

Bioforsk Rapport

Bioforsk Report

Vol. 9 Nr. 27 2014

Fiskeslam frå oppdrettsanlegg

Gjødsel til planter eller råstoff for biogass?

Eivind Vangdal, Kristin Kvamm-Lichtenfeld, Roald Sørheim og Øystein Svalheim

Bioforsk Ullensvang

www.bioforsk.no



Innholdsfortegnelse

1. Sammendrag	3
2. Innledning.....	4
2.1 Bakgrunn.....	4
2.2 Analyser av ubehandlet og tørket slam	5
2.3 Konklusjon	8
3. Fiskeslam som gjødsel.....	9
3.1 Gjødsling av jord til jordbær dyrking	9
3.1.1 Gjødsling med fiskeslam.....	9
3.1.2 Konklusjon.....	14
3.1.3 Gjødsling med tørket fiskeslam.....	16
3.1.4 Konklusjon.....	18
3.2 Gjødsling av jord i eng og frukthage	19
3.2.1 Gjødsel til eng.....	19
3.2.2 Konklusjon.....	22
3.2.3 Gjødsling av jord i frukthagen	22
3.2.4 Konklusjon.....	23
4. Biogass fra fiskeslam	24
4.1 Bakgrunn.....	24
4.2 utfordringer knyttet til anaerob behandling av slam fra oppdrettsanlegg.....	25
4.2.1 Salt i råstoffet	25
4.2.2 Protein.....	25
4.2.3 Andre utfordringer	26
4.3 Estimert biogassutbytte fra oppdrettsslam.....	27
4.4 Konklusjon	28
4.5 Referanser.....	28
5. Sammendrag	29
5.1 Kilder	30

1. Sammendrag

Lift Up og Lingalaks i samarbeid med Bioforsk og NIFES gjennomførte forprosjektet Grønlaks. Fiskeslam samlet opp under merder i oppdrettsanlegg ble prøvd innblandet i vekstmedium for planter. Resultatene var positive.

Lift Up og Lingalaks har nå gjennomført prosjektet «Full skala system for slamoppsamling – oppdrett». Et delprosjekt gjennomført av Bioforsk, har hatt som formål å finne slammets verdi som gjødsel og/eller biogass, og identifisere mulige partnere og konsepter for videre slambehandling.

Analyser av slam og tørket slam (snus) viser at det i dette prosjektet ikke ble funnet innhold av tungmetaller som vil legge restriksjoner på bruken som gjødsel i landbruket (kapittel 2). På grunn av slakting midt i prosjektperioden på den ene lokaliteten og utsetting av ny fisk på den andre lokaliteten med slamoppsamlingsutstyr, har det ikke vært mulig å få en sammenhengende analyseserie gjennom året og stadiene i omløpet fra ung fisk til slakteferdig fisk.

Fiskeslam ble etter oppsamling transportert til Bioforsk Ullensvang for å prøves i dyrkingsforsøk med jordbær, plommer og graseng. I forsøket har ulike vekster fått behandling med ubehandlet slam, fortynnet slam, tørket slam og slam blandet i torv. Resultatene viser at råvaren inneholder næringsstoffer (m.a. nitrogen) som er tilgjengelig for plantene som gjødsel. Fiskeslam inneholder klor, men det er ikke påvist veksthemming eller synlige skader av dette (kapittel 3).

I Kapittel 4 er det gjort en vurdering av slam fra marint fiskeoppdrett som råstoff for biogassanlegg. Konklusjonen er at det er godt egnet. Utfordringer kan være vann- og saltinnholdet. Næringsstoffene som finnes i slammet fra oppdrettsanlegg vil i sin helhet finnes igjen i bioresten som er vist å ha tilsvarende gjødseleffekt som husdyrgjødsel når samme mengde nitrogen doseres.

Biogassanlegg knyttet til enkelte oppdrettsanlegg vurderes som mindre aktuelt fordi slike anlegg vil ha for store etablerings- og driftskostnader og samtidig gi begrenset energiutbytte. Det anbefales i stedet å vurdere mulighetene for å behandle slammet sammen med andre avfallsfraksjoner, evt i allerede etablerte eller planlagte anlegg.

2. Innledning

2.1 Bakgrunn

Slam (marin feces) forestiller en stor utfordring for bærekraftig produksjon og godt omdømme for norsk laksenæring. Slamansamling under oppdrettslokalitetene har i de senere årene ført til betydelige diskusjoner. I IRIS sin rapport 2010/134 om "Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett til sjø" konkluderes det med "Det finnes i dag tilgjengelig teknologi som ved videre utvikling/optimalisering i stor grad synes å kunne løse de miljømessige hovedproblemene knyttet til matfiskproduksjon i åpne merder, men et hovedproblem vil være knyttet til kostnadmessig konkurransevne".



Et mulig bruksområdet for slam kunne tenkes som gjødsel i landbruket. I forsøket har ulike vekster fått behandling med ubehandlet slam, fortynnet slam, tørket slam og slam blandet i torv.

Ved siden av en god sammensetning av viktige makro- og mikronæringsstoffer er det viktig at slammet ikke inneholder store mengder tungmetaller. Tabell 1 gir en oversikt over kvalitetsklassene i dyrket jord.

Tabell 1. Oversikt over maksimalverdier av ulike tungmetaller i dyrket jord for de ulike kvalitetsklassene. [1]

Kvalitetsklasser:	0	I	II	III
	-----mg/kg tørrstoff-----			
Kadmium (Cd)	0,4	0,8	2	5
Bly (Pb)	40	60	80	200
Kvikksølv (Hg)	0,2	0,6	3	5
Nikkel (Ni)	20	30	50	80
Sink (Zn)	150	400	800	1500
Kobber (Cu)	50	150	650	1000
Krom (Cr)	50	60	100	150

2.2 Analyser av ubehandlet og tørket slam

Slamprøvene som ble analysert viser lave konsentrasjoner for de ulike tungmetallene. Slammet kan kvalifiseres under klasse 0 og ved bruk som gjødsel vil det trolig ikke oppstå en fare for å øke tungmetallinnholdet i jorden på et nivå over klasse 0. Det finnes ingen begrensninger i bruk før klasse I (40 tonn TS/ha i en 10-års periode). Imidlertid kan det tenkes at hyppig og langvarig gjødsling med slam (>8t TS /ha og år) kan tilføre jorden tungmetaller til et uønsket høyt nivå. Ved slik eksessiv bruk av slam på dyrket mark vil det også kunne oppstå andre problemer.

Fiskeslammet i forsøket stammer fra samme merd utenfor Tveitnes i Kvam. Et parti ble tørket til ca 70% TS (som kaffebrut eller snus). Innholdet av tungmetaller varierer mellom «snus» og slammet, selv om verdiene ligger under maksimalverdiene for klasse 0. Bort sett fra verdien for sink (Zn) er alle verdier lavere for «snus». Årsaken kan ligge i at fiskeslammet ble samlet opp over en lengre periode, mens slammet til «snus» ble samlet opp på under en dag. Fiskene er aktive til ulike tider om dagen og dette kan påvirke avfallsstoffene og deres sammensetning i merden. Det kan også tenkes at tørkeprosessen påvirker slamkvaliteten. Hvor vidt begge punktene påvirker slamkvaliteten bør imidlertid undersøkes nærmere.

Tabell 2: Analyseresultatet for tørket og ubehandlet fiskeslam for tungmetaller og ulike mikronæringsstoffer i (TS).

Behandling	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Cr	B	Mn	As	Hg
-----mg/kg tørrstoff-----										
tørket	0,17	<1	2	113	11	2	na	na	<1	0,01
Eng fiskeslam	0,02	12	10	41	26	13	15	260	3	na
Frukthage fiskeslam	0,13	14	10	48	32	17	20	250	3	na

na = ikke analysert

Fiskeslammet har, sammenlignet med storfe- og bløtgjødsel et svært lavt NPK-innhold (Tabell 3). Innholdet på kalsium (Ca), magnesium (Mg) og natrium (Na) er sammenlignet også betraktelig lavere. Innholdet på aluminium (Al) og jern (Fe) i fiskeslammet er imidlertid veldig høy. Slam vil dermed være en viktig kilde til Fe i dyrkingssystemer der dette næringsstoffet er i underskudd. På grunn av det høye Al-innholdet bør en være forsiktig med å gjødsle jord med lav pH (< pH 5,0) med fiskeslam for ikke å få for høye Al³⁺ konsentrasjoner i jorden. Dette kan hemme P- og Ca- opptaket og skade røttene [2].

Verdiene for P, K, Ca, Mg og Na i tørket slam ligger over verdiene i fiskeslammet. «Snusen» i forsøket har vært en særlig bra kilde for fosfor. Verdien la til og med over verdien for storfe- og bløtgjødsel (tabell 3). Ca- og Mg- verdiene for tørket slam ligger på omtrent samme nivå som for de mer vanlige organiske gjødsel. Na-verdien var imidlertid betraktelig større, muligens fordi saltet i slammet overveiende var NaCl. Klorid-innholdet i det tørkede slammet er vurdert som ikke betenkelig høyt, men langtidseffekter kan ikke utelukkes.

Tabell 3: Analyseresultatet for ulike mikro- og makronæringsstoffer for tørket og ubehandlet fiskeslam som inngikk i forsøket. Det er i tillegg vist innholdet av næringsstoffene for to vanlige organiske gjødsel.

Behandling	Total tørrstoff %	Kjeldahl-N	P-AL	K-AL	Ca-AL	Mg-AL	Na-AL	S	Al	Fe	Klorid
		-----g/100 g TS-----						-----mg/kg TS-----		g/kg TS	
Tørket slam ^a	76	na	1,03	0,91	1,5	0,87	5,4	na	na	na	76 ^{*d}
Fiskeslam til eng	98	0.2	0.01	0.01	0.1	0.03	<0,005	250	7200 ^{*d}	12000	na
Fiskeslam til frukthage	97	0.3	0.01	0.02	0.1	0.01	<0,005	300	9400 ^{*d}	15000	na
Storfegjødsel ^{*b}	18	2,7	0,8	2,6	1,5	0,5	0,2	400	na	na ^e	na
Bløtgjødsel ^{*c}	7,5	4,2	0,8	4,5	1,6	0,7	0,3	500	na	na	na

* [3]

^{a)} pH=5,3

^{b)} Fast storfegjødsel fra økologisk drift

^{c)} Bløtgjødsel fra økologisk drift

^{d)} i grisetang hentet opp i juni finner en 1090 mg Al/kg TS og 26 g klor/kg TS

^{e)} en blanding på svine-, heste- og sauegjødsel inneholder omtrent 5000 mgFe/kg TS[4]

na= ikke analysert

Sammenfattende ser det ikke ut til å være betenkelig å gjødsle med fiskeslam eller tørket slam så lenge en ha kontroll over pH-verdien i jorden grunnet den høye Al-konsentrasjonen i slammet. Slam kan være en viktig kilde til jern, men har ellers en relativ lav gjødselverdi sammenlignet med f.eks. storfe- eller bløtgjødsel. «Snus» ser ut til å ha en bedre gjødselverdi, særlig for fosfor.

I Tabell 4 er det sammenfattet normalverdier, og kritiske verdier for tungmetaller i plantemateriale. Verdiene er senere brukt til å vurdere innhold av tungmetallene i bladanalysene.

Tabell 4: Kritiske konsentrasjoner av tungmetaller i plantemateriale.[5]

tungmetall	normal i planter ^a	kritisk for plantevekst ^b	kritisk som dyrefor ^c
-----mg/kg TS-----			
As	< 0,1 - 5	10 - 20	> 50
Cd	< 0,1 - 1	5 - 10	0,5 - 1
Cr	< 0,1 - 1	1 - 2	50 - 3000
Cu	3 - 15	15 - 20	30 - 100
Hg	< 0,1 - 0,5	0,5 - 1	> 1
Ni	0,1 - 5	20 - 30	50 - 60
Pb	1 - 5	10 - 20	10 - 30
Zn	15 - 150	150 - 200	300 - 1000

a) sterkt avhengig av type jord, utgangsmaterial og art, alder og del av planten

b) verdi som hemmer veksten av sensitive plantearter

c) ulike husdyr

2.3 Konklusjon

Sammenfattet ser det ikke ut til å være betenkelig å gjødsle med ubehandlet eller tørket fiskeslam

3. Fiskeslam som gjødsel

3.1 Gjødsling av jord til jordbær dyrking

3.1.1 Gjødsling med fiskeslam

Jordbærplantene ble dyrket i potte, med tre planter per potte og tre potter per behandling. Til sammen ble det ni gjentak per behandling. Den 8.mai 2013 ble fiskeslammet fra Lingalaks/Liftup laget. I forsøket var blandingsforholdene som følgende: Basis + 10 % fiskeslam; Basis + 5 % fiskeslam; Basis + 2.5 % fiskeslam. Gjødslet torv, blandet med vann og perlite ble brukt som basis og representerer kontrollen. I tillegg til fiskeslam ble basisen blandet med ulike mengder kalksalpeter: Basis + 7.5 g kalksalpeter; Basis + 12.5 g kalksalpeter.

Plantene ble dyrket i klimaskap under kontrollerte forhold (tabell 5). Før planting ble ledningsevne (EC) og pH verdien til de ulike torvblandingene målt (tabell 6). Det er tydelig at slam påvirket pH-verdien til basisblandingen mindre enn gjødsling med kalksalpeter. Ledningsevnen viser normale verdier.

Tabell 5: Vekstforhold for jordbærplantene i klimaskap.

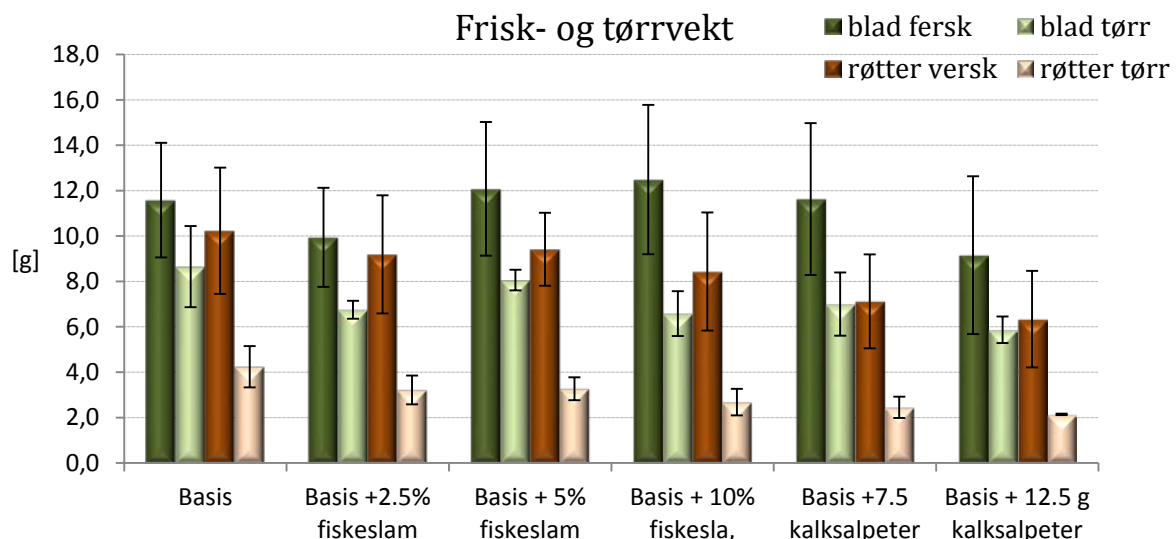
	Tidsrom	Temperatur	rH %
Dag	08:00-22:00	17	80
Natt	22:00-08:00	12	70

Tabell 6: EC og pH verdier for de ulike torvblandingene før planting.

Ledd	EC	pH
Basisblanding	2,3	5,760
10 % fiskeslam	7,8	5,609
5 % fiskeslam	5,3	5,627
2,5 % fiskeslam	4,2	5,676
7,5 g kalksalpeter	4,0	5,502
12,5 g kalksalpeter	5,0	5,422

Den 29.juli 2013 ble plantene veid. Før veiing ble disse tatt ut av pottene, skylt og deretter lagt til tørk i en time ved romtemperatur.

Gjennomsnittlig ferskvekt av blad og røtter var henholdsvis 11,1 g og 8,5 g. Gjennomsnittlig tørrvekt var henholdsvis 7,2 g og 3,0 g. Figur 1 viser de enkelte resultatene. Rotveksten så ut til å avta ved gjødsling med både fiskeslam og kalksalpeter. Imidlertid ble det bare påvises en statistisk signifikant forskjell mellom basis behandlingen og kalksalpeter behandlingene ($p < 0,02$) av de ferske og likeså av de tørkede røttene. Behandlingene med fiskeslam viste ingen signifikant forskjell for friskvekt sammenlignet med basisbehandlingen. Fiskeslam så dermed ut til ikke å ha noe negativ påvirkning på rotveksten, mens gjødsling med 7,5g og 12,5 g kalksalpeter blandet i torv hemmet rotveksten. For bladveksten ble det ikke funnet noe signifikant forskjell mellom behandlingene, hverken for fersk- eller tørrvekt.



Figur 1: Gjennomsnittlig friskvekt for blad og røtter av 9 jordbærplanter etter ulike gjødselbehandling. Resultatene er angitt med standardavvik.

Ved hjelp av fersk- og tørrvekt ble tørrstoffprosenten regnet ut. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller for tørrstoffprosenten, hverken i bladene eller røttene. Dermed kan det utelukkes at vektforskjellen i rotmassen er forårsaket av ulike vanninnhold.

Sammenfattende vil det ikke gjøre noe signifikant forskjell for veksten etter en sesong om man planter jordbær i torv eller en torv fiskeslam blanding. Imidlertid vil en torv kalksalpeterblanding gi en svakere rotvekst sammenlignet med kontrollen. Selv om

bladveksten ikke blir signifikant påvirket vil det kunne oppstå en skjevhet mellom blad og rotvekst. For å kunne si noe om næringsopptaket ble både de ulike torvblandingene og jordbærplantene analysert hos Eurofins.

For tungmetallene kadmium (Cd), bly (Pb), kvikksølv (Hg), sink (Zn) og kobber (Cu) (tabell 7) ligger verdiene i basis og 5 % slam- blandingen under grenseverdien for kvalitetsklasse 0 (se tabell 2).

Tabell 7: Oversikt over ulike tungmetaller i de ulike torvblandingene.

Behandling	Hg	Zn	Mo	Cd	Cu	Pb
-----mg/kg TS-----						
basis	0,014	<77	6	na	Na	na
5 % slam	0,016	<75	6	0,1	37	4,4

na= ikke analysert

pH-verdien steg gjennom vekstperioden om gjennomsnittlig 0,7 enheter (tabell 8) og ligger i pH-optimalområdet for jordbær. Verdiene for P, K, Ca og Mg ligger flere ganger over de angitte optimalverdiene [6]. Sammenlignet med basisblandingen økte NPK-verdien noe ved tilførsel av slam. Likeså økte Al-verdien. Dermed kan det antas at gjødsling med slam vil øke Al-innholdet i jorden dersom dens konsentrasjon i slammet er høy (se tabell 3). Gjødsling med kalksalpeter førte til et noe høyere nitrogeninnholdet. Forskjellen ligger i nitratkonsentrasjonen som varierer med omtrent ti ganger mellom slam og kalksalpeter gjødslet jord. Den høye nitratkonsentrasjonen i med kalksalpeter gjødslet jord vil føre til en høyere konsentrasjon av organiske syrer i plantene dyrket i denne jorden [2].

Tabell 8: Oversikt over ulike makronæringsstoffer og total tørrstoffinnhold i de ulike torvblandingene.

Behandling	Total tørrstoff	pH	Kjeldahl-N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁻ -N	P-AL	K-AL	Ca-AL	Mg-AL	Na-AL
%		-----g/100 g TS-----								
Optimum*		5,5-6,5				0,005-0,01	0,015-0,025	0,1-0,2	0,008-0,01	
basis	20	na	0,6	na	na	0,08	0,18	1,1	0,06	0,03
10%slam	19	6,3	0,7	0,03	0,04	na	na	na	na	na
5%slam	20		0,8	na	na	0,13	0,21	1,2	0,01	0,14
2,5% slam	18	6,5	0,7	0,02	0,06	na	na	na	na	na
7,5g kalksalpeter	14	6,1	1,1	0,24	0,08	na	na	na	na	na

* [6]

na=ikke analysert

N-innholdet fordelte seg omtrent jevnt mellom blad og røtter, men var i begge plantedeler signifikant høyere for kalksalpeter behandlingene, mens det ikke kunne påvises signifikante forskjeller mellom kontrollen og behandlingene med fiskeslam (tabell 9). Resultatet stemmer overens med det høyere N-innholdet funnet i kalksalpeter-torvblandingene (se tabell 8). Den gode tilgangen til N som førte til verdier over optimalen forklarer muligens også den noe svakere rotveksten som ble observert i disse behandlingene (se figur 1). P- og K-verdiene varierte ikke signifikant mellom behandlingene. K akkumulertes imidlertid signifikant sterkere i bladene. Innholdet av begge makronæringsstoffene la over optimalområdet. Dette samsvarer med deres høye innhold i de analyserte torvblandingene (se tabell 8). Det samme gjelder innhold av Ca og Mg. Begge næringsstoffene ser ut til å konsentrere seg i bladene. Behandling med 10 % fiskeslam og begge kalksalpeterbehandlingene førte til signifikant høyere Ca- og Mg-verdier sammenlignet med kontrollen, og 2,5 % fiskeslam for Ca.

Na-innholdet steg signifikant for gjødsling med 5 % og 10 % fiskeslam i både blad og røtter. Verdien for 10 % fiskeslam er også signifikant høyere enn for 5 % fiskeslam. Na-innholdet kan knyttes til saltinnholdet i fiskeslammet. Dette tyder på at gjødsling med minst 5 % fiskeslam økte saltinnholdet i jorden. S-innholdet var signifikant høyere i kalksalpeterbehandlingene enn for kontrollen og gjødsling med 2,5 % og 5 % fiskeslam.

Tabell 9: Oversikt over makronæringsstoffer i jordbærplantene for de ulike behandlingene.

prøve	N		P		K		Ca		Mg		Na		S		
	% TS														
	1,8-2		0,2-0,3		1,2-1,8		1-1,5		0,2-0,3						
blad	Optimum*	1,8-2		0,2-0,3		1,2-1,8		1-1,5		0,2-0,3					
	basis	1,50	acd	0,43	ab	2,70	b	1,60	ce	0,33	cf	0,02	a	0,16	a
	2,5% slam	1,64	bce	0,45	ab	2,70	b	1,73	de	0,36	def	0,07	ad	0,15	a
	5%slam	1,74	ce	0,44	ab	2,60	b	1,83	eg	0,38	ef	0,16	ef	0,16	ab
	10%slam	2,20	e	0,49	ab	3,20	b	1,87	eg	0,41	f	0,28	g	0,20	ad
	7,5g kalksalpeter	3,09	f	0,53	b	2,67	b	1,93	fg	0,40	f	0,03	ab	0,22	bd
	12,5 g kalksalpeter	3,41	f	0,54	b	2,70	b	2,07	g	0,39	f	0,04	de	0,24	cd
	***		ns		ns		**		***		***		***		
rot	basis	0,93	a	0,37	a	1,30	a	1,20	ab	0,19	a	0,03	ab	0,19	ab
	2,5% slam	1,06	ab	0,44	ab	1,73	a	1,10	a	0,24	ab	0,10	cde	0,18	ab
	5%slam	1,10	ac	0,38	a	1,50	a	1,10	a	0,26	ac	0,20	f	0,18	ab
	10%slam	1,22	acd	0,39	a	1,50	a	1,37	ac	0,28	bcd	0,41	h	0,20	ad
	7,5g kalksalpeter	1,88	de	0,39	a	1,60	a	1,43	bc	0,35	cf	0,09	bd	0,26	d
	12,5 g kalksalpeter	2,21	e	0,40	ab	1,70	a	1,50	cd	0,31	bcd	0,10	ad	0,26	d
		***	***	ns	**	ns	***	**	***	**	***	***	***	***	***

* [6]; full utviklede blader i blomstringstiden fra midten av planten

Dataene ble analysert med enveis variansanalyse (ANOVA), både inn i gruppene for blad- og rotanalyse og for begge gruppene samlet. Forskjeller innen gruppene (blad og rot) er vist under tall-kolonnene. Forskjellige bokstaver indikerer forskjellige tallverdi i hele datasettet ut fra en post hoc comparison test (Tukey's HSD). Følgende signifikansnivå ble brukt: 'ns' not significant, '**' $P \leq 0.050$, '***' $P \leq 0.01$ og '****' $P \leq 0.001$.

Alle behandlingene, inklusive kontrollen viste Mn-verdier som la flere ganger over optimalområdet (tabell 10). Store mengder Mn vil være skadelig for plantene dersom disse vokser i jord med lav pH [7]. Mellom behandlingene var det ingen signifikant forskjell for Mn i bladene. Mn-verdien i røttene var lavere enn i bladene og var høyest for gjødsling med 7,5 g og 12,5 g kalksalpeter, sammenlignet med kontrollen. Behandling med 12,5 g kalksalpeter ga også en signifikant høyere Mn-verdi enn behandling med fiskeslam.

Cu-verdien i røttene la signifikant høyere enn i bladene der verdiene la over optimalområdet. Cu-verdien i både bladene og røttene varierte imidlertid ikke signifikant mellom behandlingene. Dermed foreligger det ingen grunn til å tro at de høye Cu-verdiene er forårsaket av Cu-innholdet i fiskeslam.

Zn fordelte seg omtrent jevnt i jordbærplantene, med signifikant høyere verdier for gjødsling med 10 % fiskeslam. B-verdiene varierer ikke signifikant mellom kontrollen og fiskeslambehandlingene for både blad og røtter, men variasjonen mellom disse behandlingene og kalksalpeter-gjødsling er signifikant. 12,5 g kalksalpeter ga også

signifikant høyere B-verdier enn gjødsling med 7,5 g kalksalpeter i begge plantedeler.

Verdiene for begge behandlingene ligger over optimalområdet.

Fe- og Al-innholdet varierer signifikant mellom blad og røtter, men er ikke signifikant forskjellig i bladene for de ulike behandlingene. Al-innholdet i røttene varierer likeså ikke signifikant, mens gjødsling med 2,5 % fiskeslam ga signifikant lavere Fe-verdier enn gjødsling med 12,5 g kalksalpeter. Verdiene i behandlingene var ikke signifikant forskjellige fra kontrollbehandlingen.

Tabell 10: Oversikt over noen tungmetaller og mikronæringsstoffer i jordbærplantene for de ulike behandlingene.

prøve	Mn		Cu		Zn		B		Fe		Al		
	mg/kg TS												
Optimum*	40-100		5-15		20-70		30-70						
blad	basis	403,3	e	34,3	a	45,3	a	46,3	abc	81,3	a	24,7	a
	2,5% slam	386,7	e	33,0	a	50,3	a	50,3	ad	79,3	a	22,0	a
	5%slam	333,3	de	36,7	a	52,0	a	58,0	cd	75,7	a	25,3	a
	10%slam	363,3	e	31,0	a	71,0	ab	56,7	bd	73,7	a	21,3	a
	7,5g kalksalpeter	383,3	e	27,3	a	51,0	a	170,0	e	92,3	a	30,0	a
	12,5 g kalksalpeter	390,0	e	26,3	a	50,3	a	266,7	f	97,0	a	26,0	a
		ns		ns		**		***		*		ns	
rot	basis	111,3	ab	127,0	b	40,7	a	14,7	a	363,3	bd	130,0	b
	2,5% slam	113,7	ab	110,0	b	52,0	a	18,3	a	290,0	b	111,7	b
	5%slam	82,7	a	110,0	b	49,3	a	20,3	ab	313,3	bc	131,0	b
	10%slam	126,0	ab	100,7	b	84,0	b	23,0	abc	356,7	bd	126,7	b
	7,5g kalksalpeter	196,7	bc	141,0	b	51,0	a	50,0	ad	383,3	cd	146,7	b
	12,5 g kalksalpeter	236,7	cd	95,3	b	52,0	a	84,0	d	433,3	d	146,7	b
		**	***	ns	***	*	**	***	***	**	***	ns	***

* [6]; full utviklede blader i blomstringstiden fra midten av planten

Dataene ble analysert med enveis variansanalyse (ANOVA). Forskjeller innen gruppene (blad og rot) er vist under tallkolonnene. Forskjellige bokstaver indikerer forskjellige tallverdi i hele datasettet ut fra en post hoc comparison test (Tukey's HSD). Følgende signifikansnivå ble brukt: 'ns' not significant, '*' $P \leq 0.050$, '**' $P \leq 0.01$ og '**'' $P \leq 0.001$.

3.1.2 Konklusjon

- **Sammenfattet tyder resultatene på at gjødsling med kalksalpeter øker plantenes innhold på nitrogen, bor og svovel, sammenlignet med kontrollen og gjødsling med fiskeslam. Det høye N-innholdet i plantene samsvarer med den høye konsentrasjonen av N i vekstmediet til kalksalpeterbehandlingen. Den svakere rotveksten i disse behandlingene kan forklares med den rikelige N-tilgangen.**

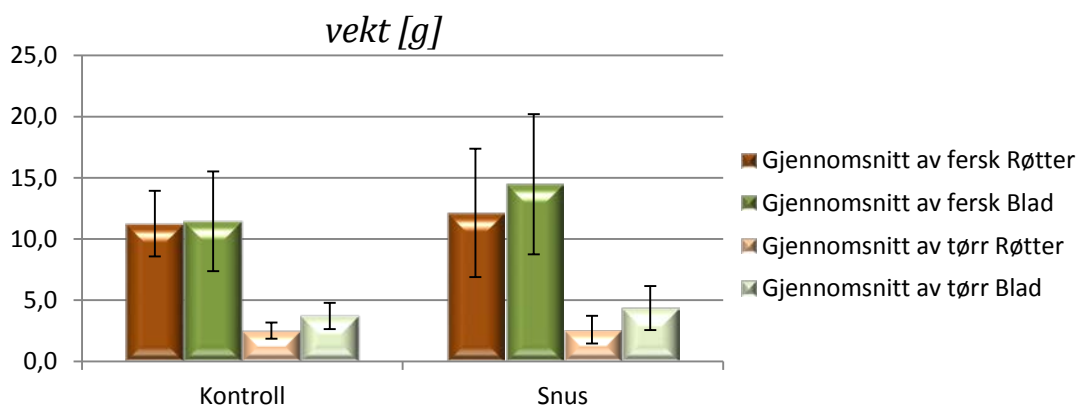
- **Generelt var innholdet på NPK, K, Ca, Mg, Mn og Cu for høyt i bladene av alle behandlinger.**
- **Fiskeslam ga økt Na- innhold i plantene, som kan tyde på økt salttilførsel til jorden i behandlingene med 5 % og 10 % fiskeslam. Også Zn-innholdet økte signifikant ved gjødsling med 10 % fiskeslam. Veksten av planten så imidlertid ikke ut til å være negativ påvirket av dette.**
- **I hvor stor grad de ulike behandlingene påvirker avling og fruktkvalitet kan det imidlertid ikke sies noe om i dette forsøket.**

3.1.3 Gjødsling med tørket fiskeslam



Tørket fiskeslam er kalt snus (uten sammenligning med annen snus). Hvorvidt tørkeprosessen påvirker slammets gjødselegenskaper er imidlertid uklart. I forsøket ble jordbærplanter plantet i vanlig jord versus jord tilsatt tørket slam. Det var fem gjentak per prøve.

Figur 2 viser fersk- og tørrvekt til «snus»-behandlede jordbærplanter, sammenlignet med kontrollen. Det kunne ikke påvises statistiske forskjeller mellom tørket fiskeslam og kontroll. Det tørkede fiskeslammet har dermed ikke signifikant påvirket veksten til jordbærplantene.



Figur 2: Gjennomsnitt av vekt for både ferske og tørkede røtter og blad. Resultatene er angitt med standardavvik.

Jordbærplantene ble tørket og bladene ble sendt til eurofins for bladanalyse (tabell 11 og 12). Nitrogeninnholdet i både kontroll- og snusjord la under den anbefalte optimalverdien [6]. Verdiene for de øvrige makronæringsstoffene viste ingen store avvik fra optimalområdene. Verdiene i tabell 9 varierte lite mellom kontroll og «snus», med unntak for Na innholdet som var dobbelt så høyt i «snus»-bladene. Dette er i overenstemmelse med de høye Na-verdiene fra jordanalysen (se tabell 3). Gjødsling med tørket slam tilførte dermed ikke bare jorden større mengder Na, men også plantene som vokser i slik jord. De ellers små variasjonene mellom behandlingene var i overenstemmelse med resultatene fra figur 2. Det ble ikke funnet noe signifikante forskjeller mellom verdiene for kontroll og tørket slam i tabell 11.

Tabell 11: Oversikt over makronæringsstoffer i «snus»- behandlede jordbærplanter.

Behandling	N	P	K	Ca	Mg	Na
	-----%TS-----					
Optimum*	1,8-2,0	0,2-0,3	1,2-1,8	1,0-1,5	0,2-0,3	
Kontroll	0,9	0,2	1,6	1,6	0,2	<0,015
Vokst med tørket slam	0,8	0,2	1,7	1,5	0,3	0,03

* [6]

Det ble ikke påvist noe signifikant forskjell mellom verdiene for ulike tungmetaller og mikronæringsstoffer. Manganverdiene (Mn) for både kontroll og tørket slam lå imidlertid langt over optimalområdet for jordbærplanter. Store mengder Mn vil være skadelig for plantene dersom disse vokser i jord med lav pH [7]. Kobberverdiene for begge behandlingene la noe under optimalområdet, mens sinkverdiene la i nederste delen av optimalområdet. Verdiene for de ulike tungmetaller ligger under de for planter kritiske verdiene (se tabell 4).

Bladanalysene viste en akseptabel, men ikke optimal næringsstatus, særlig for N- og Mn-innholdet. Gjødsling med tørket slam hadde ingen negative effekter på plantenes næringsstatus.

Tabell 12: Oversikt over ulike tungmetaller og mikronæringsstoffer i jordbærplanter som har vokst i torv med eller uten tilsetning av tørket slam.

Behandling	Cu	Zn	Ni	Al	Mn	Fe	Pb	Cr
	-----mg/kg TS-----							
Optimum*	7-15	20-70			40-100			

Kontroll	4,7	25	<1,2	56	320	100	<0,6	<0,3
Med tørket slam	6,4	28	2,7	55	188	103	<0,6	<0,4

*[2]

3.1.4 Konklusjon

- **Bladanalysene viste en akseptabel, men ikke optimal næringsstatus**
- **Gjødsling med tørket slam hadde ingen negative effekter på plantenes næringsstatus.**
- **Verdiene for de ulike tungmetaller ligger under de for planter kritiske verdiene**

3.2 Gjødsling av jord i eng og frukthage

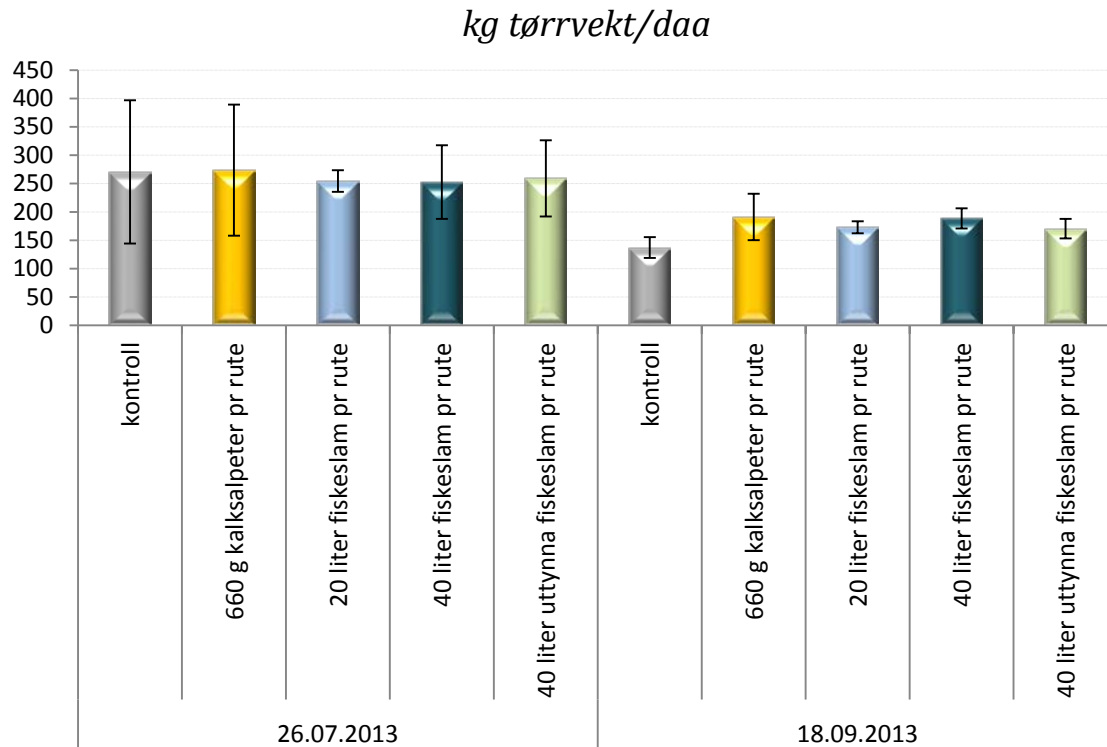
3.2.1 Gjødsling til eng

En eng ble gjødslet med ulike mengder fiskeslam og uttynnet fiskeslam fra Lingalaks/Liftup i tillegg til gjødsling med handelsgjødsel (kalksalpeter). Ved å sammenligne avling og næringsstatus i rutene som fikk slam, mineralgjødsling og ubehandlede ruter ble verdien av fiskeslammet som gjødsling vurdert. Rutene var 12 m² store.

I vekstsesongen ble gresset slått to ganger. Avlingen ble vegd, tørket ved 60 °C over helgen og vegd igjen. Ved hjelp av tørrstoffprosenten ble en gjennomsnittlig avling i kg tørrvekt/daa for begge slåttene og alle behandlingene regnet ut (figur 3). Det er ikke påvist noe signifikant forskjell for kg tørrvekt/ daa for den første slåttene. Gresset vokste dermed omtrent like mye uansett behandling. I andre slåttene vokste gresset gjødslet med 40 l fiskeslam per rute signifikant bedre enn kontrollen ($p < 0,04$). Også gjødsling med 660g kalksalpeter ga signifikant bedre vekst enn kontrollen ($p < 0,04$). Gjødsling med 20 l fiskeslam per rute og 40 l uttynna fiskeslam per rute viste ingen signifikant forskjell i vekst fra kontrollbehandlingen. Summene av avlingsmengdene varierte ikke signifikant fra hverandre.

Sammenfattende har dermed gjødsling med 40 l fiskeslam og 660 g kalksalpeter per rute gitt den signifikant beste avlingen i andre slåttene, mens det summert for hele avlingsperioden ikke kunne påvises signifikante forskjeller.

Kalksalpeter inneholder 15,5% nitrogen. 660 g kalksalpeter pr rute (12 m²) tilsvarer 8,5 kg N pr da. 40 liter fiskeslam pr rute tilsvarer 3,33 tonn pr da. Hvis vi sier at dette gir lik avling, kan vi anslå at slammet inneholder 2,5 kg plantetilgjengelig nitrogen pr tonn. Vanlig gjødsling til eng er gjerne 12 kg N til førsteslåttene pluss 8 kg N til andreslåttene.



Figur 3: Gjennomsnittlig tørrvekt i kg/daa for de ulike behandlingene ved to ulike datoer. Resultatene er angitt med standardavvik.

Analyseresultatene for grasprøvene viser at bladene i alle behandlingene hadde en nitrogenverdi som lå under optimalområdet (tabell 13). Verdiene i begge slåttene varierer ikke signifikant. Andre slåttene som ble gjødslet med 40 l slam hadde den høyeste N-verdien. Dette kan forklare den signifikant bedre veksten for denne behandlingen i andre slåttene. Både P-, Ca- og Mg- verdiene lå i optimalområdet for disse næringsstoffene og verdiene varierte ikke signifikant mellom verdiene i begge slått. Verdiene for kalium ligger for alle behandlingene over optimalområdet og er ikke signifikant forskjellige for slåttene. I første slått ble det funnet at en behandling med 40 l fiskeslam førte til en signifikant høyere S- og Na-verdi i bladene enn behandlingen med kalksalpeter. Na-verdien fra 40 l slam- behandlingen er også signifikant større enn verdien fra kontrollen.

Sammenfattende har hverken slam- eller kalkgjødsling ført til en signifikant forskjell i makronæringsstoffinnholdet fra kontrollen, med unntak for Na- innholdet. Sammenlignet med de lave Na-verdiene i selve slamprøven (se tabell 3) overrasker dette.

Tabell 13: Oversikt over ulike makronæringsstoffer i grasprøvene for de ulike behandlingene.

gjødsel per rute		N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		----- [%TS] -----						
Optimum*		2,6-4,0	0,35-0,6	2,0-3,0	0,6-1,2	0,2-0,6		
26.07.2013	kontroll	1,98	0,40	3,30	0,91	0,33	0,21	0,02
	40 l slam	2,24	0,44	4,05	0,92	0,35	0,24	0,06
	20 l slam	2,26	0,38	3,35	0,72	0,27	0,19	0,04
	660 g kalksalpeter	2,40	0,38	3,83	0,78	0,37	0,17	0,02
	40 l uttynna slam	2,12	0,42	3,70	0,83	0,30	0,21	0,03
		ns	ns	ns	ns	ns	*	**
18.09.2013	kontroll	2,26	0,51	3,78	0,89	0,37	0,26	0,02
	40 liter slam	2,49	0,54	4,30	0,78	0,36	0,25	0,05
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*[2]; ulike eng-grasarter, verdier av overjordiske plantedeler ved blomstringsstart, 1.slått

Dataene ble analysert med en enveis variansanalyse (ANOVA).

Følgende signifikansnivå ble brukt: 'ns' not significant, '*' P≤0.050, '**' P≤0.01 og '***' P≤ 0.001.

Verdiene for Cu, Zn og Mn ligger i optimalområdet for disse næringsstoffene i gress (tabell 14). Gjødsling med 40 l fiskeslam ga signifikant høyere Cu-verdien enn gjødsling med kalksalpeter og 20 l fiskeslam. For Zn og Mn ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller. Selv om Al- og Fe-innholdet i slamprøven var stor, påvirket ikke det innholdet av disse mineralene i gressprøvene signifikant. Tvert imot var Al- innholdet i andre slåttene signifikant lavere for gjødsling med 20 l slam sammenlignet med kontrollen. Sammenlignet med bladanalysen for «snus»-behandlingen var Al-verdiene høyere. Gjødsling med 40 l slam ga omtrent dobbelt så høye verdien for Al enn gjødsling med tørket slam. Verdiene for bor (B) la, med unntak for gjødsling med 20 l slam over optimalområdet. Verdien for kalksalpeter fra 26.07.13 var signifikant høyere enn de øvrige verdiene fra samme slått. Verdiene for de ulike tungmetaller ligger under de for planter kritiske verdiene (se tabell 4).

Tabell 14: Oversikt over ulike tungmetaller og mikronæringsstoffer i grasprøvene for de ulike behandlingene.

gjødsel per rute		Cu	Zn	Al	Cd	Fe	Mn	B	Pb	Ni	Cr
		----- [mg/kg TS] -----									
Optimum*		5-12	20-70				35-100	6-12			
26.07.2013	kontroll	10	39	131	0,07	183	67	14	0,7	2,6	0,3
	40 l slam	11	41	81	0,08	119	76	14	0,6	1,2	0,3
	20 l slam	9	32	80	0,06	104	61	11	0,6	1,2	0,3
	660 g kalksalpeter	9	29	78	0,08	108	36	25	0,6	2,0	0,4
	40 l uttynna slam	9	35	108	0,07	150	71	13	0,6	1,2	0,3
			*	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
18.09.2013	kontroll	12	44	380	0,09	552	90	15	0,6	1,2	0,6
	40 l slam	11	38	106	0,07	153	67	15	0,7	1,4	0,3
			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*[2]; ulike eng-grasarter, verdier av overjordiske plantedeler ved blomstringsstart, 1.slått
Dataene ble analysert med en enveis variansanalyse (ANOVA).

Følgende signifikansnivå ble brukt: 'ns' not significant, '*' $P \leq 0.050$, '**' $P \leq 0.01$ og '***' $P \leq 0.001$.

3.2.2 Konklusjon

- **Slammet inneholder 2,5 kg plantetilgjengelig nitrogen pr tonn**
- **Verdiene for de ulike tungmetaller ligger under de for planter kritiske verdiene**

3.2.3 Gjødsling av jord i frukthagen

Et plommefelt med sorten 'Valor' ble gjødslet med ulike mengder fiskeslam fra Lingalaks/Liftup i tillegg til uttynnet slam og en generell grunnjødsling med handelsgjødsel. Det ble målt verdien av fiskeslam som gjødsel ved å sammenlikne næringsstatus i de ulike behandlingene. Det var fire gjentak à to trær per behandling.

Mellom verdiene i tabell 15 for de ulike makronæringsstoffene ble det ikke funnet signifikante avvik. Dermed varierer innholdet av disse makronæringsstoffene ikke signifikant mellom kontrollen og behandlingene. Gjødsling med slam i dette forsøket ble vurdert til ikke å ha noe stor effekt på Na-, og dermed saltinnholdet i jorden.

NPK-verdiene ligger innenfor optimalområdet for næringsstoffene. Ca-verdiene for de ulike gjødslingene med slam ligger noe under optimum. Mg-verdiene i alle behandlingene ligger ved den nederste grensen av optimalområdet.

Tabell 15: Oversikt over ulike makronæringsstoffer i bladene for de ulike behandlingene.

gjødning per tre	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
	-----%TS-----						
Optimum*	2,2-3,2	0,18-0,35	1,5-3,0	1,5-2,5	0,3-0,6		
kontroll	2,7	0,2	2,5	1,9	0,3	0,21	<0,015
330 g kalksalpeter	2,7	0,2	2,1	1,7	0,3	0,19	<0,015
10 l slam	2,9	0,2	2,2	1,3	0,3	0,19	<0,015
20 l slam	3,1	0,2	2,3	1,4	0,3	0,20	<0,015
20 l uttynna slam	2,9	0,2	2,1	1,3	0,3	0,20	<0,015
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*[2]; blad fra ettårige skudd midten av treet, samlet i august

Dataene ble analysert med en enveis variansanalyse (ANOVA).

Følgende signifikansnivå ble brukt: 'ns' not significant, '*' $P \leq 0.050$, '**' $P \leq 0.01$ og '***' $P \leq 0.001$.

Det ble ikke påvist signifikante forskjeller mellom kontrollen og de ulike behandlingene for tungmetallene og mikronæringsstoffene i tabell 16, med unntak for bor. Gjødning med kalksalpeter førte til signifikant høyere B-verdien sammenlignet med gjødning med 20 l fiskeslam og uttynnet fiskeslam. Imidlertid varierte ingen av verdiene til behandlingene fra verdien til kontrollbehandlingen. B-verdiene ligger noe under optimalområdet. Verdiene for Cu, Zn og Mn ligger i optimalområdet for disse mikronæringsstoffene. Verdiene for de ulike tungmetaller ligger under de for planter kritiske verdiene (se tabell 4).

Tabell 16: Oversikt over ulike tungmetaller i bladene for behandlingene.

gjødning per tre	Cu	Zn	Al	Cd	Fe	Mn	B	Pb	Ni	Cr
	-----mg/kg TS-----									
Optimum*	5-12	20-50				25-100	30-60			
kontroll	9,0	39	43	0,02	57	43	26	<0,57	<1,2	<0,35
330 g kalksalpeter	7,9	35	43		137	49	29			
10 l slam	8,4	31	31		64	48	24			
20 l slam	9,2	30	64	0,07	54	56	24	<0,56	<1,2	<0,34
20 l uttynna slam	8,8	33	32		134	61	23			
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*			

*[2]; blad fra ettårige skudd midten av treet, samlet i august

Dataene ble analysert med en enveis variansanalyse (ANOVA).

Følgende signifikansnivå ble brukt: 'ns' not significant, '*' $P \leq 0.050$, '**' $P \leq 0.01$ og '***' $P \leq 0.001$.

3.2.4 Konklusjon

- **Slamtilførsel har ført til økning i innholdet av flere viktige næringsemner, men utslagene er ikke statistisk sikre.**
- **Verdiene for de ulike tungmetaller ligger under de for planter kritiske verdiene**

4. Biogass fra fiskeslam

4.1 Bakgrunn

Biogassprosessen er en mikrobiologisk prosess hvor organisk materiale omdannes til en blanding av ikke-vannløselig metan (CH_4) og karbondioksid (CO_2) i fravær av oksygen. Husdyrgjødsel og organisk avfall med et høyt vanninnhold som for eksempel fiskeslam, matavfall, avfall fra næringsmiddelindustri, vekstresten fra landbruket og en del energivekster er godt egnet som substrat for biogassproduksjon.

Omdanningen av organisk materiale til metan skjer i flere trinn, og hvert av trinnene i prosessen skjer i samarbeid mellom mange forskjellige mikroorganismer. Ved ubalanse mellom de trinnene vil man det kunne akkumuleres stoffer hemme biogassproduksjonen. Ubalanse kan skyldes brå temperaturendringer, for rask innmating, feil sammensetning av råstoffer inn i reaktoren m.m. Balansert innmating og riktig sammensetning av råstoff kan dermed ha stor effekt på biogassprosessens utbytte og effektivitet.

Biogass kan produseres ved anaerob utråtning av de fleste organiske råstoff. En av de viktigste kildene til Biogass i naturen er drøvtyggers vom. Dette har i mange år blitt utnyttet ved å samle opp biogassen i gjødsellagre. I dag er bruk av husdyrgjødsel til biogass utbredt i mange land, og i Europa særlig i Tyskland og Danmark. Teknologien har utviklet seg mye de seneste 10-20 årene og man bruker i dag spesialbygde reaktorer der innmating av husdyrgjødsel er automatisert og der produksjonen kan styres elektronisk basert på kontinuerlig overvåking av prosessen.

I fiskeoppdrett produseres et avfallsslam som inneholder feces fra fisken og noe uspist fiskefôr. Slikt oppdrettsslam vil kunne brukes som råstoff for biogassproduksjon og gi høyere biogassutbytte enn bare husdyrgjødsel. Oppdrettsslammet er i dag et forurensingsproblem i norsk fiskeoppdrett. Oppdrett i lukkede anlegg med oppsamling av slam vil produsere mye oppdrettsslam som kan behandles i biogassanlegg for gjenvinning av energi og næringsalter.

Metan utgjør vanligvis mer enn 50% av biogassen og resten er for det meste CO_2 . I tillegg inneholder gassen nitrogen, ammoniakk (NH_3) og hydrogensulfid (H_2S). Når energien i biogassen skal utnyttes vil det for ulike anvendelser stilles ulike krav til kvalitet og renhet. Om det er nok metan i gassen og den samtidig har et begrenset innhold av NH_3 og H_2S kan den brukes til å drive biogass-tilpassede dieselmotorer. Om slike brukes til å generere elektrisk strøm vil ca 1/3 av energien kunne nyttes som strøm, men resten omgjøres til varme. Biogass til vanlige kjøretøy krever kostbar oppgradering av gassen. Andre anvendelser for bedre utnyttelse av energien på krever nærmere undersøkelser.

Biorest. Den gjenværende væsken etter biogassprosessen kalles biorest. Den organiske fraksjonen i råstoffet være omdannet til metan og CO_2 -gass, og bioresten vil dermed ha en høyere konsentrasjon av mineraliserte næringsalter enn utgangspunktet. Alle næringsstoffer tas vare på i bioresten og den er god gjødsel som i forsøk gjennomført i Bioforsk vist å kunne ha gjødselverdi tilsvarende fullgjødsel når det gjødsles like store doser nitrogen. Innblanding av andre råstoffer enn husdyrgjødsel i reaktoren, såkalte tilleggs-substrater vil bidra til å øke biogass-utbyttet, men vil også kunne øke næringsinnholdet i bioresten. Næringsalter fra bioresten kan brukes til vanlig landbruksproduksjon eller til algeproduksjon.

Norsk akvakultur er i dag dominert av lakseproduksjon i åpne merder i sjøen. Denne produksjonsformen er under press fra flere kanter på grunn av miljøproblemer. Oppdrett i åpne merder i sjøen gir bl a. forspill og fekalier som ikke samles opp, men sedimenterer, enten rett under anleggene eller i tilgrensende fjordområder (Braathen, et al. 2010). Slike sedimenter og næringsalter fra oppdrettsproduksjonen over tid kunne forurense fjordene. Det er et ønske fra næringen, miljømyndigheter og miljøorganisasjoner om å finne alternative produksjonsformer som kan redusere forurensingen, rømmingsfaren, sjukdomspresset og lakselusproblemene. Slike alternativer vil kunne innebære oppsamling av sediment, enten fra landbasert produksjon eller fra sjøbaserte, lukkede anlegg med oppsamling av slam fra fekalier og fôrrester.

Biogassteknologi for utnyttelse av energien i organiske avfallsfraksjoner og gjødsel er kommersielt tilgjengelig, og biogass ansees å være blant de mest energieffektive og miljøvennlige formene for biodrivstoff.

Slam fra fiskeoppdrett har til nå ikke vært utnyttet som biogassråstoff. Den viktigste årsaken til dette er at slammet kun er blitt samlet opp fra landbasert produksjon. Volummessig gir dette i dag ubetydelige mengder slam fra hvert anlegg og mengdene er for små til at anaerob utrånning (biogassbehandling) har blitt ansett som aktuelt.

Ved siden av at ubehandlet slam inneholder lett nedbrytbart organisk materiale og kan frigi vesentlige mengder plantenæringsstoffer til vannresipienter, har slammet sterk ubehagelig lukt. Slammet fra produksjon av fisk i sjøvann vil dessuten inneholde salt, som kan hemme biogassprosessen og som kan ødelegge for bruk av biorest som gjødsel.

Slam fra oppdrett av fisk i lukkede sjøvannsanlegg er et avfall med høyt innhold av organisk materiale som gjør det forbudt å deponere slammet. Oppsamlet slam kan komposteres, eller alternativt behandles i et biogassanlegg som omdanner mye av energien i slammet til biogass og tar vare på næringsstoffene på en måte som gjør at de kan anvendes som gjødsel for planter. At organisk avfall som er sedimentert på havbunnen kan brytes ned uten oksygen og gi biogass har vært kjent i lang tid. Bruk av slammet som råstoff for biogassproduksjon i anaerobe reaktorer er imidlertid ikke beskrevet av så mange. Det er tidligere utført forsøk på anaerob utrånning av slam fra smoltproduksjon i fersk- og brakkvann og fra matfiskanlegg (anlegg for produksjon av laks fra smolt til slakting) for laks i sjø (Gebauer, 1998). Konklusjonen fra arbeidet var at det er mulig å få biogass av slammet, men metan-utbyttet i studien kom ikke over 40% av det teoretiske utbyttet. Andre har senere presentert forsøk med slam fra oppdrett, men det er kun en håndfull arbeider totalt (Mirzoyan, et al 2008; Tal et al, 2009; Svalheim og Solli, 2012).

4.2 utfordringer knyttet til anaerob behandling av slam fra oppdrettsanlegg

4.2.1 Salt i råstoffet

Slam fra oppdrett av marine eller anadrome arter i sjøvann inneholder salt, dvs Na⁺, Cl⁻, Ca⁺⁺, K⁺, Mg⁺⁺, SO₄²⁻ og andre ioner. Havvann regnes å ha ca 34 g salt pr liter.

Det er kjent at saltet kan virke hemmende på metanproduksjonen. De ionene i saltet som kan hemme metanogesen er særlig Na⁺ og Cl⁻. Dersom innholdet av organisk karbon i substratet ikke er høyt nok kan også sulfid som produseres ved reduksjon av SO₄²⁻ i fravær av oksygen hemme metanproduksjonen. Det forekommer likevel en betydelig metanproduksjon også i marine sedimenter forutsatt at COD/SO₄²⁻ > 10 (Se f.eks. Sowers, et al 2002).

Mye salt vil hemme metanproduksjonen, men graden av hemming avhenger også av hvor inokulum er hentet. I Gebauers arbeid (2004) så hun inhibering av prosessen ved Na⁺ konsentrasjon på 10 - 10,5 g/l, mens Na⁺ kons på 5,6 g/l ikke hemmet biogassproduksjonen. Summerer vi Na⁺ og Cl⁻ konsentrasjonene i slammet kommer vi til ca 34 g/l. Dette er vanlig saltholdighet i oseanisk havvann (http://oceanplasma.org/documents/chemistry.html#Salts__Ions). Forholdet mellom sulfat og karbon i substratet er viktig for hvilke prosesser som går i et marint miljø - Sulfatreduksjon eller Metanproduksjon. Man antar generelt (Tal et al., 2009) at et COD/SO₄²⁻ (målt i g/l) forhold >10 vil eliminere den inhiberende effekten av H₂S som produseres av sulfatreduserende bakterier har på metanogesen.

4.2.2 Protein

Nitrogen fra protein i råstoffet vil, ved anaerob nedbryting, reduseres til ammonium og ammoniakk. Ved bruk av råstoffer med høy andel protein vil faren for ammoniumhemming av metanproduksjonen øke. Det er den uladde NH₃ formen som er giftig og forekomsten av denne avhenger av konsentrasjonen av totalt ammoniumnitrogen (NH₃ + NH₄⁺), temperatur og pH. Lav temperatur gir lavt NH₃/NH₄⁺ forhold og det samme gjør lav pH.

Metanproduserende kulturer kan akklimatiseres til høye konsentrasjoner av fri ammoniakk. Inhibering av metanproduksjonen med NH₃ viser seg ved en gradvis avtakende gassproduksjon ettersom NH₃ konsentrasjonen øker. Man vil ved økende innmating i reaktoren kanskje se økt

gassproduksjon en stund, men den vil være lavere enn den ville vært uten inhibering. Slik hemming kan påvises bl.a. ved at konsentrasjoner av frie fettsyrer som eddik- og propionsyre øker.

Oppdrettsfôret som brukes vil inneholde mye fett og protein, men også noe karbohydrat. Sistnevnte er tungt fordøyelig for fisken og er der først og fremst som bindemiddel. Fekaliene vil derfor inneholde en større andel karbohydrat enn fôret.

4.2.3 Andre utfordringer

4.2.3.1 Biorestkvalitet

Bioresten er det produktet man sitter igjen med etter at man har hentet ut biogassen av det organiske råstoffet i et biogassanlegg. Den inneholder tungt nedbrytbart organisk materiale som fiber og noen proteiner og næringssalter. Dette gjør biorest interessant som gjødsel til planteproduksjon. Saltinnholdet må imidlertid ikke være for høyt og den må ikke inneholde tungmetaller, smittestoffer eller andre miljøgifter i mengder som overstiger grensene gitt i gjødselvarerforskriften.

4.2.3.2 Salt

Ubearbeidet slam med mye salt er gjerne dårlig egnet som gjødsel. I noen områder med mye nedbør kan noe salt tolereres ettersom nedbør eller vanning forventes å gi utvasking av saltet. I tørrere områder med mye avdamping vil selv moderat saltinnhold i gjødsla være svært skadelig for planteproduksjonen.

For å redusere saltinnholdet i bioresten fra anaerob utråtning av oppdrettsslam kan man for eksempel filtrere og eller sentrifugere oppdrettsslamm og dermed øke tørrstoffinnholdet i innkommende råstoff til biogassanlegget så mye som mulig. Ved avvanning med sentrifuge til en TS på ca 30 % og påfølgende fortykning med ferskvann i biogassreaktoren kan man oppnå en effektiv reduksjon av saltinnholdet.

4.2.3.3 Vann

Biorest med høyt vanninnhold er kostbar å transportere til bruker. Det foregår utviklingsarbeid for å øke konsentrasjonen av næringsstoffer i bioresten, men foreløpig er dette økonomisk tilfredsstillende løsninger.

4.2.3.4 Innhold av miljøskadelige stoffer

Høye konsentrasjoner av medisinerester og miljøgifter i slamm vil kunne påvirke biogassprosessen og kan dessuten påvirke biorest-kvaliteten og avgjøre om man må betale for avhending av bioresten eller om man kan bruke den som gjødsel.

Innholdet av miljøskadelige stoffer som f.eks tungmetaller vil ikke øke dersom slamm føres gjennom en biogassreaktor. Imidlertid vil konsentrasjonen i forhold til mengde tørrstoff øke som følge av at det opprinnelige tilstedeværende tørrstoffet for en stor del omdannes til biogass. Bruken av slik biorest vil uansett måtte skje i tråd med gjeldende lover og forskrifter. For tiden gjelder gjødselvarerforskriften: FOR-2003-07-04-951.

4.3 Estimert biogassutbytte fra oppdrettsslam

Sammensetningen og biogasspotensialet i slam fra fiskeoppdrett vil variere. Svalheim og Solli (2012) har imidlertid estimert biogassutbytte fra slam hentet fra sjøvannsanlegg til å være 516,5 L metan per kg organisk materiale i slammet (se tabell nedenfor).

Teoretisk gassutbytte fra slam fra sjøvannsanlegg:

1 kg VS Næringsstoff i slam	Gram per kg VS	Biogasspotensiale liter CH ₄ / g næringsstoff	Liter CH ₄ fra næringsstoff i 1 kg VS fra slam
Protein i slam	290	0,53	153,7
Fett i slam	150	1,00	150,0
Karbohydrat i slam	560	0,38	212,8
Totalt i slam fra sjøvannsanlegg	1000	-	516,5

Det er estimert (Svalheim og Solli, 2012) at Norges samlede lakseproduksjon på 1 million tonn laks ville kunne gi 70 - 190 mill. m³ CH₄.

Estimert teoretisk energiutbytte fra denne gassen vil, med 10,4 kWh energi/m³ CH₄, være 728 - 1976 mill kWh, eller 0,7-2,0 TWh energi dersom alt slammet lot seg samle opp og behandle i gode biogassanlegg som kunne hente ut hele potensialet.

Estimert energiutbytte fra alt norsk oppdrettsslam:
Dersom alt slam fra dagens norske oppdrettsproduksjon på 1 mill tonn laks/år kunne samles og brukes til produksjon av Biogass ville det kunne gitt 70 - 190 mill. m³ CH₄. Eller ca 0,7-2 TWh energi

Basert på tallene som er presentert av Svalheim og Solli (2012) kan det anslås teoretisk gassutbytte fra slam fra Lingalaks. Innholdet av tørrstoff og organisk materiale er verdier som er analysert i mottatte slamprøver som også ble benyttet i gjødslingsforsøk.

	Tørrstoff	Volatile solids (organisk mat.)	m ³ metan/ tonn slam	kWh/tonn slam
Slam	12 %	65 %		
Tørket slam	75 %	78 %		
per tonn slam	120 kg	78 kg	41	422
per tonn tørket slam	750	585	304	3 164

Et tonn slam med tilsvarende sammensetning som det Bioforsk har mottatt i dette prosjektet vil kunne gi en metanmengde som inneholder tilsvarende 422 kWh. Det tørkede slammet vil på tilsvarende måte kunne gi 3,164 MWh. Merk at dersom metanen benyttes som råvare for elektrisitetsproduksjon i en CHP (Combined heat and power generator) vil elektrisitetsutbytte bare være ca 1/3 av energiinnholdet. Resten omdannes i det vesentligste til varme.

Om et tonn tørket slam benyttes til biogassproduksjon vil det altså kunne gi ca 300 m³ metan. Det er anslått at en buss som drives av gass vil bruke 0,55 S m³ per km. Et tonn tørket slam vil således kunne drive en buss bortimot 550 km, men det forutsetter rensing og komprimering av gassen.

4.4 Konklusjon

Slam fra marint fiskeoppdrett synes godt egnet til bruk som råstoff for biogassanlegg. Utfordringer kan være vann- og saltinnholdet.

Næringsstoffene som finnes i slammet fra oppdrettsanlegg vil i sin helhet finnes igjen i bioresten som er vist å ha tilsvarende gjødseleffekt som husdyrgjødsel når samme mengde nitrogen doseres.

Biogassanlegg knyttet til enkelte oppdrettsanlegg vurderes som mindre aktuelt fordi slike anlegg vil ha for store etablerings- og driftskostnader og samtidig gi begrenset energiutbytte. Det anbefales i stedet å vurdere mulighetene for å behandle slammet sammen med andre avfallsfraksjoner, evt i allerede etablerte eller planlagte anlegg.

Det bør gjennomføres praktiske undersøkelser med blandinger av andre substrater (f.eks. avløpslam eller husdyrgjødsel) før eventuelt etablering av fullskala anlegg etableres.

4.5 Referanser

Braaten, Bjørn, Lange, Guttorm og Bergheim, Asbjørn. 2010. Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett til sjø. Stavanger : IRIS , 2010. Oppdrag fra KLIF. oppdragsgiver, KLIF. TA 2749.

Gebauer, Ruth. 1998. Anaerobic digestion of fish farming sludge ISBN: 8247103613. Trondheim : NTNU, Institutt for vassbygging , 1998.

Gebauer, Ruth og Eikebrokk, Bjørnar. 2006. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. Bioresource Technology. 97, 2006, ss. 2389-2401.

Hulshoff Pol, Look W., et al. 1998. Anaerobic treatment of sulfate rich wastewaters. Biodegradation. 9, 1998, ss. 213-224.

Mirzoyan, Natella, et al. 2008. Quality of brackish aquaculture sudge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Aquaculture. 279, 2008, ss. 35-41.

Svalheim, Øystein og Solli, Linn. 2012. Slam fra fiskeoppdrett til biogassproduksjon. Bioforsk Rapport 110/2012.

Tal, Yossi og Sowers, Kevin R. 2008. Methods for the conversion of fish waste from aquaculture systems to methane via a modified UASB reactor. WO 2008/131403 A1 US, 30 oktober 2008.

Tal, Yossi, et al. 2009. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. Aquaculture. 286, 2009.

5. Sammendrag

Det ser ikke ut til å være betenkelig å bruke både slam (rå utørket eller tørket) som gjødsel med tanke på tungmetallinnholdet. Verdiene ligger innenfor klasse 0. dermed finnes det ingen begrensninger for hvor mye materiale man kan tilføre jorden. I forsøkene har gjødsling med slam eller snus ikke påvirket jordens eller plantenes innhold av tungmetaller negativt.

På grunn av lave NPK-verdier kan fiskeslam ikke erstatte vanlig NPK-gjødsel, men kan være en basis sammen med for eks. nitrogengjødsel (kalksalpeter o.l.). Det tørkede slammet ser derimot ut til å være en god kilde til fosfor, sammenlignet med vanlige organiske gjødsel.

Gjødsling med slam og tørket slam hadde ingen signifikante effekter på veksten av plantene sammenlignet med kontrollbehandlingene og gjødsling med kalksalpeter. I dyrkingsforsøket med gras (eng) tilførte slammet nitrogen tilsvarende 2,5 kg nitrogen pr dekar. Sammenlignet med prisen på NPK Fullgjødsel, er verdien pr m³ fiskeslam ca 60 kr.

Innholdet av andre mineraler (aluminium, kopper m.m.) varierte mellom de ulike prøvene som var analysert. Disse enkle dyrkingsforsøkene kan ikke si noe om eventuelle langtidsvirkninger ved langvarig gjødsling med fiskeslam.

Gjødsling med slam og snus kan tilføre jorden større mengder salt, som kan vises som høye Na verdier i jorden og plantene. Det ble ikke observert synlige salt/klor-skader. Foreløpig er det ingen grunn til å si at saltverdien i slambaserte gjødsel vil ødelegge jorden. Langtidseffekter kan likevel ikke utelukkes.

5.1 Kilder

[1] <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>

[2] Bergmann, Werner (1988): *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen Entstehung, visuelle u. analytische Diagnose*, 2. Auflage, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, s 376-379

[3] <http://www.agropub.no/id/5359.0>

[4] *den røde soil-boken s 669- titel/forfatter*

[5] *etter: http://www.salzburg.gv.at/gh3_bodendaten_schwermetalluntersuchung_gruenlandaufwuchs.pdf*

[6] Nes, Arnfinn (1998): *Bær dyrking*, Landbruksforlaget, s 62-64

[7] Pollock, Michael /Royal Horticultural Society (2002): *Obst- & Gemüseanbau: die praktische Enzyklopädie*, Starnberg: Dorling Kindersley Verlag,