

# **Utnyttelse av slam fra akvakultur i blandingsanlegg for biogassproduksjon: teknologi og muligheter**

Trine Ytrestøyl, Anne-Kristin Løes, Ingvar Kvande, Svein Martinsen og Gerd Marit Berge





Nofima er et næringsrettet  
forskningsinstitutt som driver forskning  
og utvikling for akvakulturnæringen,  
fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 420 ansatte.  
Hovedkontoret er i Tromsø, og  
forskningsvirksomheten foregår på seks  
ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen,  
Sunndalsøra, Averøy og Tromsø.

Hovedkontor Tromsø  
Muninbakken 9–13  
Postboks 6122  
NO-9291 Tromsø  
Tlf.: 77 62 90 00  
Faks: 77 62 91 00  
E-post: [post@nofima.no](mailto:post@nofima.no)

Internett: [www.nofima.no](http://www.nofima.no)

# Rapport

 ISBN: 978-82-8296-066-3 (trykt)  
 ISBN: 978-82-8296-067-0 (pdf)

 Rapportnr.:  
 12/2013

 Tilgjengelighet:  
**Åpen**
**Tittel:**
**Utnyttelse av slam fra akvakultur i blandingsanlegg for biogassproduksjon: teknologi og muligheter**
**Dato:**

19.02.2013

**Antall sider og bilag:**  
 31+2

**Forfatter(e):**

Trine Ytrestøyl, Anne-Kristin Løes, Ingvar Kvande, Svein Martinsen og Gerd Marit Berge

**Prosjektnr.:**

10162

**Oppdragsgiver:**

Regionalt Forskningsfond Midt-Norge

**Oppdragsgivers ref.:**
**Tre stikkord:**

Akvakultur, slam, biogass

**Sammendrag:**

I dette prosjektet ble sammensetningen av fiskeslam fra ulike resirkuleringsanlegg for settefiskproduksjon undersøkt. Slam fra Smøla Klekkeri og Settefisk sitt anlegg på Smøla, Marine Harvest sitt anlegg på Tustna og Nofima sitt anlegg på Sunndalsøra ble analysert for innhold av tørrstoff, hovednæringsstoff og mineraler. Variasjonen i innhold av tørrstoff og energi i slam fra de ulike anleggene, men også innen samme anlegg ved ulike tidspunkt var betydelig. Sannsynlige årsaker er ulik utforming av slamoppsamlere ved ulike anlegg og ulik mengde fôrspill i slammet. Slam fra Marine Harvest sitt anlegg ble brukt som substrat for biogassproduksjon i ulike innblandingsnivå med storfegjødsel. Potensialtesten viste at fiskeslam fra Marine Harvest blandet med storfegjødsel i et forhold på 87,5:12,5 ga høyeste metan-utbytte med 860 L/kg VS. Batch-testen ble utført med lav organisk belastning og viste kun noe inhibering initielt. Småskala-forsøk med kontinuerlig innmating ga til sammenligning et høyeste utbytte på 190 L/kg VS for et fiskeslam/storfegjødsel forhold på 25:75. Prosessen var sterkt inhibert, mest sannsynlig på grunn av høye konsentrasjoner av fettsyrer (15 000-25 000 mg/l) forårsaket av at reaktorene ble kjørt med for høy organisk belastning. Ved bruk av fiskeslam fra settefiskanlegg til biogassproduksjon vil det være viktig å finne en tilstrekkelig lav organisk belastning og/eller bruke tid på å bygge opp en bakteriekultur som er tilpasset substratet. Hvis dette lykkes kan fiskeslam være en aktuell energikilde som også kan nyttes av settefiskanlegget. Målt per volumenhet kan slam gi betydelig mer biogass enn husdyrgjødsel. Utpøving av fiskeslam som plantegjødsel ble utført som et potteforsøk med næringsfattig sandjord, og raigras som forsøksvekst. Forsøket viste at slammet er næringsrikt og kan utnyttes som plantenæring, men mer kunnskap er nødvendig før det kan erstatte husdyrgjødsel. Plantene gjødslet med husdyrgjødsel vokste best i forsøket, tilførsel av slam ga mindre avling enn kontrollen uten gjødsel. Dette skyldtes både at det var betydelig færre planter som spirte i slam-pottene, og at disse plantene fikk utsatt veksten slik at de var mindre ved avslutningen av forsøket. Dette gjaldt spesielt ved tilsats av høy mengde slam. Det er kjent at høye konsentrasjoner av ammonium i jorda kan hemme spiring. Man bør derfor måle innhold av tørrstoff, total-N og ammonium, og gjødsle med lavere mengder enn man ville brukt med husdyrgjødsel.

## Forord

Dette prosjektet har vært et samarbeid mellom Bioforsk avdeling Tingvoll, Nofima sin avdeling på Sunndalsøra, Universitetet i Århus, Biopower Norway AS, Hyperthermics AS, og Smøla Klekkeri og Settefisk AS. Prosjektet var finansiert av Regionalt Forskningsfond Midt-Norge. Prosjektet hadde følgende hovedmål og delmål:

***Hovedmål: Vurdere teknologi og muligheter for lokal utnyttelse av energi i slam fra oppdrettsanlegg i blandingsanlegg for biogassproduksjon.***

*Delmål 1:* Karakterisere og dokumentere omfang av utslipp og sammensetning av slam fra Smøla Klekkeri og settefisk sitt RAS anlegg på Smøla.

*Delmål 2:* Biogassproduksjon; Pilotforsøk for å dokumentere gassutbytte og driftserfaringer, og utvikle driftsrutiner for sambehandling av fiskeslam og storfe gjødsel, herunder løsninger for håndtering av sjenerende lukt.

*Delmål 3:* Undersøke hvordan biorest der fiskeslam er sambehandlet med husdyrgjødsel kan egne seg som gjødsel i landbruket.

*Delmål 4:* Arrangere workshop for å vise mulighetene for sambehandling av husdyrgjødsel og fiskeslam for produksjon av biogass, med presentasjon av resultater og planlegging av eventuelle fremtidige prosjekter.

Opprinnelig var det planlagt å bruke biogassanlegget på Tingvoll gard til å undersøke gassutbytte og praktiske erfaringer med bruk av fiskeslam til biogassproduksjon. Forsinket ferdigstilling av anlegget gjorde at prosjektet i stedet prioriterte å gjøre undersøkelser i lab-skala. Følgende aktiviteter ble gjennomført:

En potensial-test av maksimalt gassutbytte ved forskjellige blandinger av fiskeslam og storfe gjødsel ble foretatt av Alastair James Ward fra Århus Universitet.

En småskala produksjon (8 liters mini-reaktorer) av biorest med fiskeslam ble utført Bioforsk Økologisk på Tingvoll av Ingvar Kvande og medarbeidere.

En potensial-test med fiskeslam og hypertermofile bakterier i lab-skala ble utført ved laben til Hyperthermics Holding AS i Tyskland.

I prosjektets Delmål 3 var det planlagt å vurdere hvordan tilsetning av fiskeslam påvirker biorestens egenskaper som gjødsel i landbruket. Det var opprinnelig ikke planlagt å gjennomføre dyrkingsforsøk, men å analysere bioresten (mineralsk N, makronæringsstoff, pH) og teste den for eventuelle fytotoksiske egenskaper. Underveis i prosjektet viste det seg at tidsrammen for prosjektet var for kort til at råtnetankene i biogassanlegget på Tingvoll gard kunne brukes til å framstille biorest med fiskeslam. Slam ble i stedet tilsatt husdyrgjødsel i mini-reaktorer laget av plastkanner i vannbad, og dette økte gassutbyttet sammenliknet med kun husdyrgjødsel som substrat. Prosessen stoppet imidlertid opp grunnet for mye tilsetning av slam, slik at bioresten fra disse reaktorene ikke ble representativ for det som bør være målet når slam brukes som tilleggssubstrat i biogassproduksjon; - enn godt utgjæret biorest, basert på en passende blanding av husdyrgjødsel og fiskeslam. Derfor ble det besluttet å

ikke foreta en videre karakterisering av denne bioresten. I stedet ble det undersøkt hvordan ubehandlet fiskeslam fungerte som gjødsel i et potteforsøk med raigras som forsøksvekst, ettersom dette også kan være en aktuell bruk av fiskeslam.

I prosjektets delmål 4 ble det arrangert en workshop på Smøla som planlagt. Som et resultat av workshopen ble det sendt inn en søknad til Regionalt Forskningsfond region Midt-Norge om videre arbeid med problemstillingene det har vært arbeidet med i dette forprosjektet.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Bakgrunn for prosjektet .....</b>	<b>1</b>
1.1	Faktorer som kan påvirke kjemisk sammensetning av slam .....	1
1.2	Mål i prosjektet .....	2
<b>2</b>	<b>Delmål 1: Karakterisering av slam.....</b>	<b>3</b>
2.1	Beskrivelse av Smøla klekkeri og settefisk AS sitt RAS anlegg .....	3
2.1.1	Produksjon av biomasse, fôrforbruk og slamproduksjon ved Smøla klekkeri og settefisk AS .....	3
2.1.2	Sammensetning av slam fra ulike settefiskanlegg .....	5
<b>3</b>	<b>Delmål 2: Biogassproduksjon .....</b>	<b>7</b>
3.1	Eksperimentelt og resultater .....	8
3.1.1	Potensial-test fiskeslam og storfegjødsel .....	8
3.1.2	Produksjon av biorest med fiskeslam .....	13
3.1.3	Potensial-test hypertermofile bakterier .....	18
3.1.4	Lukt i tilknytning til håndtering og bruk av fiskeslam .....	19
3.2	Konklusjoner.....	20
<b>4</b>	<b>Delmål 3: Fiskeslam som gjødsel.....</b>	<b>21</b>
4.1	Næringsinnhold i fiskeslam og storfegjødsel.....	21
4.2	Dyrkingsforsøk .....	22
4.2.1	Beskrivelse av forsøksoppsett og gjennomføring .....	22
4.2.2	Resultater og diskusjon.....	23
4.3	Konklusjoner bruk av fiskeslam som plantegjødsel.....	26
<b>6</b>	<b>Vurdering av muligheter og behov for videre forskning.....</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>30</b>
	<b>Vedlegg.....</b>	

# 1 Bakgrunn for prosjektet

I Norge ble det omsatt 1,3 mill. tonn fôr til laks og ørret i 2010 (FHL 2011). Til tross for effektiv utnyttelse av fôr i laksefisk vil det alltid være utslipp av partikler og oppløste næringssalter fra åpne oppdrettsanlegg, både i ferskvann og sjø. Partiklene består dels av fôrspill og dels ufordøyd materiale i form av faeces. Omfanget av fôrspill fra oppdrettsaktivitet er dårlig dokumentert, både hvordan det varierer over tid, og mellom forskjellige anlegg. I gjennomsnitt kan man forvente fôrspill omkring 7 % av utfôret mengde (Gjøsæter et al. 2008), og utslipp i form av faeces omkring 25 % av spist fôr. Totale utslipp for Norge, basert på mengde fôr omsatt, vil teoretisk være omkring 403.380 tonn i året. Generert mengde slam er avhengig av faktorer som fôringsstyrke (mengde utfôret pr tonn fiskebiomasse), proteininnhold og innhold av ufordøyelig fiber i fôret (Hillestad et al., 1999). For landbaserte settefiskanlegg med resirkuleringsteknologi (RAS – recirculation advanced system), er produksjon av slam pr kg utfôret mengde beregnet til henholdsvis 20 % (Cripps og Bergheim, 2000) og 35 % (Vinci, et al., 2004). Timmons et al., 2002, ref. del Campo et al., 2010) angir et generelt nivå innen landbaserte systemer til 20 -40% slam i forhold til utfôret mengde. Del Campo et al., (2010) anslår en total produksjon av slam fra RAS system i Norge i 2012 til å være rundt 900 tonn, beregnet ut fra en total produksjonskapasitet på 47 millioner smolt. For 2018 estimeres en totalproduksjon av slam til 1700 tonn, fra en total produksjon på 85 millioner smolt. Forskning og utredninger om utslipp fra oppdrett har i hovedsak fokusert på metoder og teknologi for å redusere mengde forurensende utslipp (Braaten et al., 2010). Utslipp fra oppdrettsanlegg bør videre betraktes som en ressurs, og det er essensielt å komme fram til en effektiv måte å utnytte disse ressursene. Dette kan være lønnsomt for oppdretter, gunstig for miljøet og vil kunne bidra til å bedre omdømmet for oppdrettsnæringa.

## 1.1 Faktorer som kan påvirke kjemisk sammensetning av slam

Fiskeslammets stoffinnhold kan gjøre det egnet som substrat for produksjon av biogass hvor energien kan utnyttes lokalt, og som gjødsel for jordforbedrende tiltak. Det er flere spørsmål som bør utredes før man går inn på et hovedprosjekt med biogassproduksjon fra slam. Man må kartlegge situasjonen i det aktuelle kommersielle anlegg for å vurdere omfang og karakter av utslipp, variasjon gjennom året og ikke minst vurdere hvordan organisk materiale i slammet kan utnyttes til energiproduksjon. Tidligere arbeid viser at fiskeslam er krevende å bruke som eneste substrat i biogassproduksjon, fordi det inneholder tydelige utfordringer med prosess-inhiberende komponenter ved bruk av fiskeslam i biogassproduksjon (Gebauer, 2004; Gebauer & Eikebrokk, 2006). Et tiltak for å utvikle en bedre prosess kan være å sambehandle slam med husdyrgjødsel for å redusere problemene med inhibering. Det er derfor sterkt behov for dokumentasjon på gassutbytte og driftserfaringer når/hvis fiskeslam fra havbruk skal sambehandles med husdyrgjødsel.

Teoretisk energipotensial fra husdyrgjødsel i nasjonal skala er ca. 2500 GwH og ca 640 GwH fra slam fra akvakultur (Raadal et al., 2008). Landbruk og havbruksanlegg ligger som regel i nærheten av hverandre, slik at man kan oppnå betydelig synergi med sambehandling av restprodukter. I landbrukssektoren er flere gårdsbaserte biogassanlegg i oppstart eller under planlegging. Høye kostnader og lave energipriser har bremset utviklingen hittil, men mange bedrifter arbeider for å redusere kostnadene og tilpasse anlegg til norske forhold. Biopower

Norway AS har designet og levert biogassanlegget på Tingvoll Gard. Dette anlegget er egnet til FoU-formål og kan belyse muligheter og problemstillinger rundt sambehandling av råstoff. Aktuelle problemstillinger er stoffinnhold, blandingsforhold, kvalitet på biorest og praktiske løsninger for å håndtere luktproblematikk forbundet med fiskeslam.

Det finnes en del opplysninger om næringsinnhold i slam, dvs faeces og fôrrester fra lakseoppdrett (Gebauer, 2004; Salazar & Saldana, 2007, Gebauer & Eikebrokk, 2006, Del Campo et al., 2010, Cripps & Bergheim, 2000). Det er likevel mange faktorer som kan påvirke faktisk energiinnhold i slammet fra et konkret anlegg, og sammensetningen av slammet vil variere gjennom året bl.a. som resultat av variasjoner i fôringsintensitet. Fôrformulering, fysisk fôrkvalitet, vanntemperatur og biomasse i hver fôringsenhet er flere eksempler på faktorer som kan påvirke utslipp fra et anlegg. Noen faktorer påvirker effektiviteten av omsetning i et biogassanlegg, og resultater fra tidligere forsøk (Gebauer 2004; Gebauer & Eikebrokk 2006) tyder på at særlig ammonium inhiberer prosessen, men også langkjeda fettsyrer (Koster & Cramer, 1987) kan være problematiske i slam fra settefiskanlegg. I slam fra matfiskanlegg kan for høyt saltinnhold inhibere prosessen, men dette kan løses ved å fortynne slammet, f.eks. med ferskvann (Gebauer, 2004). I gårdsbaserte biogassanlegg kan avfall fra fiskeoppdrettsanlegg blandes med husdyrgjødsel for å redusere natriumkonsentrasjonen i substratet. Ulike typer metanogene bakterier har ulik natriumtoleranse. Høy ammoniumkonsentrasjon kan inhibere biogassprosessen, med raskt fall i pH som resultat. Metanogene bakterier er også følsomme for sulfider, og proteinrike substrat må brukes med forsiktighet i biogassanlegg (Gebauer, 2004).

## **1.2 Mål i prosjektet**

**Hovedmål: Vurdere teknologi og muligheter for lokal utnyttelse av energi i slam fra oppdrettsanlegg i blandingsanlegg for biogassproduksjon**

- Delmål 1: Karakterisere og dokumentere omfang av utslipp og sammensetning av slam fra Smøla Klekkeri og settefisk sitt RAS anlegg på Smøla.
- Delmål 2: Biogassproduksjon; Pilotforsøk for å dokumentere gassutbytte og driftserfaringer, og utvikle driftsrutiner for sambehandling av fiskeslam og storfe gjødsel, herunder løsninger for håndtering av sjenerende lukt.
- Delmål 3: Undersøke hvordan biorest der fiskeslam er sambehandlet med husdyrgjødsel kan egne seg som gjødsel i landbruket
- Delmål 4: Arrangere workshop for å vise mulighetene for sambehandling av husdyrgjødsel og fiskeslam for produksjon av biogass, med presentasjon av resultater og planlegging av eventuelle fremtidige prosjekter.



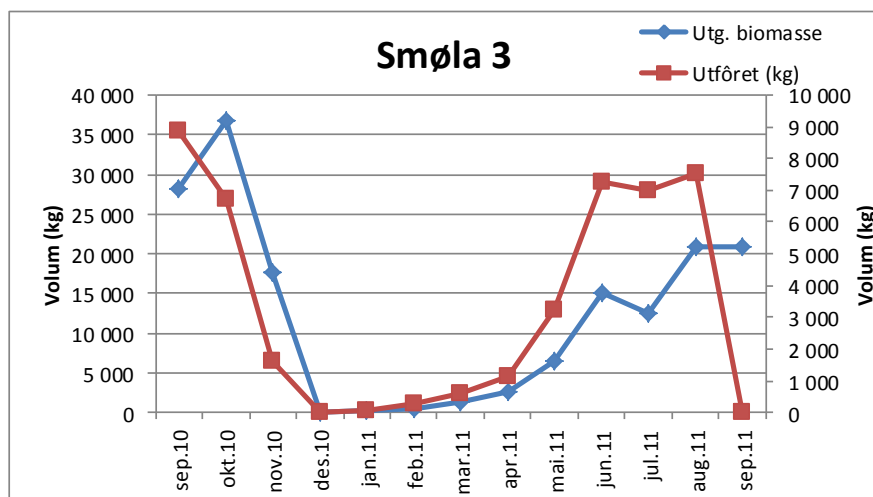
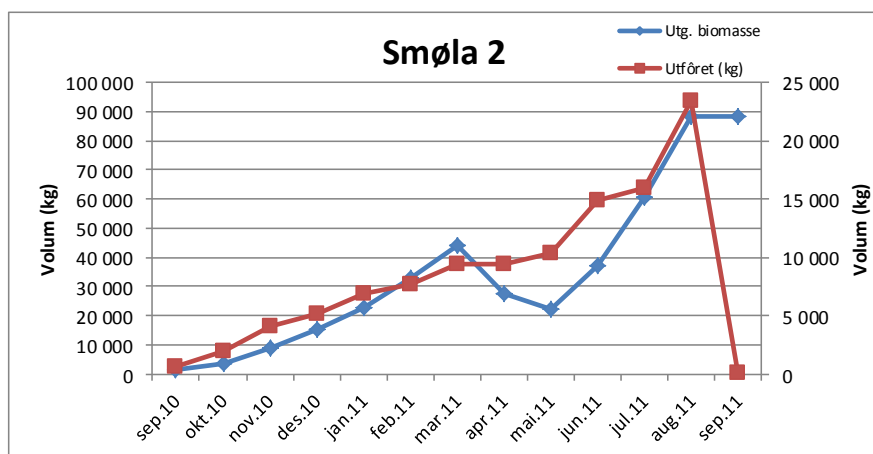
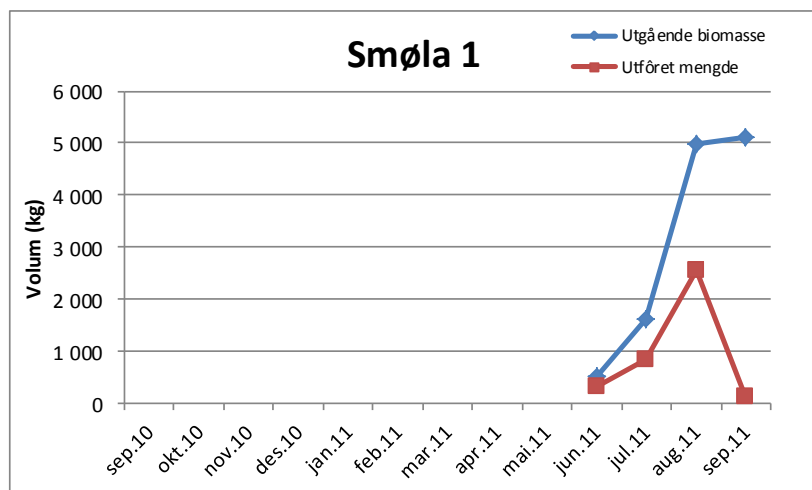
## **2 Delmål 1: Karakterisering av slam**

### **2.1 Beskrivelse av Smøla klekkeri og settefisk AS sitt RAS anlegg**

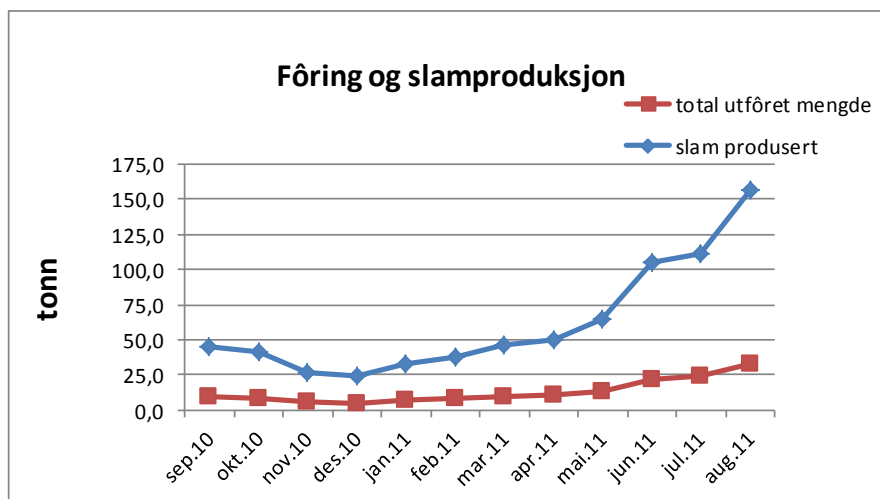
Smøla Klekkeri og settefisk AS sitt landbaserte anlegg med resirkuleringsteknologi ble brukt som «case» for delmål 1 i prosjektet. Anlegget har tre separate produksjonsavdelinger (Smøla 1, 2 og 3) som alle er basert på resirkuleringsteknologi med intern vannrensing. Smøla 1 er en ren startfôringsavdeling, hvor nyklekket fiskeyngel overføres fra klekkeskap etter rundt 300 døgngrader. Fisken føres her fram til rundt fem gram før den sorteres og overføres til vekstavdelingene Smøla 2 og 3. Den generelle belastning av biofilter og slamproduksjon ved Smøla 1 er lav. Smøla 2 består av 10 fiskekar med 6 m i diameter. To biofilter utgjør vannbehandlingsenhet, inklusive et Hydrotech filter og sykloner for separasjon av slam. Smøla 3 er en utendørsavdeling med 8 m fiskekar (11 stk), tilknyttet to biofilter med Hydrotech partikkelfilter. Sm3 er et utendørsanlegg med større variasjon i vannkvalitet og temperatur enn Sm2 og anlegget har pr 2012 ikke installert slamsettlere for slamseparasjon. I 2012 ble Skrettings spesialfôr for resirkuleringsanlegg benyttet (Nutra RC). Dette fôret skal i utgangspunktet gi en fiskefaeces som er mer konsistent og mindre vannløselig, og slik bli enklere fanget opp av partikkelfilter. Slamprøver fra anlegget ble analysert for innhold av energi, fett, aske, råprotein og ulike mineraler. Tørrstoff innhold og energi ble også beregnet for ulike tidspunkt på året. For å få en idé om variasjon mellom ulike RAS anlegg ble sammensetningen av fiskeslam fra Nofima sitt RAS anlegg på Sunndalsøra og Marine Harvest sitt settefiskanlegg på Nordheim på Tustna også undersøkt og sammenlignet med prøvene fra Smøla Klekkeri og settefiskanlegg. Sammensetning og tørrstoffinnhold av storfe gjødsel ble også målt. Resultatene for slamanalysene er vist i tabell 1. Total mengde slam produsert per år ved Smøla Klekkeri og settefiskanlegg ble så estimert ut fra fôrforbruk og fiskeproduksjon hentet fra anleggets eget produksjonsstyringsverktøy (Fishtalk, AkvaGroup). Fôrforbruk og fiskeproduksjon gjennom året er vist i figur 1 og total mengde slam produsert er vist i figur 2.

#### **2.1.1 Produksjon av biomasse, fôrforbruk og slamproduksjon ved Smøla klekkeri og settefisk AS**

Smøla Klekkeri og settefiskanlegg produserer 0-åring og 1-åring laksesmolt for utsett henholdsvis på våren (april) og høst (september / oktober). Den stående biomassen er på det høyeste under disse periodene før utsett (tidlig april og september), med tilsvarende høy produksjon av fiskeslam. I periodene oktober - februar, og mai – juli er produksjonen lav.



Figur 1 Fôrforbruk og utgående biomasse ved Smøla klekkeri og settefiskanlegg



**Figur 2** Totalt fôrforbruk og slamproduksjon ved Smøla klekkeri og settefiskanlegg. Slamproduksjonen er beregnet på bakgrunn av en tørrstoffordøyelighet på 75 % og et gjennomsnittlig tørrstoffinnhold i slam på 6.3 % (maks 10.5, min 3.2) basert på målinger av slamprøver fra Smøla sitt anlegg (tabell 1).

### 2.1.2 Sammensetning av slam fra ulike settefiskanlegg

I tillegg til slam fra Smøla Klekkeri og settefiskanlegg, ble slam fra Marine Harvest sitt anlegg på Tustna og Nofima sitt resirkuleringsanlegg på Sunndalsøra analysert for energi, hovednæringsstoffer og mineraler. Sammensetningen av storfegjødsel som ble brukt i biogassforsøkene i del 3 ble også analysert. Slam fra Marine Harvest sitt anlegg ble benyttet i forsøkene i del 3 og 4. Slammet fra Marine Harvest sitt anlegg inneholdt langt mindre vann sammenlignet med slammet fra Smøla og Nofima sine RAS anlegg, og inneholdt også langt mer energi (tabell 1). Storfegjødsel inneholder mer aske enn fiskeslam, særlig er innholdet av kalsium høyere i storfegjødsel. Variasjon i tørrstoff, energi og aske ble målt i slam fra Smøla sitt anlegg ble målt gjentatte ganger på ulikt tidspunkt for å bestemme variasjon gjennom året. Slam ble samlet opp i 3 påfølgende dager og en representativ prøve ble frosset og sendt til Nofima sin lab på Sunndalsøra for analyse. Resultater er vist i tabell 2.

**Tabell 1** Sammensetning av slam fra to ulike resirkuleringsanlegg (RAS) for settefiskproduksjon sammenlignet med storfegjødsel. Alle verdier er oppgitt som % av tørrstoff. (Hovednæringsstoffer er analysert av Nofima, mineraler av Eurofins).

	<b>Fiskeslam Marine Harvest</b>	<b>Fiskeslam Smøla</b>	<b>Fiskeslam Nofima NRCA</b>
pH	5,5	6,5	7,4
Tørrstoff (TS) %	16,6	3,6	1,1
Fett (% av TS)	74,7	-	-
Råprotein (% av TS)	19,9	15,5	1,8
Energi (MJ/kg TS)	35,2	6,2	-
Aske (% av TS)	7,6	7,8	6,4
P (% av TS)	0,85	0,68	1,5
K (% av TS)	0,14	-	-
Ca (% av TS)	1,98	1,4	3,1
Mg (% av TS)	0,06	0,26	0,31
Na (% av TS)	0,18	0,78	0,90
Mn (% av TS)	0,05	<0,004	<0,015
Mo (mg/kg TS)	<1,3	-	-

**Tabell 2** Variasjon i innhold av tørrstoff, energi og aske i slam fra Smøla klekkeri og settefiskanlegg ved ulike prøvetakingstidspunkt. Energi og askeinnhold er oppgitt som henholdsvis MJ/kg TS og % av TS.

<b>Uttak</b>	<b>August</b>	<b>September</b>	<b>16.okt</b>	<b>25.okt</b>	<b>30.okt</b>
<b>Tørrstoff (TS) %</b>	10,5	5,70	5,4	3,2	7,1
<b>Energi MJ/kg TS</b>	19,1	19,60	10,8	6,2	10,1
<b>Aske (% av TS)</b>	22,3	14,30	21,2	7,7	10,4

Det er åpenbart fra tabell 2 at det er stor variasjon i slammets innhold av vann, energi og aske ved de ulike prøveuttakene. Dette kan skyldes vanskeligheter med å standardisere uttaket av slam med hensyn på hvor mye vann som følger med når slamsettlerne tømmes. Men når energi og askeinnholdet i prøvene beregnes i % av tørrstoffinnhold er det fortsatt stor variasjon. Slamprøvene tatt i august og oktober inneholder omtrent like mye energi regnet i % av tørrstoff, mens prøvene tatt i oktober inneholder langt mindre energi. Askeinnholdet varierer også betydelig mellom prøvene, fra 7.7 til 22.3 % av tørrstoff. Slike variasjoner skyldes mest sannsynlig at det er varierende mengde fôrspill i slammet. Fôret inneholder langt mer energi, fett og protein enn fiskegjødselettersom fordøyeligheten av disse næringsstoffene er høy (over 80 %). Selv små mengder fôrspill i slam vil derfor i betydelig grad påvirke næringsinnholdet i slam fra settefiskanlegg. Ved å se på forholdet mellom høyt fordøyelige næringsstoffer som fett og protein og enkelte tungt fordøyelige næringsstoffer som fosfor og sink i slammet vil man kunne få et estimat for hvor mye fôrspill slammet inneholder.

### **3 Delmål 2: Biogassproduksjon**

I Delmål 2 ble biogassanlegget på Tingvoll gard brukt til å undersøke gassutbytte og samle praktiske erfaringer med å sambehandle husdyrgjødsel og fiskeslam. Anlegget på Tingvoll har to reaktorer; en som kun tilføres husdyrgjødsel, og en som tilsettes ulike tilleggssubstrat. Gassutbyttet ble målt i begge reaktorene, og vurdert i forhold til tidligere publikasjoner og slammets kjemiske sammensetning (delmål 1). En lab-skala potensialtest ble gjennomført av Hyperthermics for å studere hvordan hypertermofile bakterier håndterte substratsammensetningen og om bruk av disse kunne gi bedre prosessløsninger. Gassutbytte ble dokumentert ved å sammenligne drift kun med storfegjødsel og drift med storfegjødsel og fiskeslam. Ulike innblandingsforhold mellom husdyrgjødsel og fiskeslam ble også testet. Effekt av ulike innblandingsforhold vil være en problemstilling ved videreføring av prosjektet. Biopower Norway AS og Bioforsk Økologisk var ansvarlig for testen. Et fødesystem for fiskeslam (designet av BioPower) for å ta hånd om lukt ble installert i forbindelse med testen. Erfaringer fra bruk av systemet ble dokumentert sammen med analyser av lukt og variasjoner/endringer i lukt i forbindelse med resten av biogassprosessen og sluttproduktet (biorest).

Data fra delmål 1 ble benyttet i vurdering av forventet utbytte og forventet drift og sammenlignet med utbytte og erfaringer fra testen. anbefalinger for videre testing og bruk av fiskeslam i sambehandling med storfegjødsel ble utarbeidet. Hyperthermics AS utførte lab-tester ved sin lab i Regensburg, Tyskland med føde identisk til den brukt ved testen på Tingvoll, og muligheten for prosessforbedringer ved å bruke hypertermofile bakterier ble undersøkt.

#### **Problemstillinger knyttet til delmål 2:**

1. Hvordan påvirkes gassutbyttet av tilsetning av fiskeslam?
2. Hvilke luktsjenanser er knyttet til bruk av marint fiskeslam i et gårdsbasert biogassanlegg, og hvordan endres disse over tid?

Det opprinnelige målet var å bruke biogassanlegget på Tingvoll gard til å undersøke gassutbytte og praktiske erfaringer med bruk av fiskeslam til biogassproduksjon. Forsinket ferdigstilling av anlegget gjorde at prosjektet i stedet prioriterte å gjøre undersøkelser i lab-skala. Aktivitetene knyttet til delmål 2 har vært:

1. Potensial-test; test av maksimalt gassutbytte ved forskjellige blandinger av fiskeslam og storfegjødsel. Testen ble foretatt av Alastair James Ward fra Århus Universitet.
2. Småskala produksjon (8 liters mini-reaktorer) av biorest med fiskeslam. Foretatt av Ingvar Kvande og medarbeidere ved Bioforsk Økologisk på Tingvoll.
3. Potensial-test med fiskeslam og hypertermofile bakterier i lab-skala. Foretatt ved laben til Hyperthermics Holding AS.
4. Innsamling av praktiske erfaringer med lukt i tilknytning til håndtering og bruk av fiskeslam.

Dr. Ruth Gebauer har doktorgrad fra NTNU hvor hun undersøkte anaerob utråtning med fiskeslam; «Anaerobic Digestion of Fish Farming Sludge» (Gebauer, 1998). Gebauer har deltatt i planleggingen av og vært samtalepart i forbindelse med aktivitet 2. Gebauer har også bidratt med sin kompetanse innen akvakultur i workshopen som ble avholdt på Smøla og har vært sentral i utformingen av ny prosjektsøknad «Fiskeslam som ressurs for bioenergi og plantevekst (SLAM-BEP)».

### **3.1 Eksperimentelt og resultater**

#### **3.1.1 Potensial-test fiskeslam og storfe gjødsel**

##### **Eksperimentelt**

Potensial-testen ble foretatt i 500 ml glassflasker. 200 g inokulum (temperatur ca. 35 °C) hentet fra sekundær råtnetank ved biogass-anlegget i Foulum (Århus Universitet) ble tilsatt hver flaske. Inokulumet ble inkubert i to uker ved 35 °C for å ta ut gjenværende biogass-potensial for så å bli filtrert for å fjerne større partikler. Fiskeslam fra Marine Harvest og storfe gjødsel fra Tingvoll Gard (Tabell 1 og 4.1) ble brukt som substrater i forsøket. Egenskapene til substratene er vist i tabell 3.1 Storfe gjødsel (M) og fiskeslam (S) ble blandet i forskjellige mengder, M:S; 0:100, 12,5:87,5, 25:75, 37,5:62,5, 50:50, 67:33, 83:17, 100:0. 150 g inokulum i glassflaskene ble tilsatt ferdig blandet substrat basert på et inokulum/substrat forhold på 1,5:1. Flaskene ble så tett med gummihette og spylt med nitrogengass i to minutter for å fjerne oksygen i atmosfæren over væskeblandingen. Flaskene ble deretter ristet for å blande inokulum og substrat. Forsøket ble utført med 3 paralleller (med hvert blandingsforhold). I tillegg til flaskene med substratblandinger ble det laget en kontrollflaske med kun inokulum.

Flaskene ble inkubert ved 35 °C i totalt mørke i et varmeskap (Figur 3) og den produserte gassen ble målt når trykket i flaskene var så høyt at gummihetten bulte. I starten av forsøket, når gassproduksjonen varierte mest og var høyest ble målingene utført hver 4. eller 5. dag. Målingene ble så utført sjeldnere når gassproduksjonen gikk ned (totalt ca. 90 dager). Etter måling ble flaskene ristet før de ble satt tilbake i varmeskapet. Gassvolum-målingene ble foretatt ved fortrenkning av vann som på forhånd var tilsatt syre (ca. pH 2). Syren ble tilsatt for å unngå at karbondioksid i biogassen skulle løse seg i vannet og gi feilmåling.

Apparaturen består av plastikkylindere som er tett på toppen og åpne i bunnen (Figur 4). Sylindrene står i kar fylt med vann tilsatt syre. Biogass går inn i hver sylinder via en innsprøytningsnål koblet til en slange som går inn gjennom bunnen og helt opp til toppen av sylindren. I hvert rør er det et rør til som går ved siden av det første. Dette røret er koblet til en vakuumpumpe. Pumpen fjerner gass fra atmosfæren over væsken i sylindrene og drar dermed væsken opp til all gassen er fortrenkt. Pumpen stoppes og gassvolum-måling kan startes. Innsprøytningsnålen settes så i gummikorken til flasken hvor gassproduksjonen ønskes målt. Biogass trenger dermed inn i sylindren. Vekten til vannsøylen i sylindrene og trykket i flaskene gjør at vann-nivået i sylindren synker helt til trykket i sylindren er likt atmosfæretrykket. Nivået og dermed gassvolumet kan nå avleses fra kalibrerte markeringer på sylindren. I forbindelse med gass-volum målinger ble 30 ml prøver tatt ut for påfølgende måling av sammensetning av gassen med gasskromatograf (GC). Biogassen er «forurenset» med N<sub>2</sub> fra spyling av flaskene. Total mengde metan ble derfor beregnet på følgende måte:

$$\% \text{CH}_4 (\text{reell}) = \% \text{CH}_4 (\text{målt}) \times 100 / (\% \text{CH}_4 (\text{målt}) + \% \text{CO}_2 (\text{målt}))$$

Gass-utbyttet ble beregnet ved å måle gassproduksjonen for prøvene og trekke fra gassproduksjonen i kontrollen (kun inokulum).



*Figur 3      Glassflasker i varmeskap*

Akkumulert produksjon ble både beregnet som liter gass per kg organisk tørrstoff – volatile solids (VS) og som liter per kg substrat. Metanutbytte per kg VS gir en indikasjon på hvor nedbrytbart materialet er og effektiviteten til prosessen, mens metanutbyttet målt per kg substrat er av interesse for å vurdere størrelsen på en aktuell råtnetank. Siden forsøket pågår i 90 dager kan man anta at det er minimal metanproduksjon etter testen. Figurene nedenfor viser dermed maksimalt gassutbytte og metanutbytte ved anaerob utråtning.

Organisk tørrstoff (VS) ble målt ved først å bestemme tørrstoffinnholdet (TS). Dette ble gjort ved tørking ved 105 °C i 24 timer. Neste trinn er foraskning der tørrstoffet glødes ved 550 °C i 2 timer slik at alt organisk materiale oksideres, og kun mineraler eller aske blir igjen.  $TS = (\text{Vekt før tørking} - \text{vekt etter tørking}) / \text{Vekt før tørking}$ .  $VS = (\text{Vekt etter tørking} - \text{askevekt}) / \text{Vekt etter tørking}$ .



**Figur 4**      *Metode for bestemmelse av gass-volum, (a) sylindere, (b) vannkar, (c) slange for biogass, (d) vakuumpumpe.*

## Resultater

Generelt fører høy organisk belastning i en nedbrytnings- eller gjæringsprosess til høy produksjon av mellomprodukter som fettsyrer (VFA - Volatile fatty acids). Fettsyrene er eddiksyre, propionsyre, smørsyre, isosmørsyre, 2-metyl smørsyre og valeriansyre. Fettsyrene hemmer (inhiberer) en videre nedbrytningsprosess, både av fettsyrene selv og av substratet generelt fordi de hemmer aktiviteten til de bakteriene som produserer metan.

Noe inhibering ble sett ved oppstart (de 10-15 første dagene), men effekten var sterkt redusert på grunn av at det ble brukt et lavere substrat/inokulum forhold (g VS substrat/g VS inokulum = 1:1,5) sammenlignet med tidligere potensialtester (1:1) utført for stearin, såpe og bleikejord (Ward 2012).

Figur 5 viser at høyest metan-utbytte/kg VS ble funnet med et M:S forhold på 12,5:87,5, mens 0:100 var tilnærmelsesvis lik 25:75 og 37,5:62,5. At potensialet er høyest med stor grad av innblanding av fiskeslam kan forklares med at fiskeslam som vist i tabell 3 har et høyere innhold av organisk tørrstoff (VS) enn husdyrgjødsel. Et høyere innhold av organisk tørrstoff gir et høyere gasspotensial.

**Tabell 3**      *% Tørrstoff (TS) og Volatile Solids (VS) for inokulum og substrater.*

	TS [%]	VS [%]
Inokulum Foulum	3,22	2,07
Storfegjødsel Tingvoll gard	2,24	1,48
Fiskeslam Marine Harvest	15,57	14,04

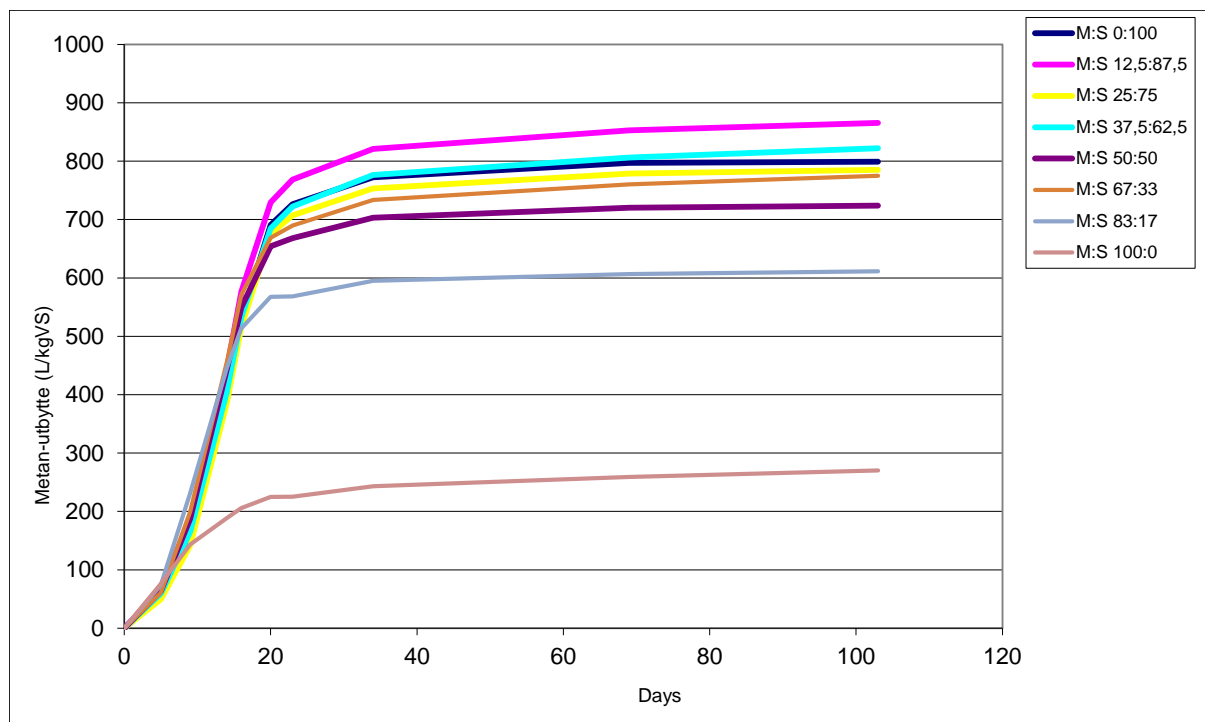


Prøven med 100 % fiskeslam var likevel ikke den som ga høyest utbytte. Forskjellen i utbytte mellom 12,5:87,5 og de andre blandingsforholdene er større enn forskjellen mellom parallellene. Resultatene kan skyldes fortynning, det vil si at med innblanding av storfe gjødsel ble inhiberende stoffer fortynnet til under inhiberende nivå. Alternativt kan resultatene skyldes en synergi-effekt mellom fiskeslam og storfe gjødsel. En synergi-effekt kan forklares med at storfe gjødsel inneholder mikronæringsstoffer som stimulerer til økt bakterieaktivitet. Biogassproduksjon med fiskeslam alene vil derfor kunne resultere i redusert gassutbytte over tid. Ytterligere testing er nødvendig for å bekrefte dette. I tråd med de andre resultatene ble det for fiskeslam-prøvene funnet lavest utbytte for prøven med minst innblanding av fiskeslam.

I mengde varierte utbyttet fra 610 til 860 L CH<sub>4</sub>/kg VS for prøvene tilsatt fiskeslam (ferskvannslam). Til sammenligning har det blitt funnet et metan-utbytte på 370 L CH<sub>4</sub>/kg VS for sjøvannslam fra et lukket sjøvannsanlegg, tilsvarende 55-70 % av teoretisk utbytte (Batch-test, Svalheim og Solli, 2012). Høyt saltinnhold ga sterk inhibering av prosessen.

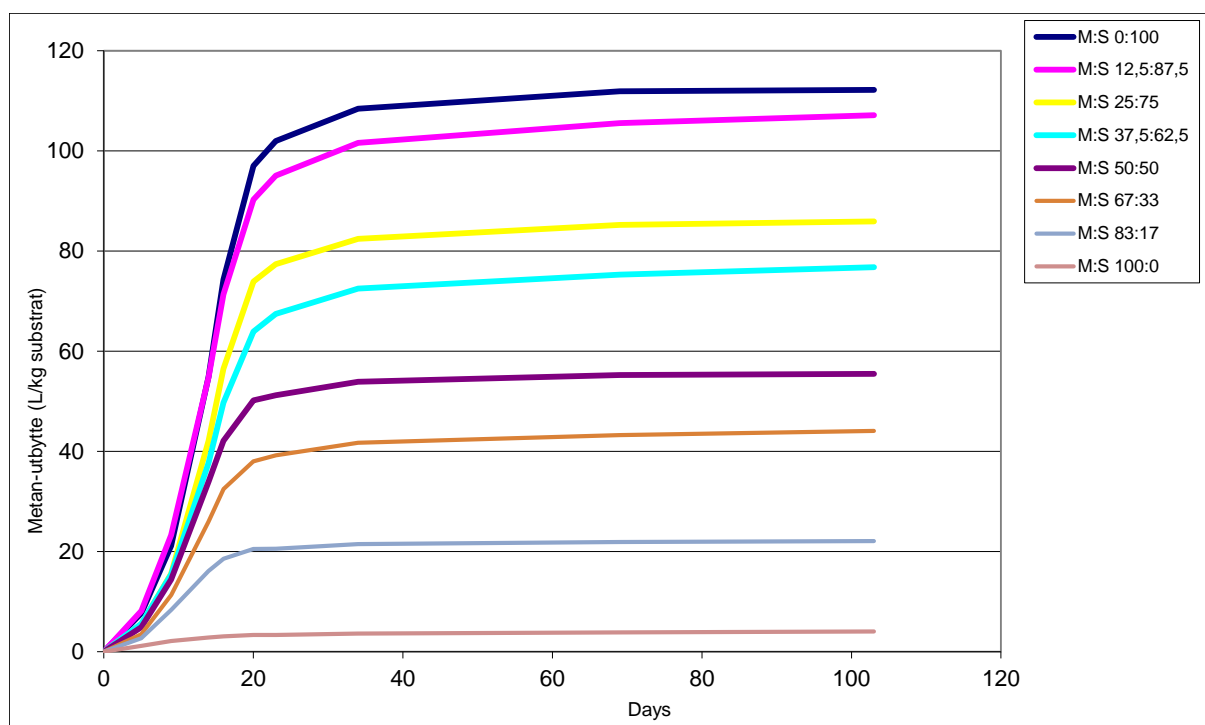
For prøven med kun storfe gjødsel ble det til tross for lavt innhold av organisk tørrstoff (Tabell 3) funnet et metan-utbytte på 270 L/kg VS. Dette er noe høyere enn verdien 213 L/kg VS, som tidligere har vært brukt som en teoretisk maksimumsverdi for gassutbytte av storfe gjødsel (Schnürer og Jarvis, 2010). Dette kan skyldes at gjødsla hadde et lavt innhold av tørrstoff, noe som igjen skyldtes at det var den tyntflytende delen av gjødsla som var tatt ut og ble brukt til dette forsøket. Den mest tyntflytende delen inneholder sannsynligvis mer lettøselig karbon enn den fastere delen, som vil inneholde mer fiber.

For metan-utbytte per kg substrat er kurvene innbyrdes forskjøvet sammenlignet med utbytte per kg VS (Figur 6). Det kan henge sammen med synergieffekten som ble diskutert ovenfor. Utbyttet per kg substrat gir et bilde av hva man kan forvente hvis man gjør en justering i innmatingen ved et faktisk anlegg. Hvis et blandingsforhold på 25:75 brukes vil det for eksempel gi dobbelt så stort gassutbytte sammenlignet med 67:33. Allerede en innblanding på 17 % slam gir en flerdobling av gassutbyttet sammenliknet med kun husdyrgjødsel.



Figur 5 Metan-utbytte i liter per kg organisk tørrstoff (VS) for de ulike substratblandingene. M: Storfegjødsel, S: Fiskeslam.

I tillegg til fettsyreinhivering kan biogassprosessen også hemmes ved økning i mengden ammoniakk eller sulfider (eks.  $H_2S$ ). I en batch-test vil eventuell inhivering ikke ha en effekt på totalt gassutbytte så lenge forbindelsene ikke forekommer i veldig høye konsentrasjoner. De foreligger ingen identifiserbar årsak til de små forskjellene som foreligger mellom prøvene i denne testen.  $H_2S$ -innholdet ble målt i tilknytning til forsøket, men resultatene viste ingen trender. Dette forsøket ble utført med relativt lav organisk belastning og dermed også liten inhivering. I en kommersiell prosess hvor man ønsker å utnytte rånetanken mest mulig effektivt til å behandle en stor mengde avfall, vil den organiske belastningen lett bli høyere og inhivering kan bli betydelig mer fremtredende enn i dette forsøket. Sammenlignet med stearin, bleikejord og såpe som er avfallstyper fra fiskeoljeindustrien som er testet tidligere (Ward 2012) er imidlertid tørrstoffinnholdet i fiskeslam betydelig lavere, og det kan være mulig å operere en kontinuerlig reaktor med 100 % fiskeslam gitt at prosessen blir gitt nok tid til å bygge opp en bakteriekultur som er tilpasset substratet.



Figur 6 Metan-utbytte i liter per kg substrat for de ulike substrat-blandingene. M: Storfegjødsel, S: Fiskeslam.

### 3.1.2 Produksjon av biorest med fiskeslam

#### Eksperimentelt

Dette forsøket ble gjennomført med kontinuerlig innmating av nytt substrat i små råtnetanker som ble laget av plastkanner. For de 4 reaktorene ble det valgt 3 blandingsforhold for innblanding av fiskeslam: storfegjødsel (vektbasis); 0:100, 25:75 (2 gjentak) og 50:50. Reaktorene ble først fylt med 100 % inokulum (biorest). Planen var å tilsette ca. 3 dl fiskeslam daglig frem til reaktorene inneholdt 25 eller 50 vekt % fiskeslam. Deretter skulle reaktorene få nytt substrat med ferdigblandet 25 og 50 % fiskeslam i storfegjødsel. Fiskeslam fra Marine Harvest og storfegjødsel fra Tingvoll Gard (Tabell 1 og Tabell 3) ble brukt. Før forsøksstart i august ble fiskeslam tinet og blandet porsjonsvis med fersk storfegjødsel. Substrat for 60 dager (daglig innmating) for alle reaktorene ble tillaget på halv-liters flasker og så satt i fryserom (-18°C). Dette ble gjort for å unngå at substratene endret seg ved nedbrytning i løpet av forsøksperioden (se også under). Dagen før substratet skulle brukes ble det tatt ut for tining.

4 minireaktorer ble laget med utgangspunkt i 15 liter plastkanner og gassposser. Et vannbad ble laget av et isolert melkefat. Varmekolbe (300W) og to akvariepumper ble brukt for å varme opp og sirkulere vannet. Temperaturen i prosessen og i vannbadet ble satt til 33 °C, som tilsvarer driftstemperatur i råtnetanken i anlegget på Tingvoll gard.

Reaktorene ble fylt med 8 liter biorest fra råtnetankene tilhørende biogassanlegget på Tingvoll Gard og satt i vannbadet (se figur 3.5). Denne råtneresten var kun basert på blautgjødsel, uten noen form for tilleggssubstrat. Den etterfølgende uken ble alle reaktorene matet med fersk storfegjødsel. 3 dl substrat ble tatt ut av reaktoren og 3 dl nytt substrat ble matet inn manuelt. Ved uttapping og innmating viste det seg umulig å unngå at det også kom

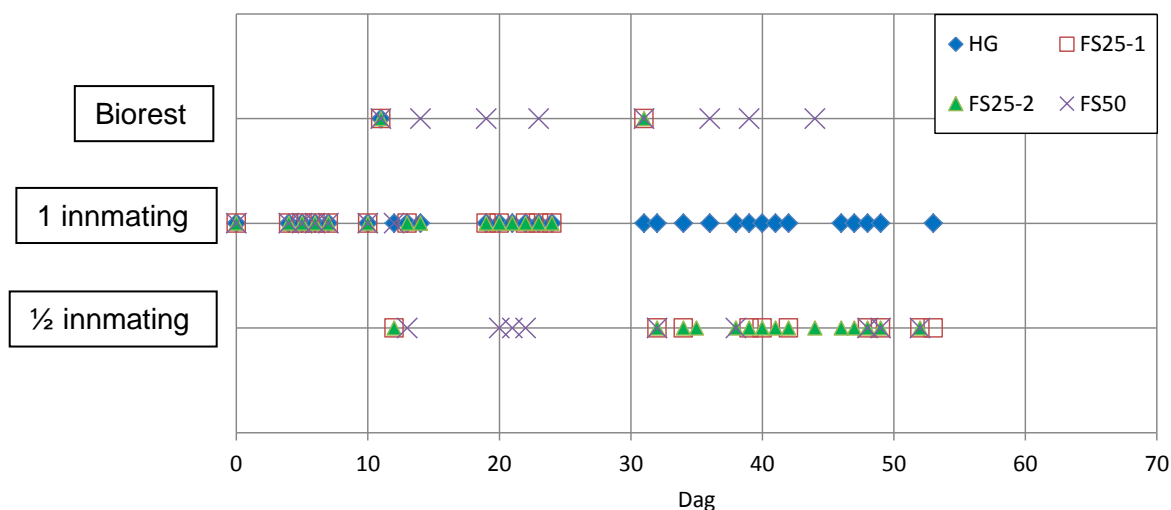
en liten mengde luft inn i kannene.. Forholdet mellom totalvolum og ut/innmating tilsvarer en gjennomsnittlig oppholdstid for et substrat i reaktoren på ca. 26 dager. I første del av forsøket ble ut/innmating gjort daglig. Noe seinere i perioden var omsider utstyr for måling av fettsyremengder på plass, og ut/innmating ble da avgjort på bakgrunn av pH- og fettsyremålinger. Uansett ut/innmating eller ikke ble reaktorene tatt ut for manuell risting opp til 3 ganger per dag. En oversikt over innmatingsdato, innhold (andel slam/gjødsel) og mengde er vist i figur 3.6. På grunn av fallende pH og høyt fettsyreinnehold ble innmatingen stoppet i perioder. Ekstra biorest ble tilsatt når pH var raskt synkende og/eller fettsyreinneholdet var svært høyt.

Metan-konsentrasjonen ble målt ved hjelp av en Dräger X-am 5000 gassmåler, som baserer seg på infrarød sensor-teknologi. Dräger-enheten har en pumpe som pumper 0,5 l/min. Tiden det tok å tømme gassposene ved hjelp av pumpen ble brukt til å beregne volumet av gass i posen. Dette er en enkel målemetode som gir interessant informasjon om prosessen, men dataene er forbundet med usikkerhet da pumpen ikke er beregnet for formålet.



*Figur 7 Småskala biogassreaktorer ved oppstart av forsøk (venstre) og etter 9 dager med innmating av fiskeslam og storfe gjødsel (høyre). Reaktorer 1,2 og 3 tilsatt fiskeslam og reaktor 4 tilsatt kun storfe gjødsel.*

En autotitrator av type Mettler DL22 med og en 20-mL byrette ble brukt til to-punkts titrering (Anderson og Yang, 1992) til pH 5,1 og 3,5. 0,1 N  $H_2SO_4$  ble brukt som titrant. 10 g biorest ble veid ut og fortynnet med destillert vann i et 1:1 forhold før titrering. Modeller utledet av Møller og Ward (2011) ble brukt til å beregne fettsyrenivået i bioresten.



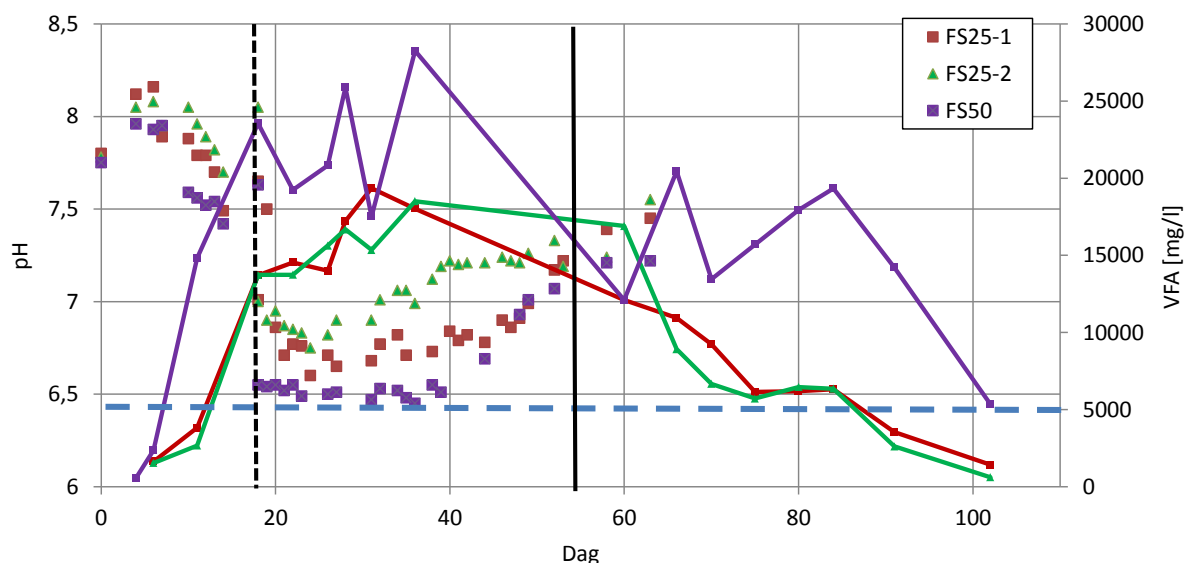
**Figur 8** Innmating av substrat og biorest frem til dag 54. Biorest: 3dl, 1 innmating: 3 dl, ½ innmating: 1,5 dl.

## Resultater

Utformingen av reaktorene og innmatingsregimet med tilsats av ca. 3 dl nytt substrat daglig ga betydelige utfordringer med å få til en stabil prosess. Frem til dag 18 ble prosessen styrt kun med støtte av pH-målinger i bioresten i reaktorene. Siden bufferkapasiteten til storfe gjødsel er stor, så vil imidlertid pH holde seg stabil den første tiden til tross for en eventuell økning i innholdet av fettsyrer. Det viste seg at vi fikk en slik anrikning, uten at det kom til syne som pH senkning. Som nevnt over kan de metanproduserende bakteriene inhiberes av forskjellige grunner. pH-målingene i dette forsøket ga ingen indikasjoner på at prosessen var inhibert før etter ca. 10 dager da pH begynte å synke betydelig (se figur 9). Inhiberingen førte raskt til lavere gassproduksjon (figur 10). Innmating ble da midlertidig stanset.

Siden fettsyreinnholdet kan relateres direkte til inhibering er dette et mye bedre verktøy for å styre prosessen enn pH alene. Dette forsøket ga oss en god anledning til å etablere metoden for titrering og bestemmelse av innhold av fettsyrer. Fra dag 18 var denne metoden etablert og i bruk. Fettsyreinnhold og pH ble deretter brukt til å vurdere om reaktorene skulle få nytt substrat og i hvilken mengde. Titreringer ble gjort for prøver som hadde blitt tatt vare på fra tidligere i forsøket. De viste fettsyremengder som samsvarte med trendene i pH og gassproduksjon. En fettsyrekonsentrasjon over 5000 mg/L blir ansett som høy. Ifølge målingene overskred FS 50 denne grensen allerede etter 11 dager mens FS 25-1 og FS 25-2 ikke gikk over 5000 mg/l før etter ytterligere en uke.

Biorest/Inokulum ble gitt for å tilføre fersk bakteriekultur og forsøke å senke fettsyrenivået. Når FS 25-1 og 25-2 hadde blitt matet med fiskeslam til et nivå på 25 % (etter ca. 30 dager) ble innmating og uttak redusert til halve mengden (ca. 1,5 dl) på grunn av mistanke om for høy organisk belastning. Den lavere organiske belastningen kan være med på å forklare reduksjonen i fettsyrenivået for FS 25-1 og FS 25-2 fra dag 30 i fig 9.

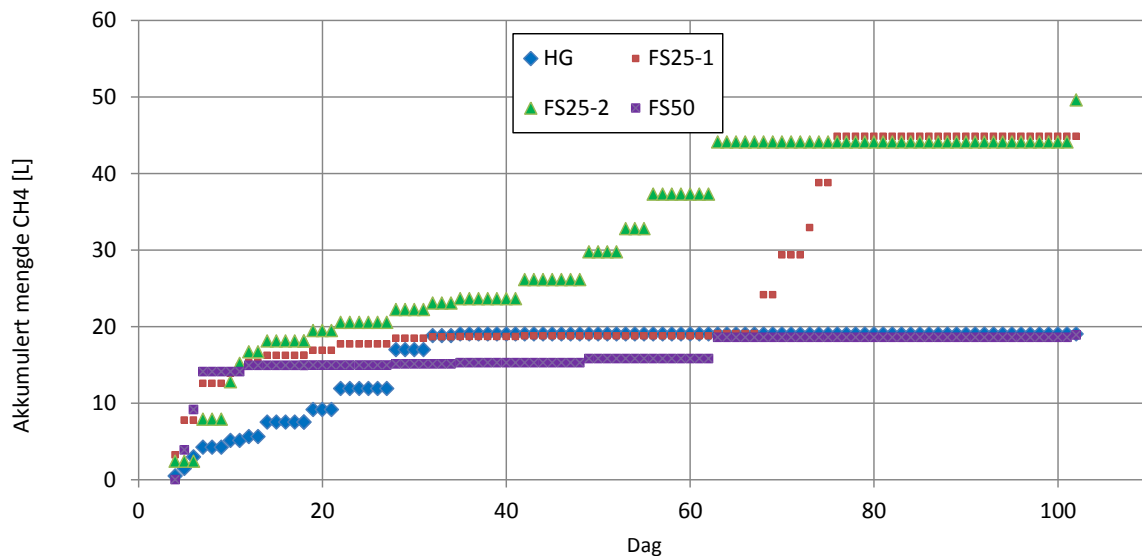


**Figur 9** pH og fettsyreinnhold (mg/l) i forsøksperioden. Første tilretningsresultat dag 18 (sort stiplet linje). Innmating ble stoppet dag 54 (sort heltrukket linje). Høyt fettinnhold >5000 mg/l (blå stiplet linje = 5000 mg/l).

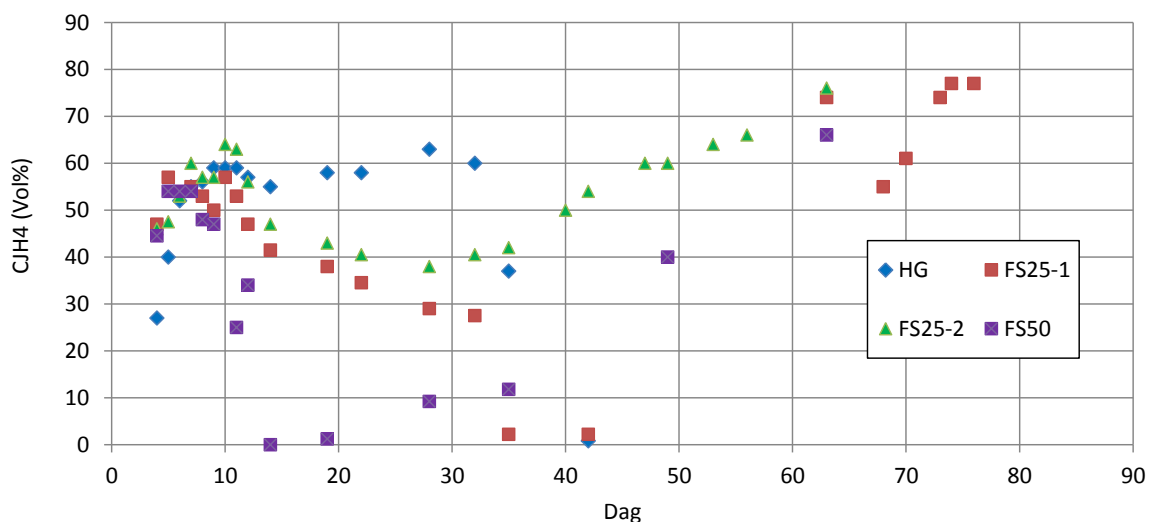
På grunn av problemene underveis ble ikke målet om 50 vekt % innblanding av fiskeslam i den ene reaktoren nådd, og resultatene for denne reaktoren kan ikke tillegges for stor vekt. FS 25-1 og 25-2 fikk tilsatt planlagt mengde fiskeslam for å nå 25 % innblanding. En lengre periode med innmating av ferdigblandet substrat med 25 % fiskeslam gjør at disse var nær 25 % fiskeslam ved avsluttet forsøk. Når det gjelder kontrollen som kun ble matet med storfe gjødsel (HG) så produserte denne betydelig mindre enn de andre i starten, men holdt gassproduksjonen i gang etter at de andre begynte å få problemer. Det ble foretatt titrering for HG-prøvene også, men fettsyrenivået var neglisjerbart sett i forhold til de andre reaktorene. Gassproduksjonen i HG-reaktoren avtok plutselig rundt ca. dag 30 og tok seg aldri opp igjen. Årsaken kan være at luft kom inn i reaktoren.

Utformingen av reaktorene var ikke optimal, blant annet på grunn av luftinntaket ved innmating. Biogassproduksjon må foregå anaerobt for at de metanproduserende bakteriene kan eksistere og vokse i antall.

Som nevnt ovenfor og vist i figur 9 ble reaktorene med fiskeslam matet identisk de første 10 dagene. Det var imidlertid betydelig forskjell i gassproduksjon og metan-nivå mellom reaktorene i hele denne perioden og de påfølgende dagene. Sammenlignet med FS 50 var gassproduksjonen (figur 10 og 11) og pH (figur 8) høyere for FS 25-1 og 25-2. Som vist i figur 10 og 11 så produserte parallellene FS 25-1 og 25-2 veldig forskjellig underveis til tross for forholdsvis likt fettsyrenivå. Dette tilsier at andre forhold, som for eksempel mengde luftinnslipp ved mating, ga betydelig utilsiktet variasjon i forsøket.



Figur 10 Akkumulert CH<sub>4</sub> - produksjon (L) i løpet av forsøksperioden.



Figur 11 Metankonsentrasjon (volum %) som funksjon av tid for forsøksperioden.

Siden fettsyrenivået fortsatt var veldig høyt og det var vanskelig å få prosessene i reaktorene til å fungere, ble det bestemt å avslutte innmatingen ved dag 54. På dette tidspunktet var det ikke aktuelt å bruke bioresten til forsøk for å se på avlingseffekten, siden vekstsesongen utendørs var over. Videre gjorde de høye fettsyreverdiene at bioresten ikke ble ansett som et realistisk eksempel på biorest fra en råtnetank i et kommersielt anlegg. Forsøket ble likevel fortsatt uten videre innmating for å se på utviklingen i fettsyreinnhold og for å lære mer om prosessen. Figur 9 viser hvordan fettsyrekonsentrasjonen de neste ca 50 dagene gikk fra 15 000 mg/l til ca 0 mg/l for FS 25-1 og FS 25-2. Både FS 25-1 og 25-2 fikk etter dette en økning i gassproduksjon i ca. 10 dager fra henholdsvis dag 70 og 50. Denne gassproduksjonen kom fra nedbrytning av fettsyrene. På grunn av at nedbrytning av fett gir

en gass med et høyere metan-innhold ga dette også høyere midlertidige metanverdier på opp mot 80 vol %.

Basert på innmatet mengde substrat og VS-målinger fra Foulum ble produsert mengde gass i liter CH<sub>4</sub>/kg organisk tørrstoff (VS) beregnet for hele forsøket og for de første 10 dagene da gassproduksjonen var på sitt høyeste (Tabell 4). For hele forsøksperioden fant vi ble verdier fra 119-190 L CH<sub>4</sub>/kg VS. Verdiene er betydelig lavere enn Ward fant i batch-forsøket beskrevet ovenfor. For 25 % innblanding av slam ble det i potensialtesten funnet en gassproduksjon på 785 L CH<sub>4</sub>/kg VS, det vil si over 4 ganger høyere enn her. Våre verdier er også noe lavere enn det som tidligere er funnet i semi-kontinuerlige lab-skala forsøk med (kun) slam fra settefiskanlegg (Gebauer og Eikebrokk, 2006). Med en oppholdstid på ca. 60 dager og slam med VS på ca. 9 % ble det da målt et metan-utbytte på 260-280 L CH<sub>4</sub>/kg VS. Prosessen var også i det arbeidet sterkt inhibert.

Tabell 4 L CH<sub>4</sub>/kg VS med basis i gassmålinger og innmatet mengde.

	HG	FS25-1	FS25-2	FS50
L CH <sub>4</sub> /kg VS hele forsøket	147,6	190,3	166,4	118,6
L CH <sub>4</sub> /kg VS første 10 dager	191,4	198,6	182,7	201,8

Resultatene tyder altså på at inhiberingen var betydelig i dette forsøket. Dette ga oss viktige praktiske erfaringer, som viser at det er viktig å ha gode verktøy for å kontrollere innmatingen og for dermed å unngå sterk inhibering. Årsaken til inhiberingen skyldes sannsynligvis for høy organisk belastning og dannelsen av store mengder fettsyrer i oppstarten. Alternativt kan inhiberingen skyldes et høyt ammonium/ammoniakk-innhold eller for høyt innhold av langkjedede fettsyre fra nedbrytning av fett. Det ble ikke foretatt målinger som kan bekrefte/avkrefte hva som forårsaket inhiberingen. Luftinnblandingen bidro sannsynligvis til å redusere metan-bakterienes effektivitet.

### 3.1.3 Potensial-test hypertermofile bakterier

#### Eksperimentelt

6 serum-flasker med et totalt volum på 120 ml hver ble fylt med 20 ml væske. Flaskene ble holdt i anaerob atmosfære, det vil si oksygen-fri atmosfære. Væsken som ble fylt i flaskene inneholdt ulike konsentrasjoner av fiskeslam og storfegjødsel, vist i tabell 5. Fiskeslam fra Marine Harvest og storfegjødsel fra Tingvoll Gard (Tabell 2 og Tabell 3) ble brukt.

Flaske 1-5 ble inokulert med en *Thermotoga* pre-kultur fremdyrket på stivelse. Inokulum-volum: 0,3 ml. Inokulum celletetthet: 1E+09 celler/ml (dvs. Inokulum med høy celletetthet).

Initielt ble prøvene inkubert i 24 timer (standard prosedyre) før H<sub>2</sub>-konsentrasjonen i gassfasen ble målt ved hjelp av gasskromatograf.

På grunn av lav aktivitet gjennomgikk prøvene ytterligere behandling før nye gass-målinger som vist i tabell 6.



Tabell 5 Konsentrasjon av fiskeslam og storfe gjødsel i de forskjellige prøveflaskene.

Flaske	Storfe gjødsel [volum %]	Fiskeslam [volum %]
1	20	80
2	40	60
3	60	40
4	80	20
5	100	0
6*	100	0

\* Kontroll. Ikke inokulert (podet), men inkubert.

Tabell 6 Prøvebehandling før gass-måling.

Behandling	Inokulert [antall ganger]	Inkubert [timer]
1	1	24
2	1	48
3	2	72
4	3	96
5	3	120

\* Flaske 5 og 6 ikke behandlet

## Resultater:

Resultatene er oppsummert i tabell 7. Ingen eller lav H<sub>2</sub>-produksjon (< 1 %) ble funnet.

Tabell 7 Resultater potensielt-test fiskeslam og storfe gjødsel med *Thermotoga* bakteriekultur.

Behandling	H <sub>2</sub> -produksjon
1	nd.
2	nd.
3	< 1 % - 20 % storfe gjødsel (flaske 1)
4	< 1 % - flaske 1 (20 % HG), 2 (40 % HG) og 3 (60 % HG)
5	Høyere enn etter 4, men < 1 % - flaske 1 (20 % HG), 2 (40 % HG) og 3 (60 % HG)

Cellemålinger ble forsøkt foretatt for å undersøke vekst i bakteriekulturen, men ga ingen resultater på grunn av at prøvene hadde høy turbiditet (var uklare).

Prosessen virker å være inhibert, men med basis i resultatene er det ikke mulig å gi en forklaring på dette. Da det ikke ble funnet gassproduksjon av betydning med *Thermotoga* ble det ikke utført flere forsøk.

### 3.1.4 Lukt i tilknytning til håndtering og bruk av fiskeslam

I forbindelse med arbeidet kunne fiskeslammet vært behandlet annerledes for å unngå nedbrytning. Nedbrytning endrer sammensetningen til substratet og gir også utvikling av forbindelser som lukter veldig sterkt og ubehagelig. Hvis substratet skal prosesseres eller brukes direkte, f eks som gjødsel er det viktig å håndtere det riktig for at bruken skal kunne aksepteres av naboer til slik virksomhet. Fiskeslammet kom i 25-liters beholdere i midten av

mai. Det var tegn til nedbrytning i slammet, da gassproduksjon og lukt var tydelig. Dette tyder på at slammet hadde stått i varmen før og under transport. På grunn av begrenset erfaring med substratet ble det ikke satt kjølig umiddelbart og tegn til ytterligere gassproduksjon og utvikling av lukt ble registrert. Substratet ble kort tid etter satt i fryseren (-18 °C). Ved uttak for utblanding av prøver til produksjon av biorest og pottforsøk var ikke lukten like intens. Slammet som ble brukt direkte til pottforsøk gjennomgikk nedbrytning i luft og ga utvikling av sterk og ubehagelig lukt. Ved produksjon av biorest (uten luft) var lukt av bioresten tydelig forskjellig og ikke ubehagelig sammenlignet med tilsvarende lukt for substratet som ble matet inn.

### 3.2 Konklusjoner

Potensialtesten viste at fiskeslam (VS 14,4 %) fra Marine Harvest blandet med storfegjødsel (VS 1,4 %) i et forhold på 87,5:12,5 ga høyeste metan-utbytte med 860 L/kg VS. Batch-testen ble utført med lav organisk belastning og viste kun noe inhibering initielt. Småskala-forsøk med kontinuerlig innmating ga til sammenligning et høyeste utbytte på 190 L/kg VS for et fiskeslam/storfegjødsel forhold på 25:75. Prosessen var sterkt inhibert, mest sannsynlig på grunn av høye konsentrasjoner av fettsyrer (15 000-25 000 mg/l) forårsaket av at reaktorene ble kjørt med for høy organisk belastning.

Potensialtesten for den hypertermofile bakterien *Thermotoga* viste lav aktivitet for ulike blandinger av fiskeslam og husdyrgjødsel. Resultatene tyder også på sterk inhibering grunnet for høy organisk belastning

Ved bruk av fiskeslam fra settefiskanlegg (ferskvannsslam) til biogassproduksjon vil det derfor være viktig å finne en tilstrekkelig lav organisk belastning og/eller bruke tid på å bygge opp en bakteriekultur som er tilpasset substratet. Hvis dette lykkes, kan fiskeslam ha en betydelig verdi som substrat i en biogassprosess. Målt per volumenhet kan slam gi betydelig mer biogass enn husdyrgjødsel.

## 4 Delmål 3: Fiskeslam som gjødsel

I prosjektets **Delmål 3** var det planlagt å vurdere hvordan tilsetning av fiskeslam påvirker biorestens egenskaper som gjødsel i landbruket. Har slik tilsetning noe å si for konsistens, viskositet og næringsinnhold? Det var opprinnelig ikke planlagt å gjennomføre dyrkingsforsøk, men å analysere bioresten (mineralsk N, makronæringsstoff, pH) og teste den for eventuelle fytotoksiske egenskaper. Underveis i prosjektet (se kapittel 3) viste det seg umulig å bruke råtnetankene i biogassanlegget på Tingvoll gard til å framstille en godt utgjæret biorest basert på en blanding av husdyrgjødsel og fiskeslam. Slam ble tilsatt husdyrgjødsel i mini-reaktorer laget av plastkanner i vannbad, og som beskrevet i forrige kapittel økte dette gassutbyttet sammenliknet med kun husdyrgjødsel som substrat. Prosessen stoppet imidlertid opp pga for mye tilsetning av slam, slik at bioresten fra disse reaktorene ikke ble representativ for det som ville ha vært resultatet av en tilfredsstillende gjæringsprosess. Derfor valgte vi å ikke analysere disse biorestene kjemisk eller på andre måter. I stedet undersøkte vi hvordan ubehandlet fiskeslam virket som gjødsel i et pottforsøk med raigras som forsøksvekst, siden dette også kan være en aktuell bruk av fiskeslam.

### 4.1 Næringsinnhold i fiskeslam og storfegjødsel

Det viste seg vanskelig å hente slam fra SKS sitt anlegg på Smøla som planlagt, grunnet lav slamproduksjon i aktuell periode. Slam til utprøving ble derfor hentet fra Marine Harvest sitt settefiskanlegg på Nordheim på Tustna, og analysert ved Eurofins laboratorium i Sverige, samt ved Nofima sitt eget laboratorium på Sunndalsøra (Tabell 8). Til sammenlikning er det vist verdier av slam fra laksesmolt i et anlegg på Kyrksæterøra (Gebauer & Eikebrokk 2006), og slam fra eldre fisk i et framfôringsanlegg i Troms (Uhlig, & Haugland 2007). Endelig er slammet sammenliknet med husdyrgjødsel i form av blautgjødsel fra melkeku. For slammet fra Tustna var det brukbar overensstemmelse mellom verdiene fra de to ulike laboratoriene.

I de fleste tilfeller er tørrstoffinnholdet høyere i slammet enn i blautgjødsel, men dette vil være svært avhengig av hvordan prøvene er tatt ut, og om det har vært noen form for avvanning av slammet før prøvetaking. pH i slammet er i alle tilfeller betydelig lavere enn i husdyrgjødsel. Målt som andel av tørrstoffet ser vi at nitrogeninnholdet (N) kan være både betydelig høyere, eller noe lavere enn i husdyrgjødsel. Innholdet av fosfor (P) og kalsium (Ca) er som regel en del høyere, mens innholdet av kalium (K) og magnesium (Mg) er betydelig lavere. Sammen med svovel (S), som ikke ble målt her, er N, P, K, Ca og Mg de seks næringsstoffene som planter tar opp i størst mengde, og kalles derfor makronæringsstoff for planter. Ammoniuminnholdet er av interesse fordi det kan virke spirehemmende hvis konsentrasjonen blir for høy.

I forsøket på Tingvoll ble det brukt blautgjødsel og slam fra Tustna. Med bruk av verdiene fra Eurofins, som også inneholder verdier for innholdet av ammonium ( $\text{NH}_4$ ), er innholdet av de viktigste næringsstoffene i g per kg som følger:

Fiskeslam: 5,6 g total-N; 1,8 g ammonium-N; 1,8 g P; 0,12 g K

Blautgjødsel: 2,3 g total-N; 1,3 g ammonium-N; 0,39 g P; 2,8 g K

**Tabell 8** *Næringsinnhold i fiskeslam fra ulike resirkuleringsanlegg med ferskvann, sammenliknet med blautgjødning fra økologiske melkekyr på Tingvoll gard.*

Type/ Lokalitet	TS, %	Tot- N	NH <sub>4</sub> - N	P	K	Ca	Mg	pH	Referanse eller laboratorium
Røye, Villmarksfisk AS, Bardu	1,7	11,8	6,06	2,9	0,15	5,5	0,18	5,8	Uhlig & Haugland 2007
Laksesmolt, Kyrksæterøra Middel av 3 ( *2) analyser	6,2- 12,3	8,7	1,5	2,3	0,1*	3,1*	0,2	5,4- 6,2	Gebauer & Eikebrokk 2006
Laksesmolt, Marine Harvest, Tustna	15,4	3,6	1,2	1,2	0,1	2,3	0,1	5,4	Lab. Eurofins 2012
Laksesmolt, Marine Harvest, Tustna	16,6	3,3	-	0,9	0,1	2,0	0,1	5,5	Lab. Nofima 2012
Husdyrgjødsel, melkeku, Tingvoll	4,8	4,8	2,7	0,8	5,8	1,8	0,7	7,1	Lab. Eurofins 2012

## 4.2 Dyrkingsforsøk

### 4.2.1 Beskrivelse av forsøksoppsett og gjennomføring

Uprøving av fiskeslam som gjødning foregikk i et potteforsøk med næringsfattig sandjord, og raigras som forsøksvekst. Jorda ble tatt fra et forsøksfelt i et tilgrensende prosjekt (Dokumentasjon av energiproduksjon og klimaeffekt i et gårdsbasert biogassanlegg for husdyrgjødsel og ulike typer fiskeavfall, «BiogassDok»). Denne jorda var moldholdig sandjord med P-AL verdi ca 2 og pH verdi ca 5,8. Jorda har vist god respons på gjødsling i andre forsøk. I potteforsøk er det vanlig å gjødsle sterkere enn i feltforsøk. Gjødselmengdene ble derfor satt til mengder tilsvarende ca 9 og 18 tonn med husdyrgjødsel per daa, og det ble ikke tatt hensyn til at fiskeslammet inneholdt betydelig mer tørrstoff enn blautgjødning per vektenhet. Forsøket kan derfor tilsvare en situasjon der en bonde erstatter en viss mengde husdyrgjødsel med samme mengde fiskeslam målt i tonn per daa.

Jorda ble soldet og fylt i svarte plastpotter med øvre diameter 25 cm og høyde 20 cm, volum ca. 7 liter. Pottene ble fylt med jord etter en prosedyre som skulle sikre jevn pakking. Et beger fylles et visst antall ganger med soldet jord, så fullt at toppen må strykes av med en linjal. Man forsøker å fylle begeret på samme måte hver gang. Et visst antall begeret helles over i potta. Så pakkes dette jordvolumet ved at potta dunkes lett mot underlaget samtidig med at den vrir en kvart omdreining. Pakkingen besto av 10 slike dunk-vri bevegelser. Hver

potte ble pakket i to omganger, og totalt ble hver potte tilført 5,4 kg jord. For de pottene som skulle ha tilført gjødsel, ble ca 1 liter jord fjernet fra de pakke pottene, gjødsel ble tilført og moldet lett ned med ei planteklo. Så ble frøene lagt på den fuktige jordoverflaten, og jorda som var fjernet ble lagt over igjen.

Tilførte gjødselmengder var 200 g slam eller blautgjødsel + 100 g vann i ledd med lav mengde gjødsel, og 400 g slam eller blautgjødsel + 200 g vann i ledd med høy mengde gjødsel. Vannet ble tilført for å skylle gjødsel litt nedover i jorda og sikre passe fuktighet for spiring. Kontroll-leddet uten gjødsel ble tilført 300 g vann i stedet for gjødsel. Såmengden var 30 frø av raigras (*Lolium perenne* L.) per potte.

Etter såing, som foregikk 27. juni 2012, ble pottene satt i lave trekasser, dekket med plast og satt i skyggen til de spirte. 4. juli ble de flyttet fram i solveggen og plasten fjernet. Det var da spiring i alle pottene unntatt i pottene med fiskeslam. Vekst av raigras og ugras ble observert 16. juli, 27. juli og ved avslutning av forsøket 9. september. En gang per uke fra 4. juli ble kassene snudd 180° og byttet om etter et fast system (ytterste venstre kasse flyttet lengst mot høyre, og øvrige kasser rykket en plass mot venstre) for å unngå at ujevne lysforhold skulle påvirke veksten systematisk. Pottene var plassert på skåler for å samle opp eventuell fuktighet som kom ut av pottene. I første del av vekstperioden var det overskudd på nedbør, og for å unngå at pottene ble stående i vann på skålene la vi trelister mellom potte og skålkant. I siste del av perioden var det underskudd på nedbør, og plantene ble vannet en gang i midten av august. Det ble da tilført ca 1 liter vann per potte. Ved avslutning av forsøket var det tegn til at raigraset i enkelte ledd hadde hatt for dårlig tilgang på vann. I kontroll-leddet (Tabell 4.2) var det ikke uventet å finne en høy verdi for tørrstoffinnhold, siden disse plantene hadde liten tilgang på nitrogen. At TS-innholdet var enda høyere i leddet med høy tilførsel av blautgjødsel viser imidlertid at disse pottene hadde fått for lite vann, slik at graset tørket på rot.

Pottene ble høstet to ganger, 27. juli og 9. september. Ved første høsting ble raigraset klippet av i høyde med øvre pottekant, for å stimulere til videre vekst av raigraset. Ugrasplantene fikk stå. Ved andre høsting ble alle planter klippet av ved jordoverflaten, og materialet ble sortert i raigras og ugras. Antall planter av ugras ble ikke telt ved avslutningen av forsøket.

Ved hver observasjon telte vi planter av raigras og de vanligste ugrasartene, og målte høyden på den høyeste raigrasplanten. Høyden ble målt som avstand fra jordoverflaten til toppen av lengste bladspiss når bladet ble strukket rett opp. Siden raigras danner sideskudd, var det ikke mulig å se nøyaktig hvor mange planter som hadde spirt før ved siste høsting, da det var mulig å se hvilke skudd som hørte til hvilken plante.

#### **4.2.2 Resultater og diskusjon**

Pottevekten ble registrert ved første høsting 27. juli, og varierte fra 5,45 til 6,65 kg. De to leddene (behandlingene) som ble tilført 300 g mer gjødsel eller vann hadde 2-300 g høyere gjennomsnittsvekt enn øvrige ledd (Tabell 9). Tilgangen på fuktighet i første delen av vekstperioden ser derfor ut til å ha vært ganske jevn for alle pottene. Ved avslutningen var det noe mer fuktighet i pottene med høy mengde fiskeslam og blautgjødsel. Disse forskjellene er tilfeldige variasjoner som oppsto fordi vanntilførselen ikke ble bedre kontrollert

den siste delen av vekstperioden. Bedre vekst i husdyrgjødselpottene er ikke årsak til høyere pottevekt, siden ferskvekta av plantene var kun ca. 50 g for raigras, og anslagsvis 10 g for ugras i leddet med best vekst.

Vekt av raigras ved første og andre høsting, samt vekt av ugras ved 2. høsting er vist i tabell 9. Antall planter av raigras og ugras er vist i tabell 10. Høyden av raigrasplantene er vist i tabell 11.

*Tabell 9 Gjennomsnittlige verdier i hver behandling for pottevekt (PV), tørrvekt (TV) og tørrstoffinnhold(TS) i raigras høstet 27. juli og 9. september 2012 og tørrvekt av ugras i et potteforsøk med ulike gjødselbehandlinger.*

Behandling	PV 27.7, kg	TV27.7, g	TS 27.7, %	TV 9.9, g	TS 9.9, %	Ugras 9.9, g TS	PV 9.9, kg
Kontroll	6,02	0,18	19,8	3,81	21,5	2,42	6,03
Blautgjødsel lav	5,95	1,22	15,3	5,49	16,7	0,91	6,12
Blautgjødsel høy	6,45	0,70	15,4	9,12	23,9	1,13	6,31
Fiskeslam lav	5,90	0,21	16,5	3,23	15,8	0,88	5,97
Fiskeslam høy	6,22	0,02	16,9	1,72	13,3	0,15	6,50

De to leddene med husdyrgjødsel vokste best i dette forsøket. Tilførsel av slam ga mindre avling enn kontroll-leddet uten gjødsel. Dette skyldtes både at det var betydelig færre planter som spirte i slam-pottene, og at disse plantene fikk utsatt veksten slik at de var mindre ved avslutningen av forsøket, spesielt i leddet med høy mengde slam (Tabell 11). De plantene som spirte, viste tegn til å ha tatt opp betydelig med nitrogen, siden de hadde en kraftig, mørk grønnfarge (Figur 8).

*Tabell 10 Antall planter av raigras og ugras den 16. juli, 27. juli og 9. september 2012 i et potteforsøk med ulike gjødselbehandlinger, gjennomsnittsverdier for hver behandling. Sådato var 27. juni 2012, og det ble sådd 30 frø per potte.*

Behandling	Raigras 16.7	Raigras 27.7	Raigras 9.9	Ugras 16.7	Ugras 27.7
Kontroll	21,3	20	22,3	41,3	37,3
Blautgjødsel lav	21,7	19,3	22,3	33,3	28,3
Blautgjødsel høy	25,3	23,3	23,7	39,3	32,3
Fiskeslam lav	10	10	11,7	17	19,3
Fiskeslam høy	7	7,7	9,7	12,3	15

*Tabell 11 Maksimal plantehøyde for raigras (cm) ved ulike tidspunkt, målt som avstand fra jordoverflaten til høyeste bladspiss når lengste blad strekkes rett opp, og gjennomsnittlig plantevekt ved avslutning av forsøket (g) i et pottforsøk med ulike gjødselbehandlinger. Gjennomsnittsverdier for hver behandling.*

Behandling	Raigras 16.7	Raigras 27.7	Raigras 9.9	Gjennomsnittlig plantevekt 9.9, g
Kontroll	13,8	20,4	63,0	0,17
Blautgjødsel lav	20,5	35,1	75,9	0,25
Blautgjødsel høy	16,0	27,8	71,1	0,38
Fiskeslam lav	15,5	24,3	71,9	0,28
Fiskeslam høy	9,3	14,6	54,9	0,18

Det er kjent at høye konsentrasjoner av ammonium i jorda kan hemme spiring. I dette forsøket ville ammoniummengden blitt ca. 67 mg per 100 g jord ved lav, og 135 mg ved høy mengde slam forutsatt at slammet ble jevnt fordelt i all jorda. Med tilførsel av blautgjødsel ville konsentrasjonene ha blitt 48 eller 96 mg. Siden gjødsla ikke ble blandet jevnt inn, kan konsentrasjonen anslagsvis ha vært 2-3 ganger sterkere i området rett under der frøene lå. Årsaken til at ammonium hemmer spiring kan være at det dannes ammoniakk-gass ( $\text{NH}_3$ ) når ammonium brytes ned av enzymet urease, som finnes i jord (Bremner & Krogmeier 1989). Ammoniakken kan også hemme rotvekst, særlig på unge planter og er et problem når urea brukes til gjødsling ved risdyrking på tørr jord (Qi et al. 2012). Tilsvarende spirehemming som vi fant her er funnet i norske forsøk med tilførsel av kompostert matavfall (Sjursen 2003). Ved en ammoniumkonsentrasjon på ca. 250 mg per 100 g jord ble det sterkt redusert spiring av ugrasfrø, og det var særlig der forholdet mellom ammonium og nitrat var høyt at spirehemmingen var betydelig. Det er sannsynlig at ammoniakk-dannelse i jorda som ble tilført ferskt fiskeslam er årsaken til redusert spiring og vekst i pottene som fikk tilført slam. I kontroll-leddet og behandlingene med blautgjødsel avtok antall ugrasplanter noe fra 16. til 27. juli, antakelig grunnet økende konkurranse med raigraset. I pottene med slam var det derimot en svak økning, som kan tyde på at enkelte ugrasfrø begynte å spire etter at den verste ammoniakk-fordampningen var over. Det luktet tydelig av fisk av pottene de første ukene, men dette avtok betydelig i løpet av forsøket.

Siden ammonium-mengden var betydelig også i leddene med husdyrgjødsel uten at vi kunne se noen negativ effekt (like god spiring som i kontroll-leddet), er det mulig at det var et jevnere forhold mellom nitrat og ammonium i blautgjødsla som dempet eventuell avdamping av ammoniakk i disse pottene.

Tilførselen av N i dette forsøket kan synes uforholdsmessig sterk, men er lavere enn i sammenliknbare tidligere forsøk. Uhlig & Haugland (2007) tilførte 150-200 mg N per plante i form av fiskeslam til timotei som ble dyrket i veksttorv. I vårt forsøk var mengden ammonium-N målt per plante lavere enn 100 mg. Uhlig & Haugland brukte imidlertid ferdig spirte planter som ble plantet over i veksttorva. Spiring kan være en mer følsom prosess, og det kan ikke utelukkes at det kan ha manglet urease i veksttorva til å bryte ned ammonium til ammoniakk. Slammet kom rett fra anlegget, og var lagret i frossen tilstand helt fram til det ble tint og blandet inn i jorda.

Høyden på raigrasplantene, målt som avstand til spissen av lengste blad, viste ingen sammenheng med mengde produsert tørrstoff hverken 27. juli eller 9. september. Selv om denne målingen er enkel, gir den derfor lite mening hvis hensikten er å anslå forskjeller i vekst mellom ulike behandlinger uten å ødelegge plantene.

#### 4.3 Konklusjoner bruk av fiskeslam som plantegjødsel

Forsøket har vist at man må utvise forsiktighet med bruk av ferskvannsbasert fiskeslam til jordbruksvekster, men at slammet er næringsrikt og gjerne kan utnyttes som plantenæring. Slammet kan ikke erstatte husdyrgjødsel uten videre. Man bør måle innhold av tørrstoff, total-N og ammonium, gjødsle med lavere mengder enn man ville brukt med husdyrgjødsel til man blir kjent med virkninga, og gjerne blande gjødsla godt med vann eller harve den godt inn i jorda hvis den spres på pløyd jord. Brukt i rimelige mengder vil innblanding i jord antakelig dempe lukta fra slammet på kort tid, men dette bør undersøkes nærmere. Det er også nødvendig å avklare om det kan være smittefare til vassdrag ved bruk av fiskeslam i felt, og hvilke forholdsregler som eventuelt må tas for å unngå slik smitte.



*Figur 12 Pottene ved avslutningen av forsøket, 9.9.2012. Fra venstre: Potter med lav mengde blautgjødsel, høy mengde blautgjødsel, lav mengde fiskeslam, høy mengde fiskeslam, og kontroll-ledd uten gjødsel. Det var en dypere grønnfarge på raigraset i pottene med slam.*



## 5 Delmål 4: Workshop

I november 2012 ble en oppsummerende workshop arrangert på Smøla, med målsetning om å oppsummere prosjektaktiviteter i 2012 og etablere en kunnskapsplattform som skulle utgjøre grunnlag for et nytt industriprosjekt (vedlegg 1). Workshopen samlet 16 personer fra Nofima, Bioforsk, NIVA, Marine Harvest, Lerøy, Nekton AS / Smøla Klekkeri og settefiskanlegg og Sagafisk AS (vedlegg 2). Resultater fra de ulike arbeidspakkene ble presentert, og i etterkant publisert på oppdragsgivers webside ([www.smolaks.no](http://www.smolaks.no)). Konklusjonene fra workshopen var;

- Det er grunnlag for å gå videre med et hovedprosjekt for å undersøke mulighetene for biogassproduksjon med fiskeslam som substrat.
- Variasjon i slamproduksjon (mengde, kvalitet) i mellom settefiskanlegg kompetansekrevende drift og relativt store investeringskostnader i biogassanlegg fordrer en struktur hvor man må gjøre slammet mer lagringsstabil, slik at større biogassanlegg kan etableres i oppdrettstunge regioner. Lagringsstabil slam kan da lagres og transporteres til større biogassanlegg. Det kan være utfordrende å etablere lokale biogassanlegg basert på råstoff fra et eller noen få settefiskanlegg, i og med at risikoen for periodevis mangel av råstoff kan være høy.
- Følgende hovedpunkter for et hovedprosjekt ble uthevet;
  - o Grundigere estimat og analyse av slamproduksjon ved settefiskanlegg
  - o Slambehandling / tørking av slam / teknologi for å øke tørrstoffinnholdet for å stabilisere produktet i forkant av lagring
  - o Lagringsstabilitet og luktfjerning gjennom tilsetting av kalk
  - o Bruk av stabilisert slam som gjødsel
  - o Logistikk for effektiv utnyttelse av fiskeslam
  - o Hygieniske aspekter ved bruk av fiskeslam som gjødsel
  - o Utvidet forsøk med fiskeslam som substrat for biogassproduksjon

En søknad ble utviklet i løpet av 3 uker i november og levert innen fristen for industriprosjekter i regionalt forskningsfond 28.november.

Følgende institusjoner deltar i prosjektet: Smøla Klekkeri og Settefisk AS ([www.smolaks.no](http://www.smolaks.no)); Marine Harvest AS, Lingalaks AS, AS Sævareid Fiskeanlegg AS, Global Enviro AS, Nofima ([www.nofima.no](http://www.nofima.no)); Bioforsk Økologisk ([www.bioforsk.no](http://www.bioforsk.no)); Bioforsk Jord og miljø; Møreforsking Molde AS.

Prosjektgruppen består av følgende personer;

*MSc. Svein Martinsen* (Smøla Klekkeri og settefiskanlegg AS), prosjektleder, har bakgrunn fra NTNU Biologi og SINTEF. Martinsen har prosjekterfaring fra havbruksteknologi, med fokusområde på landbaserte oppdrettssystemer.

*Dr. Trine Ytrestøyl* (Nofima), teknisk prosjektleder, er forsker i faggruppe Ernæring og førteknologi, og jobber med problemstillinger knyttet til fôr, fôrmidler og ressursutnyttelse.

*Dr. Turid Synnøve Aas* (Nofima) er forsker i faggruppe Ernæring og førteknologi, og jobber med problemstillinger knyttet til fôr, fôrmidler, fordøyelighet av næringsstoffer og fysisk fôrkvalitet.

*Dr. Gerd Marit Berge* (Nofima) er forsker i faggruppe Ernæring og førteknologi, og jobber med problemstillinger knyttet til fôr, fôrmidler, fôrutnyttelse, i forskjellige arter, både i ferskvann og sjø.

*Dr. Ingvar Kvande* (Bioforsk Økologisk) har bakgrunn fra prosesskjemi ved NTNU og SINTEF og har spesielt erfaring med utvikling, planlegging, gjennomføring og evaluering av prosesser i pilot-skala). Kvande vil ha ansvar for AP 3.

*Dr. Anne-Kristin Løes* (Bioforsk Økologisk) har lang erfaring som forsker på gjødsling og plantekultur, og har deltatt i FoU-arbeid knyttet til biogassproduksjon i Tingvoll siden starten. Vil delta i prosjektet med planlegging og gjennomføring av forsøk.

*Dr. Trond Knapp Haraldsen* (Bioforsk Jord og miljø) har arbeidet med resirkulering av organisk avfall i en rekke brukerfinansierte prosjektet, der anvendelsene varierer fra gjødsel i økologisk landbruk til jordblandinger til grøntanlegg. Er også sterkt involvert i FoU på utnyttelse av treasker i CenBio og andre prosjekter med finansiering fra treforedlingsindustrien. Har gjennomført ulike prosjekter for Global Enviro siden 2008.

*Dr. Øystein Svalheim* (Bioforsk Jord og Miljø) har arbeidet med drift, prosess og veiledning av storskala biogassanlegg for matavfall, har hatt ansvar for forprosjektet Slam fra Fiskeoppdrett til Biogassproduksjon og har bidratt med rådgivning for biogassanlegg med bl.a. Fiskeensilasje.

*Dr. Ruth Gebauer* har doktorgrad fra NTNU hvor hun undersøkte anaerob utråtning med fiskeslam. Gebauer vil delta i planleggingen av testen i anlegget på Tingvoll og i vurderingen av resultatene.

*Dr. Alastair Ward* (Universitetet i Århus) og hans stab ved Aarhus universitet, Forskningscenter Foulum vil bidra i AP 3. Dr. Ward har utført en rekke potensialtester av husdyrgjødsel tilsatt ulike typer fiskeavfall i tidligere prosjekt, blant annet i forprosjektet til denne søknaden.

*Dr. Oddmund Oterhals* har doktorgrad i logistikkstyring fra NTH og er forskningsleder logistikk ved MFM, med allsidig erfaring fra logistikkforskning og næringsliv. Msc. Gabriele Hofinger Jünge har mastergrad i logistikk fra HIM og arbeidserfaring som ansvarlig for innkjøpslogistikk i BioMar.

*Dr. Anders Fjellheim*, har doktorgrad i biologi / akvakultur fra NTNU, og jobber som biologisk kontroller Ferskvann i Marine Harvest.

## 6 Vurdering av muligheter og behov for videre forskning

Slam fra landbaserte oppdrettsanlegg kan føre til lokal forurensing, men er også en verdifull ressurs som inneholder energi, nitrogen, fosfor og andre mineraler. Nye settefiskanlegg og eksisterende anlegg som ønsker å utvide kapasitet, møter krav om rensing fra Klima og forurensingsdirektoratet / Fylkesmannen. Innfrielse av pålagte rensekrav for fiskeslam vil medføre betydelige kostnader. Kostnader forbundet med fjerning av slam ligger i dag på rundt 1,20 – 1,50 kr pr kg slam (eks.transport). Det er derfor et stort behov for å utvikles kostnadseffektive løsninger som bidrar til utnytting av energi og næringsstoff i slammet. Tradisjonelt har slam blitt stabilisert og hygenisert med brent kalk for å redusere luktproblematikk og smittefare. Bruk av slam til biogassproduksjon (anaerob utråtning) alene eller i samråtning med husdyrgjødsel er en aktuell men lite undersøkt metode. Fiskeslam har høyt innhold av vann (80-95 %), så det er behov for å utvikle teknologi for avvanning av slammet, særlig med tanke på å redusere transportkostnader. Fiskeslam har et stort potensiale for biogassproduksjon, men inneholder komponenter som kan utløse negative effekter, både for gassproduksjon og gjødselkvalitet. Det bør gjennomføres videre undersøkelser for å optimalisere innblanding av fiskeslam i biogassanlegg for husdyrgjødsel, med tanke på høy og stabil gassproduksjon. Bioresten som er igjen etter biogassproduksjon inneholder også verdifulle komponenter for planteproduksjon og bør også testes som gjødselprodukt. Det trengs nærmere undersøkelser av hvordan bioresten (utråtnet fiskeslam) egner seg som gjødsel for jordbruksvekster, og hvordan materialet (ferskt eller utråtnet) kan bearbeides med tanke på å bli en mer balansert gjødsel med tanke på plantenes behov.

Slam fra settefiskanlegg inneholder næringsstoffer som kan utnyttes av planter, men det inneholder spirehemmende komponenter som bør undersøkes nærmere. Man bør måle innhold av tørrstoff, total-N og ammonium, ettersom høyt innhold av ammonium kan virke spirehemmende. Det er behov for å jobbe videre med bearbeiding av slam for å gjøre det mer optimalt som plantenæringsstoff samt å definere hvilke gjødslingsregimer som er optimale for ulike planteslag basert på slammets innhold av ulike mineraler. Fiskeslam inneholder mye nitrogen og fosfor, men mindre jern, kalium og magnesium sammenlignet med husdyrgjødsel. Tilsats av treaske kan være aktuelt for å øke innholdet av kalium og magnesium, og steinmel for å redusere luktproblemer.

Det er også nødvendig å avklare om det kan være smittefare til vassdrag ved bruk av fiskeslam i felt, og hvilke forholdsregler som eventuelt må tas for å unngå slik smitte.

## 7 Referanser

- Anderson, G.K., og Yang, G. 1992. Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration. *Water Environment Research* 64, 53.
- Braaten B, Lange G, Bergheim A., 2010. Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø. Rapport IRIS – 2010/134.
- Bremner, J. M. & Krogmeier M.J. 1989. Evidence that the adverse effect of urea fertilizer on seed germination in soil is due to ammonia formed through hydrolysis of urea by soil urease (biuret/phenylphosphorodiamidate). *Proc. Nall. Acad. Sci. USA* Vol. 86, pp. 8185-8188.
- Cripps, S., Bergheim, A., 2000. Solids management and removal for intensive landbased aquaculture production systems. *Aquaculture Engineering* 22: 33-56.
- Del Campo, M.L., Ibarra, P., Gutiérrez, X., Takle, H., 2010. Utilization of sludge from recirculation aquaculture systems. *NOFIMA rapport* 09/2010. 63s.
- FHL, 2011. Akvafakta Nr 1-2011  
([http://akvafakta.fhl.no/fhl\\_statistikk/SRL/2010/Akvafakta%2011-01.pdf](http://akvafakta.fhl.no/fhl_statistikk/SRL/2010/Akvafakta%2011-01.pdf))
- Gebauer,R., 2004. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production. *Bioresource technology* 93, 155-167.
- Gebauer,R., Eikebrokk,B, 2006. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. *Bioresource technology* 97, 2389-2401.
- Gjøsæter J, Otterå H, Slinde E, Nedreaas K, Ervik A, 2008. Effekter av spillfôr på marine organismer. In *Kyst og Havbruk* 2008, pp 52-55.
- Hillestad, M., Åsgård, T., Berge, G., 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture*. 179, 81-94.
- Koster,I.W., Cramer,A., 1987 Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long-chain fatty acids. *Applied Environmental Microbiology* 53(2), 403-409.
- Møller, H.B. og Ward, A. 2011 Modeling Volatile Fatty Acid Concentration in Livestock Manure–Based Anaerobic Digesters by Simple Titration. *Environmental engineering science*. 28, 7.
- Qi, X., Wu, W., Shah, F., Peng, S., Huang, J., Cui, K., Liu, H. & Nie. L. 2012. Ammonia Volatilization from Urea-Application Influenced Germination and Early Seedling Growth of Dry Direct-Seeded Rice. *The Scientific World Journal* Vol 2012 (2012), Article ID 857472, 7 pagesdoi:10.1100/2012/857472. Tilgjengelig på <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/857472/>.

- Raadal, H.L., Schakenda, V., Morken, J. 2008. Potensialstudie for biogass i Norge. Østfoldsforskning, rapportnr 21.08. 52s.
- Salazar, F.J., Saldana, R.C., 2007. Characterisation of manures from fish cage farming in Chile. Bioresource technology 98, 3322-3327.
- Schnürer, Anna og Jarvis, Åsa. 2010. Microbiological Handbook for Biogas Plants. Swedish Waste Management U2009:03. Swedish Gas Centre Report 207. Malmö : Avfall Sverige og Svenskt Gastekniskt Center AB, 2010.
- Sjursen, H. 2003. Delrapport: Spirehemmende virkning av slam og kompost på ugrasfrø og ugrasrøtter. Vedlegg 3 til Sluttrapport for ORIO-prosjektet "Slam og kompost til grøntanlegg". Tilgjengelig på [https://www.google.no/#hl=no&tbo=d&scient=psy-ab&q=sjursen+2003+spirehemming&oq=sjursen+2003+spirehemming&gs\\_l=serp.3...7932.12713.0.13004.25.22.0.0.0.0.752.4623.0j8j3j3j2j0j1.17.0...0.0...1c.1.cUe06GQBmek&pbx=1&bav=on.2,or.r\\_gc.r\\_pw.r\\_qf.&fp=9b18fc35459190e0&biw=1280&bih=878](https://www.google.no/#hl=no&tbo=d&scient=psy-ab&q=sjursen+2003+spirehemming&oq=sjursen+2003+spirehemming&gs_l=serp.3...7932.12713.0.13004.25.22.0.0.0.0.752.4623.0j8j3j3j2j0j1.17.0...0.0...1c.1.cUe06GQBmek&pbx=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.r_qf.&fp=9b18fc35459190e0&biw=1280&bih=878)
- Svalheim, Ø., Solli, L., 2012. Slam fra fiskeoppdrett til biogassproduksjon. Bioforsk Rapport Vol.7 No.110.
- Vinci, B.J., Summerfelt, S.t., Creaser, D.a., Gillette, K., 2004. Design of partial reuse systems at White River NFH for the production of Atlantic salmon smolt for restoration stocking. Aquaculture Engineering 32: 225 – 243.
- Ward, A. 2012. Biogas potential of soapstock and bleaching earth. DCA- Danish Centre for Food and Agriculture, Aarhus University, Denmark. DCA Report no 004, 2012.
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S., Berge, G.M., Hatlen, B., Sørensen, M., Ruyter, B., Thomassen, M., Hognes, E.S., Ziegler, F., Sund, V., Åsgård, T. 2011. Resource utilisation and eco-efficiency of Norwegian salmon farming in 2012. Nofima report nr 53 2011.

# Vedlegg 1. Agenda, workshop på Smøla, 01.11.12



## WORKSHOP «SLAMUTNYTTELSE FRA SETTEFISKANLEGG»

**Smøla, 1.november 2012**

Smøla Klekkeri og settefiskanlegg inviterer til workshop vedrørende utnyttelse av slam fra settefiskanlegg. Workshopen er en avslutning på forprosjektet «Utnyttelse av slam fra Akvakultur i biogassproduksjon, teknologi og muligheter (Forprosjekt - RFFMIDT), prosjektnummer 217409. Workshopen avholdes ved Hopen Brygge ([www.hopen-brygge.no](http://www.hopen-brygge.no)).

Formålet med workshopen er;

- Presentere resultater fra forprosjektene for biogass samt delaktiviteten aquaponics (skattefunnprosjekt).
- Vurdere om vi skal lage en søknad til årets utlysning i Regionalt forskningsfond Midt-Norge, hva blir innhold og omfang i denne søknaden, og hvilke partnere skal være med i et konsortium.

### Program for dagen:

**08.00** Avreise til Smøla med hurtigbåt for de som kommer via Kristiansund.

**08.40** Ankomst Edøy, transport til Smøla Klekkeri og settefiskanlegg (ca 35min).

**09.20** Omvisning ved anlegget

**10.30** Transport til Hopen Brygge

**11:00 Svein Martinsen, Smøla Klekkeri og settefiskanlegg AS / Nekton AS;**

Hva er formålet med dette prosjektet / hvorfor gjør vi dette?

**11.30 Ingvar Kvande, Bioforsk;**

Småskala produksjon av biorest for gjødslingsforsøk fra fiskeslam og husdyrgjødsel.

**12:00** Lunsj ved Hopen Brygge

**12:45 Dr Anne-Kristin Løes, Bioforsk;**

Biorest fra samråtning av husdyrgjødsel og fiskeslam som gjødsel.

**13:10 Dr Ruth Gebauer;**

Bruk av slam fra fiskeoppdrettsanlegg til biogassproduksjon.

**13.30 Dr Gerd Marit Berge, Nofima;**

Næringssaltinnhold i slam fra settefiskanlegg.

**14:00 Susanne Friis Pedersen, Bioforsk;**

Aquaponics – dyrking av grønnsaker fra næringsrikt avløpsvann.

**14:20 Morten Holvik, Biopower Norge;**

Teknologi for produksjon av biogass

**14:40 Dr. Anders Fjellheim, Marine Harvest**

Hva gjør Marine Harvest med slam fra sine settefiskanlegg?

**15:00** Konstruktivt arbeid – hva skal søknaden inneholde?

**18:30** Avreise til Edøy

**19:20** Hurtigbåt Edøy – Kr.sund

Smøla Klekkeri og settefiskanlegg AS ønsker dere velkommen til workshop på Smøla, og ser fram til en spennende utvikling av anvendelsesmetoder for restprodukter fra settefiskanlegg.

## **Vedlegg 2. Deltagerliste Workshop Smøla, 01.11.12**

### **Deltagere Workshop 01.11.2012 Smøla**

1 Svein Martinsen	Nekton AS
2 Maria Sørøy	Nekton AS
3 Mikal Eines	Nekton AS
4 Anne Kristine Løes	Bioforsk
5 Ingvar Kvande	Bioforsk
6 Susanne Friis Pedersen	Bioforsk
7 Trine Ytrestøyl	NOFIMA
8 Gerd Marit Berge	NOFIMA
9 Anders Fjellheim	Marine Harvest
10 Erik Skårild	Lerøy Midt
11 Erik Daaland	Lerøy Midt
12 Ole Erik Hess Erga	NIVA
13 Morten Holvik	Biopower Norge
14 Ruth Gebauer	
15 Turid Synnøve Aas	Nofima
16 Ove Ormbostad	Sagafisk AS

