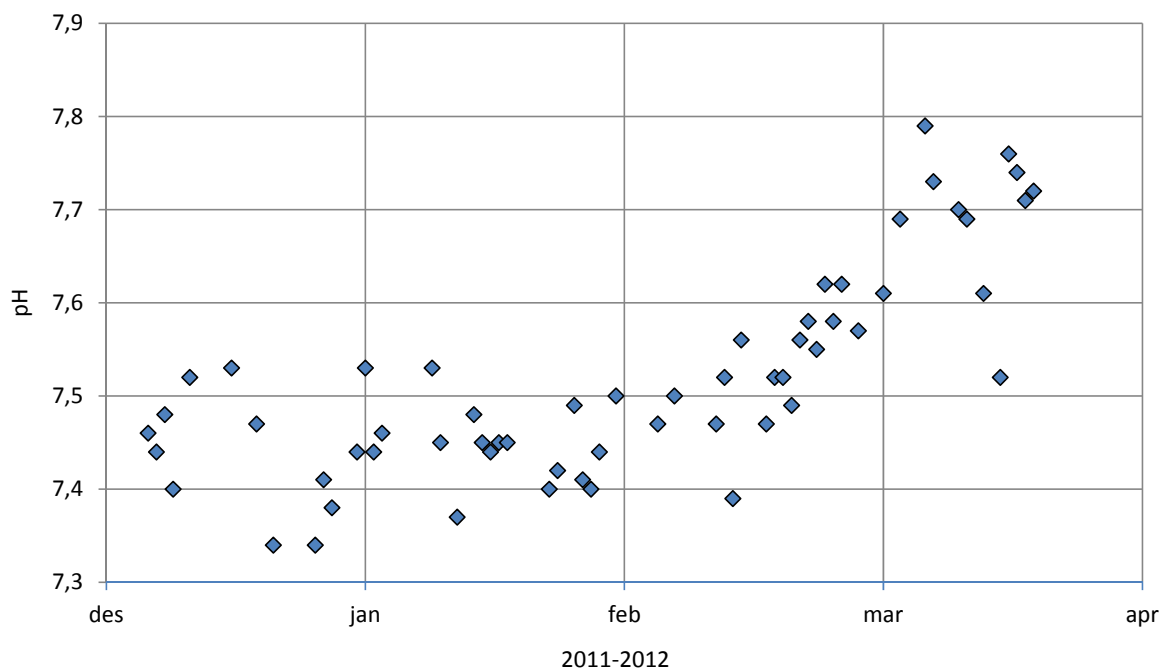
Varme og el fra gassmotoren vil bli brukt i administrasjonsbygget og den gamle driftsbygningen i arealer som eies av NORSØK og leies ut til Bioforsk Økologisk og andre.

## 3. Erfaringer og innledende resultater fra biogassanlegget

### 3.1 Oppstart og ferdigstillelse

Etter testing av funksjon for ventiler, pumper, rør og råtnetank ble første innmating gjort høsten 2011. 10 m<sup>3</sup> blautgjødning (heretter: storfe gjødning) med et tørrstoffinnhold på 4,5 % ble pumpet inn i råtnetank 2. Driftstemperatur ble valgt til 32 °C, noe som er i det lavere området for en mesofil utråtningsprosess, som kan foregå ved 32 - 37 °C. Temperaturen ble senere hevet til 33 °C.

Da mikroorganismene som gir biogassproduksjon allerede befinner seg i fersk storfe gjødning, ble det valgt å ikke tilsette inokulum (startkultur). På grunn av nødvendige utbedringer kom ikke gassproduksjonen i gang før på nyåret 2012. Ny innmating av storfe gjødning ble etter hvert foretatt daglig. Målet var å få fylt tanken gradvis til den inneholdt 30 m<sup>3</sup> substrat. Utviklingen i pH ble fulgt og brukt som grunnlag for å bestemme innmatningsfrekvens for nytt substrat/storfe gjødning ved fortsatt fylling av tanken. Dette for å unngå at prosessen «skulle gå sur» grunnet høy organisk belastning. Oppstarten ble foretatt uten bruk av skilleveggfunksjon og med et mål om innmatningsfrekvens på 1 m<sup>3</sup>/døgn fordelt på to porsjoner. 1 m<sup>3</sup>/døgn tilsvarer en gjennomsnittlig oppholdstid på 30 døgn. I starten var innmatningsfrekvensen 0,5 m<sup>3</sup>/døgn. Denne ble økt til 1 m<sup>3</sup>/døgn i løpet av ca. 2 måneder. Figur 3.4 viser utviklingen i pH fra januar 2011 til april 2012. En jevn økning i pH fra februar til mars, fra ca. 7.5 til ca. 7.7, indikerer en god oppbygging av mikroorganismekulturen.



Figur 3.1. Utvikling i pH ved fylling av tank/økt innmatningsfrekvens

Oppstartbetingelser oppsummert:

Temperatur:	33 °C
Substrat:	Storfegjødsel
Innmatningsfrekvens:	1m <sup>3</sup> /døgn fordelt på to porsjoner
Gjennomsnittlig oppholdstid:	30 dager

Prosjektet skulle teste ulike typer fiskeavfall i tillegg til å dokumentere gassutbytte med kun husdyrgjødsel som substrat.

Forsinkelse av test med fiskeavfall i full skala skyldes i hovedsak at:

- Sentrifugalpumpene til innmating i tankene, og videre til kjøletank håndterte ikke gjødsel og råtnere på en god måte. Dette ga mange og til dels langvarige driftsstopp. Det ble gjort tilpasninger i systemet ved blant annet å sette inn en Rotacut 3000 (Vogelsang) før miksetanken. Rotacuten fungerer som en «gjødselkvern» hvor den ved hjelp av kniver kutter halm, silorester, rundballetråd og andre større ting som kan følge med gjødsla. I tillegg har en av pumpene blitt skiftet med en ny sentrifugalpumpe med tilbaketrukket impeller og tilbakespyling av vann. Etter disse endringene har pumpe-systemet fungert tilfredsstillende.
- Varmetilførselen med varmepumpe og el-kolbe har til tider ikke fungert, og flere utbedringer har blitt gjort. Varmetilførselen er dessuten for liten i forhold til varmebehovet. Flere rør og tanker som har hatt betydelige varmetap har blitt etterisolert, og en ny varmekrets med blant annet varmetilførsel/forvarming av substrat i miksetank skal installeres.
- Oppstart av den andre råtnetanken (råtnetank 1) tok betydelig lenger tid enn planlagt på grunn av at den ikke besto en trykktest, og måtte utbedres.

Gassproduksjonen har variert fra 5 til 53 m<sup>3</sup>/døgn avhengig av hvor godt anlegget har fungert, og av innmatningsfrekvens.

Framdriften har også til tider vært begrenset på grunn av at arbeidet med utbedringer har vist seg vanskeligere enn antatt og dermed har tatt lenger tid. I tillegg har det tatt lang tid å få godkjenning fra Mattilsynet for bruk av fiskesåpe. I første omgang har vi fått godkjenning for en test-kjøring med dette substratet.

For å redusere kostnader ble anlegget bygd uten fleksibelt gasslager. De fleste biogassanlegg har et slikt gasslager for lettere å kunne tilpasse forbruket av gass til en gassproduksjon som vil variere. Med et gasslager kan man variere trykket og gass-strømmen inn til gassmotoren. Driftserfaringene viser at det er nødvendig med gasslager både for å øke sikkerheten i anlegget og for å sikre stabil drift av gassmotoren da denne behøver stabil og jevn gasstilførsel.

### 3.2 Godkjenning av fiskesåpe som tilleggssubstrat

- NORSØK var tidlig i kontakt med Debio og Mattilsynet sentralt for å diskutere bruk av eventuelle tilleggssubstrat i biogassanlegget. Konklusjonen var at endelig godkjenning måtte gis av lokalt Mattilsyn i forbindelse med ferdigstilling av anlegget.

- I 2013 ble søknad innsendt om bruk av flere typer fiskeavfall. Søknaden ble avslått i januar 2014, begrunnet med at anlegget mangler et hygieniseringstrinn, og at det ikke var noe behov for alternative gjødselslag i den økologiske produksjonen på gården.
  - Før ny søknad ble innsendt, i februar 2014, gjennomførte vi en kjemisk analyse av organiske miljøgifter i fiskesåpe, og sammenliknet verdiene med tidligere verdier presentert av Amundsen m.fl. (2012). Verdiene var på linje med en prøve som ble vurdert som akseptabel av Amundsen m.fl. (2012).
  - Fiskesåpa sendes per i dag til Danmark hvor den brukes som tilleggssubstrat i biogassanlegg, uten at vi har klart å finne eksempler på at danske myndigheter legger restriksjoner på bruken av gjødsla.
  - Såpa er hygienisert gjennom den behandlingen den gjennomgår i anlegget til GC-Rieber.
- I sitt foreløpige svar på den reviderte søknaden sier Mattilsynet at det er holdt en avstemning over regelverksendring i vedlegg 1 (godkjente gjødsel- og jordforbedringsprodukter) i forordning 889/2009 på et møte den 19.februar. Dette medfører at rester fra biogassproduksjon som stammer fra animalske biprodukter kan godkjennes som ikke-økologiske gjødsel- og strømidler. Mattilsynet kan imidlertid ikke behandle søknaden og gi tillatelse før dette avstemningsresultatet er implementert i det norske regelverket. Mattilsynet har godkjent at NORSØK kan tilsette fiskesåpe i fullskala utprøving og få tillatelse til å bruke dette som gjødsel dersom det er nødvendig med utkjøring før søknaden kan behandles ut fra det reviderte og implementerte regelverket. Mattilsynet ber om at det blir tatt prøver for tungemetallundersøkelser for å sikre at nivået ikke blir for høgt i forhold til regelverket.

### 3.3 Energiutbytte med storfegjødsel

#### 3.3.1 Materiale og metoder

For å undersøke effektiviteten til skillevegg-systemet, som er planlagt for å kunne redusere gjennomsnittlig oppholdstid og størrelse på råtnetanken, ble det gjort en omfattende måling av gassutbytte med bare storfegjødsel som substrat vinteren 2013-14. Gassutbyttet ble målt ved ulik innmatningsfrekvens, etter installasjon av Rotacut (se kap 3.2.) i desember 2013. Fra ca. 15.desember til 31.januar ble 1 m<sup>3</sup> gjødsel tilført begge råtnetankene hvert døgn i to porsjoner, a 0,5 m<sup>3</sup>, kl 04 og 16 for råtnetank 1 (uten skillevegg) og kl 10 og 22 for råtnetank 2 (med skillevegg). Fra 1.februar begynte en gradvis opptrapping av innmatet mengde for råtnetank 2 (se rød kurve i figur 3.2). Samlet akkumulert gassproduksjon pr døgn for råtnetank 1 og 2 er beregnet ut fra data fra en gassmåler (l/time) i anlegget.

Tabell 3.1. TS og VS for ubehandlet gjødsel.

Prøve	Substrat	Dato for prøveuttak	TS (%)	VS (% av TS)	g VS/ 1000 g substrat
1	Storfegjødsel	12.desember 2013	5,4	80,6	43,5
2	Storfegjødsel	6.mai 2014	8,2	55,1	45,5

Målinger av tørrstoff (TS, %) og glødetap (Volatile Solids, VS (% av TS)) er gjort ved å veie inn ca 500 g råtnerest i porselensdiger, tørke til konstant vekt ved 105 °C og måle

vektreduksjonen. Deretter ble digelen, med kjent vekt, satt til gløding ved 550 °C, og nytt vekttap registrert.  $TS\text{-innholdet } (\%) = (Ferskvekt - Tørrvekt) / Tørrvekt * 100$ , og  $VS\text{-innholdet} = (Tørr\ vekt - vekt\ av\ aske) / Tørr\ vekt * 100$ . Tabell 3.1 viser TS (%) og VS (% av TS) for gjødsla da innmatingsstudien startet og ved slutten av forsøket.

På grunn av utformingen av gjødselsystemet har det i gjødsla fra fjøset vært en betydelig variasjon i TS og VS (Tabell 3.1). Det er et jevnlig problem at det dannes områder med fast gjødsel i nærheten av ungdryavdelinga, der dyra har fastere gjødsel og går i binger med strø av halm. Hos kyrne strøs det med små mengder kutterflis. Omrøring har blitt foretatt i flytkanalene ved behov, som i februar 2014, for å avhjelpe dårlig flyt av gjødsel. Total mengde organisk materiale i substratet, målt som g VS/1000g substrat, var likevel omtrent likt ved oppstart og avslutning av gassmålingene.

I resultatene nedenfor er verdiene for prøven fra mai 2014 brukt siden denne antas å være mest representativ for gjødsla i forsøksperioden. De første årene etter at fjøset ble tatt i bruk (i mars 2011) var det et problem at den tynneste delen av gjødsla rant ut i pumpekummen, mens propper av fast gjødsel bygde seg opp i andre deler av flytkanalene og måtte fjernes med sugepumpe. Etter anskaffelse og jevnlig bruk av propell i flytkanalene har dette problemet blitt betydelig redusert, og TS-innholdet i gjødsla i pumpekummen har økt. Propell vil fastmonteres i flytkanalene og gjøre mulig jevnlig omrøring fra høsten 2014.

For å kontrollere at ikke innmatingen oversteg råtnetankens kapasitet, målte vi jevnlig total mengde fettsyrer (Volatile Fatty Acids, VFA) i substratet. Ved betydelige endringer i VFA (mg/L) ble videre økning i innmatet mengde utsatt. For å måle VFA brukte vi en autotitrator av type Mettler DL22 med en 20-mL byrette til å utføre to-punkts titrering (Anderson og Yang, 1992) til pH 5,1 og 3,5. 0,1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ble brukt som titrant. 10 g råtnerest ble veid ut og fortynnet med destillert vann (1:1 v/v) før titrering. Modeller utledet av Møller og Ward (2011) ble brukt til å beregne fettsyrenivået i råtneresten.

En bærbar detektor av typen GA 5000 (Geotech) ble brukt til å måle CH<sub>4</sub>- og H<sub>2</sub>S-konsentrasjon i gassen fra anlegget.

### 3.3.2 Resultater

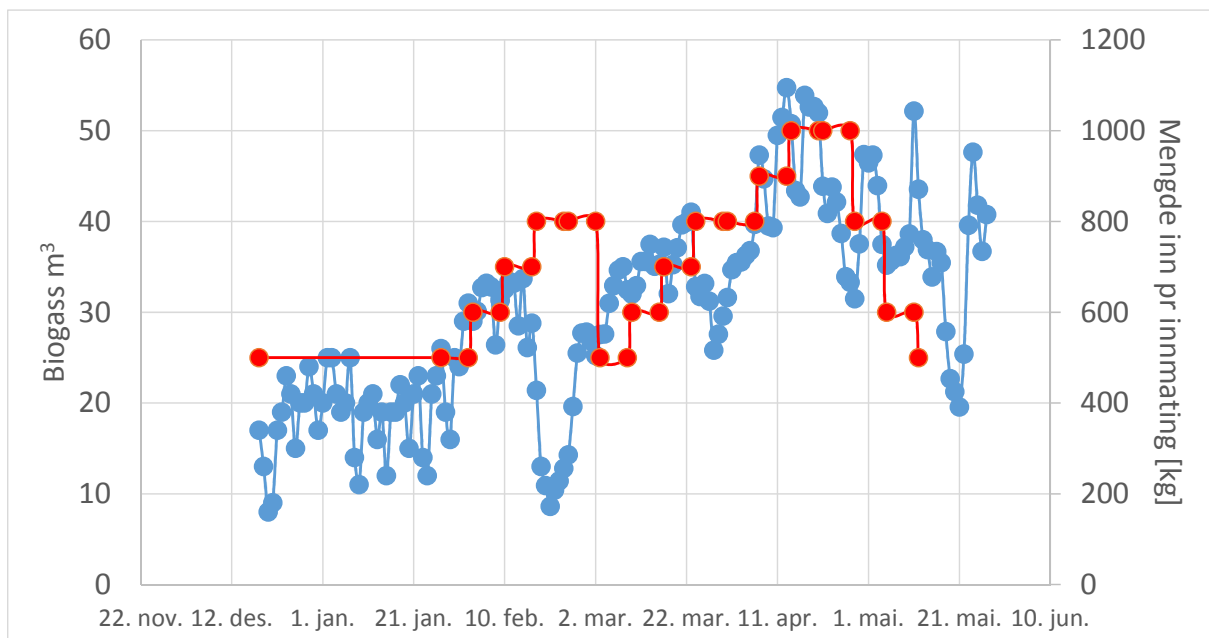
Resultatene kommer fra en begrenset tidsperiode og må tolkes med forsiktighet, men viser at det er mulig å redusere gjennomsnittlig oppholdstid, eller øke innmatningsfrekvensen, når råtnetanken har skillevegg og omrøringsystemet (fig. 2.3) er tilpasset denne. For å få et sikrere tallgrunnlag vil det være nødvendig med en forlenget måleperiode med stabil innmating og med høyere frekvens av analyser av gjødsla.

Figur 3.2 viser samlet gassproduksjon (for begge råtnetankene) sammenlignet med endringer i innmatet mengde for råtnetank 2 (rød kurve). I første del av testen var innmating stabil og lik 1 m<sup>3</sup>/døgn for begge reaktorene over en periode på ca. 1,5 mnd. Innmatingen på 1 m<sup>3</sup> /råtnetank døgn tilsvarer en organisk belastning på 1,5 kg VS/m<sup>3</sup> volum råtnetank per døgn. Målet med forsøket var å oppnå stabil gassproduksjon i råtnetank 2 med halvert oppholdstid (15 døgn) og dermed dobbelt så høy organisk belastning (3 kg VS/m<sup>3</sup> volum råtnetank per døgn). Halvert oppholdstid for råtnetank 2 ble utprøvd i perioden fra 14. - 27.april. På dette tidspunktet viste anlegget tegn til å ikke kunne håndtere gassvolumet som ble produsert fordi vi mangler gasslager. Av sikkerhetsmessige årsaker ble innmatet mengde redusert og testen avsluttet i løpet av mai 2014.

Generelt vil høy organisk belastning i en anaerob utråtningsprosess føre til høy produksjon av mellomprodukter som VFA. Fettsyrene er eddiksyre, propionsyre, smørsyre,

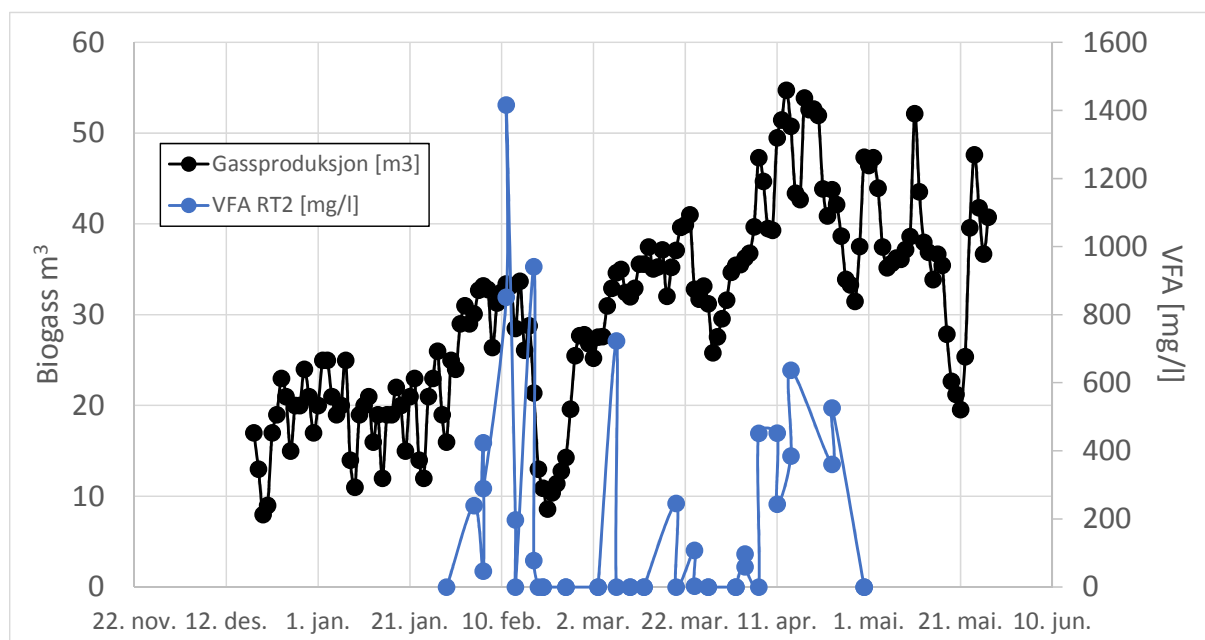
isosmørsyre, 2-metyl smørsyre og valeriansyre. Fettsyrene hemmer (inhiberer) en videre nedbrytningsprosess. VFA-analyser ble som nevnt gjort fortløpende for å vurdere om innmatet mengde kunne økes. En VFA-konsentrasjon på 5000 mg/L regnes som høy, og indikerer en sterk inhibering av prosessen. Figur 3.3 viser 3 perioder med betydelig økning i VFA, alle på grunn av opptrapping i innmating; ved økning fra 500-800 kg pr døgn 27. januar til 17. februar, ved start av opptrapping fra 500 kg etter driftsstopp 10. mars og ved økning fra 800-1000 kg og ved innmating med 1000 kg per dag 3.- 23. april. VFA-verdiene var likevel kun 1400 mg/L på det høyeste. En stabiliseringstid på ca. 1 uke før opptrapping med 100 kg i innmatet mengde viste seg tilstrekkelig for å unngå «forsuring» av råtnetank 2.

Fall i gassproduksjon i løpet av testperioden skyldes ikke endringer i VFA, men i hovedsak endringer i TS i gjødsla og problemer med anlegget. Fallet i gassproduksjon fra 16. til 20. februar skyldes i hovedsak at gjødsla med stor andel halm tettet miksetank-pumpen og ga en driftsstopp som hindret innmating. Fallet i gassproduksjon 28. mars skyldes første erfaring med at gasshåndteringssystemet til anlegget begynte å få problemer med å håndtere den produserte gassmengden. Denne situasjonen gjorde også til at innmatet mengde måtte settes ned etter kun 14 dager ved 1000 kg/døgn.



Figur 3.2. Total gassproduksjon (råtnetank 1 og 2, m<sup>3</sup>) over tid (blå kurve) sammenholdt med mengde inn pr innmating (rød kurve, innmating skjer 2 ganger i døgnet), i råtnetank 2 med skillevegg.





Figur 3.3. Gassproduksjon ( $\text{m}^3$ ) over tid sammenholdt med total mengde fettsyrer (VFA) i råtnerest fra råtnetank 2 ( $\text{mg/l}$ )

Tabell 3.2 viser biogassproduksjon og metanproduksjonen før opptrapping (30. januar) og innmating og ved maksimalt oppnådde gassproduksjon (13. april). Tallene viser høyere gassproduksjon pr  $\text{m}^3$  innmatet mengde 13.april sammenlignet med 30.januar. Dette kan skyldes at de metandannende mikro-organismene har tilpasset seg en økt innmating og blitt mer effektive, men det kan også skyldes variasjoner i sammensetningen av gjødsel. Datagrunnlaget er begrenset, og en ny test vil bli gjort når en egen gassmåler er blitt montert på råtnetank 1, og gasslager og ny varmetilførsel er installert.

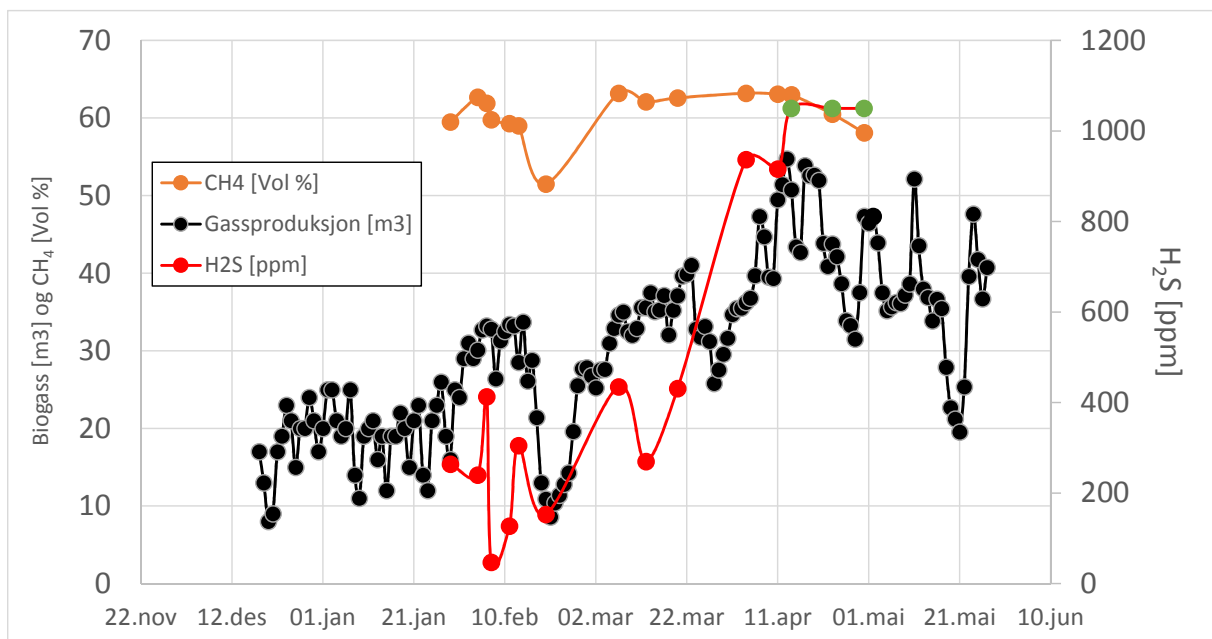
Når storfegjødsel brukes som eneste substrat i biogassproduksjon, har Møller et al (2004) funnet en metanproduksjon på  $148 \text{ L/kg VS}$ . Andre har funnet noe høyere verdier, f.eks. Lindow (2004) som oppgir  $195 \text{ L/kg VS}$ . Biogassanlegget ved Åna kretsfengsel i Rogaland er det gårdsbaserte biogass anlegget i Norge som har vært lengst i drift, med stabil drift siden 2004. På Åna har gassproduksjonen blitt målt til  $122 \text{ L CH}_4/\text{kg VS}$  og  $7,9 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^3$  gjødsel (Fjørtoft m.fl. 2014). Med tilsetning av 7,5 - 7,9 vol % fiskeensilasje økte gassproduksjonen betydelig, til  $222\text{-}355 \text{ L CH}_4/\text{kg VS}$ . Våre tall for januar er på nivå med publiserte resultat, mens tallet for mai er betydelig høyere, og nærmer seg det gassutbyttet som er teoretisk mulig ved biologisk omdanning av storfegjødsel (Ward, 2010). Tallet for april er imidlertid basert på VS måling fra mai, og må tolkes med forsiktighet.

Tabell 3.2 Gassproduksjon og metanproduksjon oppnådd ved innmating på 2 og 3  $\text{m}^3$  gjødsel/døgn (totalt for 2 tanker)

Tidsp.	Innmating ( $\text{m}^3/\text{døgn}$ )	Organisk belastning [ $\text{kg VS}/\text{m}^3$ volum råtnetank, døgn]	Gassproduksjon [ $\text{m}^3$ biogass]	Metanproduksjon [ $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{m}^3$ gjødsel]	Metanproduksjon [ $\text{L}/\text{kg VS}$ ]
30.jan.	2	1,51	25,0	7,4	171
13.apr.	3	3,03	54,7	11,5	252

Figur 3.4 viser  $\text{CH}_4$ - og  $\text{H}_2\text{S}$ -konsentrasjon i testperioden.  $\text{CH}_4$ -konsentrasjonen lå i hovedsak på 62-63 vol %. Ved Åna kretsfengsel har metan-konsentrasjon ved biogassproduksjon fra

storfe gjødsel til sammenligning vært ca. 60 vol %. Maksimal gassproduksjon på 54,7 m<sup>3</sup> biogass/døgn ved anlegget på Tingvoll ble oppnådd 13. april. Med en CH<sub>4</sub>-konsentrasjon på 63 vol % tilsvarer dette 34,4 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/døgn. Dette tilsvarer å kunne kjøre gassmotoren på minimum last med en gass-strøm på 4 m<sup>3</sup>/t i ca. 8 timer. Energi-innholdet til 1Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> tilsvarer ca. 10 kWt (Angelidaki, Ellegaard og Ahring, 2003), m.a.o. tilsvarer dagsproduksjonen 13. april en energimengde på 344 kWt. Hvis man antar lik drift og gassproduksjon hele året tilsvarer dette en årlig energimengde på 125 700 kWt (før tap i gassmotoren). Med tilsats av fiskesåpe (opp til 5 vt %) vil produksjonen tilpasses til å kjøre gassmotoren med maksimal last, noe som vil tilsvare ca. 250 000 kWt/år produsert/levert energi (varme og el).



Figur 3.4. Gassproduksjon (m<sup>3</sup>) som funksjon av tid og sammenlignet med CH<sub>4</sub>-konsentrasjon (vol %) og H<sub>2</sub>S-konsentrasjon (ppm) målt i gassblanding fra råtnetank 1 og råtnetank 2 (grønne punkter ved maks. innmatning indikerer at verdiene er høyere enn maks-verdien på 1000 ppm H<sub>2</sub>S for måleinstrumentet).

Innledningsvis var det mulig å justere luftmengden som tilsettes for å fjerne H<sub>2</sub>S- slik at nivået holdt seg under 200 ppm (figur 3.4). Ved økning i innmatet mengde var dette ikke lenger mulig. For å unngå korrosjon i gassmotoren er det behov for flere rensetrinn. Vi planlegger å montere ei jernsponfelle med utfelling av svovel som jernsulfid, FeS og et siste trinn med rensing med aktivt kull.

## 4. Energiutbytte med fiskeavfall

På grunnlag av tilgjengelige substrat på Nordmøre valgte vi å undersøke såpe og bleikejord fra GC Rieber A/S i Kristiansund, og fiskeensilasje fra AquaGen AS på Tingvoll i dette prosjektet. GC Rieber framstiller omega 3 ved å rense fiskeolje. I et tidlig rensetrinn fjernes ustabile fettstoffer (som lett harskner) ved tilsetning av lut. Det dannes da ei såpe som inneholder 98-99 % organisk materiale (fett, se tabell 4.1). Denne såpa har gitt betydelig økning i gassutbytte i batch-forsøk (Ward 2012). Såpa er flytende ved romtemperatur, og pumpbar ned til ca. 5 °C. Ved temperaturer under - 5 °C går såpa over i fast form. Per 2014 sendes såpa til Danmark med båt, og brukes i biogassanlegg der. Bleikejord er et produkt som dannes ved å tilsette finmalt mineralmateriale som leirmineraler eller kalsiumkarbonat til varm olje under trykk, for å felle ut fargestoffer, vitaminer og andre stoffer man ikke ønsker i rein omega 3 (Ward 2012). Bleikejord inneholder ca 35 % fett (Tabell 1). Bleikejord er en myk, svart masse når den er fersk, men herder ved lagring og må da knuses før den kan blandes inn i råtnerest. Bleikejord har også gitt økt gassutbytte i batch-forsøk (Ward 2012), men ikke like godt som såpe. En ulempe med bleikejord er at mineralpartiklene sliter på pumper og kan sedimentere hvis det ikke er tilstrekkelig omrøring. Bleikejord deponeres per 2014 på avfalls plass. Det produseres anslagsvis 20 000 tonn såpe og 30 000 tonn bleikejord årlig ved foredling av fiskeolje til omega 3 (Ward 2012) hos GC Rieber.



Figur 4.1. Bilde av de ulike typene fiskeavfall brukt i arbeidet. Fiskeensilasje (venstre), bleikejord (midten) og fiskesåpe (høyre).

AquaGen produserer lakserogn fra stamfisk som avlives etter stryking. Fisken bedøves før stryking, og ensilasjen kan derfor ikke benyttes til fôr. Ensilasje er kjent fra tidligere forsøk (Solli et al. 2014) så vel som kommersiell praksis for å gi godt gassutbytte i en biogassprosess, men på grunn av det høye proteininnholdet er det mer utfordrende å tilsette ensilasje enn f.eks. såpe. Ammonium, som frigjøres ved nedbrytningen av protein, er inhiberende for aktiviteten til metanproduserende mikroorganismer.

Tabell 4.1. Kjemiske egenskaper for fiskesåpe, bleikejord, fiskeensilasje og husdyrgjødsel (Ward 2010, 2012) og fiskeensilasje (Solli et al. 2014). VS = organisk materiale

<b>Materiale</b>	<b>TS (%)</b>	<b>VS % av TS</b>
Fiskesåpe	98,9	99,4
Bleikejord	84,2	35,5
Fiskeensilasje	35,1	32,8
Husdyrgjødsel	8,2	89,2

## 5. Utslipp av klimagasser

---

Vi gjennomførte to undersøkelser av metandannelse/utslipp fra fersk gjødsel og råtnerest. Metoden ble forbedret fra den første til den andre undersøkelsen. Metan er en viktig klimagass, og reduksjon i utslipp av metan fra gjødsellager er et viktig argument for at husdyrgjødsel bør råtnes ut i biogassanlegg.

### 5.1 Test 1 - 2012

#### 5.1.1 Materiale og metoder

50 kg ubehandlet storfe gjødsel (US), råtnerest direkte fra råtnetankene (R) og råtnerest fra kjøletank (RK) ble fylt i 60 liters dunker med lokk. Forsøket ble satt opp med to parallelle dunker med samme substrat (fig. 5.1.). Gass som ble produsert i dunkene ble ført gjennom en slange i lokket og samlet i en tett pose for oppbevaring frem til analyse (fig. 5.2). Dunkene ble plassert på et ca. 1m høyt bord i et rom med mulighet til på regulere temperaturen. Temperaturen i rommet ble satt til 20 °C. Denne temperaturen er betydelig høyere enn gjennomsnittstemperaturen man vil forvente i et norsk gjødsellager, men ble valgt for å sikre at gassproduksjonen ble så betydelig at forskjeller kunne observeres.



Figur 5.1 Bilde av dunker med monterte gassposer plassert på bord i klimarom

Ved gassmåling ble posene tømt med en Dräger X-am 5000 med ekstern pumpe og pumpehastighet 0,5 l/min. Volum ble beregnet som produktet av pumpehastigheten og den tida det tok å tømme posen. Tida ble målt med stoppeklokke. CH<sub>4</sub>-konsentrasjonen varierte noe ved starten av gassmålingen, og vi valgte derfor å avlese denne etter 1 min for å få målingene sammenliknbare. Innledningsvis var gassproduksjonen høy og gassmålinger ble foretatt daglig. Etterhvert som gassproduksjonen avtok ble målinger foretatt når posene var tilnærmet fulle (se figur 5.2).

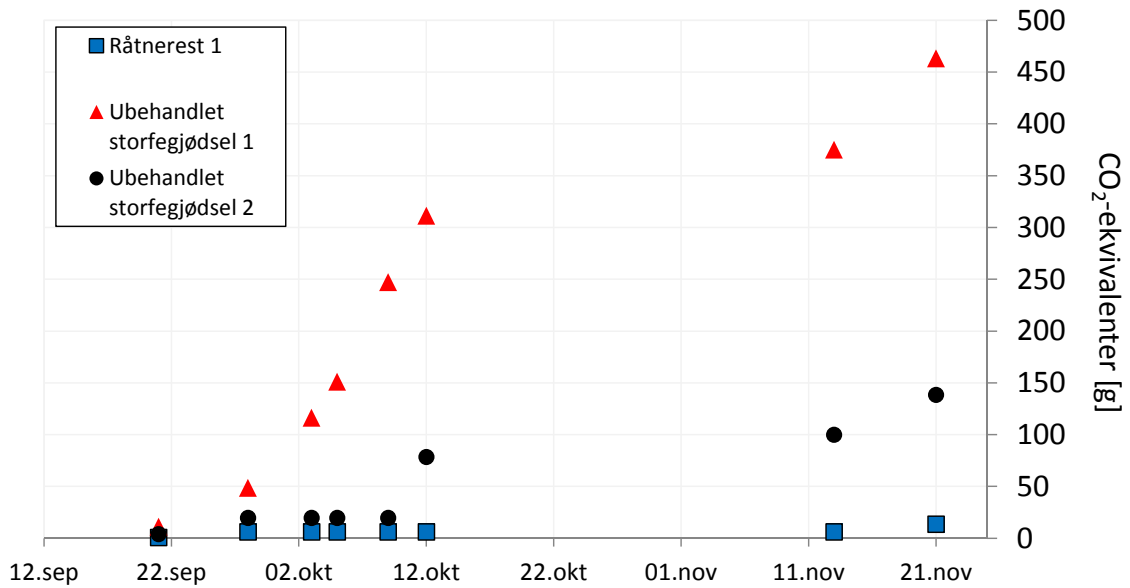


Figur 5.2 Gasspose fylt med gass utviklet fra dunk med råtnerest direkte fra råtnetank.

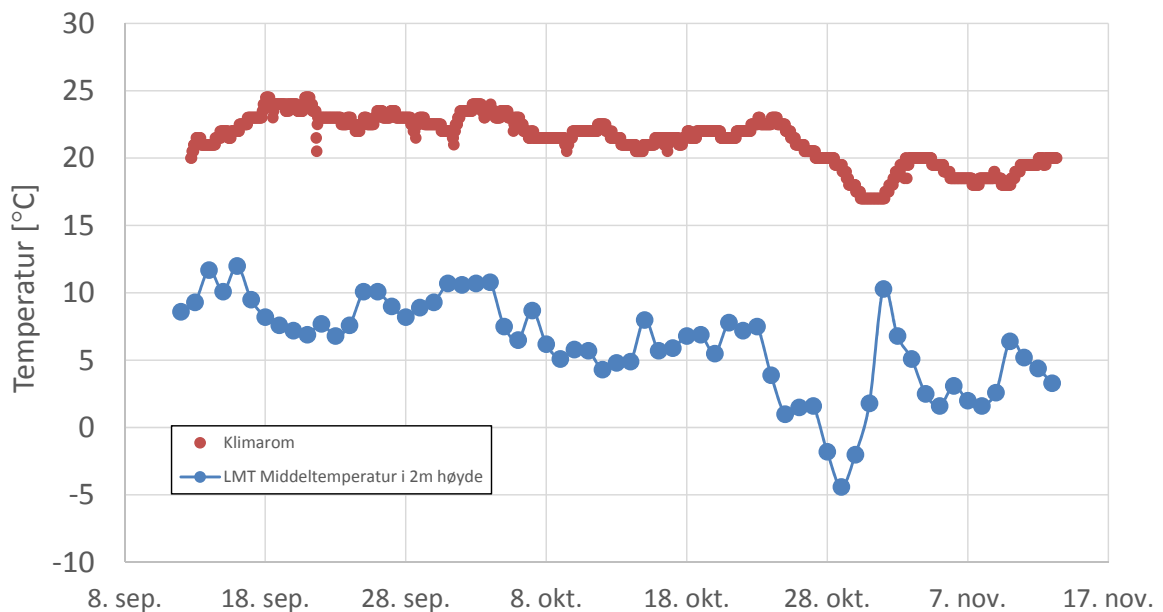
### 5.1.2 Resultater og diskusjon test 1

Figur 5.3 og tabell 5.1 viser utviklingen av gass i dunkene fra 12. september til 21. november 2012. Temperaturen i rommet varierte mellom 16 og 25 grader i løpet av forsøksperioden. Den varierte noe med utetemperaturen (se fig.5.4).

Gjennomsnittstemperaturen i forsøksperioden var 22 °C. Det var betydelige forskjeller mellom parallellene, og i enkelte dunker ble det ingen gassutvikling gjennom hele forsøksperioden. For dunkene med råtnerest kan dette skyldes at det kom oksygen inn i gjødsla da dunkene ble fylt. Figur 5.3 viser resultater fra de tre dunkene hvor det ble observert gassutvikling i forsøket.



Figur 5.3 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for dunkene med ubehandlet storfe gjødsel 1 og 2 (US1 og US2) og råtnerest 1 (R1)



Figur 5.4 Temperatur i klimarommet i forsøksperioden sammenholdt med middeltemperatur ved 2 m høyde målt ved målestasjon på Tingvoll gard.

Gassutvikling kom raskt i gang i US-dunkene, og første måling ble foretatt etter 9 dager, den 21. september. Det var betydelig forskjell på gassutviklingen i de ulike dunkene (figur 5.3). Mest tydelig var fraværet av gassutvikling i dunkene som inneholdt nedkjølt råtnerest (RK). Fra 28. september (16 dager) var gassutviklingen i R og RK-dunkene tilnærmet lik null. De to US-dunkene hadde forskjellig forløp etter dette. Gassutviklingen stoppet opp ca. 12 oktober. Etter en måned uten synlig aktivitet ble forsøket vurdert avsluttet i starten av november. Temperaturen hadde da i tillegg sunket til ca. 0 °C ute. Innertemperaturen var på bakgrunn av dette nede i 17 °C. På samme tid som utetemperaturen (ca. 5 °C) og inne-temperaturen (ca. 20 °C) steg fulgte imidlertid en liten periode med gassutvikling både for US1, US2 og R1.

Forsøket viste store variasjoner mellom paralleller (Figur 5.3 og tabell 5.1). Den målte gassutviklingen for US1 var for eksempel 3 ganger så stor som for US2. Årsaken er ikke kjent, men kan skyldes at storfegjødsel var for dårlig homogenisert og at innholdet i de to tankene derfor ikke var helt sammenlignbart. Når det gjelder dunkene med råtnerest med substrat tatt direkte fra råtnetankene så skulle man kunne forvente høyere grad av gassutvikling enn det som ble observert da substratet i råtnetanken ikke forventes å være fullstendig utrånnet ved uttak. Det er mulig at utilsiktet innblanding av luft ved fylling av gjødseldunkene førte til at utråningsprosessen stoppet opp.

Generelt er likevel den høyere gassutviklingen fra US-dunkene som forventet, og i samme størrelsesorden som funnet i andre undersøkelser i Norden (Rohde m.fl.2008). «Methane conversion factor» (MCF), det vil si hvor stor andel av det maksimale gasspotensialet som utvikles, er et internasjonalt mål som brukes for utslipp av klimagasser fra gjødsellager. Maksimalt metanutbytte for storfegjødsel fra Tingvoll gard har i et tilstøtende prosjekt blitt funnet til å være 270 L CH<sub>4</sub>/kg VS (Ytrestøyl m. fl. 2013). Dette tallet ble brukt til å regne ut en MCF på henholdsvis 18,4 og 5,5 % for US1 og US2. FNs klimapanel (IPCC) anbefaler til sammenligning en MCF på 10 % (ved gjennomsnittstemperatur under 10 °C, lager med naturlig flytedekke) for bruk i teoretiske beregninger av klimagassutslipp. En grundig svensk undersøkelse (Rohde m.fl.2008) med tilsvarende målinger fant verdier på 1,8-2,7 %. Disse målingene er tatt over 1 år og basert på gjennomsnittstemperatur fra 5,6 - 9,7 °C. De store forskjellene i MCF-verdier i vårt forsøk og den omfattende svenske undersøkelsen viser at temperaturen har svært stor betydning for utslippet av metan.

Tabell 5.1 Substrat, vekt substrat [g], volum CH<sub>4</sub> dannet [L], Methane conversion factor [%] og mengde CO<sub>2</sub>-ekvivalenter [g].

Substrat	Forkortelse	m <sub>substrat</sub> [kg]	V <sub>CH<sub>4</sub></sub> [L]	MCF [%]	CO <sub>2</sub> -ekvivalenter [g]
Ubehandlet Storfegjødsel 1	US1	50,2	30,83	18,4	463
Ubehandlet storfegjødsel 2	US2	50,4	9,20	5,5	138
Råtnerest 1	R1	50,6	0,91	-	14
Råtnerest 2	R2	50,2	0,11	-	2
Råtnerest kjøletank 1	RK1	50,4	0,15	-	2
Råtnerest kjøletank 2	RK2	50,4	0,19	-	3

I denne innledende undersøkelsen var det en del ujevne forhold (temperaturvariasjoner, dårlig homogenisering av gjødsel, mulig innblanding av luft) som påvirket resultatene. Resultatene viser tydelig lavere gassutslipp fra råtnerest-dunkene og fra dunkene med råtnerest tatt fra kjøletank, noe som er bakgrunnen for at et utvidet gjentak av forsøket (Test 2) ble gjennomført.



## 5.2 Test 2 - 2013/2014

### 5.2.1 Materiale og metoder

8 dunker ble fylt med substrat (se tabell 5.1), 4 med ubehandlet storfegjødsel (US\_A - US\_D), 2 med råtnerest direkte fra råtnetank (RA og RB) og 2 med råtnerest fra kjøletank (RKA og RKB). Gjødsla var i dette forsøket mer homogen på grunn av at den ble tatt ut etter den nylig installert rotacut-enheten. Ved tapping av substratene ble det ellers passet på at innblanding av luft ble minimert.

Tabell 5.1 VS og TS for substratene brukt i test 2.

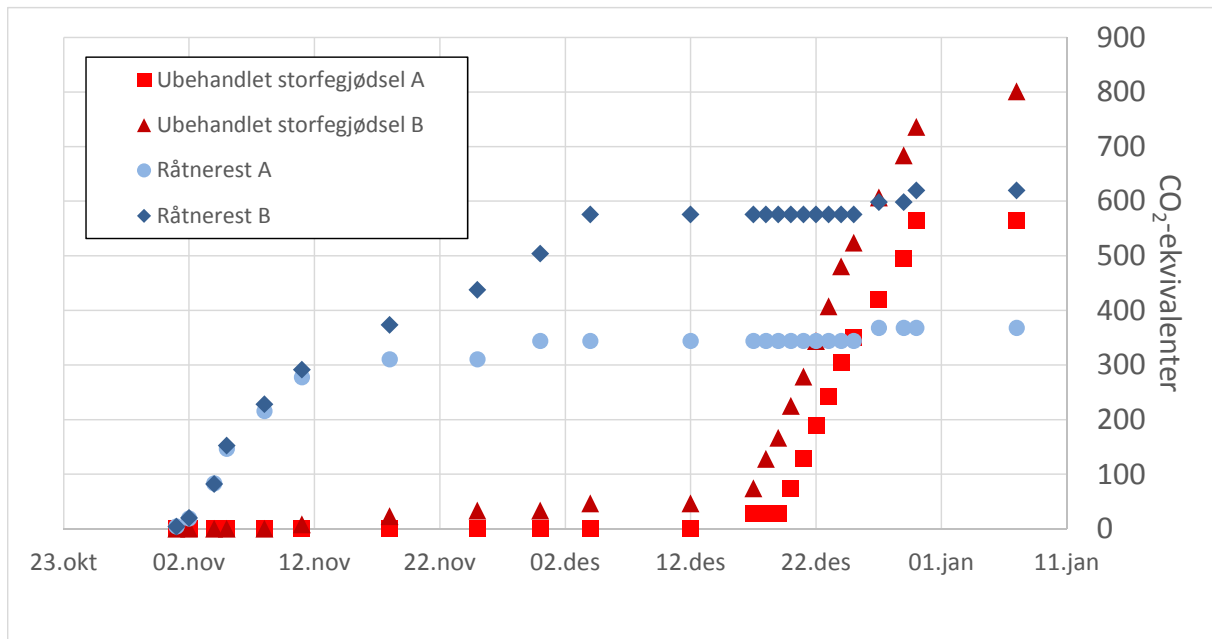
Prøve	TS (%)	VS (% av TS)
Ubehandlet storfegjødsel, US	5,4	80,6
Råtnerest, R	4,1	75,0
Råtnerest kjøletank, RK	3,1	68,6

Alle dunkene bortsett fra US\_C og US\_D var lokalisert i klimarommet i hele forsøksperioden (31. oktober 2013 - 14. mars 2014). US\_C og US\_D sto ved utetemperatur frem til 22. november, innendørs ved 10-15 °C til 9. desember og i klimarommet ut forsøksperioden. Temperaturen i klimarommet ble holdt oppe frem til 7. januar 2014. Gjennomsnittstemperatur i denne perioden var 22,9 °C. Forsøket var da egentlig ansett for avsluttet, temperaturen sank, men var over frysepunktet. For å undersøke om vi kunne få i gang gassproduksjon i US\_C og US\_D ble temperaturen hevet og kontrollert igjen fra 5. februar til 14. mars 2014. Se også figur 5.6.

Oppsettet og målingene var ellers likt det som er beskrevet i kapittel 5.1.1.

### 5.2.2 Resultater og diskusjon test 2

Figur 5.5 og tabell 5.1 viser data fra utvikling av gass i dunkene i perioden 31. oktober 2013 til 7. januar 2014. Temperaturen i klimarommet ble logget og er vist i figur 5.6. Gjennomsnittstemperaturen var noe høyere (0,9 °C) i test 2 sammenlignet med test 1. Temperaturen i rommet varierte noe på bakgrunn av utetemperaturen, men holdt seg mellom 20 og 25 °C.



Figur 5.5 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for ubehandlet storfe gjødsel A og B (US\_A, og US\_B) og råtnerest A og B (RA og RB).

Forløpet med tanke på gassutvikling i dunkene (figur 5.5) var helt forskjellig fra det som ble observert i test 1 (figur 5.3). Dunkene med råtnerest viste betydelig gass-utvikling helt fra starten av forsøket. RA og RB viste lik utvikling frem til 11. november. Etter det fortsatte utviklingen av gass i RB, mens den i RA stoppet opp. De høyere utslippene fra råtneresten (tatt direkte fra råtnetank) i test 2 sammenlignet med test 1 antas å være en kombinasjon av at råtneresten var mindre utråtnet samt at innblanding av luft var minimert i test 2. Utslipp av metan fra råtnerest er blitt funnet å være betydelig lavere enn fra ubehandlet gjødsel, men høyere hvis gjødsel har blitt behandlet i kort tid (Anderson-Glenne og Morken, 2013). Tabell 5.1 indikerer at råtneresten fra kjøletanken var betydelig mer utråtnet (TS = 3,1 % og VS = 68,6 % av TS) enn råtneresten tatt fra råtnetanken (TS = 4,1 % og VS = 75 % av TS).

Det ble ikke observert betydelig gass-utvikling i noen av dunkene med ubehandlet storfe gjødsel før 17. desember. US\_A og US\_B kom da i gang med noen dagers mellomrom. Forløpet i gass-utvikling var likt, men US\_B utviklet totalt mer metan i løpet av forsøksperioden. Metan-produksjonen omregnet til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og MCF er vist i tabell 5.2. Bakgrunnen for forskjellen i gassutviklingsforløp for substratene når man sammenligner test 1 og 2 skyldes trolig innblanding av luft ved tapping av substrat i test 1, samt at råtnerest var mindre utråtnet ved uttak for test 2. MCF-verdiene på 7,8 og 11 % for ubehandlet storfe gjødsel er betydelig lavere enn verdiene for MCF fra IPCC på ca. 30 % for gjennomsnittstemperaturer rundt 20 °C. Variasjoner i temperatur i løpet av forsøket kan ha påvirket prosessen, men IPCC sine verdier er gjennomsnittsverdier for en rekke undersøkelser under ulike forhold og avvik i enkeltundersøkelser må påregnes.

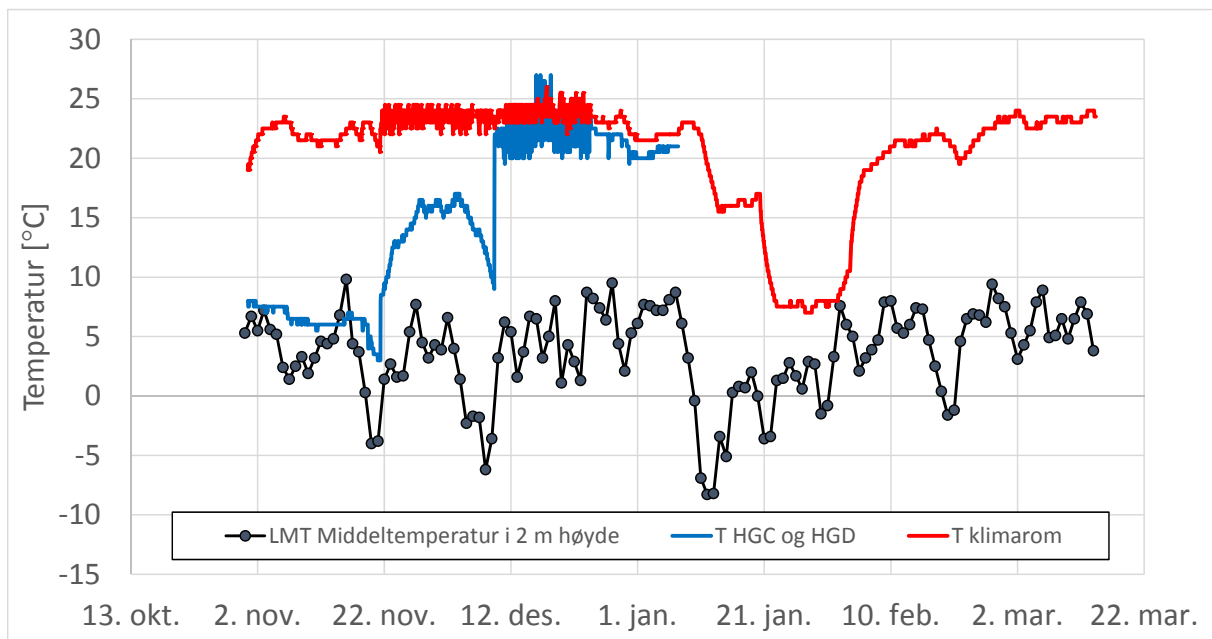
Som i test 1 viste nedkjølt råtnerest (RKA og RKB) ingen tendenser til gass-utvikling i forsøksperioden. Dunkene med ubehandlet storfe gjødsel som ble satt ved utetemperatur (3- 7 °C) de første tre ukene av forsøket (US\_C og US\_D) viste heller ikke tegn til gass-utvikling i løpet av 2 perioder på ca. 1 måned med en temperatur på over 20 °C.

Fravær av gassutvikling i dunkene med nedkjølt råtnerest og US\_C og US\_D skyldes mest sannsynlig nedkjølingen av substratene. Økt temperatur i gjødsellager har blitt funnet å ha

en sterk sammenheng med økte metanutslipp, se f.eks. Anderson-Glenna og Morken (2013) og Rodhe m.fl. (2008). En 10-dobling i utslipp om sommeren sammenlignet med vinterforhold har blitt sett i enkelte tester (Anderson-Glenna og Morken, 2013). Dette viser viktigheten av å unngå fulle gjødsellagre sommerstid. Det er interessant å se at etter en periode med nedkjøling og kald lagring var det vanskelig å få storfe gjødsel til å produsere metan, mens når ferskere storfe gjødsel ble satt direkte ved sommertemperatur ble det observert betydelig metanproduksjon. Hva er det, i tillegg til temperaturen, som starter metanproduksjon i lagret gjødsel? I et sluttlager vil det stadig komme tilførsel av fersk gjødsel som kan fungere som inokulum for metanproduserende bakterier. Hvis man avslutter tilførsel av fersk gjødsel i et sluttlager mens det fortsatt er lave utetemperaturer, for eksempel ved å ha flere mindre lagre i stedet for ett stort, kan det kanskje være en måte man kan bruke for å redusere metanutslipp fra gjødsellagre.

Et viktig resultat er at kjøletanken også i denne testen viste seg å fungere etter hensikten. Utslippet av metan var minimalt fra de to RK-dunkene. Å tilføre fersk husdyrgjødsel direkte i sluttlager, f.eks. i perioder med tekniske problemer i biogassanlegget, kan tenkes å ødelegge effekten av kjøletårnet har for å stoppe metanproduksjonen, og bør unngås vår og sommer.

Utslipp av lystgass er ikke blitt studert i dette prosjektet. Utslipp av lystgass er i utgangspunktet blitt antatt å skulle være lavere i råtnerest enn i ubehandlet gjødsel. Ved bruk av dekke i lager for råtnerest er det imidlertid observert betydelig utvikling av N<sub>2</sub>O i enkelte tilfeller. De målte utslippene stammer fra tildekte lager for råtnerest hvor det kan dannes aerobe mikronisjer og lystgass kan bli dannet som et biprodukt fra nitrifikasjon og denitrifikasjon (Anderson-Glenna og Morken, 2013).



Figur 5.6 Temperatur i klimarommet i forsøksperioden, for dunkene som ble satt ved utetemperatur i innledningen av forsøket (US\_C og US\_D) og middeltemperatur ved 2m høyde hentet fra LMT.

Tabell 5.2 Substrat, vekt substrat [g], volum CH<sub>4</sub> dannet [l], Methane conversion factor [%] og mengde CO<sub>2</sub>-ekvivalenter [g].

Substrat	Forkortelse	m <sub>substrat</sub> [kg]	V <sub>CH<sub>4</sub></sub> [L]	MCF [%]	CO <sub>2</sub> -ekvivalenter [g]
Ubehandlet storfegjødssel A	US_A	49,6	37,54	7,8	564
Ubehandlet storfegjødssel B	US_B	49,5	53,31	11,0	801
Ubehandlet storfegjødssel C	US_C	49,5	0,00	-	0
Ubehandlet storfegjødssel C	US_D	49,5	0,00	-	0
Råtnerest A	RA	49,5	24,49	-	368
Råtnerest B	RB	49,4	41,22	-	620
Råtnerest kjøletank A	RKA	49,5	0,69	-	10
Råtnerest kjøletank B	RKB	48,6	0,32	-	5

## 6. Produksjon av råtnerest til gjødselvirkningsforsøk

---

### 6.1 Materiale og metoder

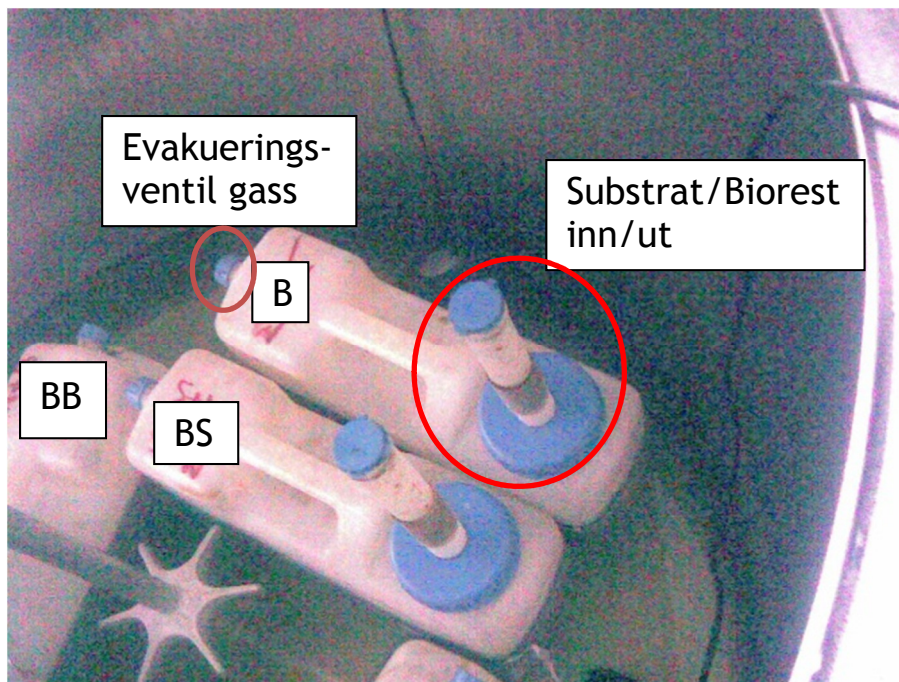
4 små råtnetanker ble laget av plastkanner med volum 10 liter (se figur 6.1.). Tankene hadde et rør på ca. 30 cm som ble brukt til innmating av nytt substrat og uttak av råtnerest. Den utviklede gassen ble ikke tatt vare på eller analysert. Skrutopp på siden av tankene ble åpnet for å fungere som evakueringsventil. Rør brukt til innmating/uttak av substrat er sammen med evakueringsventil vist i figur 6.1. Gasstrykk i beholderne i forsøksperioden indikerte betydelig utråtning og gassproduksjon. Ingen gassmålinger ble foretatt utover dette.

Et vannbad ble laget av et isolert melkefat. En kalvedrikk-varmer ble brukt som oppvarmingskilde, og en sirkulasjonspumpe ble brukt for å fordele varmen. Forsøks Temperaturen ble valgt til 33 °C, fordi denne temperaturen brukes i fullskala-anlegget. Vannbadet ble testet i en uke med råtnetanker fylt med vann for å finne riktig innstilling for kalvedrikkvarmeren og sirkulasjonspumpa og for å påse jevn og homogen temperatur i vannbadet.

Miniråtnetankene ble fylt med 8 liter råtnerest i form av storfegjødsel hentet fra den ene råtnetanken i fullskala-anlegget, og satt i vannbadet 20. mars 2012. Daglig innmatet mengde ble satt til 3 dl (296 g) som tilsvarer en oppholdstid for inngående substrat på 26,7 døgn. Første innmating ble gjort etter 3 døgn. 3 dl fersk storfegjødsel (HG) ble tilsatt hver råtnetank, og en tilsvarende mengde ble tatt ut slik at totalvolumet var konstant. Dette ble gjort frem til 30.mars, da forsøket med innmating av ulike typer fiskeavfall startet. Fiskeåpe og bleikejord fra GC Rieber samt fiskeensilasje fra Aqua Gen ble valgt som substrater. Både de små råtnetankene og råtneresten fra de ulike behandlingene (= substrat-typene) er i den videre teksten omtalt som råtnerest fra storfegjødsel (B), råtnerest fra utråtning av fiskeåpe og storfegjødsel (BS), råtnerest fra utråtning av bleikejord og storfegjødsel (BB) og råtnerest fra utråtning av fiske-ensilasje og storfegjødsel (BE).

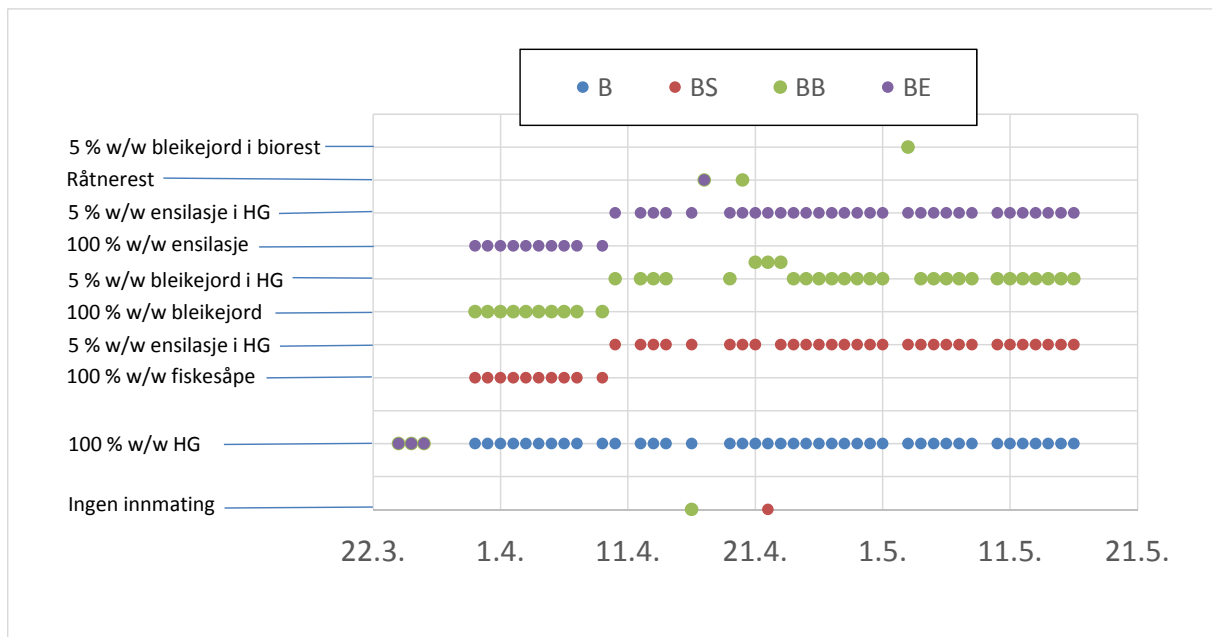
I perioden 30. mars- 16. mai 2012 ble 3 dl/296 g substrat tatt ut av råtnetankene, og 3 dl/296 g (100 % fiskeavfall) tilsatt daglig i 10 omganger, for å komme opp i et blandingsforhold på 5 vekt % fiskeavfall og 95 % storfegjødsel. Etter dette ble tankene tilsatt en porsjon med 3 dl ferdigblandet substrat med 5 vekt% fiskeavfall og 95 % storfegjødsel (Se figur 6.2). pH ble brukt som styringsparameter. Råtnetankene ble tatt ut av badet for pH-måling og innmating/uttak. Hvis pH var stabil eller stigende, ble innmating foretatt. Hvis pH var synkende ble innmating utsatt. (Figur 6.3). Ved flere dager etter hverandre med synkende pH ble råtnerest basert på storfegjødsel (uten fiskeavfall) tilsatt i et forsøk på å stabilisere prosessen.

Termostaten i kalvedrikkvarmeren sluttet å fungere natt til 7. april 2012, og temperaturen var 55 °C kl 08.00. Temperaturen i badet sank i løpet av et par timer ned til under 40 °C. Kalvevarmeren ble erstattet med en varmekolbe (300 W) 8. april. Varmekolben måtte justeres noe fra første innstilling som ga 34-37 °C (målt 9. og 10. april). Temperaturen var igjen stabil på 33 °C den 11. april.



Figur 6.1 Små råtnetanker plassert i vannbad i et isolert melkefat. Kalvedrikkvarmeren nederst til venstre i bildet. Evakueringsventil og rør for innmating/uttak er markert med rød ring.

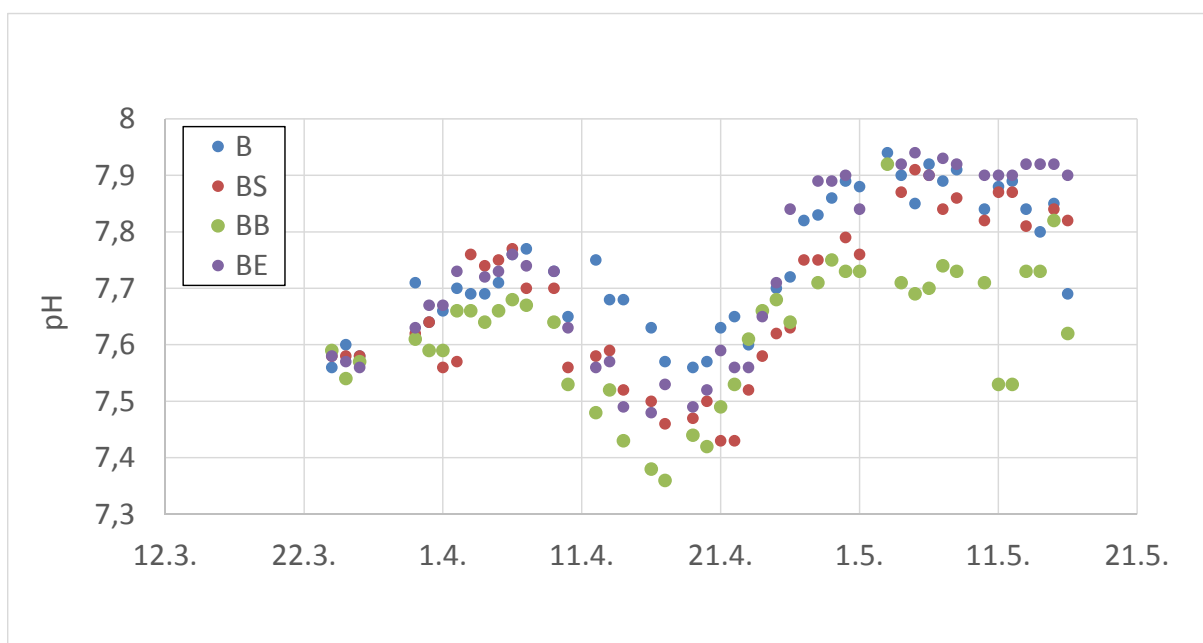
## 6.2 Resultater



Figur 6.2 Oversikt over mengder substrat (3dl/296 g) tilsatt råtnetankene i forsøksperioden. Hver prikk representerer en innmatet mengde på 3 dl.

Figur 6.2 viser hvordan råtnetankene ble matet, og figur 6.3 viser hvordan pH varierte underveis i prosessen. En innledende økning i pH innledningsvis kan tilskrives at gjæringsprosessen var godt i gang. Det er vanlig at råtnere rest framstilt av kun husdyrgjødsel har en noe høyere pH enn ubehandlet gjødsel. Nedgangen i pH etter 30. mars kan skyldes en økt mengde fettsyrer i substratene, på grunn av innmating av fiskeavfall. Siden det er sterkt samsvar mellom datoen for den uønskede temperaturstigningen og nedgangen i pH, er det sannsynlig at temperaturøkningen bidro vesentlig til nedgangen i pH. Det er ikke de samme mikroorganismene som trives ved 33 grader som trives ved høyere temperatur, så gassproduksjonen ble sannsynligvis betydelig hemmet av temperaturstigningen, med påfølgende økning i ikke-nedbrutte fettsyrer og dermed pH nedgang. Fra 17. april steg pH igjen, og stabiliserte seg på verdier mellom 7,7 og 7,9 i alle råtnetankene. Underveis ble det for alle råtnetankene observert gassproduksjon ved at det var tydelig overtrykk i tankene hver gang vi skulle mate inn nytt substrat.

Innmating av substrat og uttak av råtnere rest ble kontrollert med vekt for at vi skulle holde samme nivå i de fire råtnetankene. Ved avslutning av forsøket målte vi innholdet av tørrstoff (TS) i de fire tankene (se kapittel 7). TS-verdiene (tabell 6.1) var betydelig lavere i BS og B (3,1 og 3,0 vekt %) sammenlignet med ubehandlet husdyrgjødsel, HG (3,7 vekt %). Dette indikerer at en betydelig andel av det organiske materialet er brutt ned til biogass. I BE-råtnere resten var TS-innholdet 3,6 vekt %, og i BB 4,7 vekt %. En økning i TS-verdien ved tilsetning av bleikejord (BB) er som forventet siden bleikejord inneholder en betydelig andel mineralmateriale. Sammen med overtrykket tyder TS-resultatene på at substratene har vært gjennom en biogassprosess, men det er ikke mulig å vurdere i hvor stor grad potensialet for biogassproduksjon i hver avfallstype er utnyttet. Siden pH var økende og deretter stabil de siste 3 ukene av forsøksperioden hadde de fire råtnere restene mest sannsynlig ikke lenger et høyt innhold av fettsyrer.



Figur 6.3 pH i de fire råtnetankene målt ved hver innmating i forsøksperioden. Sterk temperaturøkning fra 7. til 8. april ga et midlertidig dropp i pH i alle behandlingene.

## 7. Gjødselevirkning av ulike typer råtnerest

### 7.1 Materiale og metoder

Råtnerest framstilt av storfe gjødsel med eller uten fiskeavfall (såpe, bleikejord og ensilasje) ble produsert i 8 liters mini-råtnetanker våren 2012 som beskrevet i kapittel 4. For å teste gjødselevirkningen ble de fire råtnerestene sammenliknet i et pottforsøk med bygg som forsøksvekst. Ubehandlet blautgjødsel var med som en kontrollbehandling. Pottene var gravet ned ved siden av forsøksfeltet til prosjektet «SoilEffects», der råtnerest av husdyrgjødsel (blautgjødsel fra melkeku) sammenliknes med vanlig blautgjødsel. Det var lagt opp til å høste byggplantene på to ulike utviklingstrinn; ved begynnende skyting og ved grønnmodning. Kornet ble sådd i seineste laget, og dette førte til at plantene ikke busket seg så mye som ønskelig. Etter høstingen av det første settet med pletter ble det løsnet litt i overflaten av jorda og sådd raigras i disse pottene. Til sammen er det dermed resultater fra tre høstetider, to for bygg og en for raigras. Som forventet inneholdt råtneresten med ensilasje noe mer total-N og ammonium enn de andre råtnerestene (Tabell 7.1). Dette skyldes proteinene i fisken. Fosforinnholdet var også noe høyere i denne råtneresten.

For hver høstetider ble det gjort i stand totalt 44 pletter, 4 gjentak x 5 typer gjødsel x 2 gjødselnivå pluss 4 gjentak av en kontroll uten gjødsling. Behandlingene fikk følgende betegnelser:

- Vanlig blautgjødsel, HG
- Råtnerest av blautgjødsel, B
- Råtnerest av blautgjødsel og bleikejord, BB
- Råtnerest av blautgjødsel og såpe, BS
- Råtnerest av blautgjødsel og ensilasje, BE
- Kontroll uten gjødsel, Kontroll

Lav og høy mengde gjødsel angis som L eller H.

*Tabell 7.1.* Innhold av makronæringsstoff og pH i gjødsel og råtnerest (biorest). HG = Husdyrgjødsel, B = biorest av kun husdyrgjødsel, BE = biorest av gjødsel + fiskeensilasje, BB = biorest av gjødsel + bleikejord, BS = biorest av gjødsel + fiskesåpe.

<u>Analyse</u>		<u>Blaut- gjødsel (HG)</u>	<u>Biorest av kun gjødsel (B)</u>	<u>Biorest m. ensilasje (BE)</u>	<u>Biorest m. bleikejord (BB)</u>	<u>Biorest m. såpe (BS)</u>
Tørrstoff	%	3,9	3,1	3,6	4,7	3,0
Kjeldahl-N*	kg/tonn	2,1	1,9	2,9	1,8	1,8
Fosfor (P)	kg/tonn	0,35	0,38	0,54	0,35	0,35
Kalium (K)	kg/tonn	2,6	2,2	2,2	2,0	2,1
Ammonium (N-NH <sub>4</sub> )	kg/tonn	1,4	1,1	1,9	1,0	1,0
NH <sub>4</sub> /Tot-N	%	67	57	65	55	55
Kalsium (Ca)	kg/tonn	0,78	0,84	0,99	0,77	0,74
Magnesium (Mg)	kg/tonn	0,34	0,33	0,34	0,37	0,30
pH		7,8	8,1	8,0	8,0	8,0

\*Kjeldahl-N: total-N



Det var overraskende at andelen lett tilgjengelig N (NH<sub>4</sub>) som %-del av total-N var noe høyere i ubehandlet gjødsel enn i råtnerest (Tabell 7.1). Med unntak av råtneresten tilsatt fiskeensilasje var det er noe lavere verdier av total-N i råtnerestene, og dette kan skyldes tap av nitrogenholdige gasser i utråtningsprosessen. Siden andelen mineralsk N (NH<sub>4</sub>) også er noe lavere, kan det spekuleres i om noe mineralsk nitrogen kan ha blitt biologisk bundet gjennom utråtningsprosessen.

Pottene ble fylt med jord som var gravet opp i enden av «SoilEffects» forsøksfeltet, der jorda er grundig beskrevet i Løes et al. (2013). Jorda er moldholdig sandjord med lite næringstilgang for fosfor, og middels god for kalium. Jorda var soldet, og alle pottene ble fylt på samme måte for å sikre lik pakking. I fem omganger per potte for små potter (diameter 22 cm), og åtte omganger for store potter (diameter 25 cm), ble et beger på ca. 1,5 liter fylt med jord fra den soldede haugen, strøket av med en linjal og helt i potta. To ganger, midtveis i fyllingen og etter siste fylling, ble potta ble dunket 10 ganger lett mot et fast underlag mens den ble dreid en kvart omdreining for hvert dunk. 10 små og 10 store potter ble veid etter fylling. Gjennomsnittsvekten var 5,12 kg for små og 8,19 kg for store potter. Variasjonen var fra 4,95 til 5,30 eller 8,05 til 8,45 kg, dvs. < 5 %. Pottene var av svart plast og hadde dreneringshull i bunnen. Når alle pottene var fylt ble de gravet ned i rekker med fire og fire potter, slik at hver rekke sto tilnærmet horisontalt mens hele «feltet» med potter fulgte hellingen i terrenget. Jord som var til overs etter siktingen ble brukt til å fylle opp området mellom pottene. Jordoverflaten i pottene var ca 2 cm høyere enn jordoverflaten utafor pottene. Det ble ikke noe problem med at gropa som pottene sto i fyltes med vann i løpet av sommeren. Dette skyldtes nok både hellingsgrad, lett drenert jord og at det ikke var noen episoder med voldsom nedbør denne sommeren. Sommeren 2012 var generelt preget av jevn og passelig vanntilgang (et «godt grasår»), så det er ikke grunn til å tro at veksten i pottene ble begrenset av vanntilgang selv om det ikke ble vannet. Plasseringen av pottene var tilfeldig (etter loddtrekning). En erfaring med dette er at det kunne vært fordelaktig å gruppere potene i fire «blokker», fordi plasseringen i gropa i praksis fikk en del å si for veksten pga. insektangrep i et av hjørnene.

Når alle pottene var gravet ned fjernet vi ca 1,5 liter av det øverste jordlaget i hver potte. Gjødsel ble tilført i oppblanding med vann, slik at små potter fikk 3 dl væske og store potter 6 dl. Mengden gjødsel varierte i henhold til innholdet av total-N (Tabell 7.1) slik at alle pottene fikk samme mengde N innen lavt eller høyt gjødslingsnivå. Kontroll-pottene fikk vann uten gjødsel. Etter påføring av gjødsel ble den arbeidet lett inn i jorda med ei planteklo, og deretter ble jordoverflaten jevnet med en spatel. Deretter ble såkorn av bygg lagt på den fuktige jordoverflaten, og den tørre jorda som var fjernet fra hver potte innledningsvis ble helt over og jevnet ut. I små potter ble det sådd 15, og i store potter 20 frø. Fylling av jord og nedgraving av potter skjedde 6.-7. juni 2012, mens gjødsling og såing skjedde 11. juni. 24. juli, dagen etter at de små pottene ble høstet, ble det sådd raigras i disse. Frømengden var i gjennomsnitt 3,73 g per potte, med variasjon fra 3,67 til 3,78 g.

Lav gjødsling var beregnet å skulle tilsvare 8 kg total-N per daa, og høy gjødsling 16 kg total-N per daa. Blandingen av vann og gjødsel som ble tilført i hver potte skulle ha inneholdt 0,169 eller 0,338 g total-N for små potter, og 0,218 eller 0,436 g total-N for store potter. Ved en feil var det beregnet 35 % for lite N tilførsel til høy N i små potter, mens det ble tilført noe mer N enn planlagt i store potter med lav N. For de små pottene lot det seg gjøre å kompensere denne feilen ved å overgjødsle med den mengden N som manglet. Dette skjedde den 3. juli. For de store pottene ble det planlagte N nivået 55 % høyere enn planlagt, dvs. ca. 12 kg N per daa i stedet for 8 kg ved lav gjødsling.

Mandag 18. juni ble det registrert spiring i alle pottene. Det var ingen tegn til at noen behandlinger forsinket spiringen. Vi prioriterte derfor ikke å telle antall spirer, men antall planter per potte ble registrert i små pottene da disse ble høstet, 23. juli. Høstingen skjedde ved å kutte plantene ved jordoverflaten. Buskingsgraden ble samtidig registrert som antall planter med 1, 2 eller flere sideskudd. Plantehøyden i hver potte ble også registrert, som avstanden fra jordoverflata til høyeste punkt av det bladet som det var mulig å løfte lengst opp fra potta (h). Plantematerialet ble tørket ved 60 °C og veid.

Mandag 25. juni ble det registrert betydelige skader av larver av gråsvart åtselbille (*Aclypea opaca*) i enkelte pottene, i nedre del av feltet som lå nær en åkerkant med naturlig vegetasjon. Fire larver ble funnet 25. juni, en 26. juni og en 27. juni. Ved første høsting ble det også registrert en god del frittflueangrep på de tre nederste bladene. Mange planter viste redusert strekningsvekst, antakelig pga. insektangrep. Ved en feil ble fersk vekt ikke eksakt registrert for to av pottene (fra behandlingene BSH og BEH), i det plantematerialet fra en potte med BSH ble lagt inn i en pose med BEH der det allerede lå høstet materiale. Plantevekten for disse pottene ble først forsøkt estimert ut fra plantehøyden (h), som viste et nært samsvar med både ferskvekt ( $y = 0,9044x - 13,388$ ;  $R^2=0,77$ ) og tørrvekt ( $y = 0,1505x - 1,9677$ ;  $R^2 = 0,73$ ) der  $y$  = fersk eller tørr vekt i g og  $x$  = plantehøyden, h. Summen av ferskvekten for disse to pottene ble da estimert til 70,9 g mens den faktisk var registrert til 76,8 g. Vi kom nærmere et riktig estimat ved å bruke gjennomsnittsverdien for de andre tre gjentakene av hver potte. Da ble summen av ferskvekten 73,6 g, og summen av tørrvektene 12,1 g. Registrert samlet ferskvekt var 12,8 g. Estimater er brukt i stedet for manglende verdi i den statistiske analysen.

Det var en god del ugras både i og mellom pottene, som ble luket bort med jevne mellomrom. Spesielt fjernet vi mye linbendel.

Høstingen av store pottene med grønnmodne planter foregikk 6. september 2012. Plantene ble kuttet ved jordoverflaten, tørket ved 60 °C og skilt i korn og strå.

Gjenveksten av raigras i de små pottene ble høstet 24. september. Plantene ble kuttet ved jordoverflaten og tørket ved 60 °C.

Statistisk sikre forskjeller mellom behandlinger ble undersøkt med enveis variansanalyse (GLM) i programmet Minitab.

## 7.2 Resultater

Ved første høsting var det ikke mulig å skille behandlingene fra hverandre visuelt, med unntak av Kontroll-pottene som hadde tydelig mindre vekst. Utviklingstrinnet ble bestemt til Zadoks 2.0-2.3 (hovedskudd med ingen, ett (2.1), to (2.2) eller tre (2.3) blad

(se <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC2548.html#growth>).



Figur 7.1. Små potter med bygg klare for høsting 23. juli 2012.



Figur 7.2. Store potter med bygg klare for høsting 6. september 2012.

Det var ingen sikre forskjeller på antall planter per potte ved de ulike behandlingene, og gjennomsnittsvædien var 13; dvs. at 86 % av frøene hadde spirt. Antall planter som ikke hadde normal strekningsvekst varierte fra 0 til 9 per potte, men i gjennomsnitt var verdien 2,7 planter per potte og varierte ikke mellom behandlingene. De aller fleste plantene, i gjennomsnitt 81 % av plantene med normal vekst, hadde kun ett sideskudd. Dette varierte heller ikke mellom behandlingene.

Det var sterke utslag for gjødsling i bygg ved begge høstinger, og målt som ettervirkning i raigras (Tabell 7.2 og 7.3). Ved første høsting var det sikre forskjeller mellom gjødselbehandlingene for både fersk vekt, tørr vekt, tørrstoffinnhold og plantehøyde i bygg (Tabell 7.2). Meravlingen ved gjødsling var betydelig. Selv ved det lave gjødselnivået var avlingsnivået nesten tre ganger så høyt som i kontrollledet uten gjødsel. Effekten av ytterligere gjødsling var ikke like sterk, spesielt gjelder dette for tørrvekt av bygg. Ved lav gjødsling var det bedre avlingseffekt (tørrvekt av bygg) av råtnerest enn av ubehandlet blautgjødsel. Ved både lavt og høyt gjødslingsnivå var det råtnerest av kun gjødsel som ga det høyeste avlingsnivået, men det var ikke sikre forskjeller mellom de ulike råtnerestene. For gjenveksten av raigras i de samme pottene var det sikker effekt av behandling bare ved høy gjødsling. Det var da ikke lenger noen forskjell på blautgjødsel og råtnerest mht gjødselvirkning. Vanligvis ville man forklart en bedre avlingseffekt av råtnerest med at en høyere andel av total-N foreligger som ammonium. I vårt tilfelle så dette imidlertid ikke ut til å stemme (jfr. tabell 7.1). Det kan være en mulighet for at noe nitrogen har vært biologisk bundet, og dette bør undersøkes nærmere.

Tabell 7.2. Plantehøyde (fra jordoverflate til spissen av det blad som lot seg løfte lengst opp), avlinger og tørrstoffandel (TS) av bygg og raigrasplanter dyrket med tilførsel av lav gjødselmengde, L tilsvarende 8 kg N per daa, eller høy gjødselmengde, H, tilsvarende 16 kg N per daa i et potteforsøk på Tingvoll gard, 2012. Byggplantene ble høstet ved begynnende skyting 23. juli, raigras sådd for å måle ettervirkning og høstet 24. september. For hvert mål er statistisk sikre forskjeller mellom behandlinger på 5 %-nivå vist ved bokstaver a-d, der behandlinger med ulike bokstaver er forskjellige fra hverandre.

Gjødsel-nivå	Behandling	Plantehøyde, cm	Ferskvækt bygg, g	Tørrvækt bygg, g	TS % bygg	Tørrvækt raigras g	TS % raigras
0	Kontroll	29,5 e	10,3 d	2,0 d	19,1 a	7,9 d	21,8 a
L	HG	34,2 de	18,8 cd	3,2 cd	17,3 ab	12,2 bcd	22,2 a
L	B	51,8 abc	34,8 ab	6,5 a	18,7 a	12,4 bcd	20,8 a
L	BB	44,7 bcd	24,5 bc	4,3 bc	17,5 ab	12,4 bcd	21,3 a
L	BS	51,0 abc	31,7 ab	5,9 ab	18,8 a	14,0 abc	21,4 a
L	BE	44,0 cd	28,2 abc	5,2 abc	18,4 ab	12,0 cd	21,7 a
L	<i>Relativt, Kontroll=100</i>	<i>153</i>	<i>268</i>	<i>250</i>	<i>95</i>	<i>159</i>	<i>99</i>
H	HG	47,1 abc	30,0 abc	5,2 abc	17,3 ab	17,4 a	21,8 a
H	B	55,9 a	39,8 a	6,8 a	17,0 ab	14,5 abc	21,8 a
H	BB	51,8 abc	31,4 ab	5,4 ab	17,2 ab	14,7 abc	19,8 a
H	BS	55,3 ab	36,0 ab	6,1 ab	16,7 ab	16,9 ab	21,8 a
H	BE	54,1 abc	37,7 a	5,9 ab	16,1 b	17,4 a	21,9 a
H	<i>Relativt, Kontroll=100</i>	<i>179</i>	<i>340</i>	<i>295</i>	<i>88</i>	<i>205</i>	<i>98</i>

For bygg høstet ved grønnmodning (figur 7.2) var det igjen et betydelig utslag av gjødsling på produksjon av både korn og halm, men det var ingen forskjell av betydning mellom å tilføre total-N tilsvarende 12 eller 16 kg per daa. Det var en klart bedre avlingseffekt av råtnerest enn av ubehandlet blautgjødsel. Råtnerest med bleikejord ga lavere avlinger enn øvrige råtnerester, på nivå med ubehandlet blautgjødsel.

Når vi sammenlikner råtnerestene med ulike tilleggssubstrat ser vi at fiskeensilasje ga best resultat (tabell 7.3) ved tilførsel av høy mengde gjødsel i bygg høstet ved grønnmodning. 21 g korn per potte, der arealet var 491 cm<sup>2</sup>, tilsvarer en kornavling på 409 kg TS per daa, eller 470 kg med 15 % vanninnhold i kornet. Dette er et brukbart avlingsnivå tatt i betraktning at kornet ble seint sådd og busket seg lite (figur 7.2). Dette tyder på at kornet har klart å nyttiggjøre seg noe av det ekstra ammonium-nitrogenet som ble tilført med fiskeensilasjen (tabell 7.1).

Tabell 7.3. Tørrvekt og tørrstoffandel (TS) av korn og strå for bygg dyrket med tilførsel av lav gjødselmengde, L tilsvarende 8 kg N per daa, eller høy gjødselmengde, H, tilsvarende 16 kg N per daa i et potteforsøk på Tingvoll gard, 2012. Byggplantene ble høstet ved grønnmodning 6. september. For hvert mål er statistisk sikre forskjeller mellom behandlinger på 5 %-nivå vist ved bokstaver a-d, der behandlinger med ulike bokstaver er forskjellige fra hverandre.

Gjødsel-nivå	Behandling	Korn, tørrvekt g	TS, %	Strå, tørrvekt g	TS, %
0	Kontroll	6,3 c	36,0 a	7,4 c	20,3 b
L	HG	12,0 bc	36,2 a	14,5 abc	23,0 ab
L	B	16,5 ab	39,1 a	17,2 ab	27,4 a
L	BB	14,8 abc	38,0 a	15,1 abc	24,6 ab
L	BS	18,6 ab	37,3 a	20,0 ab	25,0 ab
L	BE	19,6 ab	38,2 a	19,0 ab	26,5 a
	<i>Relativt, Kontroll = 100</i>	259	105	232	125
H	HG	13,0 abc	36,3 a	14,6 abc	25,0
H	B	16,8 ab	36,8 a	20,0 ab	25,7
H	BB	11,7 bc	36,7 a	13,6 bc	25,1
H	BS	15,6 ab	37,5 a	17,0 ab	24,5
H	BE	21,0 a	39,1 a	22,6 a	28,2
H	<i>Gjennomsnitt</i>	15,6	37,3	17,5	25,7
	<i>Relativt, Kontroll = 100</i>	248	104	236	127

### 7.3 Oppsummering

Vi fikk betydelige avlingsutslag for gjødsling i bygg i potteforsøk høstet ved ulike utviklingsstadier. Ved grønnmodning tilsvarte høyeste avlingsnivå ca. 470 kg korn per daa. Best avling fikk vi med råtnerest av blautgjødning tilsatt fiskeensilasje, men også råtnerest av blautgjødning og såpe, eller råtnerest av kun gjødning, ga gode avlinger. Det var gjennomgående bedre avlingseffekt av råtnerest enn av ubehandlet blautgjødning. Sammenlikner vi kun råtnerest av bare gjødning og ubehandlet blautgjødning, var meravlinga 38 % i grønnmoden bygg ved 12 kg tot-N per daa (p-verdi 0,096) og 29 % ved 16 kg tot-N per daa (p-verdi 0,083). For bleikejord var det gjennomgående noe dårligere avlingseffekt enn når fiskesåpe og fiskeensilasje ble brukt som tillegg til blautgjødning i råtnetanken. Tilsetning av fiskesåpe ser ikke ut til å gi dårligere avlingseffekt enn råtnerest uten tilsetning, mens ensilasje kan ha en viss positiv effekt. Det er som forventet siden råtnerest med fiskeensilasje kan inneholde mer lett tilgjengelig nitrogen på grunn av høyt innhold av proteiner.

## 8. Oppsummering og videre forskningsbehov

---

Ferdigstillelse av biogassanlegget på Tingvoll har tatt lenger tid enn planlagt. Dette har i hovedsak å gjøre med at anlegget er et pilot-anlegg med stor grad av utprøving av komponenter/løsninger for å nærme seg kostnadsnivå for gårdsanlegg som kan rettferdiggjøres økonomisk. Forsinkelsene skyldes at en del komponenter/løsninger ikke har fungert etter intensjonen og tilpasninger har måttet gjøres blant annet for å utbedre flyten av gjødsel i fjøset og i anlegget, øke varmetilførsel/begrense varmetap og å forbedre gasshåndteringssystemet. Ytterligere utbedringer av anlegget vil gjøre det mer robust både med tanke på varmetilførsel og gasshåndtering. Selve prosessen i råtnetanken og styringa av anlegget har fungert godt, og systemet viser at skillevegg og omrøringsystem tilpasset denne kan gi kortere oppholdstid. Over tid, når nødvendige utbedringer er gjort, vil det bli presentert et bredere datagrunnlag med representative data fra stabil drift.

Forsøkene som ble gjennomført for å studere utslipp av klimagassen metan viser tydelig fordelene med et kjøletanksystem, og at det er viktig å få ut gjødsel om våren for å unngå høy temperatur og metanproduksjon i gjødsellager. MCF verdiene viser at IPCC verdiene kan være usikre for norske forhold, og bør undersøkes nærmere. Videre er mekanismene rundt lystgass-utslipp ( $N_2O$ ) i forbindelse med håndtering av råtnerester lite studert. Et års undersøkelser i SoilEffects feltet (Serikstad m.fl. 2013) tyder på at lystgassutslippene kan være større fra råtnerester enn fra ubehandlet gjødsel, og det ville være svært interessant å få undersøkt dette nærmere.

Tilsetning i potteforsøk av ulike typer energirikt fiskeavfall og råtnerester med like god gjødselvirking som råtnerester av kun storfegjødsel. For bleikejord var det en tendens til noe dårligere gjødselvirking enn for råtnerester med såpe og ensilasje. Råtnerester med ensilasje inneholdt noe mer N og P og ga til dels bedre gjødselvirking enn råtnerester av bare gjødsel. En bedre gjødselvirking av råtnerester lar seg ikke forklare med høyere andel av mineralsk N i gjødsel, og årsaken til bedre gjødselvirking med råtnerester bør derfor undersøkes nærmere. Det er også behov for å se på langtidseffektene for hva som skjer med jorda og i jorda ved bruk av husdyrgjødsel behandlet i biogass-anlegg.

Henvendelser om tillatelse til bruk av energirikt avfall var en krevende sak for Mattilsynet å besvare. Dette henger både sammen med innholdet av miljøgifter i ulike typer fiskeavfall og fiskefett, og med lovgivningen som er underlagt internasjonalt regelverk i stadig endring. At Tingvoll gard også er underlagt regelverket for økologisk produksjon, med strenge krav til hva som kan tas inn i gårdsdrifta av innsatsfaktorer, kompliserer bildet ytterligere. Riktig bruk av energirike substrat i biogassanlegg er også et viktig område å forske videre på; både når det gjelder optimal energiproduksjon, økonomi og miljøeffekter.

## 9. Referanser

---

- Angelidaki, I., Ellegaard, L., & Ahring, B. K. (Eds.). 2003. Applications of the Anaerobic 523 Digestion Process (Vol. 82): Springer Berlin Heidelberg.
- Amundsen, C.E., Linjordet, R. & Haraldsen, T.K. 2012. Miljøgifter i restprodukter fra fiskeoljeindustrien. Vurderinger ved bruk i biogassanlegg. Bioforsk Rapport vol. 7 nr. 35, 46 s.
- Anderson-Glenna M., Morken, J. 2013. Greenhouse gas emissions from on-farm digestate storage facilities, Tel-Tek report.no 2212040-1.
- Fjørtoft, K., Morken, J., Hansen, J.F., Briseid, T. 2014. Methane production and energy evaluation of a farm scaled biogas plant in cold climate area, Bioresource Technology, manuscript akseptert.
- Lindow, Leif, 2004. Grunndlägande biogasteknik, Biosystem AB.
- Moller, H.B., Sommer, S.G., and Ahring, B.K. 2004. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. Journal of Environmental Quality 33, 27-36.
- Rodhe, L., Ascue, J., Tersmeden, M., Ringmar, A. & Nordberg, Å. 2008. Växthusgasemissioner från lager med nötflytgödsel. JTI-rapport 370.
- Serikstad, G.L., Løes, A.-K., Dörsch, P., Hansen, S., Johansen, A., Pommeresche, R., Riley, H & Rivedal, S. 2013. Råtnerest er under test. Økologisk landbruk 2013 (3) s 30-32.
- 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. Waste Management 34(8), p 1553-1559.
- Ward, A. 2010. Biogas potential of fish wax (stearin) with cattle manure. Internal report, Animal Science nr.23, Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University, Denmark. 12 p.
- Ward, A. 2012. Biogas potential of soapstock and bleaching earth. DCA Report no. 004, Danish Centre for Food and Agriculture, Aarhus University, Denmark. 19 p.
- Ytrestøyl, T, Løes, A.-K., Kvande I, Martinsen, S., Berge, G.M. 12/2013. Utnyttelse av slam fra akvakultur i blandingsanlegg for biogassproduksjon: teknologi og muligheter. NOFIMA rapport.