

Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks

Turid Synnøve Aas, Trine Ytrestøyl og Gerd Marit Berge





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

Nofima har om lag 350 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122 Langnes
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsgate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5828 Bergen

Sunnalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140
E-post: post@nofima.no
Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835

Rapport

	ISBN: 978-82-8296-405-0 (trykt) ISBN: 978-82-8296-406-7 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks	<i>Rapportnr.:</i> 32/2016
	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Turid Synnøve Aas, Trine Ytrestøyl og Gerd Marit Berge	<i>Dato:</i> 6. juli 2016
<i>Avdeling:</i> Ernæring og fôrteknologi	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 19
<i>Oppdragsgiver:</i> Norges forskningsråd	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> 227401
<i>Stikkord:</i> Slam fra settefiskanlegg; Tørrstoffinnhold	<i>Prosjektnr.:</i> 10624
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i>	
<p>Slamprøver fra et settefiskanlegg ble tatt ut ved ulike tidspunkt på dagen én gang i måneden over fire måneder, ved ulike temperaturer og med varierende mengde biomasse i anlegget. Det var stor variasjon i tørrstoffinnholdet i slammet, og dette hang trolig sammen med varierende mengde spillfôr, der økende mengde fôr i slammet ga økt tørrstoffinnhold.</p> <p>Det ble laget en modell for beregning av mengde fôr i slammet basert på analyse av energiinnhold i tørrstoffet i slam. Modellen var basert på eksisterende data for kjemisk analyse av fôr og tilhørende faeces.</p> <p>Modellen ble brukt til å estimere fôrinnholdet i innsamlede slamprøver, og estimatene viste at tørrstoffinnhold i slam henger sammen med mengden spillfôr i slammet.</p>	
<i>English summary/recommendation:</i>	
<p>Sludge from a land based smolt producer was sampled at given times during the day, once a month over a period of four months, at different temperatures and with varying biomass in the farm. The dry matter content of the sludge varied, and this variation was probably caused by varying amounts of spill feed in the sludge, where increasing amounts of spill feed increased the dry matter content of the sludge.</p> <p>A model for estimation of amount of spill feed in sludge was made, based on analysis of energy content in the dry matter of sludge.</p> <p>The model was used to estimate amount of feed in collected samples of sludge, and the calculations showed that dry matter content of sludge was related to the amount of spill feed.</p>	

Innhold

1	Introduksjon	1
2	Materiale og metode.....	3
2.1	Prøveinnsamling til måling av tørrstoff før og etter filter	3
2.2	Kjemisk analyse	3
2.3	Statistisk analyse	3
2.4	Modell for anslag av ratio fôr : fæces i slam	4
3	Resultat	5
3.1	Tørrstoffinnhold i slam fra Rotosieve	5
3.2	Tørrstoff i slam fra Salsnes Filter system.....	8
3.3	Modell for estimat av andel fôr og fæces i slam	10
4	Diskusjon	15
4.1	Tørrstoffinnhold i slam i anlegg med Rotosieve (anlegg 4).....	15
5	Konklusjon	18
6	Referanser	19

1 Introduksjon

I 2014 ble det omsatt 306 millioner laksesmolt i Norge (Fiskeridirektoratet, 2015), noe som utgjør rundt 30.000 tonn smolt. Forutsatt en økonomisk fôrfaktor (tonn utfôret fôr/tonn produsert fisk) på 1.0, ble det brukt rundt 30.000 tonn fôr i norske settefiskanlegg i 2014. Den biologiske fôrfaktor (tonn spist fôr/tonn produsert fisk) hos smolt er om lag 0.7 (Kolstad et al., 2004), hvilket betyr at av 30.000 tonn utfôret fôr er 21.000 tonn spist, og 9.000 tonn er fôrspill.

Fordøyeligheten av tørrstoff i fôr er om lag 70% (Hillestad et al., 1999; Oehme et al., 2014) og blir lavere ved økende innslag av planteråvarer med ufordøyelig karbohydrat, hvilket betyr at 30% eller mer av fôret passerer ufordøyd gjennom fisken. Den ufordøyde fraksjonen (faeces) har imidlertid en helt annen sammensetning enn fôret, med høyt innhold av mineraler og karbohydrat og lavt innhold av fett og protein, sammenlignet med fôr. Om man antar at tørrstoffinnholdet i fôret er 95% og at 30% av fôret er ufordøyelig, vil 21.000 tonn spist fôr produsere nesten 6.000 tonn faeces i tørrstoff. I tillegg utgjør fôrspillet om lag 8.500 tonn tørrstoff.

Avfallet fra settefiskanlegg, som hovedsakelig består av faeces og fôrspill, samles opp som slam som inneholder energi, mineraler (deriblant fosfor), nitrogen og annet materiale og bør anses som en verdifull ressurs. Per i dag er det imidlertid ikke utviklet god nok teknologi og logistikk for håndtering av alt slammet, og for en settefiskprodusent utgjør slam et problem og en kostnad.

Mange settefiskanlegg transporterer det oppsamlede slammet til sentrale anlegg der energien utvinnes ved biogassproduksjon, og slammet leveres mot en kostnad («gate fee»). I tillegg utgjør selve transporten en kostnad. Med dagens avanningsstystem er tørrstoffinnholdet i slam varierende, og kan i mange tilfeller ligge i området 10% tørrstoff (Ytrestøyl et al., 2013), og altså 90% vann. Med hensyn på både kostnad og miljøkonsekvenser er transport av store mengder vann uønsket, og bedre teknologi for avanning av slam er nødvendig.

Biogassanlegg for lokal biogassproduksjon ved det enkelte settefiskanlegg er også under utvikling. Biogassproduksjon reduserer ikke volum nevneverdig, og også ved lokale biogassanlegg er håndtering av vannfraksjonen nødvendig.

Slammet (både direkte og etter biogassproduksjon) kan spres på landbruksareal og slik kan næringsstoff som nitrogen, fosfor og kalium utnyttes til ny matproduksjon. Det er imidlertid begrenset hvilke perioder slammet kan spres, og det er begrensede areal tilgjengelig for å spre slammet. Videre klassifiseres slammet etter innhold av mineraler (tungmetall etc) som avgjør hvilken bruk det er godkjent til, næringsstoffene må være på en form som er tilgjengelig for planter, og spredning av slam utgjør et luktproblem. Både ved enkelte settefiskanlegg og ved enkelte sentrale avfallsanlegg tilsettes polyakrylamid for å bedre avanningen. Polyakrylamider er effektivt for å binde partikler slik at vann kan filtreres fra, og brukes i mange industrielle prosesser og avfallsanlegg. Men nedbrytningen av dette er mangelfullt dokumentert, og det er betenkelig å spre dette i matjord.

Oppsamlede næringsstoff løst i vann kan brukes til dyrking av planter som for eksempel salat og basilikum («aquaponics»). Lys- og temperaturforhold i Norge begrenser effektiviteten i slik produksjon.

Noen settefiskanlegg har ikke renskrav og avfallet slippes i sjøen. Dersom resipientens bæreevne er høy nok, gir ikke dette miljøproblem. Men dersom ikke integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) anvendes på stedet, mister man næringsstoffene fra slammet og flyten av blant annet fosfor fra land

til sjø øker. (Det bør nevnes at energi og næringsstoff som «tapes» til sjøen ikke går tapt med mindre det sedimenterer, men vil benyttes i produksjon i sjøen som seinere kan høstes i form av fisk og andre marine arter som fangstes.)

Både med hensyn på lagring og transport er effektiv avvanning av slam nødvendig. I denne studien er det målt tørrstoffinnhold i slam etter to ulike filter, Salsnes Filter system (Salsnes Filter, Namsos, Norge) og Rotosieve (Lackeby Products, Kalmar, Sverige). Videre er det laget en modell for å indikere forholdet mellom fôr og fæces i slam basert på kjemisk sammensetning av slammet. Prøvene ble samlet inn i løpet av 2014, og ettersom avvannings- og tørkesystem er under kontinuerlig utvikling, representerer resultatene disse systemene slik de var på tidspunktet prøvene til dette prosjektet ble samlet inn.

2 Materiale og metode

I settefiskanlegg er det vanlig med primærrensing av slammet som deretter ledes til et avvanningstrinn for å oppnå tørrstoffinnhold i området 10-35 %. Deretter går slammet til et tørkestrinn der det tørkes opp mot over 90 % tørrstoff. I dette prosjektet ble det samlet inn prøver fra fire settefiskanlegg, kalt anlegg 1, 2, 3 og 4. Anlegg 1, 2 og 3 hadde Salsnes Filter system, og anlegg 4 hadde Rotosieve for avvanning. Global Enviro AS (Selje, Norge) sitt tørkesystem skal tørke slam til rundt 90 % i en komposteringslignende prosess der det tilføres noe varme, mens mesteparten av væsken fordampes ved hjelp av varmen som dannes i prosessen. Se nærmere beskrivelse av Global Enviro sin teknologi i Ytrestøyl et al. (2016). På det tidspunktet dette prosjektet startet var Global Enviro-systemet avhengig av minimum 25 % tørrstoff i slammet for at prosessen skulle fungere, og det var derfor fokus på å oppnå dette tørrstoffinnholdet i slammet. Avvannings- og tørketeknologien utvikles kontinuerlig, og data til dette prosjektet ble samlet inn i løpet av 2014 og beskriver situasjonen slik den var da.

2.1 Prøveinnsamling til måling av tørrstoff før og etter filter

Det ble laget en plan for parallell prøveinnsamling fra to settefiskanlegg der det ene har Salsnes Filter sitt system og det andre har Rotosieve. Planen ble laget med hensyn på å samle data ved ulike tidspunkt på dagen, ved ulike temperaturer og med ulik biomasse i to anlegg med ulike filterløsninger over samme tidsrom. Ifølge planen skulle det tas prøver av slammet direkte før og etter filteret (Salsnes Filter system eller Rotosieve), tre ganger per dag (rundt kl. 08.00, 12.00 og 16.00), én dag i måneden fra september til desember høsten 2014. I løpet av denne perioden faller normalt temperaturen, og biomassen endres når det tas ut smolt til høstutsett.

Prøvene ble bare samlet inn på anlegg 4, som har Rotosieve.

I stedet ble det brukt data som var samlet inn fra tre ulike anlegg med Salsnes Filter system der tørrstoffinnhold i slam etter filter var målt ved ulike hastigheter av filterduk og ulike vakuumsug. Dette er data som er samlet under Salsnes Filter sin utvikling av filtersystemet, og disse prøvene var derfor samlet inn etter annet oppsett enn det som var planlagt for å sammenligne to anlegg med ulike filtersystem. Følgelig ble slik sammenligning ikke gjort.

2.2 Kjemisk analyse

Tørrstoff ble bestemt ved tørking ved 100 °C over natt og deretter ved 104 °C til stabil vekt.

2.3 Statistisk analyse

Data er gitt som gjennomsnitt \pm standardavvik.

Kurvetilpasning ble utført med Excel 14.0.

Data fra Rotosieve ble sammenlignet med ANOVA ved å bruke prosedyren GLM (general linear models) og rangert med 'least square means' ('lsmeans' og 'pdiff') i SAS 9.4 programvare (SAS 1985, SAS Institute Inc, Cary, USA).

2.4 Modell for anslag av ratio fôr : faeces i slam

Eksisterende data der fôr og faeces er analysert ble samlet og brukt til å lage en modell der ratioen mellom fôr og faeces i slam kan anslås ut fra kjemisk analyse av slammet. Totalt 84 fôr med tilhørende faeces ble vurdert for modellen, og disse var analysert for noen eller alle følgende komponenter: Fett, stivelse, nitrogen, energi, aske, fosfor, kalsium, magnesium, natrium, jern, mangan, sink, kobber og yttrium. Alle verdier ble brukt på tørrstoffbasis. Modelleringsdataene ble gruppert etter fôrtype (sammensetning av fôr mhp. hovedingredienser), og fôrtyper og kjemisk komponent med variasjonskoeffisient ($CV=100 \cdot \text{standardavvik} / \text{gjennomsnitt}$) større enn 5 ble ansett som ikke egnet til å inngå modellen. Modellen forutsetter at slammet består av utelukkende fôr og faeces, og at det altså ikke er tilsatt binder, polymer eller annet i slammet.

3 Resultat

3.1 Tørrstoffinnhold i slam fra Rotosieve

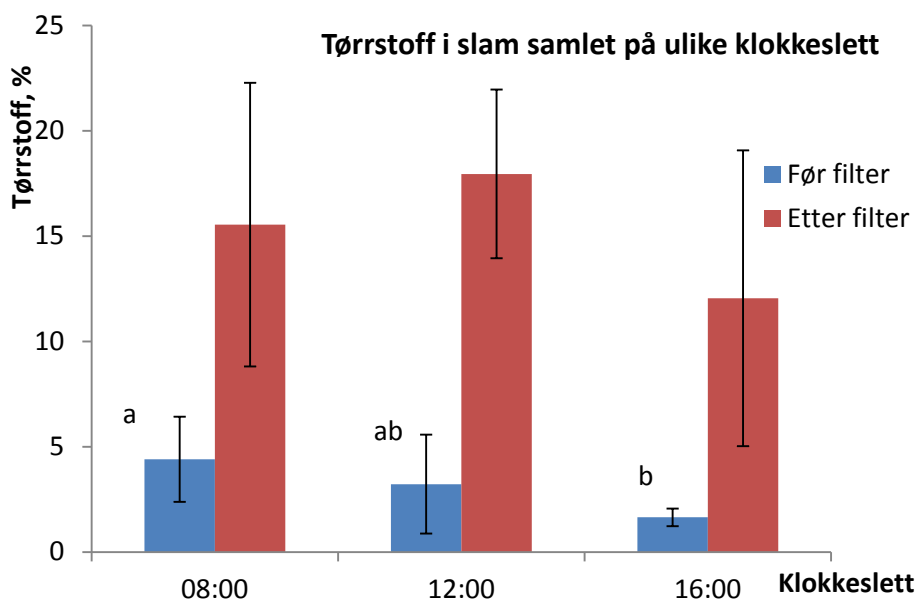
Tørrstoffinnhold i slam fra anlegg 4 er vist i tabell 1. Dette anlegget har Rotosieve. Det ble samlet inn prøver før og etter filter på fire ulike dager, og på totalt 10 tidspunkt. Tørrstoffinnholdet før filter varierte mellom 1.1 og 7.0 %, og gjennomsnitt for alle målingene var 3.1 ± 1.9 %. Tørrstoffinnholdet etter filter varierte mellom 6.8 og 24.0 %, og gjennomsnittlig tørrstoffinnhold etter filter var 11.6 ± 6.7 %.

Tabell 1 Tørrstoffinnhold i slam før og etter filter (Rotosieve) ved anlegg 4 samlet ved ulike klokkeslett på fire ulike dager

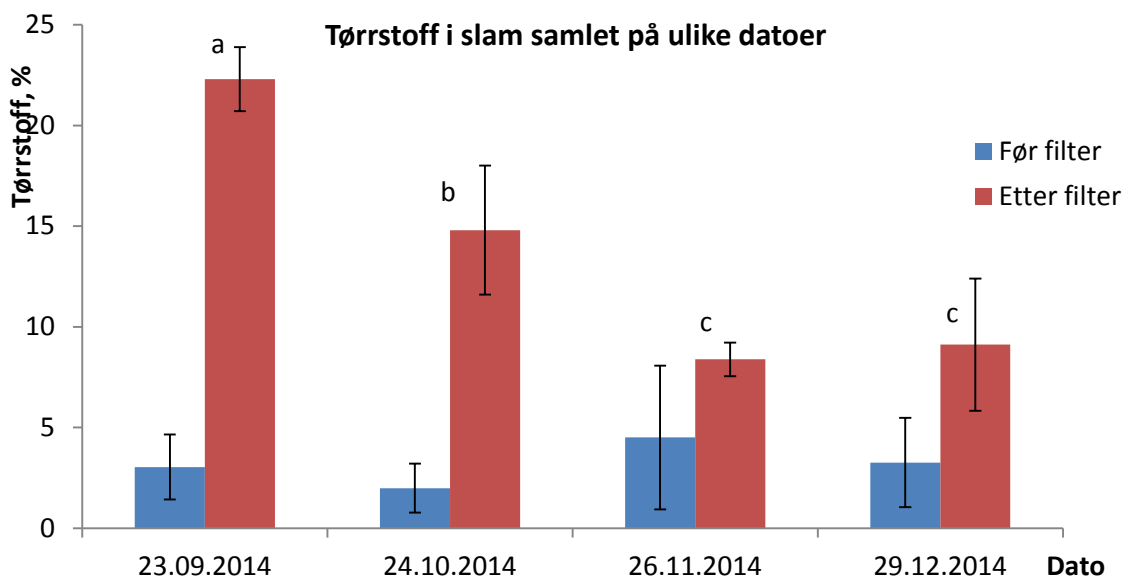
Dato	Temp (°C)	Biomasse i anlegget (Kg)	Fôr	Tid	Tørrstoff før filter (%)	Tørrstoff etter filter (%)	Differanse % tørrstoff før og etter filter
23.09.	7,7	63067	Skretting Nutra Olympic 1.5 og Nutra olympic TR 3.0	08:00	2,4	24,0	21,6
				12:00	4,9	20,8	15,9
				16:00	1,9	22,2	20,3
24.10.	8,5	53770	Skretting Nutra Olympic 2	08:00	3,4	17,8	14,5
				12:00	1,6	15,1	13,6
				16:00	1,1	11,5	10,4
26.11.	6,0	70515	Skretting Protec 2A	08:00	7,0	9,0	1,9
				16:00	2,0	7,8	5,8
29.12.	3,9	73730	Skretting Protec 2A	08:00	4,8	11,4	6,6
				16:00	1,7	6,8	5,1

Sammenligning av tørrstoffinnhold i slam samlet på ulike tidspunkt (klokken 8, 12 og 16) er vist i figur 1. Tørrstoffinnholdet før filter var signifikant lavere ved målingene tatt klokken 16 enn klokken 8. Det ble derimot ikke funnet noen forskjell i tørrstoffverdier etter filter mellom de ulike klokkeslett.

Det var signifikant nedgang i tørrstoffinnhold i slammet etter filter i løpet av perioden det ble samlet prøver (figur 2). Tørrstoffinnholdet 24. oktober (14.8 ± 3.2 %) var signifikant lavere enn det som ble målt 23. september (22.3 ± 1.6 %). De laveste tørrstoffverdiene ble funnet 26. november og 29. desember (henholdsvis 8.4 ± 0.8 og 9.1 ± 3.3 %).

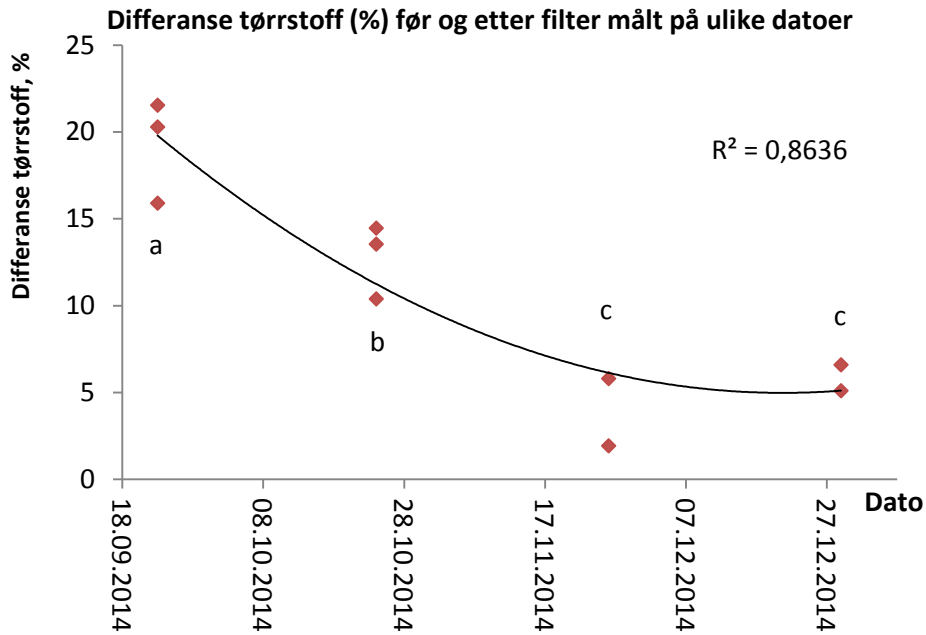


Figur 1 Tørrstoff (%) i slam før og etter filter samlet på ulike klokkeslett på fire ulike dager med ca. en måneds mellomrom ved anlegg 4 som har Rotosieve. Signifikante forskjeller ($P < 0.05$) er indikert med ulike bokstaver (Snitt \pm SD, $N=10$).



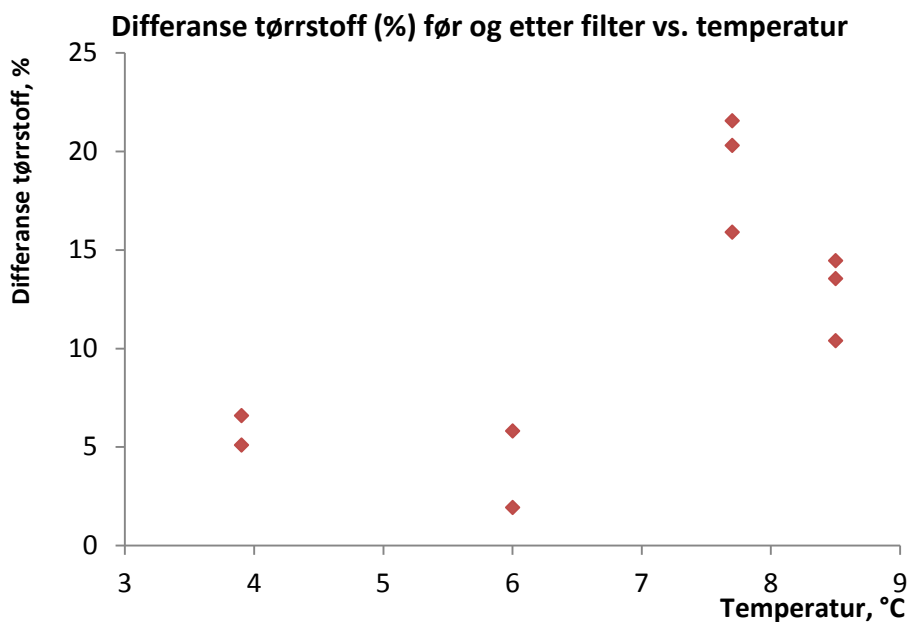
Figur 2 Tørrstoff (%) i slam før og etter filter samlet på fire ulike datoer ved anlegg 4 som har Rotosieve. Signifikante forskjeller ($P < 0.05$) er indikert med ulike bokstaver (Snitt \pm SD, $N=10$).

Det var noe variasjon i tørrstoffinnholdet i slam før filter, men når dette ble trukket fra tørrstoffinnholdet i slam etter filter, altså differansen i tørrstoff før og etter filter (figur 3), viste dette samme mønster som tørrstoffinnhold etter filter (figur 2). Effektiviteten av filteret avtok altså signifikant for de fire datoene slamprøvene ble samlet. En polynomfunksjon for sammenhengen mellom differansen i tørrstoffinnhold før og etter filter og dato for prøvetaking ga en polynomfunksjon med $R^2=0.8636$ (Fig. 3). En lineær kurvetilpasning for forløpet av filtereffektivitet over tid ga $R^2=0.7696$.

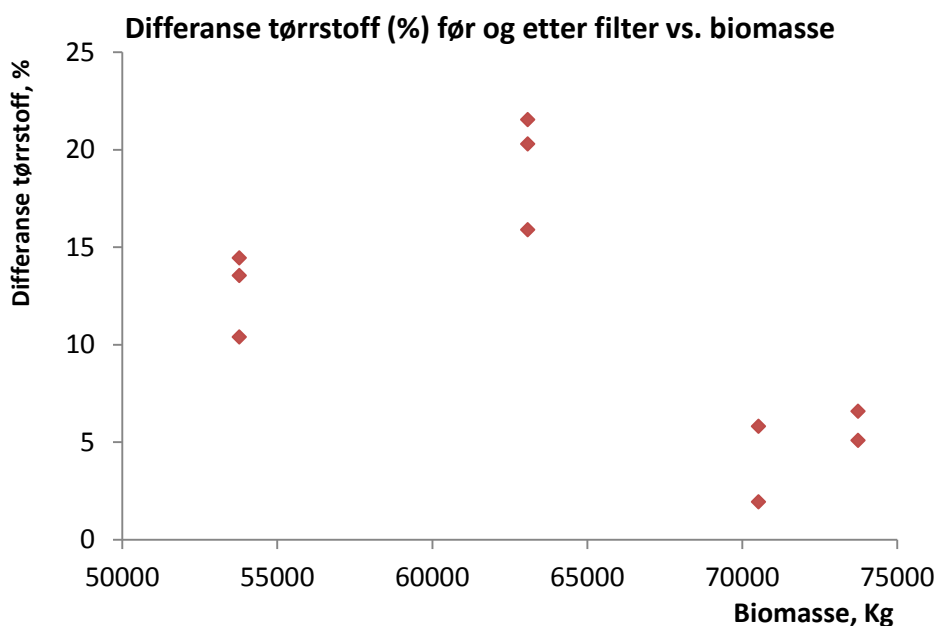


Figur 3 Differanse i tørrstoff (%) i slam før og etter filter samlet på fire ulike datoer ved anlegg 4 som har Rotosieve, med lineær kurvetilpasning. Signifikante forskjeller ($P < 0.05$) er indikert med ulike bokstaver

Effekten av filteret (Rotosieve) i anlegg 5, gitt som differanse i tørrstoffinnhold før og etter filteret, som funksjon av temperatur og biomasse i anlegget er vist i henholdsvis figur 4 og 5. Hverken temperatur eller biomasse så ut til å ha noen klar sammenheng med effekten av filteret.



Figur 4 Differanse i tørrstoff (%) i slam før og etter filter samlet på fire ulike datoer ved anlegg 4 som har Rotosieve, versus temperatur



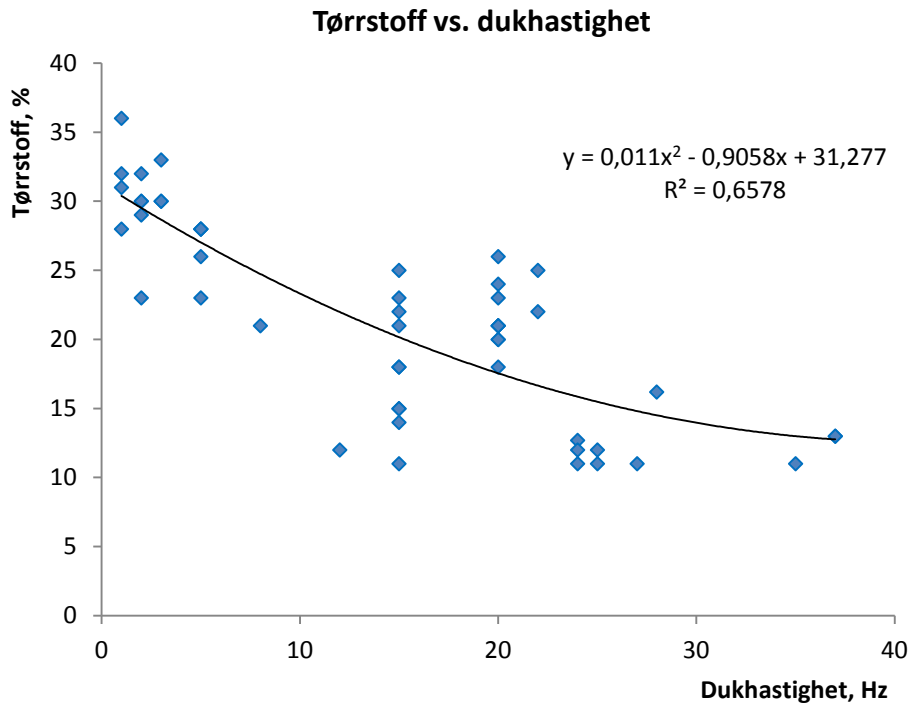
Figur 5 Differanse i tørrstoff (%) i slam før og etter filter samlet på fire ulike datoer ved anlegg 4 som har Rotosieve, versus biomasse i anlegget

Forskjellene i tørrstoff som ble observert ved ulike målinger skyldes trolig forskjeller i mengde spillfôr. Det er altså trolig fôringsrutiner og muligens også fôrtype som er årsak til variasjonene i tørrstoffinnhold i slam, ettersom fôret har langt høyere tørrstoffinnhold enn faeces, og vanligvis har en pelletkvalitet som gjør at det kan fanges opp langt mer effektivt enn faeces. Høyt tørrstoffinnhold i disse målingene er altså trolig en indikasjon på høyt innhold av fôrspill i det oppsamlede slammet.

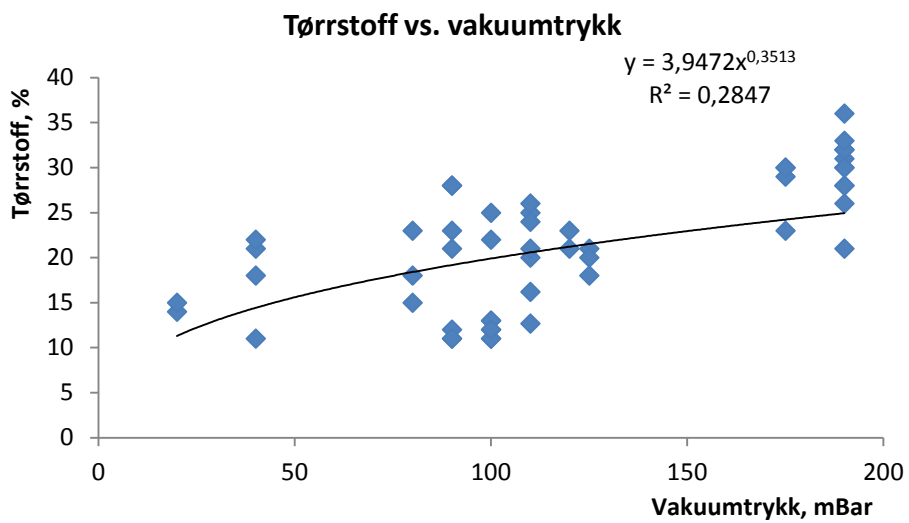
3.2 Tørrstoff i slam fra Salsnes Filter system

Tørrstoffinnholdet i slam samlet med Salsnes Filter system ble i høy grad ($R^2=0,6578$) forklart av hastigheten på filterduken, der lav dukhastighet ga høyere tørrstoffinnhold (figur 6). Øket trykk på vakuumenheten som suger vann gjennom filteret ga også en viss økning i tørrstoffinnholdet (figur 7).

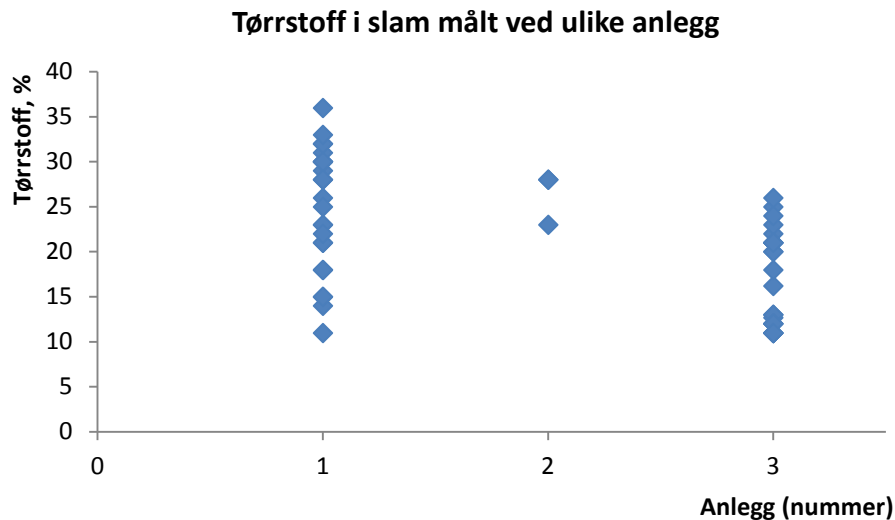
Det var noe ulik spredning (og ulikt prøveantall) fra de tre anleggene med Salsnes Filter system (figur 8). Forskjellene skyldes trolig hovedsakelig dukhastighetene og vakuumtrykk som er brukt ved målingene.



Figur 6 Tørrstoffinnhold i slam fra tre anlegg med Salsnes Filter system målt ved ulike dukhastigheter



Figur 7 Tørrstoffinnhold i slam fra tre anlegg med Salsnes Filter system målt ved ulike trykk på vakuumenheten som suger vann gjennom filteret



Figur 8 Tørrstoffinnhold i slam fra anlegg 1, 2 og 3 med Salsnes Filter system. Tørrstoffinnholdet er målt ved ulike trykk på vakuumenheten som suger vann gjennom filteret

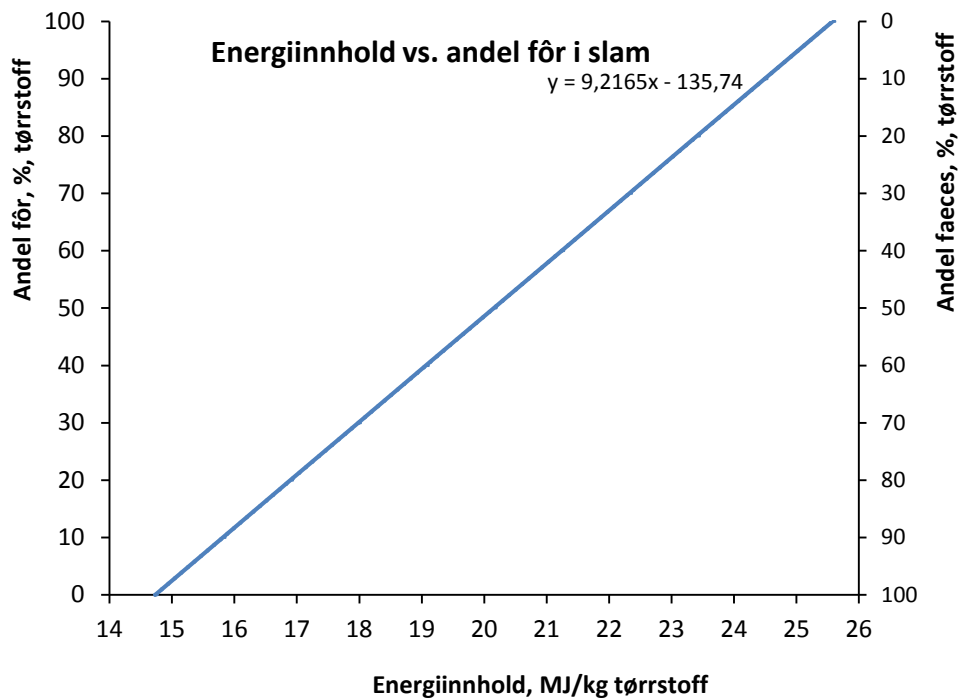
3.3 Modell for estimat av andel fôr og faeces i slam

Data for kjemisk analyse av totalt 84 fôr med tilhørende faeces ble vurdert i modellen. Ikke alle fôr- og faecesprøver var analysert for alle aktuelle komponenter, og antallet tilgjengelige data var derfor langt mindre enn 84 for de fleste komponenter. Ulike fôrråvarer har ulik sammensetning, og fôrene ble derfor gruppert etter hovedingredienser. For eksempel fiskemel har generelt høyt askeinnhold, mens planteråvarer har høyt innhold av karbohydrater, noe som påvirker den kjemiske sammensetningen. På grunn av stor variasjon i analyseverdier mellom fôrene (og tilhørende faeces) ble alle unntatt 8 fôr eliminert fra modellen. Disse fôrene var kommersielle eller lignende kommersielle fôr (forsøksfôr formulert som kommersielle fôr). For disse fôrene og tilhørende faeces-prøver var det lav variasjon ($CV < 5$) mellom de målte verdier for energiinnhold. Energiinnhold ble derfor valgt som indikator for beregning av mengde faeces i slam (figur 9). Ut fra denne modellen kan andelen (%) fôr i slam anslås ut fra måling av energiinnholdet i slam, gitt på tørrstoffbasis, med formelen

$$y = 9,2x - 136$$

der x = energiinnhold i slam (MJ/kg tørrstoff), y = andel fôr (%) og andel faeces (%) = $100 - y$.

Modellen forutsetter at slammet består utelukkende av faeces og fôrspill, og kan dermed ikke benyttes dersom det er tilsatt polymer, bindemiddel eller noe annet i det aktuelle slammet.



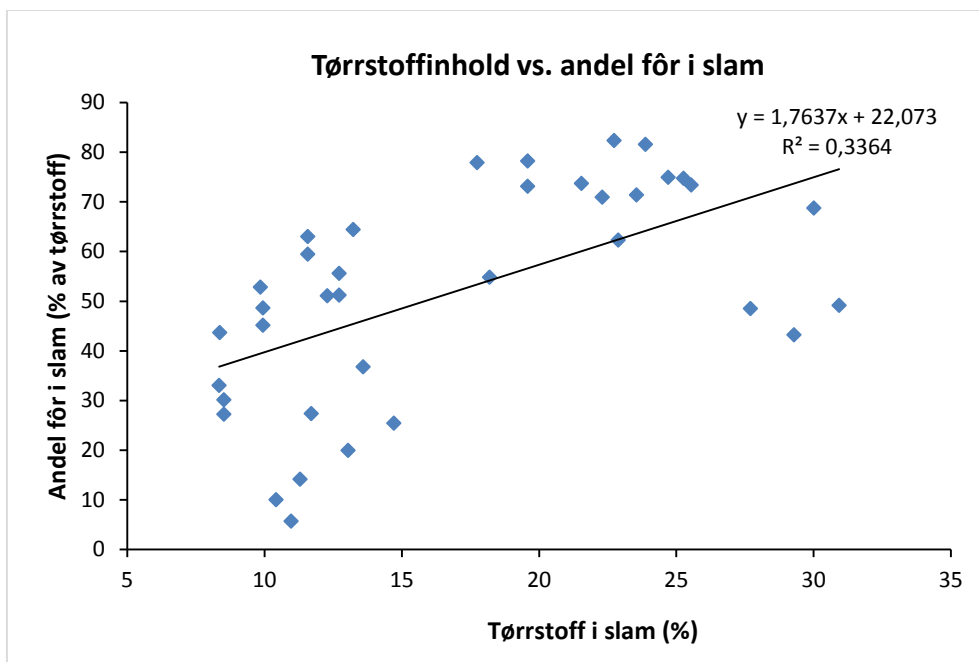
Figur 9 Energiinnhold vs. andel fôr i slam, beregnet fra analysert energiinnhold 8 fôr og tilhørende fæces fra Atlantisk laks. Andel fæces (%) i slammet er lik 100 % - andel fôr (%)

Andel fôr og fæces i slam i 37 slamprøver fra tre ulike anlegg ble estimert med modellen (tabell 2). I disse slamprøvene varierte innslaget av fôr fra 6-82% (tørrstoffbasis).

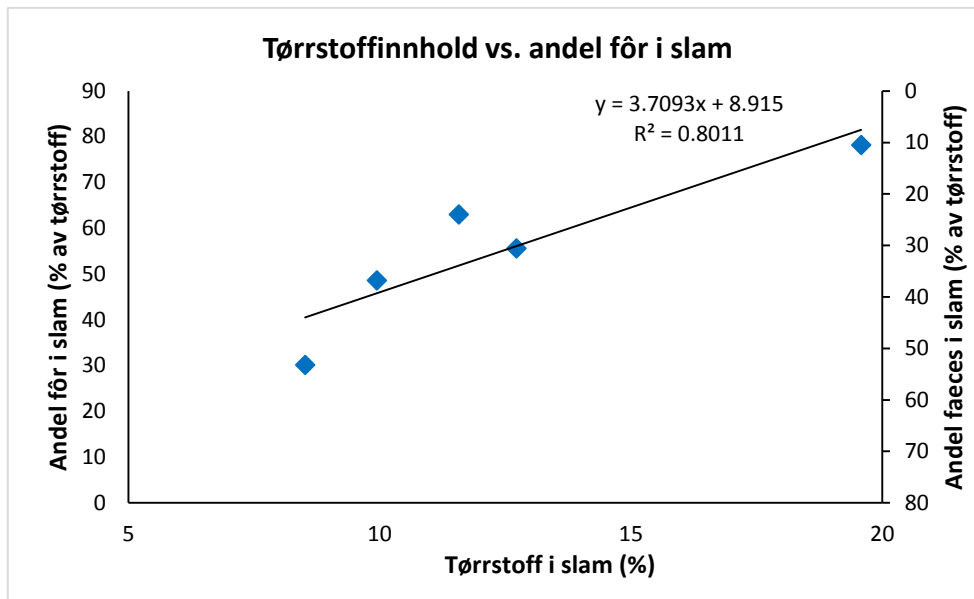
Tabell 2 Estimert andel fôr og faeces (% av tørrstoff) i 37 slamprøver fra tre settefiskanlegg, basert på målt energiinnhold i tørrstoff. Beregnet som $y = 9,2x - 136$, der $x = \text{energiinnhold i slam (MJ/kg tørrstoff)}$, $y = \text{andel fôr (\%)} \text{ og andel faeces (\%)} = 100 - y$

Anlegg nr	Tørrstoffinnhold i vått slam (%)	Energiinnhold i vått slam (MJ/kg)	Energiinnhold i tørrstoff i slam (MJ/kg)	Andel fôr i tørrstoff i slam (%)	Andel faeces i tørrstoff i slam (%)
1	10	2.0	20.1	49	51
1	9	1.5	18.1	30	70
1	12	2.5	21.6	63	37
1	13	2.6	20.8	56	44
1	20	4.6	23.3	78	22
1	13	2.2	17.0	20	80
1	8	1.6	19.5	44	56
1	20	4.5	22.7	73	27
1	30	6.7	22.3	69	31
2	11	1.7	15.4	6	94
2	10	1.7	15.9	10	90
2	12	2.5	20.3	51	49
2	11	1.8	16.3	14	86
2	12	2.1	17.8	27	73
2	25	5.7	22.9	75	25
2	26	5.8	22.8	73	27
2	25	5.8	22.9	75	25
2	24	5.3	22.5	71	29
2	10	2.0	19.7	45	55
2	13	2.9	21.8	64	36
2	8	1.5	18.4	33	67
2	9	1.5	17.7	27	73
2	13	2.6	20.4	51	49
2	12	2.5	21.3	60	40
4	28	5.6	20.1	49	51
4	31	6.2	20.1	49	51
4	29	5.7	19.5	43	57
4	18	3.8	20.7	55	45
4	23	4.9	21.6	62	38
4	15	2.6	17.6	25	75
4	14	2.6	18.8	37	63
4	10	2.0	20.5	53	47
4	22	5.0	22.5	71	29
4	22	4.9	22.8	74	26
4	24	5.6	23.7	82	18
4	18	4.1	23.3	78	22
4	23	5.4	23.7	82	18
SNITT:	17	3.6	20.4	52	48

Tørrstoffinnholdet i slammet varierte fra 8 til 31 %, og slamprøver med høyt tørrstoffinnhold inneholdt generelt mye fôr (figur 10). De aktuelle slamprøvene kom fra tre ulike anlegg med ulike filtersystem og ulik mekanisk behandling av partiklene i slammet. Fôrene som ble brukt ble ikke analysert, men ettersom prøvene ble samlet opp over tid, kan det være variasjon i energiinnhold i fôrene som er brukt både mellom de ulike anleggene men også innen hvert enkelt anlegg. Figur 11 viser sammenhengen mellom andelen fôr versus tørrstoffinnholdet i slam i fem av prøvene som ble samlet fra ett anlegg over en kort tid, og slampartiklene dermed har vært utsatt for samme behandling og det trolig er brukt samme fôr ved alle prøveuttakene. Lineær regresjon viste at tørrstoffinnholdet i slam i disse 5 prøvene i svært høy grad ($R^2=0.8011$, figur 11) var forklart av mengde fôr i slammet.



Figur 10 Tørrstoffinnhold (%) vs. andel fôr i slam, estimert i 37 slamprøver fra tre anlegg basert på energiinnhold i slam (tørrstoff). Andel faeces (%) i slammet er lik 100 % - andel fôr (%)



Figur 11 Tørrstoffinnhold (%) vs. andel fôr i slam, estimert i 5 slamprøver fra ett anlegg samlet inn over et begrenset tidsrom. Estimatenes er basert på energiinnhold i slam (tørrstoff). Andel faeces (%) i slammet er lik 100 % - andel fôr (%)

4 Diskusjon

4.1 Tørrstoffinnhold i slam i anlegg med Rotosieve (anlegg 4)

Prøvetaking av slam er utfordrende med tanke på å få representative prøver. Metoden for prøvetaking må standardiseres for det enkelte anlegg, og helst utføres av samme person hver gang. De ulike anlegg er bygd opp ulikt, og det kan være vanskelig å finne det beste punktet for prøvetaking. Prøvetakingen gjøres også vanskelig ved at slammet har høyt vanninnhold, det inneholder varierende mengde store partikler (fôr) der én enkelt partikkel kan gjøre stort utslag på analyseresultatet. Videre inneholder slammet partikler som sedimenterer og ikke blir med i prøven, og det kan medføre tidkrevende arbeid med demontering av rør og utstyr for å få tatt prøve på ønsket punkt. Tidligere er det funnet stor variasjon i tørrstoffinnholdet i slam (Ytrestøyl et al., 2013), og utfordringene ved prøvetaking kan ha bidratt til variasjonen i målingene.

Tørrstoffinnholdet i slam fra anlegg 4 ble målt før og etter Rotosieve på fire ulike dager med om lag en måneds mellomrom, og til 2-3 ulike tider på døgnet. Dette ble gjort både for å sikre representative prøver med hensyn på variasjon gjennom døgnet, ved ulike temperaturer og ved ulik biomasse i anlegget, og for å undersøke en eventuell effekt av de nevnte faktorene på tørrstoffinnholdet.

Det ble funnet en klar, og signifikant reduksjon av tørrstoff i slam etter filter over tid (figur 2). Det var noe variasjon i tørrstoffinnholdet i slammet som gikk inn på filteret, og derfor ble også differansen mellom slam som gikk inn og slam som gikk ut av filteret beregnet (figur 3). Denne måten å uttrykke effekten av et filter har begrenset verdi i praksis, men disse dataene bekreftet at det var en reduksjon i effektiviteten til Rotosieve-filteret over tid. De to siste dagene det ble tatt prøver (26.11 og 29.12) var effekten av Rotosieve-filteret begrenset, og tørrstoffinnholdet i slammet etter filter disse dagene lå i området 6.8-11.4 %.

Det var en klar reduksjon av filterets effektivitet over tid i perioden det ble tatt prøver ($R^2=0.8636$, figur 3). Denne reduksjonen kan ikke forklares med hverken temperatur (figur 4) eller biomasse (figur 5). Effektiviteten av filteret henger trolig heller sammen med mengden spillfôr, og endring i tørrstoffinnhold i slammet både gjennom døgnet (figur 1) og på ulike datoer (figur 2) skyldes trolig endring av mengden spillfôr som følge av fôringsrutiner. Endring av fôrtype gjennom prøveperioden kan også ha endret mengde oppsamlet spillfôr ettersom ulike pelletkvaliteter gir ulik knusing av pellets (Aas et al., 2011a). Dette ble imidlertid ikke målt for de aktuelle fôrene. Ettersom tørrstoffinnholdet varierte gjennom et døgn, kan ikke denne endringen tilskrives pelletkvaliteten alene, men fôringsrutiner og mengde spillfôr antas å være viktigste årsak til endring i tørrstoffinnholdet i slammet.

Det ble funnet signifikant lavere tørrstoff før Rotosieve-filteret i prøvene som ble tatt klokken 16 enn i de som ble tatt klokken 8 (figur 1). Dette henger trolig sammen med fôringsrutiner og endringer i fôrspillmengden gjennom døgnet.

Estimert forhold mellom fôr og faeces i slam i 37 prøver fra tre anlegg viste at slammet inneholdt betydelige mengder fôr. Dette samsvarer med funn fra Ytrestøyl et al. (2016). Energiinnhold ble valgt som indikator for estimering av andel fôr og faeces i slammet fordi denne parameteren hadde minst variasjon mellom de tilgjengelige måledata. Antallet fôr med tilhørende faeces som var tilgjengelig for bruk i modellen var noe lavt ($n=8$), og flere måledata er ønskelig for å bedre nøyaktigheten til modellen. Modellen er likevel antatt å gi et akseptabelt estimat for mengde spillfôr i slam.

Høyt tørrstoffinnhold hang sammen med høyt innslag av spillfôr i slammet (figur 10, 11). Oppbygning av rørsystem og filtersystem ved det enkelte anlegg påvirker i hvilken grad faeces- og fôrpartikler løses opp eller lett kan fanges på et filter. Videre vil nøyaktigheten til estimat av andel fôr og faeces i slam avhenge av at energiinnholdet i fôret samsvarer med det som er antatt i modellen. Sammenligningen mellom tørrstoffinnhold og andel fôr i slam fra de ulike anlegg over lang tid (figur 10) inkluderer derfor sammenligning av data innhentet på ulikt grunnlag. Tørrstoffinnholdet i slam var til en viss grad ($R^2=0,3364$) forklart av innholdet av fôr når alle slamprøver samlet under ulike betingelser ble sammenlignet under ett (figur 10). Tørrstoffinnhold i slam i fem prøver fra ett anlegg, samlet inn over en begrenset tidsperiode, var imidlertid i høy grad ($R^2=0,8011$, figur 11) forklart av mengden fôrspill.

I lakseforsøk der fordøyelighet av fôrkomponenter måles, samles faeces for analyse. Erfaringsmessig er tørrstoffinnholdet i faeces fra laks sjelden over 15%, og ofte lavere. Dersom det utelukkende samles opp faeces i slammet, er det ved passiv filtrering ikke mulig å oppnå høyere tørrstoffinnhold i slammet enn det som er i faeces. Fôr har derimot høyt tørrstoffinnhold (om lag 95 %) når det fôres ut, og kan lett fanges opp i dagens filtersystem dersom den fysiske pelletkvaliteten er god nok til at pelletene ikke knuser. Dersom pelletene fanges opp raskt i kar- og avløpssystemene er også vannabsorpsjonen i spillfôret begrenset (Aas et al., 2011b; Oehme et al., 2014). Spillfôr vil derfor effektivt bidra til å øke tørrstoffinnholdet i slam. Dagens renskrav er ofte definert som krav til en gitt reduksjon i konsentrasjonen av partikler etter filteret i forhold til før filteret. Spillfôr vil dermed også gjøre det lettere å overholde slike renskrav, ettersom og spillfôr relativt lett lar seg fange opp. Men fôr utgjør en stor kostnad i lakseoppdrett (Zahirovic, 2012) og består av verdifulle råvarer, og bedre teknologi og rutiner for å redusere fôrspill er nødvendig.

Global Enviro-systemet, som brukes for å tørke slammet til over 90% tørrstoff, krevde minimum 25% tørrstoff i slammet for å fungere godt slik systemet var bygget opp på det tidspunktet prøvene til dette prosjektet ble samlet inn. (Modellen som er i bruk per 2016 kan tåle ned mot 15% tørrstoff med bruk av tilsatt fiber og drevet ved begrenset belastning.) Med det lave tørrstoffinnholdet som ble oppnådd på de to siste dagene med prøveoppsamling fra anlegget med Rotosieve (tabell 1, figur 2), var slammet uegnet for videre prosessering i GE-reaktor. Transport av så store mengder vann er også uheldig ressursbruk når slammet transporteres bort fra anlegget. Uansett løsning som velges for videre behandling av slammet, er det nødvendig med høyere tørrstoffinnhold enn det som ble oppnådd i disse målingene (tabell 1, figur 2). Målingene viser klart at løsningene for avvanning av slam ikke var tilfredsstillende, og at det er nødvendig å utvikle tilstrekkelig effektive systemer for avvanning av slam fra landbasert oppdrett.

Tilsvarende data fra anlegg med Salsnes Filter system ble ikke samlet inn for direkte sammenligning med anlegg med Rotosieve. Behandling av slam gjennom rørsystem fører lett til knusing og oppløsning av faecespartikler slik at disse vanskelig lar seg fange opp uavhengig av filtertype, mens fôrpellets er lettere å fange opp. Det er sannsynlig at tørrstoffinnholdet i slam fra anlegget med Salsnes Filtersystem også henger sammen med mengde fôrspill. Målingene av tørrstoffinnhold i slam etter Salsnes Filter system viste at lav dukhastighet er viktig for å øke tørrstoffinnholdet i det oppsamlede slammet.

Prøvene som er analysert og brukt i denne rapporten ble samlet inn i løpet av 2014, og ettersom de teknologiske løsningene er under kontinuerlig utvikling, og både avvanning og tørking blitt forbedret i forhold til da disse prøvene ble samlet inn. Salsnes Filter og Global Enviro sine system i kombinasjon for henholdsvis avvanning og tørking kan per 2016 gi en fungerende løsning for slambehandling (Øyvind Prestvik, Salsnes Filter, pers. komm.).

Det blir også tilsatt polyakrylamid, fiber eller andre bindere ved enkelte settefiskanlegg, noe som øker tørrstoffinnholdet i oppsamlet slam i forhold til det som ble funnet i dette prosjektet. Det er betenkeligheter knyttet til bruk av polyakrylamider, blant annet med tanke på at slammet kan bli brukt til jordforbedringsmiddel.

5 Konklusjon

Variasjoner i tørrstoffinnholdet i slam målt i settefiskanlegg skyldes trolig hovedsakelig variasjon i mengde fôrspill i slammet. Faeces fra laks inneholder normalt mindre enn 15% tørrstoff, og høyere tørrstoffinnhold enn det som er i faeces kan ikke oppnås i slam dersom det er bare faeces som fanges opp. Faeces har skjør struktur og løses lett opp og er derfor vanskelig å fange på filter. Fôr har imidlertid høyt tørrstoffinnhold og vanligvis god pelletkvalitet, og er derfor lettere å fange opp på filter og bidrar til å øke tørrstoffinnholdet i slam, og gjør det i mange tilfeller lettere å oppfylle dagens rensekrav.

Det ble laget en modell basert på eksisterende analyser av fôr og faeces for å estimere mengden fôrspill i slam. Energiinnhold i tørrstoff i slam så ut til å gi en god indikasjon på ratioen mellom fôr og faeces i slam. Det var imidlertid begrenset antall analyser av fôr og tilhørende faeces tilgjengelig for å bygge modellen på, og flere analysedata er ønskelig for å øke nøyaktigheten til beregningen.

Beregning av mengde fôr i fem sammenlignbare slamprøver samlet fra samme anlegg over et kort tidsrom viste en klar sammenheng mellom tørrstoffinnhold i slam og mengde fôrspill.

Takk

Dette prosjektet ble finansiert av Regionale forskningsfond Midt-Norge. Forfatterene ønsker å takke alle som har bidratt til prosjektet. Spesielt takk til Kristin Skei Nerdal og Dag Bundgaard ved Nofimas lab på Sunndalsøra for analyse av prøver. Videre takkes Øyvind Prestvik i Salsnes Filter som har bidratt med analysedata til prosjektet.

6 Referanser

- Aas, T.S., Oehme, M., He, G., Sørensen, M., Lygren, I. & Åsgård, T. (2011a). Analysis of pellet degradation of extruded high energy fish feeds with different physical qualities in a pneumatic feeding system. *Aquacult.Eng.* 44, 25-34.
- Aas, T.S., Terjesen, B.F., Sigholt, T., Hillestad, M., Holm, J., Refstie, S., Baeverfjord, G., Rørvik, K.-A., Sørensen, M., Oehme, M. & Åsgård, T. (2011b). Nutritional responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions. *Aquacult.Nutr.* 17, 657-670.
- Fiskeridirektoratet, N.D.o.F. (2015). *Statistikk for akvakultur 2014*, p. 56.
- Hillestad, M., Åsgard, T. & Berge, G.M. (1999). Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture* 179, 81-94.
- Kolstad, K., Grisdale-Helland, B. & Gjerde, B. (2004). Family differences in feed efficiency in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 241, 169-177.
- Oehme, M., Aas, T.S., Olsen, H.J., Sørensen, M., Hillestad, M., Li, Y. & Åsgård, T. (2014). Effects of dietary moisture content of extruded diets on physical feed quality and nutritional response in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquacult.Nutr.* 20, 451-465.
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S., Nerdal, K.S., Berge, G.M., 2016. Karakterisering av slam fra tre kommersielle settefiskanlegg gjennom ett produksjonsår. Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller. *Nofima Rapport 33/2016*. In Norwegian. 38 pp
- Ytrestøyl, T., Løes, A.-K., Kvande, I., Martinsen, S. & Berge, G.M. (2013). Utnyttelse av slam fra akvakultur i blandingsanlegg for biogassproduksjon: teknologi og muligheter, *Nofima Rapport 12/2014*. In Norwegian. 40 pp.
- Zahirovic, E. (2012). Beregningene av næringene fiske, fangst og akvakultur i nasjonalregnskapet, Notater 28/2012. *Economic report*. In Norwegian. 33 pp.

