

Karakterisering av slam fra tre kommersielle settefiskanlegg gjennom ett produksjonsår

Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller

Trine Ytrestøl, Turid Synnøve Aas, Kristin Skei Nerdal 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: 978-82-8296-407-4 (trykt) ISBN: 978-82-8296-408-1 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Karakterisering av slam fra tre kommersielle settefiskanlegg gjennom ett produksjonsår Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller	<i>Rapportnr.:</i> 33/2016 <i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Trine Ytrestøyl, Turid Synnøve Aas, Kristin Skei Nerdal og Gerd Marit Berge	<i>Dato:</i> 5. juli 2016
<i>Avdeling:</i> Ernæring og fôrteknologi	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 29 + 3
<i>Oppdragsgiver:</i> Regionalt forskningsfond Midt-Norge	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> 227401
<i>Stikkord:</i> Slam, settefiskanlegg, næringsstoff	<i>Prosjektnr.:</i> 10624
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> <p>Dette prosjektet har hatt som hovedmål å karakterisere innhold av næringsstoff (fett, protein, mineraler) og energi i slamprøver tatt månedlig gjennom ett år ved tre settefiskanlegg. Prøver ble tatt av avannet slam etter sekundærfilter, og av slamprøver behandlet i Global Enviro (GE) sine komposteringsreaktorer opprinnelig utviklet for behandling av matavfall. Ett av anleggene var resirkuleringsanlegg og to var gjennomstrømningsanlegg. Resultatene viser at slam fra settefiskanlegg inneholder relativt mye energi (omkring 20 MJ/kg tørrstoff), nitrogen (5-7 %) og fett (14-18%) i gjennomsnitt på tørrstoffbasis gjennom året. Det var større variasjon innhold av næringsstoff og mineraler i prøver av slam tatt etter avanning på beltefilter enn i prøver tatt av slam tørket og behandlet i Global Enviro reaktorer. Årsaken er mest sannsynlig større variasjon i mengde fôrspill fra dag til dag og gjennom døgnet, noe som har stor betydning for sammensetningen av næringsstoff i slam. I GE-reaktoren akkumuleres det slam over tid slik at variasjoner fra dag til dag ikke får så store utslag. Basert på ratioer mellom næringsstoff, særlig mellom energi og aske-innhold, er det anslått at slammet fra de 3 anleggene inneholder en stor andel fôrspill, i gjennomsnitt omkring 50%, men her var det en del variasjon gjennom året. Innholdet av mineraler varierte også gjennom året, men det var ingen store forskjeller mellom anleggene i prosjektet, det samme gjaldt innhold av hovednæringsstoff. Fettsyreprofilen i slam tyder også på et stort innhold av fôrspill i slammet.</p> <p>Innhold av tungmetaller og polyklorerte bifenyler (PCB) ble også undersøkt i noen slamprøver. Innhold av PCB og klorerte pesticider i disse prøvene var så lavt at det ikke utgjør noen risiko for bruk som jordforbedringsmiddel, men innholdet av sink og til en viss grad kadmium setter noen begrensninger for bruk av fiskeslam som gjødselprodukt til matproduksjon.</p>	
<i>English summary/recommendation:</i> <p>Sludge from three land based commercial smolt producing facilities in Norway were collected on a monthly basis during one year. One of the facilities was a recirculating facility (RAS) and two were flow through (FT) facilities. Samples of sludge were taken after dewatering on a belt filter and after treatment in a composting reactor (Global Enviro) originally developed for treatment of household waste. The results show that the sludge contained relatively large amounts of energy, fat and nitrogen, on average 20 MJ/kg, 5-7% and 14-18% respectively, on a dry matter basis. This indicated that there was a considerable amount of feed in the sludge. On average, 50% of the sludge was waste feed. There was some variation during the year in both macronutrients and minerals, but there were no major differences between the smolt facilities in the project. The content of the metals zink and cadmium poses some restrictions on the use of the sludge as fertilizer, whereas the content of PCBs and chlorinated pesticides was below the limits for restricted use.</p>	

Forord

Dette prosjektet bygger på resultatene fra et forprosjekt i 2012 finansiert med kvalifiseringsstøtte fra Regionalt Forskningsfond i Midt Norge. ("Utnyttelse av slam fra akvakultur i blandingsanlegg for biogassproduksjon: teknologi og muligheter" prosjektnummeret RFF 217409). Resultatene fra forprosjektet viste at energipotensialet per kg substrat i slam fra settefiskanlegg til biogassproduksjon er 8-10 ganger høyere enn i storfe gjødsel, men at fiskeslammet også inneholder komponenter som kan hemme biogass-prosessen. Forprosjektet viste også at ferskt fiskeslam kan inneholde spirehemmende komponenter som bør fjernes for å gjøre det egnet som plantegjødsel. Undersøkelser ved Bioforsk Jord og miljø har vist at fiskeslam i likhet med husdyrgjødsel (Paulsrud m fl. 1997), kan inneholde betydelige mengder tungmetaller, slik at materialene får bruksbegrensning i henhold til kvalitetsklassene i forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (Landbruks- og matdepartementet 2003). I fiskeslam gjelder dette særlig sink og kobber, og til en viss grad kadmium.

Slamproduksjonen gjennom settefiskproduksjonen har ikke vært systematisk registrert og beskrevet i norske anlegg hittil, og det er derfor heller ikke tatt hensyn til variasjonene i slamkvalitet gjennom året i tidligere arbeid med slam. I dette prosjektet ble slamprøver samlet fra Marine Harvest sine anlegg i Dalsfjord og Haukå, og ved Sævareid Settefiskanlegg. Analyser av tørrstoff, energi, nitrogen, fett og mineraler ble gjort gjennom ett år av prøver samlet inn ved de tre anleggene i prosjektet. Analyser av innhold av tungmetaller og Polyklorerte bifenyl (PCB) og klorerte pesticider ble gjort på utvalgte slamprøver.

Slam fra landbaserte oppdrettsanlegg som i dag er et avfallsproblem bør utnyttes ved å gjenvinne energi og næringsstoffer. Viktige tema i prosjektet har derfor vært:

- Øke kunnskapen om slam
 - Oppsamlings- og avvanningsteknologi
 - Karakterisering av slam under ulike betingelser
- Slamreduksjon med Global Enviros komposteringsreaktor
 - Sammensetning av sluttprodukt
 - Sluttprodukt som substrat for biogassproduksjon og som plantegjødsel
- Energigjenvinning fra slammet og bruk av slam som gjødsel
 - Slam og oppkonsentrert slam som substrat for biogassproduksjon
 - Hemmende forbindelser i slammet
 - Gjødselvirkning i biorest fra slambehandling

Denne rapporten sammenfatter resultatene på sammensetning av slam (fett, nitrogen, energi) samt tørrstoffinnhold og mineraler fra tre ulike settefiskanlegg i løpet av ett produksjonsår. Det var planlagt å lage et budsjett for total mengde næringsstoff samlet opp som slam i de tre anleggene i prosjektet basert på analysene av kjemisk sammensetning av slam og total mengde slam produsert. Dette viste seg å være vanskelig ettersom prosjektperioden ble preget av kontinuerlig utvikling av nye løsninger for avvanning og noe usikre tall på tørrstoffinnhold i levert slam. Det har også vært utfordrende å få representative prøver. Prosjektet har likevel gitt verdifull informasjon om variasjon i næringsinnhold i slam gjennom året og faktorer av betydning for slammets næringsinnhold, og også noen indikasjoner

på mengden slam som samles opp med dagens renseteknologi i kommersielle anlegg relatert til mengden fôr brukt i anleggene.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Organisering av prosjektet	3
1.1.1	Prosjektets mål	3
1.2	Praktisk gjennomføring av prosjektet	3
1.2.1	Settefiskanlegg som har levert slamprøver i prosjektet	4
1.2.2	Analyser av slam og tørket slam	5
2	Resultat	6
2.1	Fôrforbruk og slamproduksjon	6
2.2	Innhold av hovednæringsstoff i slam	9
2.2.1	Gjennomsnittlig innhold av fett, nitrogen, aske og energi i slam og tørket slam	9
2.2.2	Innhold av hovednæringsstoff i fôr og fiskegjødsel	10
2.2.3	Variasjon av hovednæringsstoff i slam gjennom året ved de ulike anlegg	12
2.3	Beregning av innhold av fôrspill i slam	17
2.4	Innhold av mineraler i slam og tørket slam.....	18
2.5	Innhold av ulike fettsyrer i slam	21
2.6	Innhold av tungmetaller i slam og tørket slam.....	23
3	Diskusjon	24
4	Konklusjon	27
5	Referanser	28
	Vedlegg	

1 Innledning

I 2014 ble det omsatt 306 millioner laksesmolt i Norge (Fiskeridirektoratet, 2015), noe som utgjør rundt 30.000 tonn smolt. Hvis man antar en økonomisk førfaktor på om lag 1,0 vil det si at det er brukt ca 30 000 tonn fôr i norske settefiskanlegg i 2014. Fordøyeligheten av tørrstoff i fôr er om lag 70% (Hillestad m fl. 1999; Oehme m fl. 2014) og blir lavere ved økende innslag av planteråvarer med ufordøyelig karbohydrat, hvilket betyr at om lag 30% eller mer av tørrstoffet i fôret passerer ufordøyd gjennom fisken. Den ufordøyde fraksjonen (gjødse) 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. Avfallet fra settefiskanlegg, som hovedsakelig består av gjødse og fôrspill, samles opp som slam som har et høyt vanninnhold (80-95%), og det bør derfor avvannes for å redusere volumet før transport. Slammet kan utgjøre et forurensningsproblem lokalt, men er også en verdifull ressurs som inneholder energi, nitrogen, fosfor og andre mineraler. 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. Nye settefiskanlegg og eksisterende anlegg som ønsker å utvide kapasitet, møter krav om rensing fra Klima og forurensingstilsynet. Kostnader forbundet med å bli kvitt fiskeslam er i dag et problem for industrien og det er umiddelbart behov for tekniske løsninger for behandling og utnyttelse av slammet. Utvikling av semi-lukkete anlegg i sjø og muligheter for økt individvekt på land (inntil 1 kg) vil kunne øke den totale slammengden underlagt rensebehov, men vil også muliggjøre en oppsamling av en større andel slam fra akvakultur (Rosten m fl. 2011). Oppsamlet slam fra landbasert akvakultur blir i dag behandlet som avløpslam, dvs. hygienisert med brent kalk, eller benyttet som jordforbedringsmiddel i landbruket. I dette prosjektet har partnerne utviklet kunnskap og teknologi for å samle opp og utnytte slam fra settefiskanlegg til produksjon av energi (biogass) og som gjødse til jordbruksvekster. Global Enviro AS har utviklet et system for behandling av matavfall der vannholdig organisk materiale omdannes til et pulver med > 90 % tørrstoff. Prinsippet for metoden er at varmen som utvikles når organisk materiale brytes ned med rikelig tilgang på luft, kan brukes til å fjerne vann. Oppvarmingen innebærer en viss hygienisering av slammet, og det kan også bygges inn et eget hygieniseringstrinn i prosessen. Systemet er testet for behandling av fiskeslam fra settefiskanlegg, og resultatet var et sluttprodukt i form av et brunt pulver med lite lukt (Blytt m fl. 2011; Brod m fl. 2012).



Figur 1 Komposteringsreaktor fra Global Enviro (høyre) og tørt pulver etter komposteringsprosessen (venstre)

Sammensetningen av slammet er avgjørende for egnethet og prosess i biogassanlegg og for egnethet som plantenæring. Innhold av tørrstoff og næringsstoff varierer i slam fra ulike anlegg og gjennom en produksjonssyklus (Gebauer 2004, 2006, Bergheim m fl. 2010, del Campo m fl.2010, Ytrestøyl m fl. 2013). Dette skyldes både mengde fôrspill, fôrets sammensetning og tekniske kvalitet, og teknologi for oppsamling av slam. Mengde fôrspill i slammet har stor betydning for innhold av næringsstoff i slammet. Fett og protein i fiskefôr har høy fordøyelighet (over 80%), mens enkelte karbohydrater, fosfor, og enkelte andre mineraler har langt lavere fordøyelighet (mindre enn 40%). Forholdet mellom høyt og lavt fordøyelige næringsstoff vil dermed kunne indikere hvor mye fôrspill slammet inneholder. Mye fôrspill i slammet kan skyldes overfôring, men også at det er en selektiv oppsamling av partikler fra fôrspill sammenlignet med fiskegjødning. Størrelse på partiklene og hvor lett de går i oppløsning i vann vil være avgjørende for hvor stor andel av gjødning og fôrspill som samles opp med dagens teknologi for rensing av vann og avvanning av slam. Dagens teknologi for behandling av slam omfatter et rensetrinn og ett eller flere trinn for avvanning og stabilisering av slammet.

En vanlig løsning er filtrering av vannet med et trommelfilter før det går videre til et båndfilter for å fjerne vann og øke tørrstoffinnholdet. Slammet kan så komposteres eller utnyttes til for eksempel biogassproduksjon. Prinsippet bak Global Enviros komposteringsreaktor er en kombinasjon av mikrobiell kompostering og et tørkettrinn basert på fysisk oppvarming ved tilførsel av elektrisk energi. Systemet er avhengig av at slammet holder minst 20 % tørrstoff når det går inn i reaktoren for at prosessen skal fungere, og dette viste seg å være en utfordring å få til med dagens teknologi. Etter at prøvetakingsperioden var avsluttet i prosjektet, har Sævereid testet ut tilsats av et trefiberprodukt (Agronova Fibril[®]) før slammet går inn i reaktoren for å øke tørrstoffinnholdet. Dette har fungert bra og gitt en stabil komposteringsprosess.

En faktor som kan legge begrensninger på bruk av slam som gjødning er innholdet av mineraler og tungmetaller. Generelt er innholdet av kalium ofte lavt for plantevekst og slammet inneholder ofte mye fosfor i forhold til nitrogen i forhold til plantenes behov (Hess-Erga m fl. 2013). Dersom det brukes sjøvann i deler av produksjonen vil dette øke innholdet av natrium, klorid, magnesium og bor, noe som kan hemme plantevekst (Hess-Erga m fl. 2013). Innhold av sink og andre tungmetaller kan utgjøre et problem. Grenseverdier for innhold av tungmetaller for ulike anvendelser er angitt i gjødselsforskriften:

Tabell 1 Kvalitetsklasser av organisk avfall basert på maksimalt tillatt innhold av tungmetaller (mg/kg tørrstoff)

Kvalitetsklasser	0	I	II	III
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

Kvalitetsklasse 0 kan fritt benyttes etter plantenes behov i jordbruk, hager, parker og grøntarealer. Kvalitetsklasse I er begrenset til 4 tonn TS per dekar og hvert 10. år, og kvalitetsklasse II er begrenset til 2 tonn TS per dekar hvert 10. år. I grøntarealer kan klasse I-III benyttes i et 5 cm lag innblandet

1.1 Organisering av prosjektet

Industripartnere i prosjektet har vært : Smøla Klekkeri og Settefiskanlegg AS, Marine Harvest, Global Enviro AS, Villasmolt AS, BioPower Norge, Sævareid Fiskeanlegg og Lingalaks.

Smøla Klekkeri og Settefiskanlegg AS har vært prosjektleder.

Prosjektet har vært organisert i fem arbeidspakker, hvor Nofima har vært ansvarlig for gjennomføring av arbeidspakke 1 og 2 i prosjektet.

AP1: Estimere stoff-flyt gjennom settefiskanlegg under ulike betingelser (Nofima)

AP2: Evaluere metoder for avvanning / komprimering av slamvolum (Nofima)

AP3: Etablere kunnskap for biogassproduksjon fra fiskeslam, enten ved det enkelte settefiskanlegg eller ved et sentralt anlegg (Bioforsk økologisk, Tingvoll)

AP4: Teste biorest som gjødsel, både med ferskt og volumreduert slam som substrat i biogassprosessen (Bioforsk økologisk, Ås)

AP5: Analyse av kostnader, logistikksystem, lokalisering av biogassanlegg og forretnings-modeller som er avgjørende for om dette er gjennomførbart i industrien (Møreforskning, Molde)

1.1.1 Prosjektets mål

FoU-prosjektets hovedmål var å utvikle kostnadseffektive metoder for å gjenvinne energi og næringsstoffer i slam fra landbaserte settefiskanlegg til produksjon av energi (biogass) og jordbruksvekster.

Arbeidspakke 1 hadde opprinnelig følgende delmål:

- 1) Oppsamling og karakterisering av slam og slamfraksjoner fra ulike settefiskanlegg for utnyttelse til bioenergi og plantenæring
- 2) Lage en modell for å kunne beregne mengde fôrspill i slam ved å analysere forholdet mellom fett/Ca, fett/P, N/Ca og N/P i i slam med definerte mengder fôrspill

Det ble imidlertid klart at mengde fôrspill hadde stor betydning for avvanning av slam, så delmål 2) ble flyttet over i arbeidspakke 2, (Evaluering av metoder for avvanning av slam), og resultatene av dette arbeidet er presentert i rapporten for denne arbeidspakken (Aas m fl 2016).

1.2 Praktisk gjennomføring av prosjektet

I prosjektet har det vært samlet prøver av slam og slam tørket med Global Enviros komposteringsreaktorer fra tre settefiskanlegg. To av disse var gjennomstrømningsanlegg; Marine Harvest sitt anlegg på Haukå og Sævareid Fiskeanlegg. Marine Harvest sitt anlegg i Dalsfjord er et resirkulerings anlegg (RAS). Opprinnelig var også Lerøy sitt RAS anlegg i Belsvik med i prosjektet, men trakk seg ganske raskt ut. Prøver fra dette anlegget er derfor ikke tatt med i resultatdelen. Alle anleggene hadde installert komposteringsreaktorer fra Global Enviro for tørking av slam til et luktfritt

pulver med tørrstoff innhold på minst 90%. For at denne prosessen skal fungere må slammet ha et tørrstoffinnhold på over 20-25 %, og dette viste seg å by på utfordringer ved alle de anleggene i prosjektet. Ulike løsninger ble prøvd ut, blant annet ble det montert vakum på Salsnes filter ved Sævareid Fiskeanlegg for å øke tørrstoffinnholdet før slammet går inn i komposteringsreaktoren.

1.2.1 Settefiskanlegg som har levert slamprøver i prosjektet

Marine Harvest Haukå

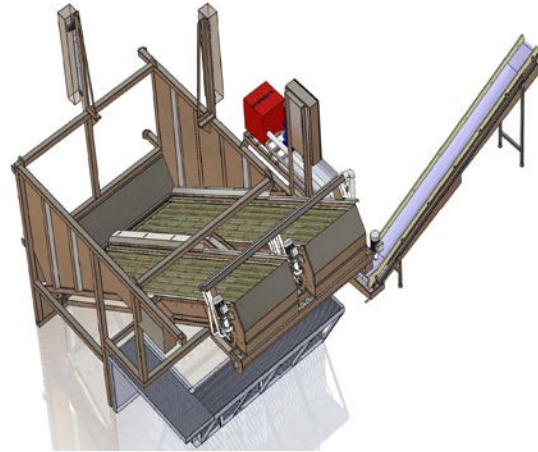
Anlegget ligger i Flora Kommune i Sogn og fjordane. Anlegget har vært i drift siden 1985 og har i dag 12 årsverk. I 2014 ble det levert 3.8 million smolt fra anlegget. Anlegget har renskrav fra Fylkesmannen. Anlegget har flere utfordringer knyttet til slamhåndtering og rensing av avløpsvann. Det er utfordringer med å få samlet opp partikler fra avløpet slik at renskravet fra Fylkesmannen overholdes. Det er dermed viktig å unngå for mye knusing av partikler. Anlegget har installert komposteringsløsning fra Global Enviro, men det har vært problemer med å oppnå tilstrekkelig høyt tørrstoff i slammet til at komposteringsprosessen fungerer optimalt. Flere ulike filterløsninger (Rotosieve og båndfilter) samt sedimentering og dekanter har vært prøvd for å oppnå høyt nok tørrstoffinnhold på slammet. Målet er å få avvannet slammet så raskt som mulig etter hovedfilteret og unngå sedimentering og behov for kalking. Slammet avvannes ved at filteret ikke går konstant, vannet renner av når filteret står stille. Anlegget har per i dag 3 GE-reaktorer, men dette er ikke nok til å dekke behovet, så anlegget leverer også en del vått slam. Anlegget har samlet opp 22 tonn tørka slam (92-95% TS) og 60 tonn vått slam (25 % TS) i 2014 (Basert på opplysninger fra driftsleder).

Marine Harvest Dalsfjord

Anlegget ligger i på Lauvstad i Volda kommune og har 14 ansatte. Anlegget ble etablert i 1985, og har i dag konsesjon på produksjon av 7.5 millioner smolt per år (1210 tonn biomasse). Anlegget hadde ved starten av prosjektperioden montert et tradisjonelt båndfilter (Bjørndal) og reaktorer fra Global Enviro. Slam ble pumpet ut fra bandfilter og over i GE-reaktorene. Men tørrstoffinnholdet etter bandfilter var for lavt og ustabil, og det ble derfor gjort forsøk på å øke tørrstoffinnholdet ved å montere vakuumniver av ulike størrelser. Men dette har heller ikke gitt er slam med stabilt tørrstoffinnhold på over 20 %, og anlegget på Dalsfjord har per i dag ikke GE-reaktorer i drift, men leverer vått slam med tørrstoffinnhold rundt 16-20 %.

Sævareid Fiskeanlegg

Anlegget ligger i Sævareid i Fusa kommune. Anlegget kom i drift på slutten av 70-tallet, og det er i de siste åra gjort store utvidelser av produksjonen, og anlegget har i dag konsesjon på produksjon av 10 millioner smolt og 17 ansatte. I prøvetakingsperioden var anlegget et gjennomstrømningsanlegg, men er nå under ombygging til RAS. Anlegget hadde i prøvetakingsperioden trommelfilter og Salsnes filter for avvanning av slam. Det var også ved dette anlegget knyttet utfordringer knyttet til å få slammet tørt nok til at det kunne gi en god tørkeprosess i Global Enviro reaktorene. Etter at prøvetaking i prosjektet er avsluttet er det startet forsøk med tilsats av papirfiber til slammet (Fibral) noe som er vist å gi god effekt på avvanningseffektivitet og komposteringsprosessen/tørking i GE reaktorer. Tilsats av fibral vi sannsynligvis påvirke sammensetning av sluttproduktet, men det er ikke målt i dette prosjektet.



Figur 2 Bjørdal båndfilter (øverst), Rotosieve trommelfilter (nederst)

1.2.2 Analyser av slam og tørket slam

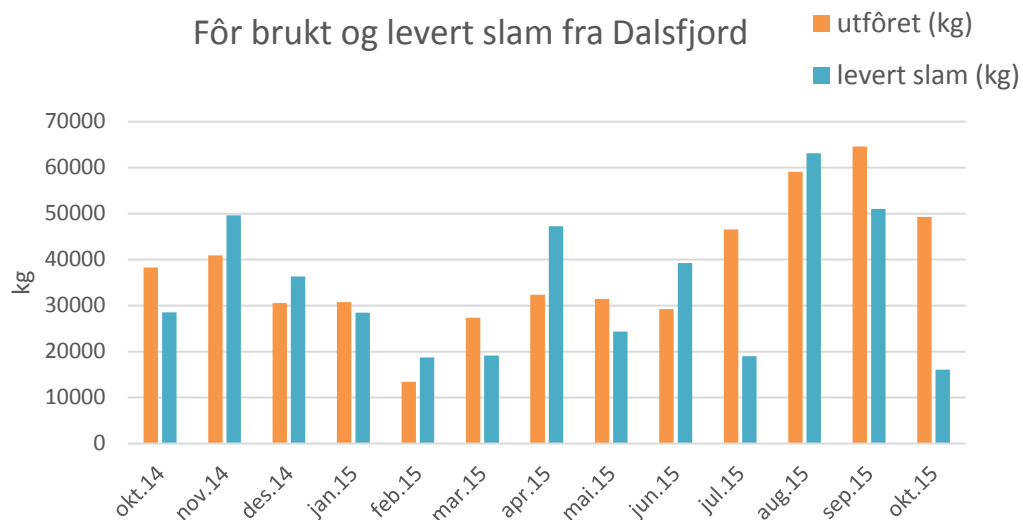
Slamprøver ble frosset inn på anlegget og sendt frosne til Nofima. GE-pulver ble analysert som det var («as is») etter homogenisering. Slamprøver av vått slam (tørrestoff mellom 10 og 20 %) ble frysetørket før videre analyser og konsentrasjon av næringsstoff og mineraler beregnet i forhold til rå prøve. Fett, nitrogen, aske, energi og fettsyresammensetning ble analysert ved Nofimas laboratorier, mens mineraler og tungmetaller ble analysert ved Eurofins. Tørrestoff ble bestemt ved tørking ved 105 °C til konstant vekt (ISO 6496–1999). Aske ble målt ved forbrenning ved 550 °C til konstant vekt (ISO 5984–2002). Nitrogen ble målt ved Kjeldahl metode (Kjeltech Auto Analyser, Tecator, Höganäs, Sverige). Energi ble målt ved bombekalometri (Parr 1271, Parr, Moline, IL, USA). Fett ble målt ved Soxleth metode, og fettsyresammensetning ble målt ved gaskromatografi med C23 som intern standard. Mineraler og tungmetaller ble målt ved ICP ved Eurofins. Prøver av slam ble også sendt til Eurofins for analyse av organiske miljøgifter. Det ble analysert for 7 ulike polyklorerte bifenyl (PCB) og 26 klorerte pesticider. Resultater og flere detaljer finnes i Joner m fl. (Bioforsk rapport 70/2015).

2 Resultat

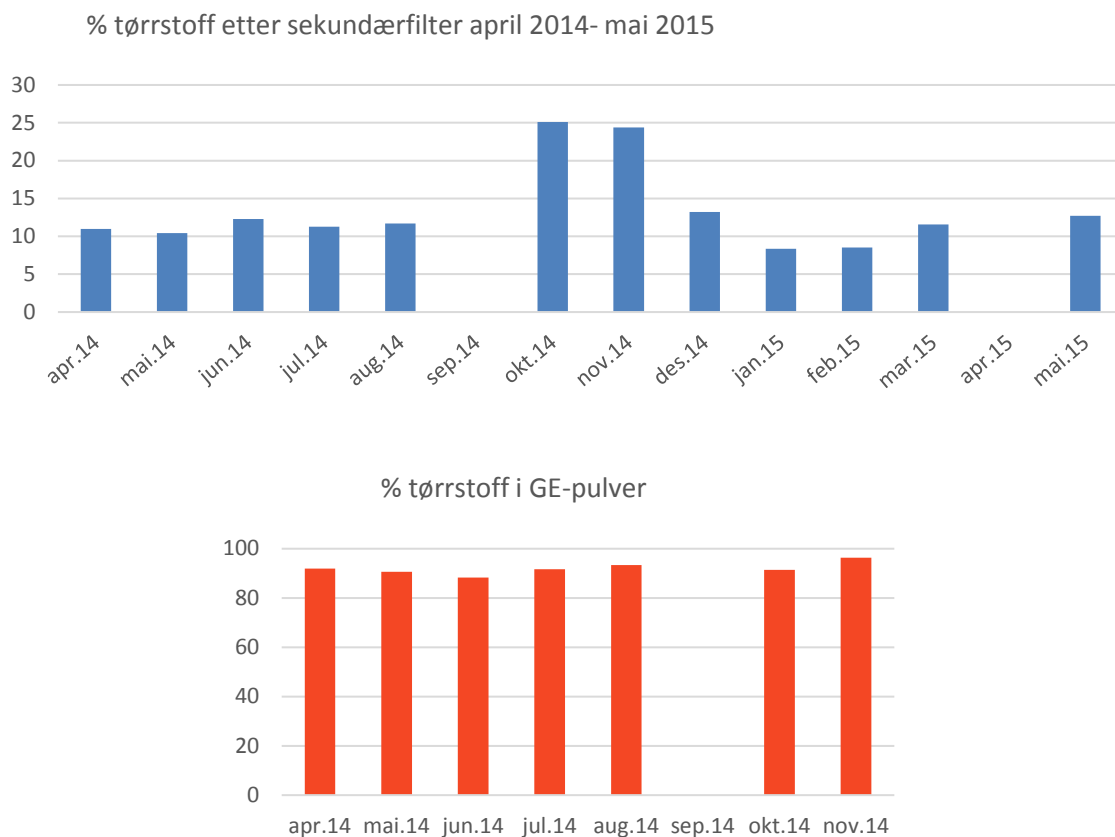
2.1 Fôrforbruk og slamproduksjon

Marine Harvest Dalsfjord

I løpet av ett år (oktober 2014-oktober 2015) ble det oppgitt at det var utfôret totalt 494 tonn fôr i anlegget, noe som tilsvarer 464 tonn utfôret tørrstoff forutsatt at fôret inneholder 94 % tørrstoff. I samme tidsrom ble det samlet opp og levert 441 tonn slam med et tørrstoffinnhold på omkring 15 %, det vil si at det var levert om lag 66 tonn tørrstoff. Det ble samlet opp 0,13 kg slam per kg utfôret på tørrstoffbasis. Fôrfaktor (FCR, kg fôr brukt/kg biomasse produsert) var oppgitt til å være 0.9. Variasjon gjennom året i utfôring og levert slam er vist i figur 3. Det ble samlet prøver månedlig i perioden april 2014 til mai 2015. Tørrstoffinnholdet i prøver tatt etter sekundærfilter (båndfilter) lå på under 15 % i hele perioden med unntak av i oktober og november 2014 (uke 42 og uke 46), da tørrstoffinnholdet kom opp på rundt 25% (figur 4). Det var ingen sammenheng mellom mengde fôr utfôret per uke i anlegget den uka slam-prøven ble tatt og tørrstoffinnholdet i slam etter sekundærfilter.



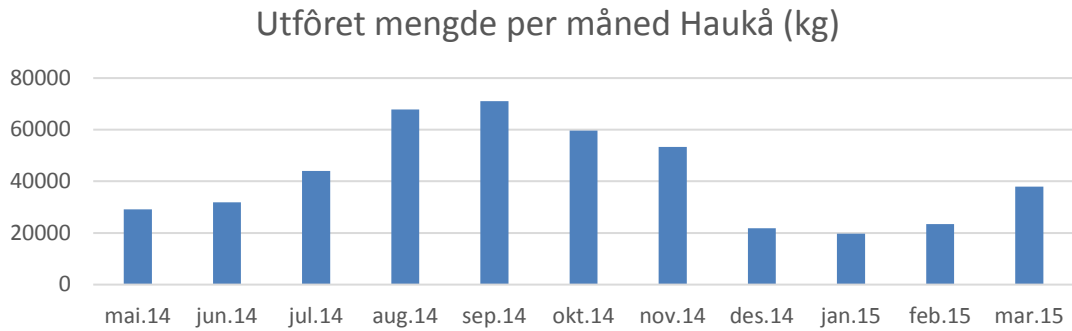
Figur 3 Utfôring og mengde slam levert fra Marine Harvest Dalsfjord i perioden oktober 2014 til oktober 2015



Figur 4 (a) Tørrstoffinnhold i slam samlet etter sekundærfilter fra Marine Harvest sitt anlegg i Dalsfjord. (b) tørrstoffinnhold i slam behandlet i komposteringsreaktor fra Global Enviro (GE-pulver)

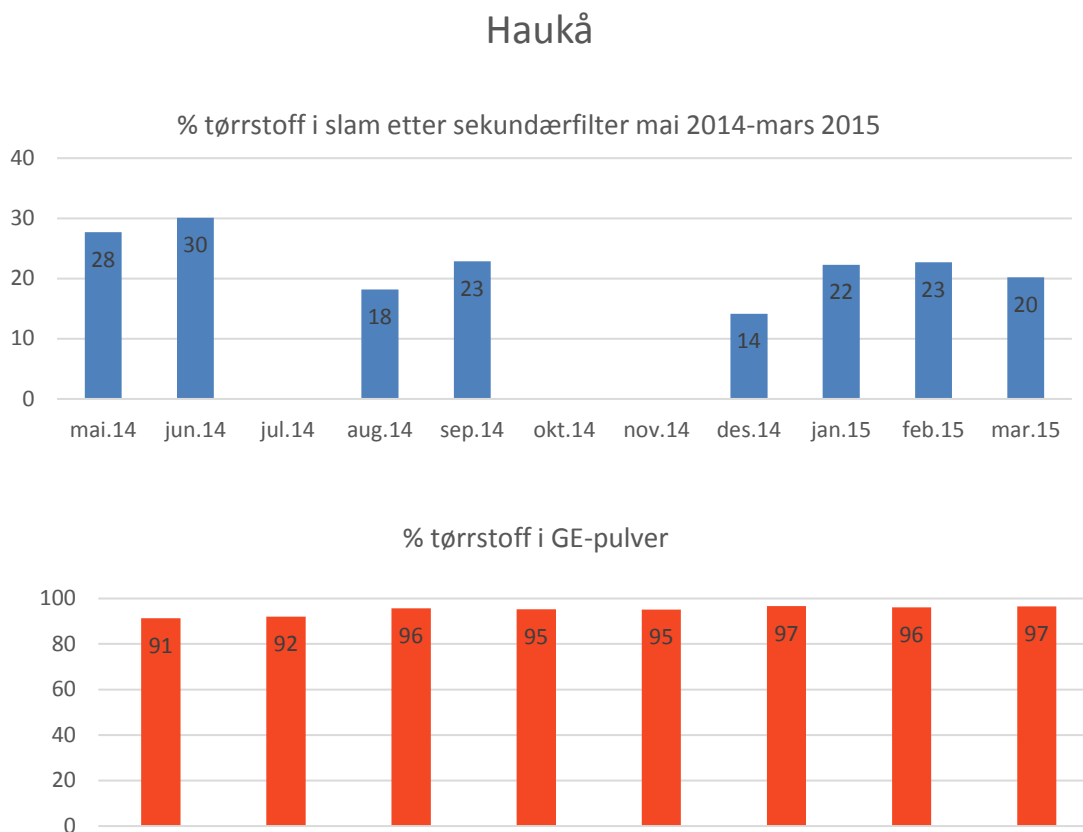
Marine Harvest Haukå

Figur 5 viser utfôret mengde per måned i anlegget på Haukå i løpet av perioden det ble samlet slamprøver. Det ble fôret mest i august-november 2014, i desember-januar var utfôringen lav. Fra mai 2014 til og med april 2015 er det oppgitt at det er utfôret totalt 493 tonn i anlegget, noe som tilsvarer 463 tonn tørrstoff hvis fôret inneholder 94% tørrstoff. I løpet av ett produksjonsår (2014) ble det samlet og levert 61 tonn vått slam med tørrstoffinnhold omkring 20 %, (figur 6 a) og 22 tonn tørket slam (GE-pulver med en tørrstoffinnhold på omkring 95 %, figur 6b). Det ble levert totalt 33,2 tonn tørrstoff i form av vått slam og GE-pulver fra Haukå i 2014. Hvis man antar at utfôret mengde er relativt lik i 2014 og 2015, så ble det på tørrstoffbasis samlet opp 0,07 kg slam per kg fôr brukt i anlegget. Utfôret mengde i forhold til produsert biomasse (FCR) er oppgitt til 1.05.



Figur 5 Utfôret mengde per måned i løpet av prøvetaksperioden

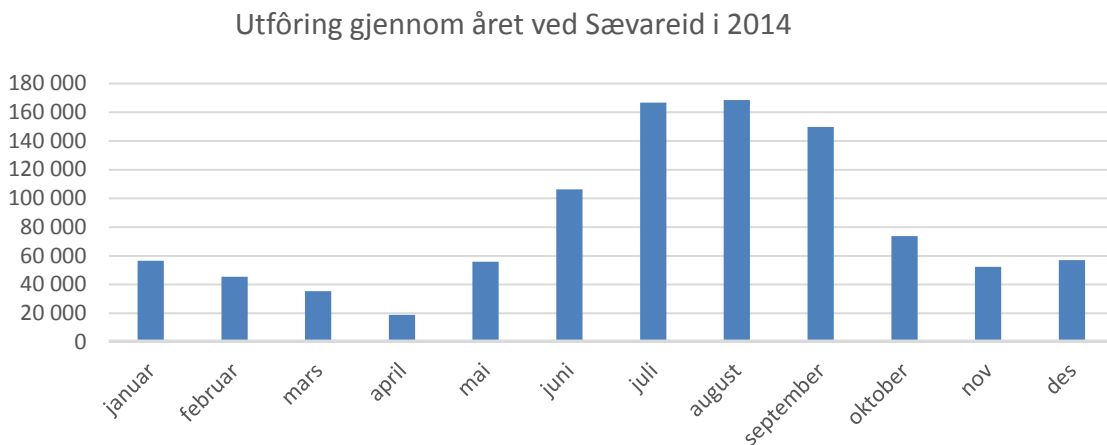
Det var en viss variasjon i tørrstoffinnhold i slam fra Haukå gjennom året. Tørrstoffinnholdet varierte mellom 14 og 30 % i slamprøver tatt etter sekundærfilter, og tørrstoffinnholdet var høyest i mai og juni. Figur 6 (b) viser tørrstoff i slam behandlet i Global Enviro sine reaktorer. Her var det mindre variasjon i tørrstoff gjennom året (91-97 %) men det var ingen signifikant sammenheng mellom tørrstoff i slam etter sekundærfilter og tørrstoffinnholdet etter behandling i reaktoren. Det var heller ingen sammenheng mellom utfôring og tørrstoff i slam og GE-pulver.



Figur 6 (a) Tørrstoffinnhold i slam samlet etter sekundærfilter fra Marine Harvest sitt anlegg på Haukå. (b) tørrstoffinnhold i slam behandlet i komposteringsreaktor fra Global Enviro (GE-pulver). Det ble ikke mottatt prøver i juli, oktober og november 2014

Sævareid Fiskeanlegg

Det ble analysert få prøver av fortykket slam etter sekundærfilter fra Sævareid fordi det ved en misforståelse ble samlet vannfraksjonen etter filter ved en del uttak. Tørrstoffinnholdet i prøvene varierte mellom 8.4 og 30 %, men ettersom det kun er 4 prøver som er analysert er det ikke mulig å si hvordan dette varierer med fôring i anlegget. Mengde oppsamlet slam i prøvetakingsperioden var estimert til ca 210 tonn slam med tørrstoffinnhold på ca 20 % og ca 35 tonn tørket slam med et tørrstoffinnhold på ca 75 %. Til sammen blir dette om lag 68 tonn tørrstoff samlet opp og levert i form av slam, men her er det en del usikkerhet omkring tørrstoff-innholdet. Det er opplyst at det er fôret ut totalt 987 tonn fôr i 2014. Ratioen oppsamlet slam/fôr utfôret blir da 0,07 på tørrstoffbasis. Fôrfaktor (FCR) ved anlegget var oppgitt til 1.0.



Figur 7 Fôring i anlegget til Sævareid (kg per måned) i 2014

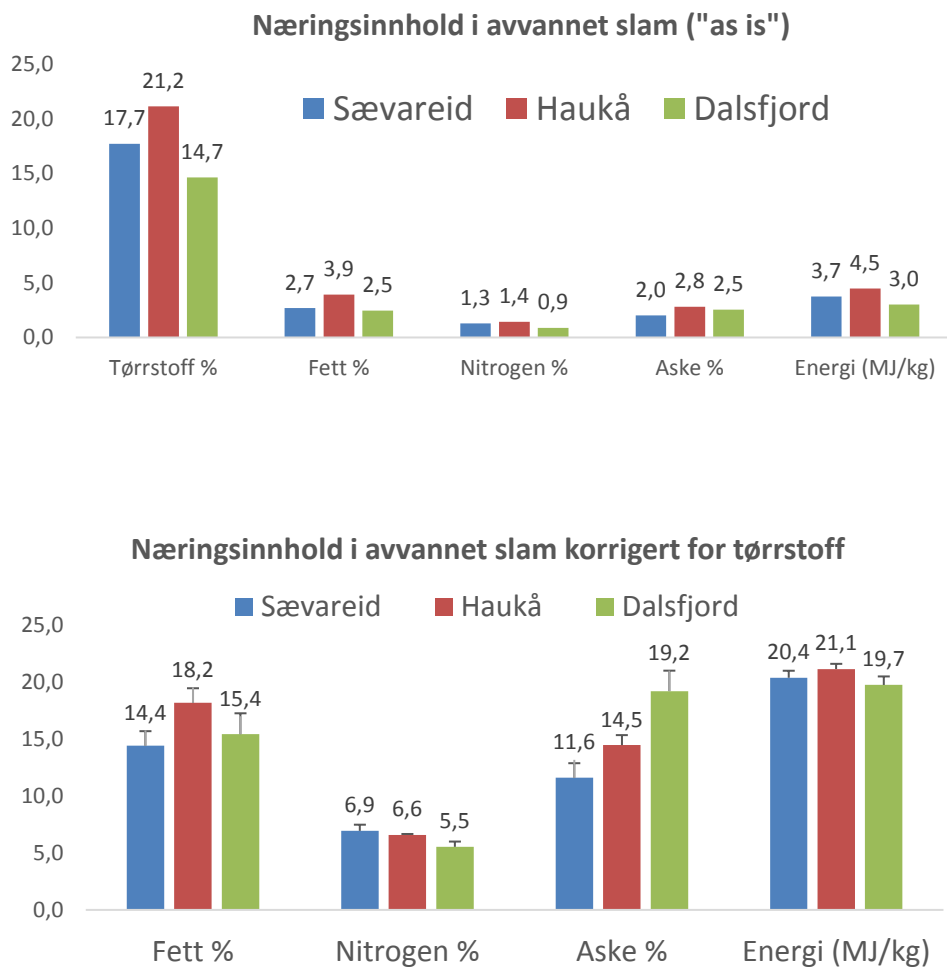
2.2 Innhold av hovednæringsstoff i slam

2.2.1 Gjennomsnittlig innhold av fett, nitrogen, aske og energi i slam og tørket slam

Gjennomsnittsverdiene av fett, nitrogen, aske og energi i avvannet slam i prøvetakingsperioden varierte mellom de tre anleggene i prosjektet, og det var også en stor variasjon i tørrstoff-innhold mellom anleggene (figur 8a). Det høyeste tørrstoff-innholdet ble målt i avvannet slam fra Haukå, mens slam fra Dalsfjord hadde det laveste tørrstoffinnholdet. Når næringsinnholdet ble korrigert for tørrstoffinnhold (figur 8b) hadde slam fra Dalsfjord det høyeste innholdet av aske, og lavest innhold av energi og nitrogen. Slam fra Haukå hadde høyest innhold av fett og energi. Generelt var innholdet av energi høyt hos alle de tre anleggene, og variasjonen mellom anlegg var liten. I gjennomsnitt var energiinnholdet rundt 20 MJ/kg tørrstoff (Figur 8 b). Innholdet av aske var det som varierte mest mellom anlegg, det var lavest i slam fra Sævareid (11,6 %), og høyest i slam fra Dalsfjord (19 %). No av variasjonen mellom anlegg i slammets sammensetning kan skyldes bruk av ulike fôr. Vi har ikke analyser av fôret som ble brukt ved de ulike prøvetakingstidspunktene.

Variasjonen i næringsinnhold mellom anlegg var mindre i slam behandlet i Global Enviro komposteringsreaktorer (Figur 9), men tørrstoffinnholdet var også her høyest for tørket slam fra Haukå (Figur 9a). Når næringsinnholdet ble korrigert for tørrstoffinnhold var det ikke særlig forskjellig fra næringsinnholdet i avvannet slam, med unntak av et litt lavere innhold av aske og litt høyere innhold

av nitrogen i GE-pulver enn i avvannet slam. Energi-innholdet lå på rundt 21 MJ/kg tørrstoff i GE-pulver fra alle tre anlegg (figur 9b).



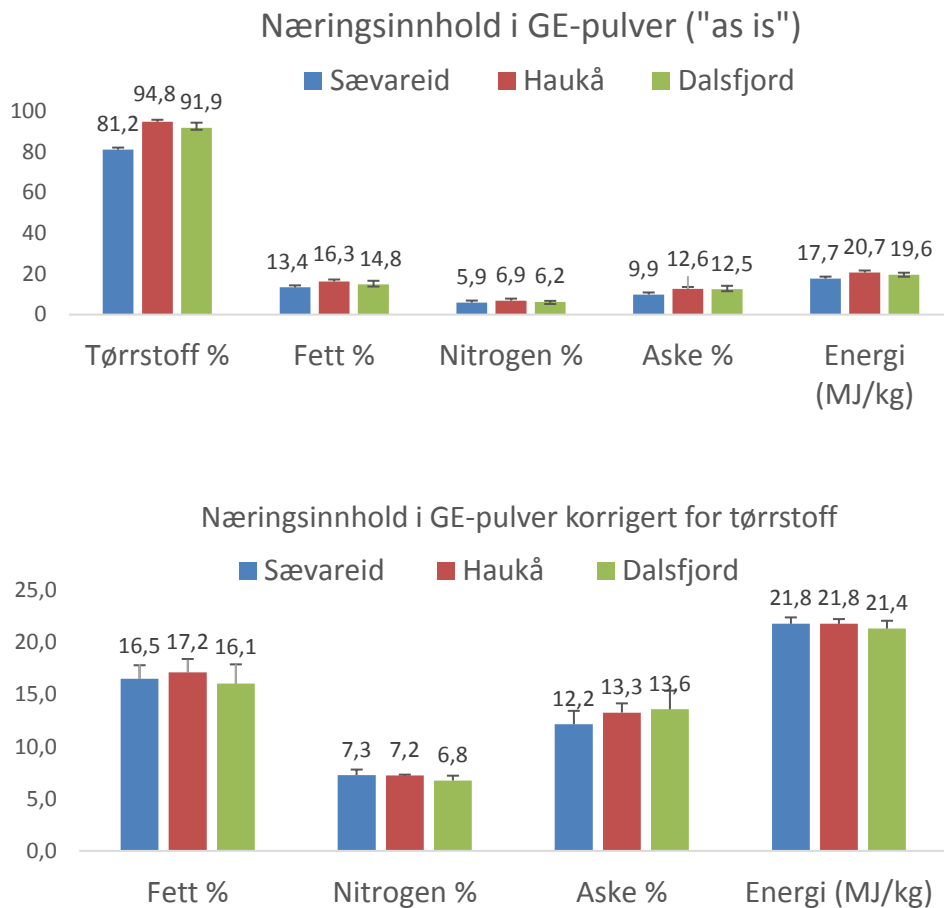
Figur 8 Næringsinnhold i avvannet slam samlet opp etter sekundærfilter (a) «As is», (b) korrigert for tørrstoff. Verdier er gjennomsnitt av alle prøver tatt fra de tre anleggene \pm standardavvik (SD)

2.2.2 Innhold av hovednæringsstoff i fôr og fiskegjødning

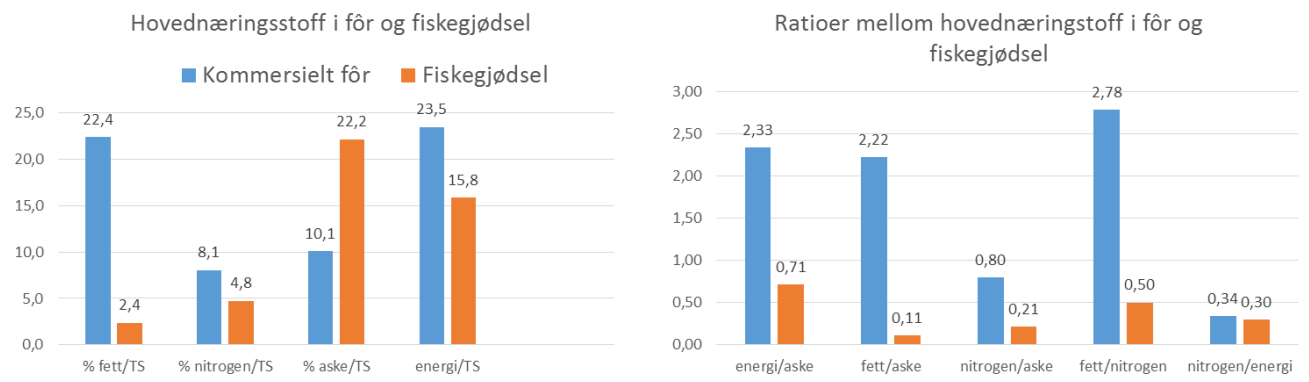
Det ble strøket gjødning av smolt på rundt 100 g ved Nofima sin forsøksstasjon på Sunndalsøra for å ha en indikasjon på innhold av næringsstoff i gjødning fra fisk av relevant størrelse fôret med dagens kommersielle fiskefôr i settefiskproduksjon. Figur 10 viser forholdet mellom fett, nitrogen, aske og energi i fiskegjødning og fôr, oppgitt per kg tørrstoff. Fôret hadde et tørrstoffinnhold på 94 % og gjødning inneholdt 12,6 % tørrstoff. Energiinnholdet i fôr og gjødning var henholdsvis 23,5 og 15,5 MJ/kg tørrstoff, mens innholdet av aske utgjorde 10 og 22 % av tørrstoffinnholdet i fôr og gjødning. Gjødning inneholder lite fett (0,3 % «as is», 2,4 % av tørrstoff) mens forskjellen i innhold av nitrogen korrigert for tørrstoff var mindre, gjødning inneholdt 4,8 % nitrogen og fôr 7,5 % nitrogen. Innholdet av hovednæringsstoff i fôr og gjødning vil reflekteres i ratioene mellom næringsstoff i fôr og fiskegjødning. I fôr er forholdet energi/aske og fett/aske høyt (2.2-2.3), men i gjødning er det lavt (0.7 og 0.1), mens forholdet mellom

nitrogen og energi er ganske likt i fôr og gjødsl (Figur 10 b). Figur 11 viser tilsvarende ratioer mellom hovednæringsstoff for slam (Figur 11a) og GE-pulver (Figur 11b) fra de tre anleggene i prosjektet.

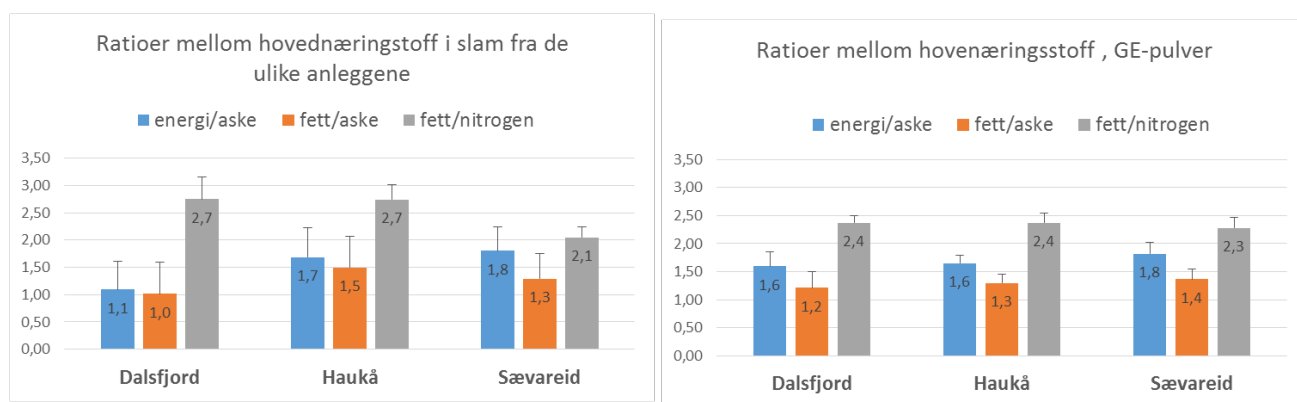
Vi ser at det er litt variasjon mellom anleggene i forholdet energi/aske i slam, Sævareid har høyest energiinnhold i forhold til aske (1,8), mens Dalsfjord har det laveste forholdet mellom energi, fett og aske i slam. Dalfjord og Haukå hadde høyere fett/nitrogen ratio enn Sævareid. I GE-pulver var det ingen forskjell mellom anleggene i ratioene mellom hovednæringsstoff.



Figur 9 Næringsinnhold i slam tørket med Global Enviro's komposteringsreaktor (a) «As is», (b) korrigerert for tørrstoff. Verdier er gjennomsnitt ±SD



Figur 10 Forhold mellom hovednæringsstoff (fett, nitrogen, aske og energi) regnet per kg tørrstoff (a) og som ratio mellom næringsstoff (b)



Figur 11 Forhold mellom hovednæringsstoff (fett, nitrogen, aske og energi) regnet per kg tørrstoff mellom de tre anleggene i prosjektet. Slam (a) og GE-pulver (b). Ratioene er beregnet som et gjennomsnitt av alle prøver samlet gjennom året for de tre anleggene \pm SD

2.2.3 Variasjon av hovednæringsstoff i slam gjennom året ved de ulike anlegg

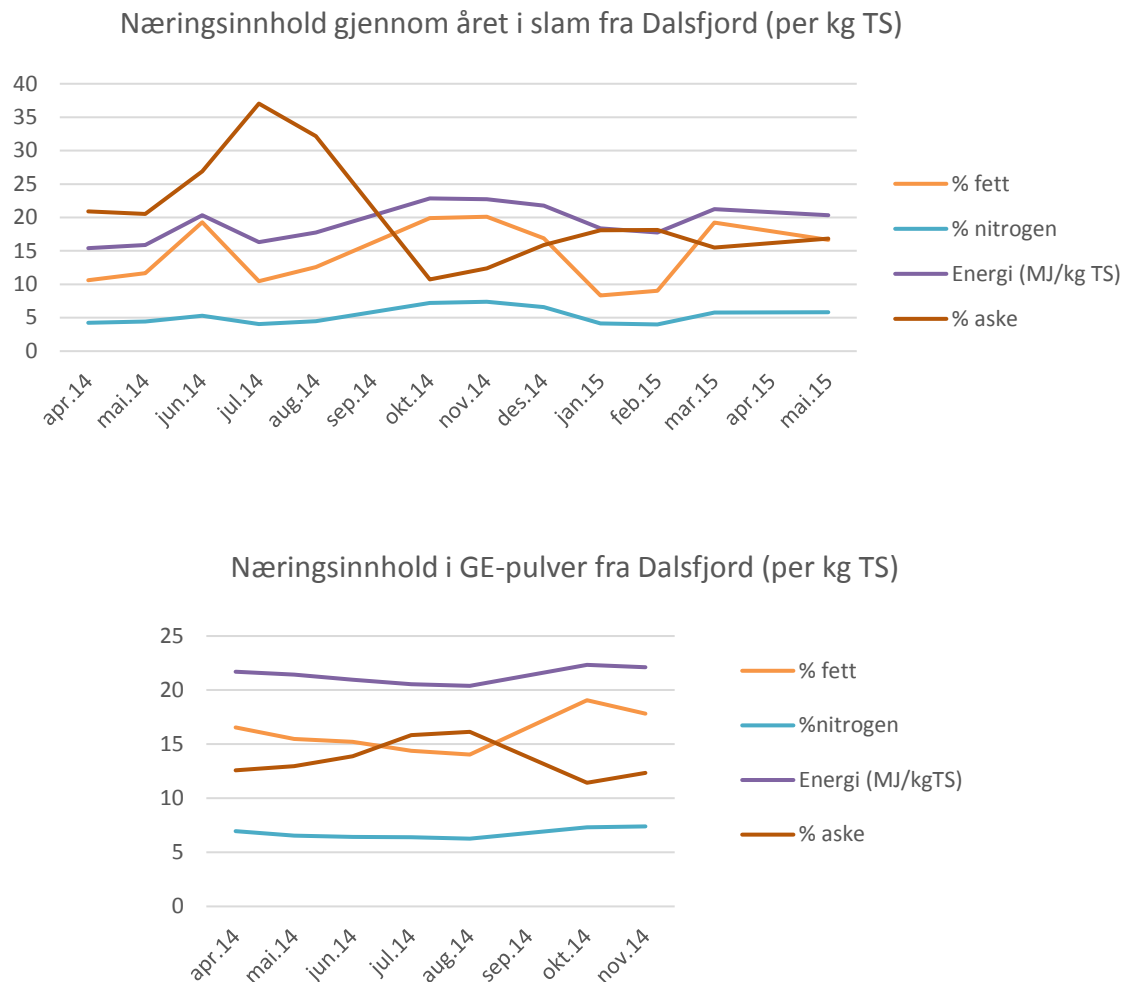
Marine Harvest Dalsfjord

Næringsinnholdet i slammet fra Dalsfjord varierte gjennom året. I perioden september-november når tørrstoffinnholdet i slammet var høyt, så var også innholdet av fett, energi og nitrogen høyere (figur 12). Innholdet av aske var høyest når tørrstoffinnholdet var lavt, og askeinnholdet var negativt korrelert med innholdet av fett, nitrogen og energi. Næringsinnholdet i slam tørket med Global Enviro sin reaktor viste mindre variasjon gjennom året, men prøver ble kun tatt fra april 2014 til november 2014, ettersom reaktorene var ute av drift på grunn av problem med å oppnå høyt nok tørrstoffinnhold etter sekundærfilter. Det var likevel en trend at innholdet av fett og energi økte utover høsten, mens askeinnholdet gikk ned. Innholdet av aske var negativt korrelert med innholdet av energi også i GE-pulver, og det var også en god korrelasjon mellom innhold av fett og nitrogen i GE-pulver. I slam var ikke sammenhengen så tydelig (figur 12 b).

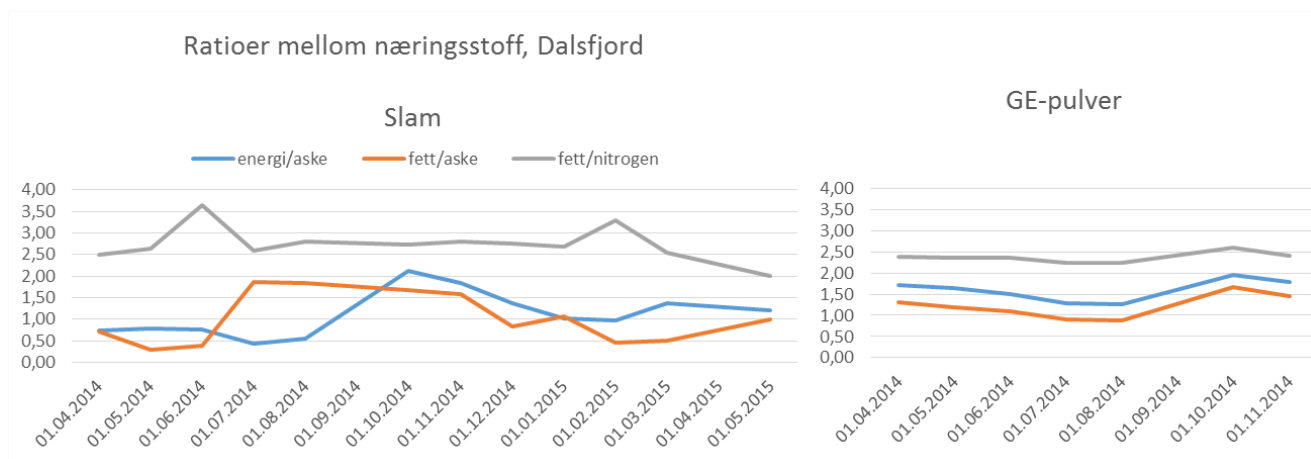
Marine Harvest Haukå

Næringsinnholdet i slam fra Haukå varierte også i løpet av prosjekt perioden (figur 14 a), men ikke i samme grad som tørrstoffinnholdet. I Desember var innholdet av fett (13,4 %), energi (18,2 MJ/kg) og nitrogen (5 %) lavest og askeinnholdet høyest (26 %). Utover vinteren og våren økte innholdet av fett, nitrogen og energi i slammet samtidig som askeinnholdet gikk ned. Det var ingen signifikant

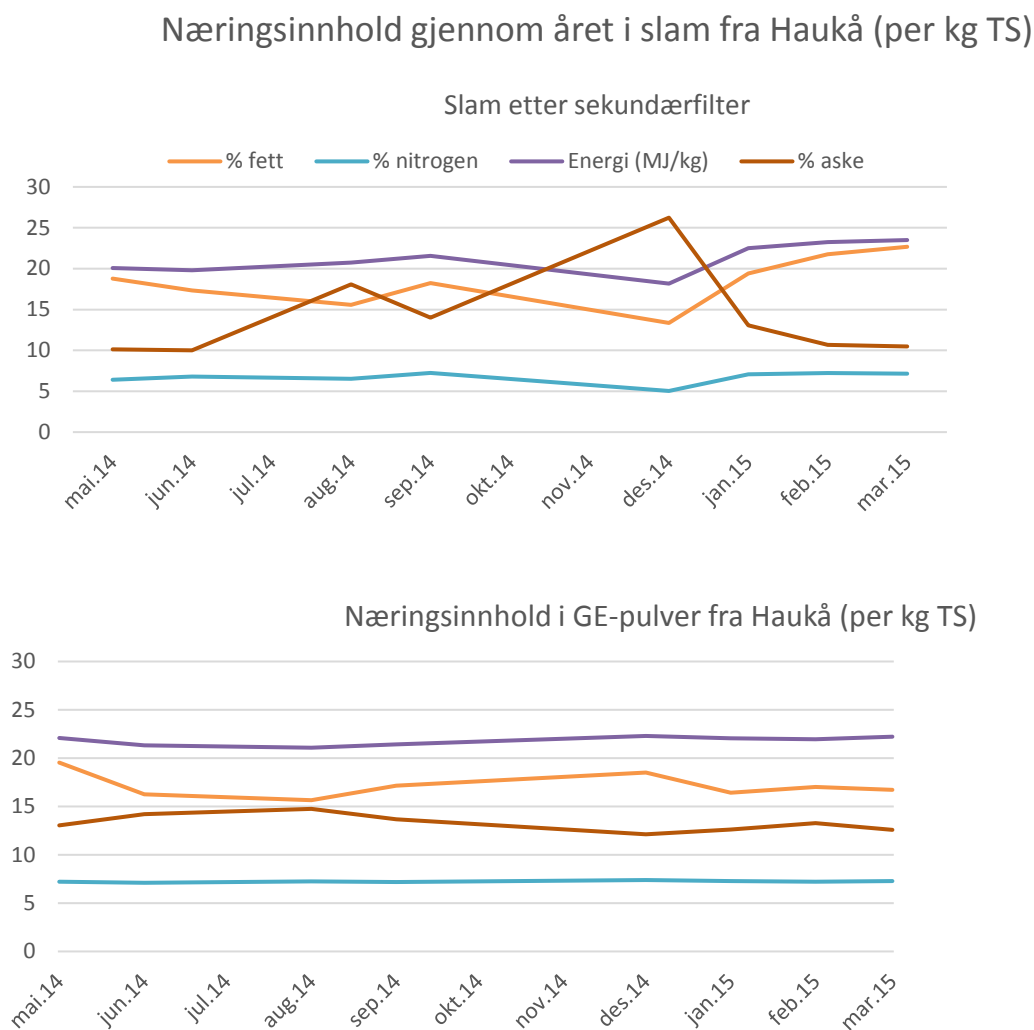
sammenheng mellom tørrstoffinnhold i slam og GE-pulver og innhold av energi, fett og protein. Det var derimot en signifikant lineær sammenheng mellom innholdet av aske i slam og tørrstoff, jo lavere tørrstoff, jo høyere var askeinnholdet i slammet ($y=-0.91x+34.4$, $R^2=0.67$, $p<0.05$). Dette viser seg også i ratioene for ulike næringsstoff som også endret seg i løpet av prøvetakingsperioden (Figur 15). Variasjonen i næringsinnhold var mindre gjennom året i GE-pulver sammenlignet med i slam.



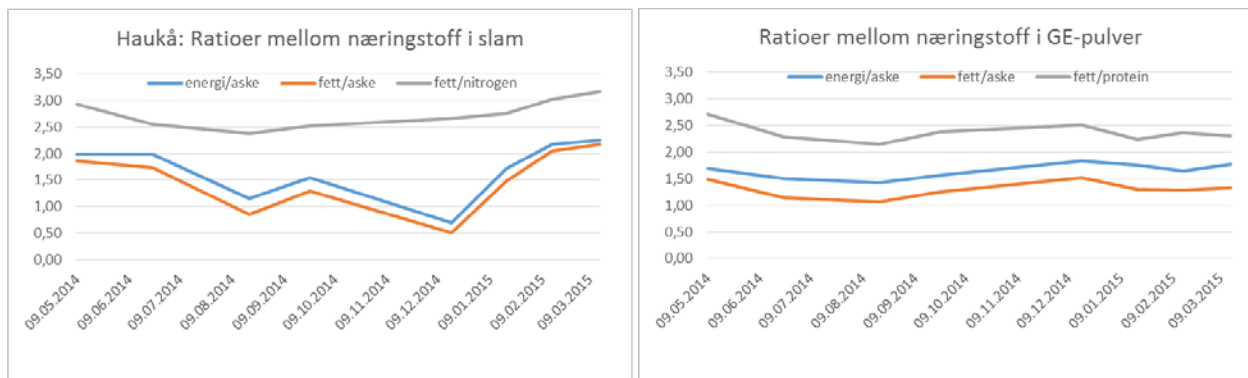
Figur 12 Næringsinnhold gjennom året i slam samlet etter sekundærfilter fra Dalsfjord. (a) avvannet slam etter sekundærfilter og (b) Etter tørking/kompostering i Global Enviro sin reaktor (GE-pulver). Alle verdier er korrigert for tørrstoffinnhold



Figur 13 Variasjon gjennom året i forholdet mellom næringsstoff i (a) slam og (b) GE-pulver fra Dalsfjord. Alle verdier er oppgitt i tørrstoff.



Figur 14 Næringsinnhold gjennom året i slam samlet etter sekundærfilter fra Marine Harvest sitt anlegg på Haukå. (a) avannet slam etter sekundærfilter og (b) Etter tørking/kompostering i Global Enviro sin reaktor (GE-pulver). Alle verdier er oppgitt i tørrstoff

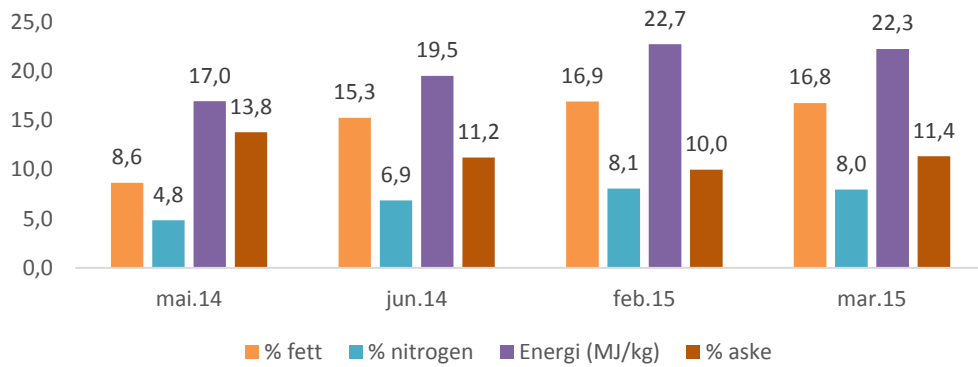


Figur 15 Variasjon gjennom året i forholdet mellom næringsstoff i (a) slam og (b) GE-pulver fra Haukå

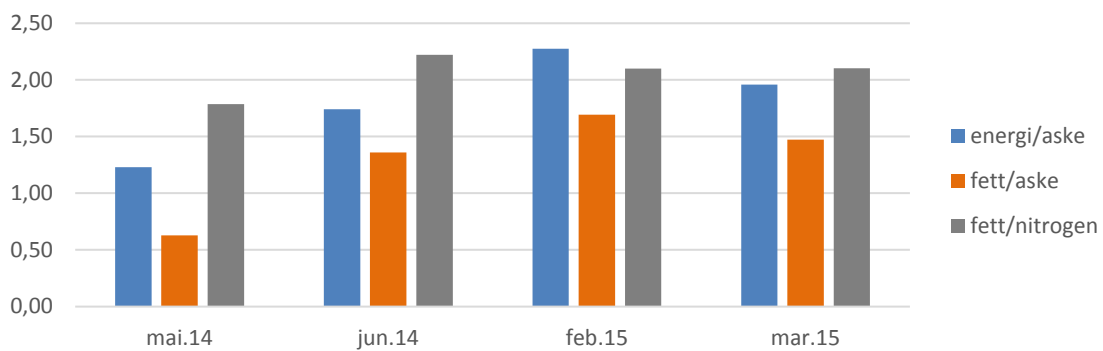
Sævareid Fiskeanlegg

Energiinnholdet i avvannet slam etter sekundærfilter varierte mellom 17 og 22,7 MJ/kg (figur 16 a). Høyest energi og fett, og lavest askeinnhold ble funnet i slammet samlet i februar og mars, når det var lav utføring og liten biomasse i anlegget. Prøven tatt i mai hadde lavere innhold av fett og energi, og høyere aske-innhold sammenlignet med de andre prøvetidspunktene. Det høyeste innholdet av energi og fett i forhold til aske ble funnet i slammet samlet i februar (figur 18 b). Det ble analysert 9 prøver av GE-pulver fra Sævareid, fra april 2014 til mai 2015. Variasjonen i energiinnhold var mye mindre enn for slam-prøvene (figur 17 a), høyeste energiinnhold ble målt i november 2014 (22,9 MJ/kg) og det laveste i januar 2015 (20,9 MJ/kg). Innholdet av fett varierte fra i underkant av 15% til 18,5 % (august 2014). Innholdet av både fett, energi og protein var lavest i januar 2015, samtidig som askeinnholdet var høyest (14,3 %). Ratioen mellom energi/aske var høyest i oktober (2,35) og lavest i januar 2015 (1,46). Samme forløp var det på ratioen mellom fett/aske (1,12 i januar og 1,7 i oktober). Forholdet mellom fett og nitrogen varierte motsatt av energi/aske, og lå på over 2,0 gjennom hele prøvetakingsperioden (Figur 17 b).

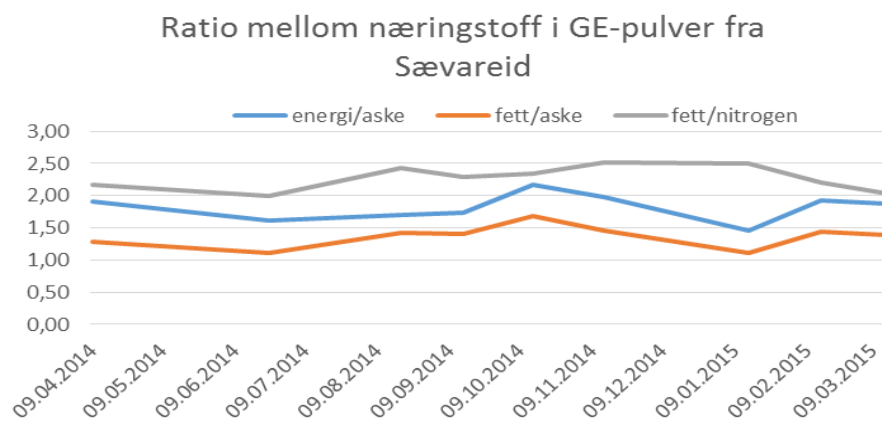
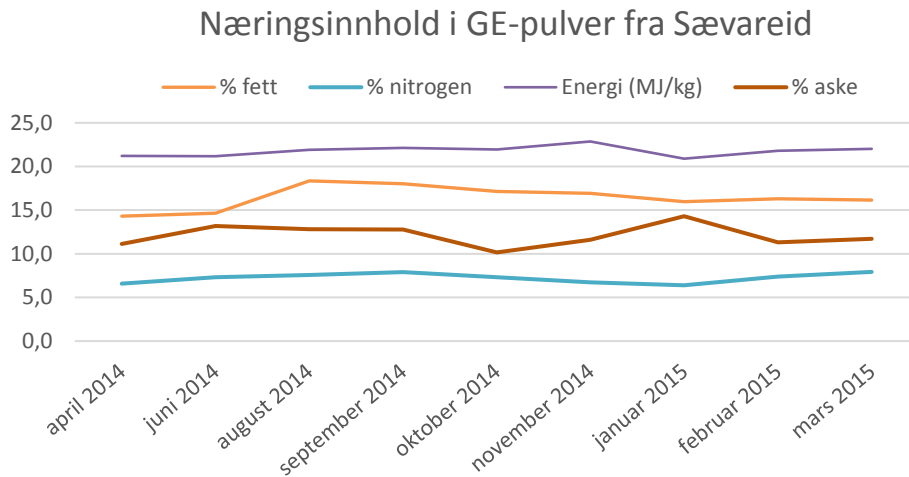
Næringsinnhold i slam fra Sævareid (per kg TS)



Forhold mellom næringsstoff i slam fra Sævareid



Figur 16 Næringsinnhold i slam samlet etter sekundærfilter fra Sævareid Fiskeanlegg (a) og (b) forhold mellom næringsstoff i slam etter sekundærfilter



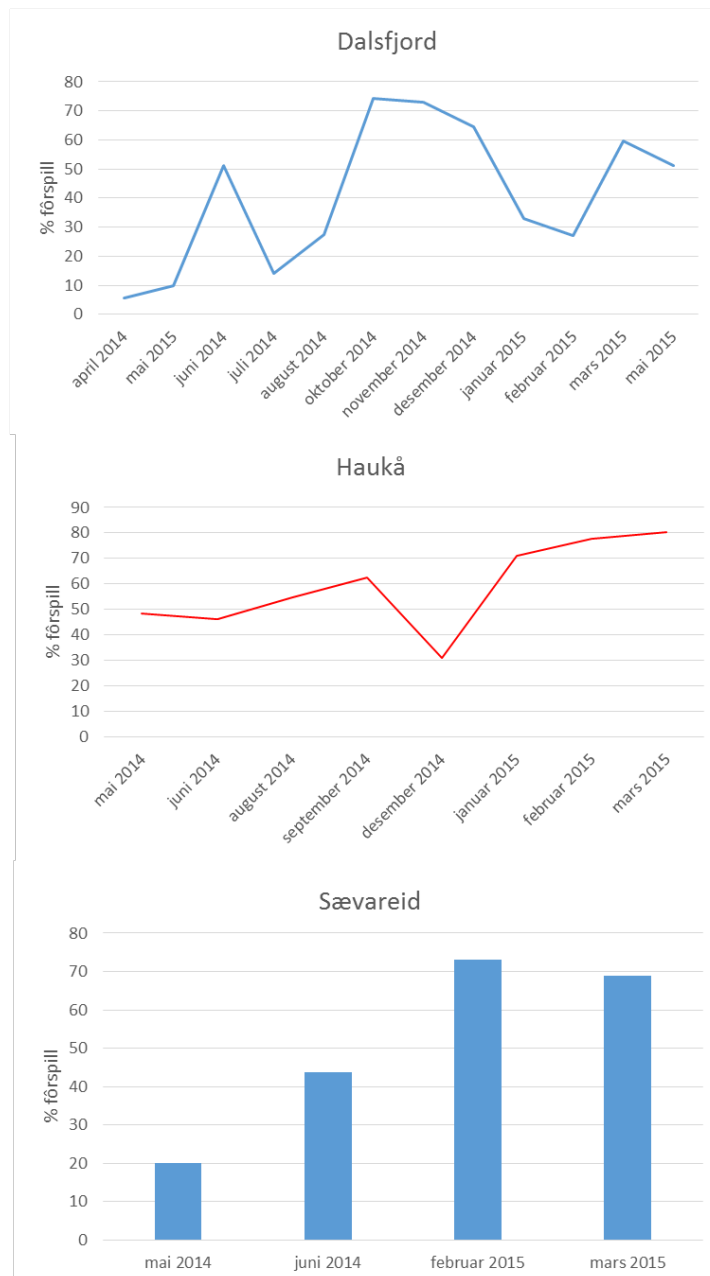
Figur 17 Næringsinnhold gjennom året i slam etter tørking/kompostering i Global Enviro sin reaktor (GE-pulver). Verdiene er gjennomsnitt av prøver fra to reaktorer. (b) Ratioer mellom næringsstoff gjennom året. Alle verdier er korrigert for tørrstoff

2.3 Beregning av innhold av fôrspill i slam

I arbeidspakke 2 i dette prosjektet ble det laget en modell for å beregne innhold av fôrspill i slam basert på kjemiske analyser av en fôr og gjødselprøver fra ulike forsøk i regi av Nofima. Totalt ble 84 fôr med tilhørende gjødsel benyttet i modellen. Andelen fôr i slam kan på bakgrunn av denne modellen beregnes ut fra energiinnholdet i slam (Aas m.fl 2016):

$y = 9,2x - 136$, der x er energiinnholdet i slam (MJ/kg tørrstoff) og y er % andel fôrspill i slam.

Når andelen fôrspill i slamprøvene fra Dalsfjord, Haukå og Sævareid ble beregnet med denne modellen varierte innholdet av fôrspill fra 5 til 80% (figur 18). Men stort sett lå andelen fôrspill i slam på mellom 40 og 80 %.



Figur 18 Beregnet innhold av fôrspill i slam gjennom året basert på Aas m fl. 2016

2.4 Innhold av mineraler i slam og tørket slam

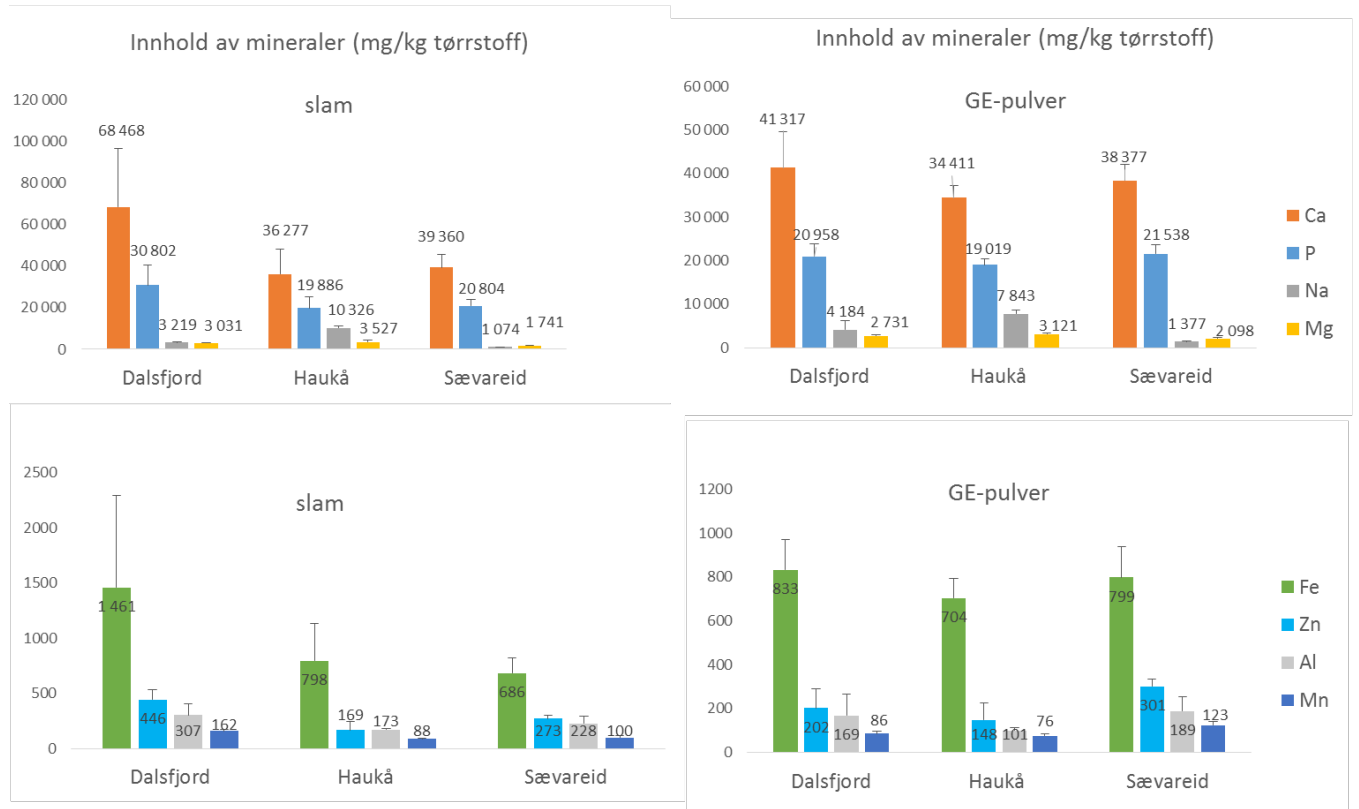
Slammet fra Dalsfjord inneholdt rundt 75 000 mg Ca per kg tørrstoff i perioden mai-juni 2014, og økte så til det nådde et maksimum på nesten 130 000 mg/kg i juli. Deretter falt konsentrasjonen til den nådde et minimum på rundt 30 000 mg/kg i november 2014, for så å øke igjen utover vinteren (figur 19 a). Fosfor-konsentrasjon i slammet fra Dalsfjord fulgte samme kurve, men P innholdet var lavere enn innholdet av Ca, maks P-innhold var ca 50 000 mg/kg tørrstoff i juli 2014 og sank så til 20 000 i oktober-november 2014 (figur 19). Innholdet av Na viste motsatt forløp av Ca og P: høyest i oktober-november (10 000 mg/kg), og stabilt rundt 5000 mg/kg resten av året. Slam fra Haukå hadde lavere konsentrasjoner av Ca, P og Na sammenlignet med slam fra Haukå (figur 20 b).

Innholdet av Ca, P, og Na varierte parallelt gjennom året i slam fra Haukå, de høyeste verdier av alle tre ioner ble funnet i desember 2014, og høyeste innhold av Na, Ca og P var på henholdsvis 25 000, 30 000 og 60 000 mg/kg tørrstoff. En mindre konsentrasjonstopp ble funnet i august 2014.

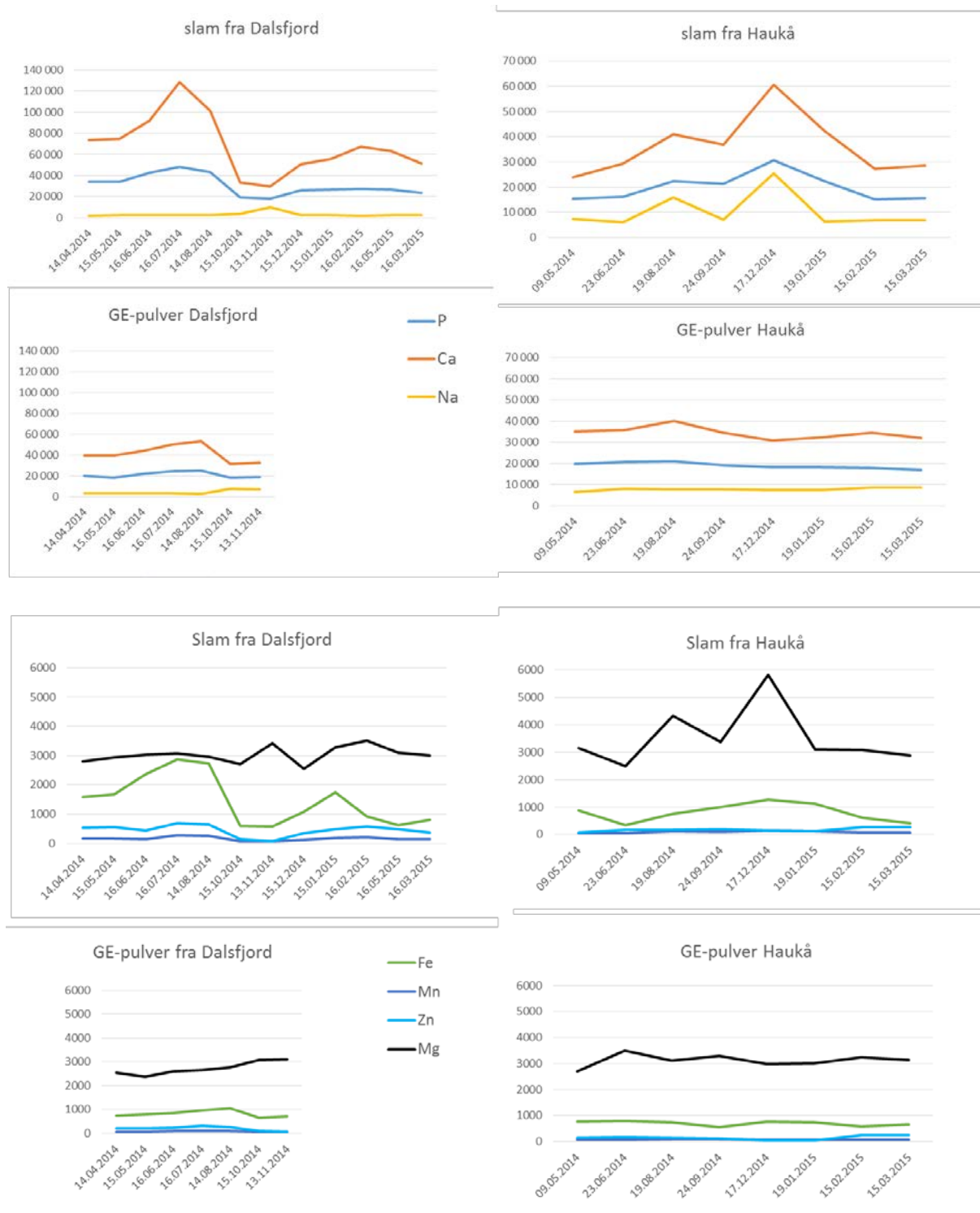
Innholdet av Ca og P i slam fra Sævareid (figur 21 a) var på nivå med innholdet i slammet fra Haukå, mens innholdet av Na var lavere. Det var for få slamprøver fra Sævareid til å si noe om variasjon gjennom året. Det var omtrent samme innhold av mineraler i slam og GE-pulver fra Sævareid (figur 21). Konsentrasjonen av mineraler gjennom året i GE-pulver fra Sævareid var i høy grad korrelert, med unntak av jern, som hadde en stor økning i GE pulver i desember og februar 2015.

GE-pulver fra alle de tre anleggene hadde relativt likt innhold av Ca (30– 60 000 mg/kg) og P (20-25 000 mg/kg) og variasjonene i konsentrasjon gjennom året var mindre i GE-pulver enn i slam (figur 20 c og d).

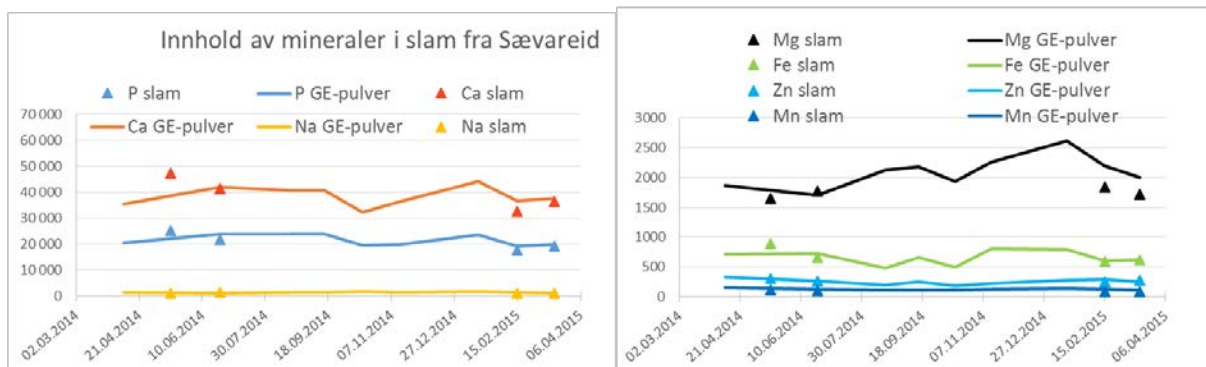
Innholdet av Fe, Mn og Zn var lavere enn Ca, P og Na, men konsentrasjonsvariasjonene gjennom året var parallele (figur 20 og 21), med lavest nivå i oktober-november i slammet og GE-pulver fra Dalsfjord. Konsentrasjonene av Fe, Mn og Zn var høyere i slam fra Dalsfjord sammenlignet med slam fra Haukå og Sævareid. Konsentrasjonene av Mg i GE-pulver var relativt like for de to RAS anleggene, men litt lavere i GE-pulver fra Sævareid. Konsentrasjonen av Fe i GE-pulver var i underkant av 1000 mg/kg tørrstoff for alle tre anlegg.



Figur 19 Gjennomsnittlig innhold av mineraler i slam fra de 3 anleggene i prosjektet. Verdier er gjennomsnitt \pm SD, oppgitt som mg per kg tørrstoff



Figur 20 Innhold av P, Ca og Na (øverst) og Fe, Mn og Zn (nederst) i slam etter avvanning med båndfilter og etter behandling i Global Enviros komposteringsystem (GE-pulver) ved Marine Harvest sine RAS anlegg i Dalsfjord (venstre) og Haukå (høyre). Alle verdier er oppgitt per kg tørrstoff.



Figur 21 Innhold av P, Ca, Na (venstre) og Mg, Fe, Zn og Mn (høyre) i slam etter avvanning med båndfilter og etter behandling i Global Enviros komposteringssystem (GE-pulver) ved Sævareid fiskeanlegg. Alle verdier er oppgitt per kg tørrstoff.

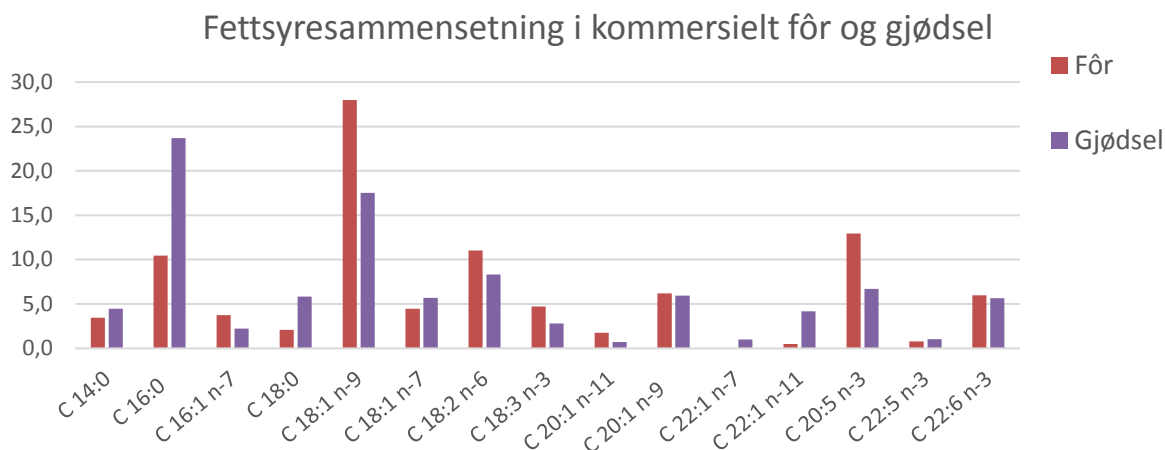
2.5 Innhold av ulike fettsyrer i slam

Det ble analysert fettsyresammensetning på slam og GE-pulver ved ett uttak (mars 2015). På dette tidspunktet hadde ikke Dalsfjord GE-reaktorer i drift, så derfor er det kun fettsyreprofil i slam fra Dalsfjord som ble analysert. Prøvene fra Haukå og Sævareid viser at behandling av slammet i GE-reaktor gir en nedgang i omega-3 fettsyrene EPA (C20:5n-3) og DHA (C22:6n-3), og nedgangen var litt større i GE-pulveret fra Haukå. Samtidig økte konsentrasjonen av C18:1n-9 ved begge anlegg. Ved Haukå var det også en økning i fettsyrene C20:1n-9 og C22:1n-11 etter behandling i GE reaktor. Det var litt variasjon i fettsyresammensetning i slam fra de tre anleggene (Figur 22 c).

I mars 2015 ble det strøket gjødsel av 100 g smolt ved Nofima sitt anlegg på Sunndalsøra. Fettsyresammensetning i fôret som fisken hadde spist ble analysert sammen med fettsyresammensetning i gjødsel (Figur 25). Det var et høyere innhold av mettede fettsyrer (C14:0, C16:0 og C18:0) i gjødsel sammenlignet med i fôr mens det var en nedgang i innholdet av umettede fettsyrer i gjødsel sammenlignet i fôr. Dette gjaldt særlig innholdet av C18:1n-9 og C20:5n-3 (EPA). Innholdet av C22:6n-3 (DHA) var relativt likt i fôr og gjødsel. Generelt er fordøyeligheten av umettede fettsyrer høyere i laks sammenlignet med mettede fettsyrer, og flerumettede fettsyrer har høyere fordøyelighet enn enumettede fettsyrer.



Figur 22 Fettsyresammensetning i slam og GE-pulver fra (a) Haukå, (b) Sævareid, og (c) fettsyresammensetning i slam fra de 3 anleggene. Prøvene ble tatt i mars 2015. Fettsyrer som utgjorde mindre enn 1% av total mengde fettsyrer er ikke tatt med i figuren



Figur 23 Fettsyresammensetning i et kommersielt fôr og gjødsel strøket fra fisk (100 g smolt) fôret med dette fôret ved Nofimas anlegg på Sunndalsøra. Prøvene ble tatt i mars 2015. Fettsyrer som utgjorde mindre enn 1% av total mengde fettsyrer er ikke tatt med i figuren

2.6 Innhold av tungmetaller i slam og tørket slam

Tungmetaller fra utvalgte prøver ble analysert hos Eurofins. Det ble analysert for innhold av bly, kadmium, arsen, kvikksølv, krom og nikkel. Alle prøvene ble tatt ut i mars 2015, da var det ikke GE-reaktorer i drift ved Dalsfjord, så derfor er det kun slam fra Dalsfjord som er analysert for tungmetaller. Det er ikke oppgitt noen grenseverdi for arsen i gjødselsforskriften, verdiene i slam og GE-pulver varierte mellom 0,97 og 2,43 mg/kg tørrstoff, og var litt lavere i GE-pulver enn i slam. For bly, kvikksølv, nikkel og krom kommer slam og GE-pulver inn under kvalitetsklasse 0, det vil si at det kan nyttes uten begrensninger etter plantenes behov. Når det gjelder innhold av kadmium så kommer slam og GE-pulver inn under henholdsvis kvalitetsklasse 0 og 1, mens innholdet av sink er såpass høyt at det kommer inn under klasse I eller II (figur 19).

Tabell 2 Innhold av tungmetaller i slam og GE-pulver. Øverst som mg/kg våt prøve («as is») og mg/kg tørr prøve (under)

		Arsen	Bly	Kadmium	Kvikksølv	Krom	Nikkel
(«as is»)		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Haukå	slam	0,55	0,04	0,06	0,00	0,41	0,12
Haukå	GE-pulver	1,89	0,37	0,41	0,04	13,91	5,86
Sævareid	slam	0,32	0,12	0,11	0,01	0,44	0,27
Sævareid	GE-pulver	0,81	0,50	0,36	0,02	1,61	0,93
Dalsfjord	slam	0,18	0,04	0,07	0,01	0,43	0,15
(pr kg tørrstoff)							
Haukå	Slam	2,43	0,17	0,29	0,00	1,80	0,51
Haukå	GE-pulver	1,95	0,38	0,42	0,04	14,40	6,07
Sævareid	Slam	1,05	0,41	0,38	0,03	1,47	0,91
Sævareid	GE-pulver	0,97	0,61	0,43	0,03	1,95	1,13
Dalsfjord	slam	1,59	0,38	0,64	0,05	3,71	1,27

3 Diskusjon

Perioden med prøvetaking i dette prosjektet var preget av utprøving av nye løsninger for avvanning av slam, og nye filterløsninger med vakuum og spyling av filter ble testet ut ved flere av anleggene. Det er derfor vanskelig å si hva som er årsakene til variasjonene i tørrstoffinnhold som ble observert i løpet av året i anleggene i prosjektet. Dette ble derfor testet i et mer kontrollert oppsett med gjentatte prøver fra ett anlegg i arbeidspakke 2 i prosjektet (Aas m fl. 2016). Her ble det tatt prøver flere ganger i døgnet, med ulike filter og ved ulik temperatur og biomasse i anleggene. Det ble funnet en døgnvariasjon i tørrstoffinnhold som mest sannsynlig hadde sammenheng med variasjon i mengde fôrspill gjennom døgnet, og mer fôrspill ga høyere tørrstoffinnhold i slammet. Resultatene fra arbeidspakke 1 på næringsinnhold i slam fra tre anlegg viser også at slammet som samles opp inneholder betydelige mengder fôrspill. Både slam samlet etter sekundærfilter og slam tørket med Global Enviros komposteringsreaktorer inneholdt i gjennomsnitt omkring 20-22 MJ/kg tørrstoff, og det var ingen forskjeller i innhold av energi i slammet fra de tre anleggene. Energiinnholdet i slamprøvene viste større variasjon gjennom året enn energiinnholdet i GE-pulver, noe som kan skyldes at energiinnholdet i en enkelt slamprøve er i stor grad påvirket av mengden fôrspill i anlegget ved prøvetakingstidspunktet, så hvis ikke prøven tas på nøyaktig samme tidspunkt i forhold til fôring kan dette gi utslag. I en komposteringsreaktor akkumuleres slam over tid, slik at eventuelle variasjoner fra dag til dag utjevnes. Forholdet mellom næringsstoff er svært forskjellig i fiskegjødning og fôr, innholdet av fett og nitrogen er lavt, mens innholdet av mineraler (aske) er høyt i gjødning sammenlignet med fôr. Det er også en andel ufordøyelig karbohydrat i gjødning som bidrar til energiinnholdet i gjødning, denne fraksjonen er ikke målt i dette prosjektet. Forholdet mellom hovednæringsstoffene i slamprøvene vil gi en indikasjon på om slammet hovedsakelig består av gjødning eller fôrspill. Forholdet mellom energi/aske, fett/aske og fett/nitrogen i slam og GE-pulver fra de tre anleggene indikerer at det er betydelige mengder fôrspill i slammet som samles opp. Høyere askeinnhold i forhold til fett og energi i slam fra Dalsfjord sammenlignet med de andre to anleggene kan tyde på mindre fôrspill. Når modellen utviklet i arbeidspakke 2 ble brukt til å estimere mengden fôrspill i slam fra de ulike anleggene, så hadde Dalsfjord i gjennomsnitt 41 % fôrspill i slam, Haukå hadde 59 %, mens Sævareid hadde 51 % fôrspill i slam. Det var imidlertid en betydelig variasjon gjennom året av forholdet mellom hovednæringsstoff i slam, mens forskjellene var mindre for GE-pulver. Dette kan som tidligere nevnt skyldes døgnvariasjoner i innhold av fôrspill.

Innholdet av mineraler/aske varierte også gjennom året, og det var også forskjeller mellom anleggene i innhold av ulike mineraler. Slam fra Dalsfjord hadde høyest innhold av Ca, P og Fe, mens slam fra Haukå hadde høyest innhold av Na. Årstidsvariasjonen for de ulike mineralene var i stor grad korrelert, og det var også godt samsvar mellom konsentrasjoner målt i slam og i GE-pulver, med unntak av Ca, P og Fe i slam fra Dalsfjord, hvor konsentrasjonene var en del høyere i slam enn i GE-pulver. Slam fra Dalsfjord hadde også lavere innhold av fett, nitrogen og energi, og høyere askeinnhold sammenlignet med GE-pulver fra Dalsfjord, noe som kan tyde på at slamprøvene er tatt på et tidspunkt med mindre fôrspill i anlegget. Innholdet av P i GE-pulver lå på ca 20 g per kg tørrstoff for alle tre anlegg. Forholdet mellom N og P var omtrent det samme som rapportert av Blytt m fl. (2011). Det er ikke mange studier av mineralinnhold i slam fra settefiskanlegg å sammenligne verdier med, men Hess-Erga m fl. (2013) målte verdier av en rekke mineraler i slam gjennom et produksjonsår og fant høyere verdier av Ca, P og Mg, men lignende verdier av Fe, Mn, Al og Zn som i dette prosjektet. Innholdet av sink er over grenseverdiene for gjødning i klasse 0, og gjør at slam blir klassifisert i kategori 1 i henhold til gjødsselforskriften, det samme gjelder for innhold av kadmium. Bly, kvikksølv, krom og nikkel finnes i

såpass lave konsentrasjoner at det går inn under kategori 0. Det samme er tilfellet for innhold av PCB og klorerte pesticider (Joner m fl. 2015).

Fettsyreprofilen i slam og GE-pulver var relativt lik, men det var en akkumulering av C18:1n-9 i GE-pulver sammenlignet med slam. Det var også en reduksjon av EPA og DHA i GE-pulver sammenlignet med i slam. Det var også noen forskjeller i fettsyreprofil i slam fra de ulike anleggene, slam fra Sævareid hadde høyere innhold av C18:1n-9 og C18:2n-6, og lavere innhold av C14:0 og C16:0 enn Dalsfjord og Haukå. Fettsyreprofilen i fôr og gjødsel viser at C14:0 og C16:0 akkumulerer i gjødsel, mens det er mer av C18:1n-9 og C18:2n-6 i fôr enn i gjødsel. Dette indikerer at det er mer fôrspill i slammet fra Sævareid enn fra Dalsfjord og Haukå. Forskjeller i fettsyreprofil mellom fôr som er brukt vil også spille inn her, men fôr ble ikke analysert i dette prosjektet.

Anslagene for mengde produsert slam per kg produsert smolt eller per kg fôr brukt varierer mye fra 0,7-2 liter slam med tørrstoffinnhold 10-12% per kg fôr, (Blytt m fl. 2011, Rosten m fl. 2013). Det er imidlertid svært lite empiriske data, både fra kommersielle anlegg og fra forsøk. Mengde slam som produseres vil være avhengig av mange faktorer; blant annet fôrfaktor, pelletkvalitet, knusing av fôrpartikler og gjødselpartikler, filterdukstørrelse og hvilken filterteknologi som er brukt. Hvis man forutsetter 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 fôrfaktoren (tonn spist fôr/tonn produsert fisk er om lag 0,7 i settefiskproduksjon (Kolstad et al., 2004). Hvis det er fôret ut 30.000 tonn betyr det at om lag 21.000 tonn fôr er spist, og 9.000 tonn er fôrspill som kan samles opp. Tørrstoffordøyeligheten er på om lag 70%, så 6300 tonn ufordøyd materiale (gjødsel) vil slippes ut i tillegg til 9000 tonn fôrspill. Fôr har et tørrstoffinnhold på ca 94 % mens gjødsel har et tørrstoffinnhold på 10-12 %. Den totale mengde tørrstoff som slippes ut vil da bli om lag 14 800 tonn (6300 tonn fra ufordøyd fôr og 8500 fra fôrspill). Hvis det samles opp slam med tørrstoffinnhold på 10 % vil dette utgjøre 148 000 tonn i 2014, og hvis tørrstoffinnholdet økes til 20 % vil det utgjøre 74 000 tonn hvis alt partikulært materiale kan fanges og samles opp. Alt materiale kan selvsagt ikke fanges opp. Renseeffektiviteten varierer fra anlegg til anlegg, og er ikke kjent i dagens kommersielle anlegg. Men den anslås å ligge på mellom 30 og 60 % og renseeffekten vil avta når avløpsvannet fortynnes (se Rosten m fl. 2013). I tillegg vil partikler fra gjødsel være skjøre og lett gå i oppløsning før de fanges opp av filtersystemer mens fôrpartikler har en fysisk struktur som gjør at de ikke løses opp, og i større grad fanges opp av filtersystemer. Fôrpartikler og gjødsel vil derfor samles opp i ulik grad. Tid på døgnet i forhold til fôring vil dermed være svært avgjørende for renseeffekt av filtersystemer. Den sikreste måten å anslå hvor mye partikulært materiale som samles opp over tid ved et anlegg vil derfor være å måle mengde slam som leveres fra anlegget. Hvis man har god kontroll på mengde slam levert og tørrstoffinnholdet i slammet som leveres kan man regne ut hvor mye tørrstoff som er samlet opp i forhold til fôr brukt og biomasse produsert. Anslagene over levert slam fra de tre anleggene i prosjektet er også forbundet med en del usikkerhet, særlig når det gjelder tørrstoffinnhold, men tallene som er oppgitt fra de ulike anleggene oppgis likevel ettersom det er sparsomt med tilgjengelige data fra kommersielle anlegg. Dalsfjord oppga at de hadde levert 441 tonn med slam med et tørrstoffinnhold på om lag 15 % i løpet av periode oktober 2014-oktober 2015, totalt er det da samlet opp og levert 49 tonn tørrstoff i form av slam. I samme periode var det fôret ut 494 tonn i anlegget (347 tonn tørrstoff). Hvis alt fôret hadde blitt spist ville dette utgjort 104 tonn tørrstoff i form av gjødsel. Beregnet ut fra modellen til Aas m fl. (2016) var i gjennomsnitt halvparten av innholdet i slammet fôrspill, og nærings sammensetning og ratioer mellom næringsstoff med høy og lav fordøyelighet tyder også på at dette stemmer. Men hvor stor overfôring det er i anlegget er ikke mulig å fastslå på bakgrunn av sammensetning av slam fordi fôr og gjødselpartikler vil bli fanget opp i ulik grad av filtersystemene.

Men det er klart et potensiale til å fange opp en større andel av gjødsel fra settefiskanlegg hvis det skulle være ønskelig. Men med dagens renseteknologi hvor partiklene utsettes for mye fysisk påvirkning før de når filtersystemene er dette vanskelig. Å nyttiggjøre fôret på en bedre måte slik at fôrspill reduseres ville bidratt til å redusere slamproduksjonen, men det ville også redusert tørrstoffinnholdet i slam og gjøre avvanning av slammet mer krevende med dagens teknologi for avvanning. Tilsats av fiberprodukter som absorberer vann og gir fysisk struktur til gjødsel kan være en løsning, og ett av anleggene i prosjektet er nå i gang med utprøving av en slik løsning.

4 Konklusjon

Stadig flere settefiskanlegg møter krav om rensing av utslipp. Dagens renskrav til settefisknæringa er i stor grad overført fra krav til primærrensing av kommunale avløp (kloakk). Disse kravene baserer seg på en % reduksjon i SS (suspended solids) på 50 % eller ikke overskrider 60 mg/l ved utslipp. Men det som er viktig med tanke på belastningen i resipienten er den totale mengden av materiale som slippes ut relatert til resipientens evne til å takle utslippet. Et massebalanseregnskap for det enkelte anlegg hvor man har oversikt over næringsstoff som går inn (fôr), og det som kommer ut (biomasse produsert, slam samlet opp, konsentrasjon av næringsstoff i avløpsvann til resipient) vil kunne gi en oversikt over flyt av næringsstoff gjennom et settefiskanlegg. Dette prosjektet har bidratt til å kartlegge næringsstoff i det slammet som samles opp, men for å lage et totalt budsjett for slamproduksjon trengs det bedre informasjon om nærings sammensetning av kommersielle fôr, fordøyelighet av fôr, næringsinnhold av fisk som produseres og ikke minst grad av overfôring i anlegget, og målinger av utslippsvann til resipient. Analysene av slam og tørket slam fra tre anlegg gjennom året 2014/15 viser at slammet har et høyt innhold av energi, nitrogen, og mineraler, blant annet fosfor, som gjør at det kan nyttiggjøres både som plantenæringsstoff og som substrat for bioenergiproduksjon. Innholdet av sink og også kadmium gjør at slammet faller inn under kategori 1 i gjødsselforskriften, noe som legger visse begrensninger på bruk til gjødsel. Innholdet av organiske miljøgifter i slamprøvene fra dette prosjektet tyder ikke på at det noen risiko ved bruk av fiskeslam som gjødsel. Slammet inneholder en relativt stor andel langkjedete fettsyrer, en større andel korte fettsyrer er muligens mer fordelaktig for biogassproduksjon, men dette kan løses ved sambehandling med husdyrgjødsel. Eventuelle endringer i fôrformulering eller teknologi for oppsamling av fôrspill og faeces vil kunne endre næringsinnhold og innhold av uønskede komponenter i slam.

Takk

Dette prosjektet var finansiert av Regionalt Forskningsfond Midt-Norge og industripartnere. Vi takker alle som har bidratt med finansiering, innsending av prøvemateriale, produksjonsdata og analyser av prøver.

5 Referanser

- Aas, T.S., Ytrestøyl, T. & Berge, G.M. 2016. Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks. Nofima rapport 32/2016. ISBN 978-82-8296-405-0 (trykt)/ISBN 978-82-8296-406-7 (pdf)
- Blytt, L.D., Haraldsen, T.K., Helness, H., Paulsrud, B. & Ulgerne, Y. 2011. Håndtering av slam fra rensing av avløp i settefiskanlegg. Sintef Byggforsk Rapport SBF2011F0081. 37 s.
- 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.
- Brod, E, Haraldsen, T.K. & Krogstad 2012b. Efficiency of combined waste resources as N and P fertiliser to spring cereals. Results from a 2-year pot experiment. Bioforsk Rapport 7, 31 s.
- Brod, E., Haraldsen, T.K. & Breland 2012a. Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: results from a pot experiment. Agriculture and Food Science, 21(4)
- 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.
- Fiskeridirektoratet, N.D.o.F., 2015. Statistikk for akvakultur 2014, p. 56.
- 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.
- Hamilton, H.A., Brod, E., Hanserud, O., Gracey, E.O., Vestrum, M.I., Bøen, A., Steinhoff, F.S., Müller, D.B., Brattebø, H. 2015. Investigating cross-sectoral synergies through integrated aquaculture, fisheries and agriculture phosphorous assessments. J. Industrial Ecology, Aug 2015, 1-15. DOI: 10.1111/jiec.12324
- Hess-Erga, O-K., Gjesteland, I., Wolff, S. Aa., Vikingstad, E. 2013. Utnyttelse av oppløst og partikulært avfall fra smoltproduksjon i et resirkulasjonssystem. NIVA rapport 6581-2013.
- Hillestad, M., Åsgård, T., Berge, G., 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. Aquaculture, 179, 81-94.
- Joner, E., Dibdiakova, J., Ytrestøyl, T., Haraldsen, T. K. 2015. Vurderinger omkring organiske miljøgifter i aske og fiskeslam. Bioforsk rapport Vol 10/Nr. 70/2015 M-362/2015.
- Landbruks- og matdepartement (2003) Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. <http://www.lovddata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20030704-0951.html>
- Naylor, S.J., Moccia, R.D., Durant, G.M. 1999. The chemical composition of settleable solid fish waste (manure) from commercial rainbow trout farms in Ontario, Canada. North American Journal of Aquaculture, 61, 21-26.
- Meriac, A., Eding, E.H., Scrama, J., Kamstra, A., Verreth, J.A.J. 2014. Dietary carbohydrate composition can change waste production and biofilter load in recirculating aquaculture systems. Aquaculture, 420, 254-261.
- 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.
- Paulsrud, B., Wien, A. & Nedland, K.T. 1997. Miljøgifter i norsk kompost og husdyrgjødsel. SFT Rapport 97:26, 47 s.+vedlegg.

- Rosten, T.w., Azrague, K., Toldnes, B. 2013. Primærrensing og aktuelle løsninger for slambehandling I norske settefiskanlegg. SINTEF Fiskeri og Havbruk. Rapport A2445. ISBN 978-82-14-05635-8.
- Rosten, T.W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B.F., Biering, E., Winther, U. 2011. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg-forprosjekt. SINTEF Fiskeri og Havbruk. Rapport A21169. ISBN 978-82-14-05212-1.
- Vitenskapskomiteen; Slam fra klekkeri og settefiskanlegg, og slam fra oppdrettsanlegg som gjødsel og jordforbedringsmiddel. Uttalelse fra Faggruppe for hygiene og smittestoffer i Vitenskapskomiteen for mattrygghet 21.1.2011. Tilgjengelig på <http://www.vkm.no/dav/14eb7361a4.pdf>.
- Ytrestøyl, T., Løes, A-K., Kvande, I., Berge, G.M. 2013. Utnyttelse av slam fra Akvakultur i blandingsanlegg for biogassproduksjon: Teknologi og muligheter. Nofima rapport 12/2013. ISBN 978-82-8296-066-3.

Vedlegg

Vedlegg 1 Hovednæringsstoff

Anlegg	Dato	Materiale	As is				Per kg tørrstoff				
			Tørrstoff %	Fett %	Nitrogen %	Aske %	Energi (MJ/kg)	Fett %	Nitrogen %	Aske %	Energi (MJ/kg)
Dalsfjord	14.04.2014	GE pulver	91,9	15,2	6,4	11,6	19,9	16,5	7,0	12,6	21,7
Dalsfjord	15.05.2014	GE pulver	90,6	14,0	5,9	11,7	19,4	15,5	6,5	13,0	21,4
Dalsfjord	16.06.2014	GE pulver	88,2	13,4	5,7	12,3	18,5	15,2	6,4	13,9	21,0
Dalsfjord	16.07.2014	GE pulver	91,7	13,2	5,9	14,5	18,8	14,4	6,4	15,8	20,5
Dalsfjord	14.08.2014	GE pulver	93,4	13,1	5,8	15,1	19,0	14,0	6,3	16,1	20,4
Dalsfjord	15.10.2014	GE pulver	91,4	17,4	6,7	10,4	20,4	19,1	7,3	11,4	22,3
Dalsfjord	13.11.2014	Ge pulver	96,3	17,2	7,1	11,9	21,3	17,8	7,4	12,3	22,1
Dalsfjord	14.04.2014	slam	11,0	1,2	0,5	2,3	1,7	10,6	4,2	20,9	15,4
Dalsfjord	15.05.2014	slam	10,4	1,2	0,5	2,1	1,7	11,7	4,4	20,5	15,9
Dalsfjord	16.06.2014	slam	12,3	2,4	0,6	3,3	2,5	19,3	5,3	26,9	20,3
Dalsfjord	16.07.2014	slam	11,3	1,2	0,5	4,2	1,8	10,5	4,1	37,0	16,3
Dalsfjord	14.08.2014	slam	11,7	1,5	0,5	3,8	2,1	12,6	4,5	32,2	17,8
Dalsfjord	15.10.2014	slam	25,1	5,0	1,8	2,7	5,7	19,9	7,2	10,7	22,9
Dalsfjord	13.11.2014	slam	24,4	4,9	1,8	3,0	5,5	20,1	7,4	12,4	22,7
Dalsfjord	15.12.2014	slam	13,2	2,2	0,9	2,1	2,9	16,9	6,6	15,9	21,8
Dalsfjord	15.01.2015	slam	8,3	0,7	0,3	1,5	1,5	8,3	4,1	18,1	18,4
Dalsfjord	16.02.2015	slam	8,5	0,8	0,3	1,5	1,5	9,0	4,0	18,1	17,7
Dalsfjord	16.03.2015	slam	11,6	2,2	0,7	1,8	2,5	19,2	5,8	15,5	21,3
Dalsfjord	16.05.2015	slam	12,7	2,1	0,7	2,1	2,6	16,6	5,8	16,8	20,4
Haukå	09.05.2014	GE pulver	91,4	17,9	6,6	11,9	20,2	19,5	7,2	13,1	22,1
Haukå	23.06.2014	GE pulver	92,1	15,0	6,5	13,1	19,6	16,3	7,1	14,2	21,3
Haukå	19.08.2014	GE pulver	95,7	15,0	6,9	14,1	20,2	15,7	7,3	14,8	21,1
Haukå	24.09.2014	GE pulver	95,2	16,3	6,8	13,0	20,4	17,2	7,2	13,7	21,4
Haukå	17.12.2014	GE pulver	95,1	17,6	7,0	11,5	21,2	18,5	7,4	12,1	22,3
Haukå	19.01.2015	GE pulver	96,7	15,9	7,1	12,2	21,3	16,4	7,3	12,6	22,1
Haukå	15.02.2015	GE pulver	96,1	16,3	6,9	12,7	21,1	17,0	7,2	13,3	21,9
Haukå	15.03.2015	GE pulver	96,6	16,1	7,0	12,2	21,5	16,7	7,3	12,6	22,2
Haukå	09.05.2014	slam	27,7	5,2	1,8	2,8	5,6	18,8	6,4	10,1	20,1
Haukå	23.06.2014	slam	30,9	5,6	2,1	3,0	6,2	18,1	6,9	9,7	20,1
Haukå	23.06.2014	slam	29,3	4,8	2,0	3,0	5,7	16,6	6,7	10,4	19,5
Haukå	19.08.2014	slam	18,2	2,8	1,2	3,3	3,8	15,6	6,5	18,1	20,7
Haukå	24.09.2014	slam	22,9	4,2	1,7	3,2	4,9	18,2	7,2	14,0	21,6
Haukå	17.12.2014	slam	14,7	2,0	0,7	4,2	2,6	13,4	5,0	28,4	17,6
Haukå	17.12.2014	slam	13,6	1,8	0,7	3,3	2,6	13,3	5,1	24,0	18,8
Haukå	19.01.2015	slam	9,8	1,4	0,6	1,8	2,0	14,0	5,8	17,9	20,5
Haukå	19.01.2015	slam	22,3	4,3	1,6	2,9	5,0	19,4	7,1	13,1	22,5
Haukå	15.02.2015	slam	21,5	4,6	1,5	2,4	4,9	21,4	6,9	11,3	22,8
Haukå	15.02.2015	slam	23,9	5,3	1,8	2,4	5,6	22,1	7,6	10,0	23,7
Haukå	15.03.2015	slam	17,7	4,0	1,2	1,8	4,1	22,5	6,9	10,4	23,3
Haukå	15.03.2015	slam	22,7	5,2	1,7	2,4	5,4	22,9	7,5	10,5	23,7
Sævareid	09.04.2014	GE pulver	91,0	13,0	6,0	10,1	19,3	14,3	6,6	11,1	21,2
Sævareid	24.06.2014	GE pulver	91,2	12,7	6,4	12,5	19,1	13,9	7,0	13,8	20,9
Sævareid	24.06.2014	GE pulver	67,5	10,3	5,1	8,5	14,5	15,3	7,6	12,6	21,4
Sævareid	19.08.2014	GE pulver	65,2	11,9	4,9	8,3	14,2	18,2	7,6	12,7	21,8
Sævareid	19.08.2014	GE pulver	72,5	13,4	5,5	9,4	15,9	18,5	7,5	13,0	22,0
Sævareid	15.09.2014	GE pulver	86,0	15,5	6,9	11,5	19,0	18,0	8,0	13,4	22,1
Sævareid	15.09.2014	GE pulver	89,4	16,1	7,0	10,9	19,8	18,0	7,8	12,2	22,2
Sævareid	15.10.2014	Ge pulver	75,2	13,0	5,4	7,7	16,5	17,3	7,2	10,2	21,9
Sævareid	15.10.2014	Ge pulver	70,7	12,0	5,2	7,1	15,6	17,0	7,4	10,1	22,0
Sævareid	14.11.2014	Ge pulver	77,8	13,0	5,4	8,9	17,4	16,7	6,9	11,4	22,4
Sævareid	14.11.2014	Ge pulver	75,4	12,9	4,9	8,9	17,6	17,2	6,6	11,8	23,3
Sævareid	15.01.2015	Ge pulver	78,0	12,5	5,1	11,1	16,1	16,0	6,5	14,2	20,7
Sævareid	15.01.2015	Ge pulver	86,7	13,8	5,4	12,5	18,3	16,0	6,3	14,4	21,1
Sævareid	15.02.2015	GE pulver	91,0	14,6	6,7	10,5	19,9	16,0	7,4	11,5	21,8
Sævareid	15.02.2015	GE pulver	85,9	14,2	6,3	9,6	18,7	16,5	7,3	11,1	21,8
Sævareid	16.03.2015	GE pulver	82,7	13,4	6,5	9,4	18,2	16,2	7,9	11,4	22,0
Sævareid	16.03.2015	GE pulver	93,5	15,0	7,5	11,2	20,5	16,1	8,0	12,0	22,0
Sævareid	16.05.2014	slam	13,0	1,1	0,6	1,8	2,2	8,6	4,8	13,8	17,0
Sævareid	24.06.2014	slam	8,4	1,3	0,6	0,9	1,6	15,3	6,9	11,2	19,5
Sævareid	15.02.2015	slam	19,6	3,3	1,6	2,0	4,5	16,9	8,1	10,0	22,7
Sævareid	16.03.2015	slam	30,0	5,0	2,4	3,4	6,7	16,8	8,0	11,4	22,3

Vedlegg 2 Mineraler

Anlegg	dato	Materiale	Tørrestoff	mg/kg våtvekt ("as is") Fosfor	Calcium	Magnesium	Natrium	Jern	Mangan	Zink	Molybden	Aluminium	Kalium	mg/kg tørrestoff Fosfor	Calcium	Magnesium	Natrium	Jern	Mangan	Zink	Molybden	Aluminium	Kalium
Dalsfjord	14.04.2014	GF-pulver	91,9	18.205	36.122	2.352	2.862	682	73	186				19.806	39.299	2.559	3.114	742	79	202			
Dalsfjord	15.05.2014	GF-pulver	90,6	16.729	35.710	2.149	2.677	735	72	194				18.470	39.428	2.373	2.956	811	80	215			
Dalsfjord	16.06.2014	GF-pulver	88,2	19.254	38.691	2.290	2.652	748	78	210				21.822	43.624	2.595	3.005	848	88	238			
Dalsfjord	16.07.2014	GF-pulver	91,7	22.648	46.118	2.434	2.947	888	90	287				24.699	50.295	2.655	3.214	969	96	313			
Dalsfjord	14.08.2014	GF-pulver	93,4	23.345	49.618	2.590	2.406	990	94	254				25.068	53.152	2.764	2.578	1.061	100	273			
Dalsfjord	15.10.2014	GF-pulver	91,4	16.737	28.394	2.809	6.813	615	69	96				18.316	31.073	3.075	6.969	727	76	105			
Dalsfjord	13.11.2014	GF-pulver	96,3	17.905	31.164	2.983	6.714	700	75	66				18.586	32.349	3.097	6.969	727	78	68			
Dalsfjord	14.04.2014	slam	11,0	3.733	8.068	307	224	175	18	59				34.040	73.563	2.796	2.040	1.593	164	535			
Dalsfjord	15.05.2014	slam	10,4	3.555	7.762	307	239	174	18	57				34.127	74.515	2.947	2.293	1.669	170	544			
Dalsfjord	16.06.2014	slam	12,3	5.226	11.316	371	312	290	18	53				42.540	92.121	3.024	2.540	2.363	148	430			
Dalsfjord	16.07.2014	slam	11,3	5.422	14.487	347	323	313	79	0,25				48.003	128.256	3.076	2.708	2.857	275	702			
Dalsfjord	14.08.2014	slam	11,7	5.054	11.876	347	312	319	30	76				43.897	101.497	2.962	2.665	2.723	253	650			
Dalsfjord	15.10.2014	slam	25,1	4.846	8.455	678	964	149	20	36				19.289	33.657	2.698	3.837	594	79	145			
Dalsfjord	13.11.2014	slam	24,4	4.328	7.258	835	2.492	141	15	19				17.734	29.741	3.420	10.210	577	62	79			
Dalsfjord	15.12.2014	slam	13,2	3.474	6.725	338	365	142	15	47				26.551	50.817	2.553	2.758	1.070	114	354			
Dalsfjord	15.01.2015	slam	8,3	2.226	4.669	274	145	145	16	40				26.656	55.919	3.280	2.341	1.734	195	485			
Dalsfjord	16.02.2015	slam	8,5	2.339	5.722	299	146	78	17	49				27.472	67.208	3.513	1.716	1.916	200	572			
Dalsfjord	16.05.2015	slam	12,7	3.395	8.027	395	337	80	19	61				26.693	63.110	3.105	2.651	633	150	481			
Dalsfjord	16.03.2015	slam	11,6	2.735	5.928	347	333	93	15	43				23.624	51.210	2.999	2.873	804	132	372			
Haukå	09.05.2014	GF-pulver	91,4	18.168	32.030	2.473	5.939	711	58	134				19.884	36.055	2.707	6.500	778	64	147			
Haukå	23.06.2014	GF-pulver	92,1	18.959	33.006	3.222	7.459	737	69	162				20.595	36.854	3.500	8.103	801	74	176			
Haukå	19.08.2014	GF-pulver	95,7	20.214	38.228	2.967	7.569	701	88	142				21.119	39.939	3.100	7.908	732	92	146			
Haukå	24.09.2014	GF-pulver	95,2	18.358	33.009	3.125	7.469	538	83	107				19.582	34.669	3.283	7.845	566	87	112			
Haukå	17.12.2014	GF-pulver	95,1	17.200	29.253	2.844	6.992	731	67	42				18.089	30.764	2.991	7.353	769	70	44			
Haukå	19.01.2015	GF-pulver	96,7	17.483	31.252	2.906	7.280	714	70	50				18.087	32.332	3.006	7.531	739	72	52			
Haukå	15.02.2015	GF-pulver	96,1	17.244	33.178	3.106	8.415	573	75	233				17.947	34.529	3.233	8.758	596	78	243			
Haukå	15.03.2015	GF-pulver	96,6	16.560	31.040	3.043	8.444	632	72	254				17.149	32.144	3.151	8.744	655	75	263			
Haukå	09.05.2014	slam	27,7	4.278	6.668	872	2.035	242	16	22				15.444	24.070	3.146	7.344	874	57	80			
Haukå	23.06.2014	slam	30,1	4.850	8.837	752	1.870	100	14	47				16.125	29.965	2.500	6.203	332	48	158			
Haukå	19.08.2014	slam	18,2	4.092	7.172	789	2.896	136	20	31				22.866	41.060	4.336	15.912	750	109	171			
Haukå	24.09.2014	slam	22,3	4.862	8.452	771	1.637	232	19	44				21.247	36.941	3.369	7.152	1.012	85	191			
Haukå	17.12.2014	slam	14,2	4.344	8.557	826	3.690	179	20	19				30.156	60.651	5.810	25.621	1.266	139	135			
Haukå	19.01.2015	slam	22,3	3.454	6.420	496	937	151	17	15				22.594	42.242	3.100	6.430	1.135	115	109			
Haukå	15.02.2015	slam	22,7	3.417	6.173	697	1.584	136	17	58				15.123	27.323	3.073	6.951	604	77	256			
Haukå	15.03.2015	slam	20,2	3.133	5.707	588	1.464	82	15	51				15.611	28.580	2.880	6.992	415	76	255			
Sevareid	09.04.2014	GF-pulver	91,0	18.574	32.131	1.698	1.195	705	138	325				20.419	35.321	1.867	1.313	775	152	357			
Sevareid	24.06.2014	GF-pulver	91,0	19.091	33.460	1.347	855	725	104	257				23.977	42.023	1.699	1.068	904	131	324			
Sevareid	19.08.2014	GF-pulver	79,3	16.397	28.006	1.467	899	484	74	193				23.828	40.698	2.131	1.294	701	108	280			
Sevareid	15.09.2014	GF-pulver	68,9	20.958	35.652	1.908	1.186	655	94	244				23.913	40.681	2.177	1.350	748	108	279			
Sevareid	15.10.2014	GF-pulver	87,7	14.127	23.482	1.412	1.125	486	79	183				19.342	32.153	1.935	1.538	665	108	250			
Sevareid	14.11.2014	GF-pulver	73,0	15.193	27.907	1.737	1.074	806	100	223				19.833	36.437	2.267	1.403	1.053	130	292			
Sevareid	15.01.2015	GF-pulver	76,6	19.392	36.191	2.149	1.477	793	114	270				23.544	43.970	2.618	1.802	965	138	327			
Sevareid	15.02.2015	GF-pulver	82,4	16.940	32.348	1.938	1.272	604	115	285				19.174	36.500	2.191	1.439	683	130	322			
Sevareid	16.05.2015	GF-pulver	88,4	17.477	33.154	1.764	1.050	614	95	244				19.809	37.524	2.000	1.189	696	108	277			
Sevareid	16.05.2014	slam	88,1	3.273	6.154	214	125	116	15	40				25.095	47.177	1.644	960	888	118	307			
Sevareid	24.06.2014	slam	8,4	1.813	3.463	148	114	55	9	21				21.679	41.290	1.769	1.361	660	103	256			
Sevareid	15.02.2015	slam	19,6	3.416	6.404	359	197	114	18	49				17.447	32.707	1.834	1.004	585	90	251			
Sevareid	16.03.2015	slam	30,0	5.700	10.882	515	292	184	26	84				18.994	36.265	1.715	972	612	87	278			

Vedlegg 3 Fettsyresammensetning i tørrstoff

	Dalsfjord	Sævareid	Haukå	Sævareid	Haukå	Dalsfjord	Sævareid	Haukå	Sævareid	Haukå
	slam	slam	slam	GE pulver	GE pulver	slam	slam	slam	GE pulver	GE pulver
	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	%	%	%	%	%
C 14:0	7,0	5,2	9,8	4,3	6,5	6,0	3,8	6,3	3,5	5,8
C 14:1 n-5	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2
C 15:0	0,6	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,4	0,5
C 15:1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
C 16:0	20,9	17,0	26,3	15,9	18,6	18,0	12,7	16,8	13,0	16,4
C 16:1 n-7	5,3	4,7	10,6	3,8	6,1	4,6	3,5	6,7	3,1	5,3
C 16:1 n-5	0,1	0,6	0,2	0,2	0,4	0,1	0,4	0,1	0,2	0,4
C 17:0	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4
C 16:2 n-6	0,6	0,5	1,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,7	0,3	0,2
C 17:1 n-7	0,6	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2
C 18:0	4,2	3,3	5,0	4,8	3,6	3,6	2,4	3,2	3,9	3,2
C 18:1 n-11	0,0	0,7	0,9	0,6	0,5	0,0	0,6	0,6	0,5	0,5
C 18:1 n-9	28,6	36,6	32,9	38,1	31,8	24,6	27,3	21,0	31,0	28,0
C 18:1 n-7	3,2	3,7	4,2	3,4	3,1	2,7	2,8	2,7	2,8	2,8
C 18:2 n-6	11,4	17,5	13,7	16,3	9,7	9,8	13,0	8,7	13,3	8,5
C 18:3 n-6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
C 18:3 n-3	4,1	6,4	5,0	6,1	2,9	3,5	4,8	3,2	5,0	2,6
C 20:0	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6
C 20:4 n-3	1,1	2,2	2,1	1,6	1,1	0,9	1,6	1,3	1,3	0,9
C 20:1 n-9	3,9	4,9	3,6	3,9	5,4	3,4	3,6	2,3	3,2	4,7
C 20:1 n-7	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
C 20:2 n-6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
C 20:3 n-3	0,5	0,5	1,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,3
C 22:0	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3
C 22:1 n-7	0,5	0,6	1,0	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4	0,4
C 22:1 n-11	5,5	6,8	4,1	5,3	7,8	4,8	5,1	2,6	4,3	6,9
C 22:1 n-9	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,6
C 20:5 n-3	5,1	6,8	12,2	4,6	3,7	4,4	5,0	7,8	3,7	3,3
C 22:5 n-6	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3
C 24:1 n-9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,4	0,5	0,7
C 22:5 n-3	0,9	0,9	2,2	0,7	0,6	0,8	0,7	1,4	0,5	0,5
C 22:6 n-3	5,3	8,3	10,2	5,5	3,5	4,6	6,2	6,5	4,5	3,0
Sum	116,1	135,6	157,8	125,1	118,3	99,2	99,5	98,1	99,4	99,8
Sum EPA/DHA	10,3	15,1	22,4	10,1	7,2	8,9	11,2	14,3	8,2	6,3
Sum N-3	7,5	10,4	17,5	7,1	5,7	6,5	7,8	11,2	5,8	5,0
Sum N-6	12,4	18,4	15,4	17,1	10,3	10,7	13,7	9,8	13,9	9,1
Sum N-0	34,1	27,1	43,0	26,5	30,7	29,4	20,1	27,4	21,6	27,1

