

Estimert innhold av næringsstoff og energi i fôrspill og faeces fra norsk lakseoppdrett

Turid Synnøve Aas og Torbjørn Åsgård





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-1433 ÅS

Stavanger:

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

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5844 Bergen

Sunndalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Alta:

Kunnskapsparken, Markedsgata 3
NO-9510 Alta

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140

E-post: post@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835 MVA

Rapport

<p><i>Tittel:</i> Estimert innhold av næringsstoff og energi i fôrspill og faeces fra norsk lakseoppdrett</p> <p>Rapporten er tidligere utgitt som konfidensiell rapport K-29/2016</p>	<p>ISBN: 978-82-8296-515-6 (trykt) ISBN: 978-82-8296-516-3 (pdf) ISSN 1890-579X</p>
<p><i>Title:</i> Estimated content of nutrients and energy in feed spill and faeces in Norwegian salmon culture</p>	<p><i>Rapportnr.:</i> 18/2017</p> <p><i>Tilgjengelighet:</i> Åpen</p>
<p><i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Turid Synnøve Aas og Torbjørn Åsgård</p>	<p><i>Dato:</i> 03.07.2017</p>
<p><i>Avdeling:</i> Ernæring og forteknologi</p>	<p><i>Ant. sider og vedlegg:</i> 8</p>
<p><i>Oppdragsgiver:</i> Nofima AS</p>	<p><i>Oppdragsgivers ref.:</i></p>
<p><i>Stikkord:</i> Slam fra lakseoppdrett; Energiinnhold i slam; Næringsstoff i slam</p>	<p><i>Prosjektnr.:</i> 11562</p>
<p><i>Sammendrag/anbefalinger:</i></p> <p>Det produseres 1,3 millioner tonn laks og omsettes 1,5 millioner tonn fôr årlig i Norge. Noe av energien og næringsstoffene fra fôret er ikke tilgjengelig for laksen, og ender opp i faeces. I tillegg ender energi og næringsstoff fra spillfôr (overføring) som slam. Den totale mengden energi og fosfor i faeces og fôrspill er estimert for landbasert settefiskproduksjon og for sjøfasen i norsk lakseoppdrett. Energiinnholdet i faeces og fôrspill fra landbasert settefiskproduksjon er estimert til 242.880 GJ, og 11.785.235 GJ fra sjøfasen per år med dagens produksjon. De tilsvarende tall for fosfor er henholdsvis 225 tonn og 9.096 tonn.</p> <p>I dag samles slam fra settefiskanlegg. Myndighetenes renskrav er generelt basert på reduksjon i konsentrasjon av stoff (TSS, total suspended solids) i vannet. Følgelig er oppdretterens hovedfokus i slamhåndteringen, teknologi og systemer for slik reduksjon av konsentrasjon. Den totale flyt av næringsstoffer og energi i et oppdrettsanlegg er imidlertid dårlig dokumentert.</p> <p>For å gjøre gode prioriteringer i investeringer og energiforbruk (f.eks. filtersystem, avvanning og transport), i utvikling av teknologi og fastsetting av renskrav, er det nødvendig med detaljert kunnskap om flyt av næringsstoff og energi i lakseoppdrett. Slik kunnskap kan ligge til grunn for effektiv prioritering av forskning og utvikling på dette feltet.</p>	
<p><i>English summary/recommendation:</i></p> <p>The annual production of 1.3 million tons of salmon in Norway consumes 1.5 million tons of feed. The energy content in faeces and feed spill from land based smolt production is estimated to 242,880 GJ, and 11,785,235 GJ from the grow out phase annually. The corresponding figures for phosphorus are 225 tons and 9,096 tons, respectively.</p> <p>To make wise priorities in investments and technology development, and in making legislation for cleansing, detailed knowledge of the flow of nutrients and energy in salmon farming is required. This report can serve as a guide for prioritising of research and development.</p>	

Innhold

1	Estimat av potensiell slamproduksjon i norsk akvakultur	1
1.1	Estimat av slamproduksjon fra smoltproduksjon i ferskvann	1
1.2	Estimat av slamproduksjon fra lakseproduksjon i sjøfasen	3
2	Kunnskapshull og hypoteser for utnyttelse av slam	5
2.1	Oppsamling og utnyttelse av slam	5
2.1.1	Behovet for effektiv avvanningsteknologi.....	5
2.1.2	Dagens utnyttelse av energi fra slam	5
2.1.3	Utnyttelse av næringsstoff fra slam	6
2.2	Manglende kunnskap og teknologi	6
2.2.1	Tilnærming.....	6
2.2.2	Dagens oppsamling av slam	6
2.2.3	Faeceskvalitet	7
2.2.4	Fordøyelighet av fôr	7
2.2.5	Fôringssystem.....	7
2.2.6	Forbedret oppsamling av avløpsvann	7
2.2.7	Avsluttende kommentar.....	7
3	Referanser	8

1 Estimat av potensiell slamproduksjon i norsk akvakultur

Fôrspill og faeces fra lakseoppdrett, hovedsakelig i form av partikler, inneholder store mengder energi og næringsstoff og kan derfor være en viktig ressurs. Partikulært avfall fra landbaserte settefiskanlegg samles vanligvis i form av slam som transporteres til sentrale anlegg. Teknologi for oppsamling og transport av slam utgjør en stor kostnad for oppdretteren, og slam anses derfor generelt som et problem.

Faeces inneholder de samme komponentene som fôret, men med annen energitetthet og ratio mellom næringsstoffene. Sammenlignet med fôr har faeces høy konsentrasjon av mineraler (deriblant fosfor) og ufordøyelige karbohydrat og lav konsentrasjon av fett og protein. Slammet inneholder dermed de samme næringsstoffene som fôret, men med varierende sammensetning avhengig av forholdet mellom fôrspill og faeces i slammet. Med tanke på den totale flyt av energi og næringsstoff i matproduksjon og andre produksjonssystemer, er slam dermed en viktig ressurs.

Laksefôr har høyt energiinnhold (~25 MJ/kg), som tilsvarer omtrent 90 % av energiinnholdet i kull og 60 % av energiinnholdet i bensin, og rundt 20 % av energien i laksefôr er ufordøyelig for fisken. På tørrstoffbasis utgjør slam fra oppdrett en betydelig mengde energi, selv om dette varierer med ratioen mellom fôrspill og faeces i slammet. Om lag 1,5 millioner tonn fôr omsettes i norsk lakseoppdrett per år (Ytrestøyl et al., 2015). Dette fôret inneholder en betydelig mengde energi og bærekraften i lakseoppdrett avhenger av at denne energien utnyttes effektivt.

Fosfor (P) er en begrenset ressurs som er nødvendig for all matproduksjon (også planteproduksjon) og krever derfor spesiell oppmerksomhet. Det er derfor av høy verdi å utvikle teknologi for gjenvinning av fosfor fra slam fra oppdrett. Fosfor fra laksefôr har imidlertid lav fordøyelighet (~30 %, avhengig av fosforkilde) og videreutvikling av metodikk for behandling av fôringredienser og fôr som øker fordøyeligheten av fosfor, kan være en alternativ strategi for å øke fosforutnyttelsen fra laksefôr.

En utfordring i dagens slamhåndtering er mangel på effektiv teknologi for oppsamling av partikler og avvanning av slam. I åpne merder i sjø fins det per i dag ingen kommersielt tilgjengelig teknologi for oppsamling av slam og ingen alternativer for bruk av slikt slam. I de fleste landbaserte anlegg blir derimot slammet samlet. Ideelt sett burde alle partikler bli samlet i rensesystemet på et oppdrettsanlegg, og det ferdige slammet burde ha høyt tørrstoffinnhold slik at man ikke transporterer og håndterer store mengder vann. Analyser av slam fra ulike anlegg har vist svært varierende tørrstoffinnhold, og ofte langt under 10 % (Ytrestøyl et al., 2013).

Ut fra data for årlig omsetning av fôr og produksjon av laks i Norge (Ytrestøyl et al., 2015), kjemisk analyse av fôr og faeces, og fordøyelighetsmålinger, kan den totale potensielle produksjonen av slam i norsk akvakultur estimeres. Siden både tekniske løsninger og bruk av slammet er forskjellig mellom landbasert ferskvannoppdrett og oppdrett i åpne merder i sjø, er disse to situasjonene beregnet separat under.

1.1 Estimat av slamproduksjon fra smoltproduksjon i ferskvann

Om lag 300.000.000 smolt med snittvekt 80 g produseres årlig i norske settefiskanlegg, og dette utgjør 24.000 tonn smolt. Med en økonomisk fôrfaktor (tonn fôr brukt/tonn fisk produsert) på 1,0

betyr dette at det brukes 24.000 tonn fôr årlig. Det antas at den biologiske fôrfaktor (tonn fôr spist/tonn fisk produsert) er 0,7 og at det resterende fôret som er utfôret utgjør fôrspill. Gitt at fôrsammensetning og fordøyelighet er som gitt i tabell 1-3, vil slam fra settefiskanlegg inneholde 10.716 tonn tørrstoff, energiinnholdet vil være 242.880 GJ, og innholdet av fosfor 225 tonn per år (Tables 1-3).

En viss mengde av slammet vil foreligge som oppløste forbindelser eller små partikler som ikke kan fanges med vanlig mekaniske filtrering. Denne mengden er ukjent og vil trolig avhenge av egenskapene til fôr og fæces og andre faktorer som retensjonstiden til vannet i karene, vannhastighet og bøy i rørene, rørlengde fra kar til filter og egenskapene til filtrene. I ett tilfelle ble mengden vannløselig fosfor (som fosfater) beregnet til å utgjøre om lag 10 % av det totale fosforet i slam fra et landbasert resirkuleringsystem (Aas, 2016).

Tabell 1 Estimert årlig mengde tørrstoff i slam fra norsk smoltproduksjon i ferskvann.

	Tørrstoff
Innhold i fôr, %	94
Tilsynelatende fordøyelighet, %	75
Mengde omsatt, tonn	22.560
Mengde spist, tonn	15.792
Mengde i fôrspill, tonn	6.768
Mengde i fæces, tonn	3.948
Total mengde i slam, tonn	10.716

Tabell 2 Estimert årlig mengde energi i slam fra norsk smoltproduksjon i ferskvann.

	Energi
Innhold i fôr, MJ/kg 'as is'	23
Innhold, MJ/kg i tørrstoff	24,5
Tilsynelatende fordøyelighet, %	80
Mengde omsatt, GJ	552.000
Mengde spist, GJ	386.400
Mengde i fôrspill, GJ	165.600
Mengde i fæces, GJ	77.280
Total mengde i slam, GJ	242.880 ¹

¹ Tilsvarer årlig forbruk av elektrisitet i 3,300 norsk husstander.

Tabell 3 Estimert årlig mengde fosfor i slam fra norsk smoltproduksjon i ferskvann.

	Fosfor
Innhold i fôr, % 'as is'	1,3
Innhold, % i tørrstoff	1,4
Tilsynelatende fordøyelighet, %	40
Mengde omsatt, tonn	312
Mengde spist, tonn	218
Mengde i fôrspill, tonn	94
Mengde i faeces, tonn	131
Total mengde i slam, tonn	225 ¹

¹ Tilsvarer mengden fosfor som spredes på 150.000 mål landbruksareal i Norge årlig.

1.2 Estimat av slamproduksjon fra lakseproduksjon i sjøfasen

Om lag 1,3 millioner tonn laks produseres årlig i Norge (Ytrestøyl et al., 2015), hvorav det aller meste i åpne merder i sjø, og total 1,5 millioner tonn fôr omsettes årlig (Ytrestøyl et al., 2015). Per i dag samles ikke slam fra lakseproduksjon i åpne merder i sjø fordi det ikke finnes teknologi og fordi utslippene antas å være godt innen bæreevnen til resipienten. Det utføres også regelmessige kontroller av bunnfaunaen. Det finnes heller ingen løsning på hvordan dette avfallet kan bli utnyttet effektivt. For laks i sjøfasen er det antatt økonomisk fôrfaktor på 1,15 (Ytrestøyl et al., 2015) og biologisk fôrfaktor på 1,0. Ut fra antatt fôrsammensetning og fordøyelighet som gitt i tabell 4-6, er det beregnet at innholdet av energi er 11.785.235 GJ og mengden fosfor 9.096 tonn per år i faeces og fôrspill fra laks i sjøfasen (tabell 4-6).

En økende mengde laks større enn 80 g produseres i landbaserte system med brakkvann (salinitet 12 ‰) eller i semilukkede anlegg i sjø. Begge disse produksjonssystemene åpner for øket oppsamling av slam. Slam fra sjøvann og brakkvann inneholder klorid, som kan være en utfordring ved utnyttelse av slam. Hvis slammet avvannes effektivt ved filtrering (og ikke tørking), burde det være mulig å oppnå lav saltkonsentrasjon i slammet.

Tabell 4 Estimert årlig mengde tørrstoff i slam fra sjøfasen i norsk lakseproduksjon.

	Tørrstoff
Innhold i fôr, %	94
Tilsynelatende fordøyelighet, %	70
Mengde omsatt, tonn	1.364.880
Mengde spist, tonn	1.185.340
Mengde i fôrspill, tonn	179.540
Mengde i faeces, tonn	355.602
Total mengde i slam, tonn	535.142

Tabell 5 Estimert årlig mengde energi i slam fra sjøfasen I norsk lakseproduksjon.

	Energi
Innhold i fôr, MJ/kg 'as is'	24,5
Innhold, MJ/kg i tørrstoff	26,1
Tilsynelatende fordøyelighet, %	77
Mengde omsatt, GJ	35.574.000
Mengde spist, GJ	30.894.500
Mengde i fôrspill, GJ	4.679.500
Mengde i faeces, GJ	7.105.735
Total mengde i slam, GJ	11.785.235

Tabell 6 Estimert årlig mengde fosfor i slam fra sjøfasen I norsk lakseproduksjon.

	Fosfor
Innhold i fôr, % 'as is'	0,9
Innhold, % i tørrstoff	1,0
Tilsynelatende fordøyelighet, %	35
Mengde omsatt, tonn	13.068
Mengde spist, tonn	11.349
Mengde i fôrspill, tonn	1.719
Mengde i faeces, tonn	7.377
Total mengde i slam, tonn	9.096

Til sammenligning brukte en gjennomsnittlig norsk husholdning 20.230 kWh per år i 2012 (www.ssb.no), som tilsvarer 73 GJ (1 kWh tilsvarer 3.6 MJ eller 0.0036 GJ). Energimengden i faeces og fôrspill fra norsk lakseoppdrett tilsvarer dermed energiforbruket i 160.000 husholdninger. I 2013 ble det spredt 15.200 tonn fosfor på norske landbruksareal (Gundersen, 2014). Faeces og fôrspill fra norsk lakseoppdrett inneholder dermed 60 % av mengden brukt i norsk landbruk.

2 Kunnskapshull og hypoteser for utnyttelse av slam

2.1 Oppsamling og utnyttelse av slam

Landbasert settefiskproduksjon har generelt renskrav, og i den daglige driften er det en utfordring å overholde disse. Vanninnholdet i slam er høyt og varierende, noe som er utfordringer for videre håndtering, lagring og transport av slammet. Dagens metoder for å øke tørrstoffinnhold er teknisk utfordrende, arbeidskrevende, kostbart og kan utgjøre et luktproblem i nærområdet. Prosessen inkluderer i noen tilfeller tilsetning av polyakrylamid, som brukes for vannabsorpsjon og effektiv avvanning. Ulike polyakrylamider brukes i mange sammenhenger, deriblant vannbehandling og industrielle prosesser for å fjerne fast stoff fra vannfasen. Nedbrytningen av disse er mangelfullt dokumentert. Tilnærmingen til håndtering av slam fra lakseoppdrett bærer preg av 'brannslukningsarbeid' heller enn en total forståelse av flyten av næringsstoff og energi i systemet, og kost/nytte-tilnærming til utfordringene.

2.1.1 Behovet for effektiv avvanningsteknologi

For effektiv utnyttelse av slam fra akvakultur, er det nødvendig med både fullstendig oppsamling av partikler og effektiv avvanning av slammet. Lavt tørrstoffinnhold i slammet medfører transport og/eller lagring av store mengder vann. Hvis slammet skal brukes som energikilde, må det ha høyt tørrstoffinnhold for å ha høy brennverdi. Prosessen med avvanning må imidlertid ha tilstrekkelig lavt energiforbruk slik at det brukes mindre energi på tørking og transport enn utbyttet av energi ved forbrenning. Slam kan typisk inneholde 5-15 % tørrstoff. Dette varierer med forholdet mellom faeces og fôrspill, men avhenger også av de tekniske egenskapene til begge fraksjonene, og av kar, rør og filter.

Vanligvis er tørrstoffinnholdet i ren faeces i området 10-15 % i fordøyelighetsstudier der faeces samles for analysere og tørrstoffinnholdet måles. Tørrstoffinnholdet i laksefaeces avhenger hovedsakelig av fôrets egenskaper, og er ofte godt under 15 %. Dette betyr at ved passiv, mekanisk filtrering kan ikke tørrstoffinnholdet i faeces i slam bli høyere enn dette.

Effektiv filtrering og avvanning av slam avhenger også av en viss partikkelstørrelse av fôr- og faecespartikler, vannhastighet, retensjonstid i vann, turbulens og tekniske løsninger for filtrering. Derfor er god fysisk kvalitet av fôr og faeces nødvendig.

2.1.2 Dagens utnyttelse av energi fra slam

Biogassproduksjon

Per i dag blir ofte slam fra landbaserte anlegg transportert til sentrale avfallsanlegg der avfall fra ulike kilder brukes til produksjon av biogass og/eller jordforbedringsmiddel. Før transport er det viktig med effektiv avvanning av slammet for å redusere kostnader og energiforbruk ved transport.

Biogassanlegg for bruk lokalt ved ett enkelt settefiskanlegg er også under utvikling. Biogassproduksjon i seg selv reduserer ikke slamvolumet vesentlig, og avvanning av restmaterialet er fremdeles nødvendig.

2.1.3 Utnyttelse av næringsstoff fra slam

Gjødsel for landbruk

Noe slam spres på landbruksareal nær settefiskanlegg. Dette er en tiltalende måte å utnytte slammet der avstandene er korte, og næringsstoff som fosfor, men også nitrogen, kalium og mikronæringsstoff, kan utnyttes for ny matproduksjon. Det er imidlertid bare korte perioder i året at gjødsel kan spres, og i de fleste tilfeller er det begrensede areal tilgjengelig. I tillegg må slammet være innen grenseverdier med hensyn på mineralkonsentrasjoner som er tillatt i gjødsel, næringsstoffene må være tilgjengelig for plantene, og lukt er et problem.

Restfraksjonen fra avfallsanlegg etter biogassproduksjon brukes som jordforbedringsmiddel. Hvorvidt den kan brukes på jord for matproduksjon avhenger av kvaliteten på restfraksjonen. Noen tungmetall, og klorid hvis saltvann er brukt i produksjonen av fisk, kan være et problem. I tillegg er det betenkelig med bruken av polyakrylamid, som tilsettes både ved mange avfallsanlegg og ved settefiskanlegg.

Aquaponics

'Aquaponics', der planter dyrkes i næringsrikt avløpsvann er en mulig utnyttelse av næringsstoff fra akvakultur. Dette er mest aktuelt for å utnytte næringsstoffene som er oppløst i vann. Aquaponics krever ekstra areal, investeringer, kunnskap og arbeidskraft, og lys- og temperaturforhold i Norge begrenser effektiviteten i slik produksjon. Det er nødvendig med produksjon av store mengder planter for å samle næringsstoffene fra lakseoppdrett med aquaponics.

Utslipp av slam til sjøen

I noen tilfeller slippes slammet ut uten rensing. Noen lokaliteter, der resipientens bæreevne er høy, trenger ikke dette gi miljøproblemer. En økning i kapasiteten for smoltproduksjon kan bli hemmet av en begrenset kapasitet i resipienten, og ressurseffektive måter for å holde produksjon/resipientsystemet i balanse vil være nødvendig. Dersom ikke integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) anvendes på stedet, vil utslippene resultere i tap av verdifulle næringsstoff og energi, og bidrar til å øke flyten av blant annet fosfor fra land til sjø.

2.2 Manglende kunnskap og teknologi

2.2.1 Tilnærming

Dagens tilnærming mangler en total oversikt over flyten av næringsstoff og energi i oppdrettsanleggene og i oppsamling og utnyttelse av slam. Det er potensial for stor forbedring av kost/nytte dersom man får fullstendig kunnskap om flyten av næringsstoff og energi i et produksjonssystem i akvakultur.

2.2.2 Dagens oppsamling av slam

Teknologi og løsninger for oppsamling og avvanning av slam bør optimaliseres. Effektiviteten i oppsamling av små partikler må bedres, og dette kan innebære fire ganger øket volum av oppsamlet slam. I tillegg er det nødvendig med mer effektiv teknologi for avvanning/tørrking av slam for å øke tørrstoffinnholdet i slammet.

2.2.3 Faeceskvalitet

Egenskapene til laksens faeces påvirkes av fôret, og kan bli forbedret. En pelletlignende faeceskonsistens er ønskelig for effektiv oppsamling, mens noen fôr gir faeces som går i oppløsning til små partikler.

2.2.4 Fordøyelighet av fôr

Høy fordøyelighet av næringsstoff og energi fra fôret reduserer slammengden. Fordøyeligheten er særdeles viktig for fosfor, som er en begrenset ressurs. Utvikling av metoder som øker fordøyeligheten av fosfor fra fôr og fôringredienser er av høy nødvendighet, og må gjøres i samsvar med fosforbehovet til fisken. Det kan også være fordelaktig å fjerne ufordøyelige karbohydrater fra ingrediensene før fôrproduksjon, heller enn å samle dem opp som slam for viderebehandling.

2.2.5 Fôringssystem

Teknologi og rutiner som eliminerer fôrspill, samtidig som fiskens vekstpotensiale utnyttes, er nødvendig for å fjerne fôrspill fra slamm. Dagens praksis indikerer 30 % fôrspill, men redusert fôrintak kan redusere den metabolske effektiviteten og helsen hos fisken. Derfor bør fôringssystemene forbedres.

2.2.6 Forbedret oppsamling av avløpsvann

Effektiviteten på dette stadiet avhenger av hva man ønsker å samle opp, og egenskapene til dette. Dagens teknologi for oppsamling av slam er tilpasset dagens fôr og fôringssystem. Det kan være stort potensiale for forbedring hvis alt utvikles sammen basert på bedre forståelse av hvordan hver komponent kan bidra til bedre resultat i den store sammenhengen.

2.2.7 Avsluttende kommentar

Det er et krav fra samfunnet at landbaserte settefiskanlegg samler slamm fra produksjonen. Dette er teknologisk utfordrende og det stiller spørsmål om hva som er det smarteste løsningen for videre håndtering og bruk. I dag er settefiskanleggene problemeiere og tar kampen med å oppfylle de pålagte renskravene. Én tilnærming til problemet er kontinuerlig forbedring av eksisterende teknikk og løsninger som samsvarer med eksisterende krav og regelverk.

Det er potensiale for mer kost/nytte-effektive løsninger hvis man tilnærmer seg dette komplekse systemet ved å få en oversikt over den totale flyt av næringsstoff og energi gjennom et anlegg, og utvikle nye løsninger der man finner det største potensialet for forbedringer for å gjenvinne næringsstoff og energi.

Det enkleste å starte med, er å utvikle systemer for landbaserte settefiskanlegg og deretter ta for seg de større utfordringene med brakkvann og semilukkede anlegg i sjøvann og til slutt utvikle system for åpne merder i sjø.

3 Referanser

- Aas, T.S., 2016. A preliminary test of the possibility for reclamation of phosphorus from aquaculture sludge, Nofima Report 14/2016, p. 9.
- Gundersen, G.I. 2014. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/bonden-sprer-125-000-tonn-nitrogen-pa-aker-og-eng>. Accessed April 2016.
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S., Åsgård, T., 2015. Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture* 448, 365-374.
- 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, p. 40.

