

## Klimaregnskap – håndtering av slam fra settefiskanlegg

*Av Erik Skontorp Hognes og Trond W. Rosten*

*Erik Skontorp Hognes* er sivilingeniør og jobber med miljøregnskap og livsløpsanalyser (LCA) i sjømatindustrien og *Trond W. Rosten* jobber som seniorrådgiver innen akvakultur, begge ved SINTEF Fiskeri og havbruk AS.

### Summary

**GHG assessment of sludge disposal from salmon hatchery.** The greenhouse gas (GHG) assessment of two different ways of disposing sludge from salmon hatchery was compared. The GHG assessment was performed with life cycle assessment (LCA) methodology and included capital- and operational expenses from the sludge left the hatchery and to the point it is pumped out to sea through a pipeline or delivered to a biogas plant. The results show that the disposal through a pipeline has the lowest sum of greenhouse gas emissions, but also show that the assessment are very sensitive to the assumptions of lifetime of the pipeline and utilization of the transport to the biogas plant. The potential positive and negative effects of using the sludge for biogas and fertilizer production are not included in this GHG assessment.

### Sammendrag

I forbindelse med utviklingen av et nytt settefiskanlegg har SINTEF fiskeri og havbruk har studert klimaregnskapet for to ulike avhendingsmetoder for slam fra settefiskanlegg. Klimaregnskapet ble gjennomført med livsløpsanalysemetodikk (LCA) og inkluderte kapital- og operasjonelle utgifter fra slammet kom ut av settefiskanlegget og til det gikk ut av rørledning i sjø eller var levert til mot-taksanlegg for biogassproduksjon. Resultatene

viser at avhending via rørledning ut i sjø har et lavere klimaregnskap enn levering med båt til biogassanlegg, men viser også at analysen er sensitiv for antatt levetid for rørledningen og utnyttelsesgrad i transporten til biogassanlegget. Mulige positive eller negative effekter av å bruke slam i biogass- og gjødselproduksjon er ikke inkludert i dette klimaregnskapet.

### Innledning

Utslipp fra settefiskanlegg består både av en oppløst og en partikulær del (Bergheim and Braaten 2007). Brorparten av organisk materiale og fosfor er knyttet til den partikulære delen, mens hoveddelen nitrogen går ut i den oppløste delen (Bergheim and Braaten 2007).

Ved filtrering av avløpet fra settefiskanlegg danner den partikulære delen av utslippet slam. Dette er partikler fra uspist fôr og avføring, samt fra rengjøring av mekaniske- og biologiske filtre. Et eksempel på kjemisk sammensetning av konsentrert slam fra settefiskanlegg er angitt i tabell 1.

Slam fra fiskeoppdrett er problematisk å konsentrere fordi det inneholder lite fiber, men konsentrasjon opp til 6-10 % tørrstoff (TS) kan oppnås med tilgjengelig teknologi (Blytt, Haraldsen et al. 2011). Slammengden fra et settefiskanlegg korresponderer med fôrforbruket. Et estimat på slammengdene er 1.5 – 2 liter slam

pr kg fôr ved konsentrasjon til 10 % tørrstoff eller ~ 0,13 kg TS/kg fôr (Bergheim, Sanni et al. 1993). Dette gjør at det kan bli relativt store mengder slam å håndtere på settefiskanlegget. Slammet er problematisk både fordi det lukter sterkt (Blytt, Haraldsen et al. 2011) og fordi det ikke eksisterer et fungerende mottaksapparat i Norge i dag for slikt slam.

Slam fra settefiskanlegg representerer en verdifull ressurs som kan utnyttes til både energi- og gjødselproduksjon. Slammet er godt egnet som jordforbedringsmiddel (Blytt, Haraldsen et al. 2011), men krever samarbeid med landbruksaktører med tilgang på spredningsareal og ønske om å benytte fiskeslam som en del av gjødselplanen. På grunn av luktproblematikk vil denne type gjødsel kreve umiddelbar nedpløying (pers. kom. med. Morten Lund), noe som normalt skjer ved kornproduksjon, men ikke ved gressproduksjon. Svært få norske settefiskanlegg befinner seg i dag i områder med stor kornproduksjon og det kan være utfordrende å finne nok spredningsareal for slammet. Når settefisk-

anleggene etter hvert blir større vil behovet for spredningsareal på land øke tilsvarende. Dette betyr at slammet må samles, mellomlagres og transporteres til der det er areal og behov for jordforbedring. Et slikt system vil kreve energi og det er interessant å se på klimaregnskapet for denne logistikkoperasjonen. Karbondelen av den organiske komponenten i slammet er også interessant i forbindelse med biogassproduksjon, men ved forbrenning til biogass vil man uansett sitte igjen med en biorest som krever tilgang på tilsvarende spredningsareal, eventuelt annen form for avhending.

Per i dag eksisterer det ingen gode løsninger for innsamling og bearbeiding av slam fra settefiskanlegg. Produsentene må selv for å finne løsninger, og de er bekymret for kostnadssiden ved å sende store mengder slam per bil eller båt til videre bearbeiding. Utslipp til sjø kan være et alternativ i påvente av bedre teknologi og logistikk-løsninger. Dette forutsetter imidlertid at resipienten er i stand til å tåle den organiske belastningen. På generelt grunnlag har Havforsk-

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
Tørrstoff (TS) i fast stoff	NS 4764	15,4	g/100g (= %)
Kadmium	ICP-MS (intern)	0,880	mg/kg TS
Bly	ICP-MS (intern)	<0,220	mg/kg TS
Nikkel	ICP-MS (intern)	1,04	mg/ kg TS
Sink	ICP-MS (intern)	395	mg/ kg TS
Kobber	ICP-MS (intern)	35,3	mg/kg TS
Krom	ICP-MS (intern)	7,39	mg/kg TS
Kvikksølv	(intern)	0,078	mg/kg TS
Glødetap/Organisk stoff	(intern)	81,4	% i TS
pH	NS 4720	5,9	
Konduktivitet	NS ISO 7888	510	mS/m
Nitrogen-Kjeldahl	KJELDAHL	7,21	g N/100g
Kalium	ICP (intern)	610	mg/kg TS
Kalsium	ICP (intern)	56 600	mg/kg TS
Magnesium	ICO (intern)	3 240	mg/kg TS
Tot-Fosfor	(intern)	25 500	mg/kg TS

Tabell 1. Sammensetning av konsentrert fiskeslam fra kommersielt settefiskanlegg. Analysert ved Analysesenteret, Trondheim 2012-478-1.

nings Instituttet vist at det organiske utslippet fra norsk akvakultur ikke representerer et forureningsproblem på regionalt eller nasjonalt nivå (Taranger, Svåsand et al. 2011). Det er også nitrogenkomponenten som er den viktigste eutrofieringsfaktoren i det marine miljø og den får man gjort relativt lite med ved bare å filtrere ut partiklene (Ulgenes and Lundin 2003; Bergheim and Braaten 2007; Bergheim 2011). En mer global miljøutfordring er imidlertid å hindre tap av verdifullt fosfor, kun en femtedel av det fosforet som i dag utvinnes til matproduksjon når forbrukeren (Cordell, Drangert et al. 2009; Cordell, Rosemarin et al. 2011). Verdens viktigste kilde til uorganisk fosfor er i dag fosfatholdig berggrunn. Fra forskerhold varsles det om at verden vil gå tom for nytt fosfor i løpet av 30-40 år (Cordell, White et al. 2011) og mange av dagens kilder til nytt fosfor er forbundet med omfattende naturinngrep og sosiale konflikter, for eksempel i Vest Sahara (Cordell, Drangert et al. 2009). Settefiskprodusenter kan bidra til å redusere etterspørselen etter nytt fosfor og bidra til en mer bærekraftig ressursbruk ved å gjenvinne fosfor fra utslippet og bidra til gjenbruk av slam som gjødsel.

Det er mange fasetter og problemstillinger rundt spørsmålet om hva som er den optimale måten å avhende eller bruke slam fra oppdrett. I tillegg til mulig gjenvinning av næringsalter kommer muligheten til å bruke slammet som energikilde. Bruk som energikilde i forbrenning, gjenvinning av fosfor og bruk som jordforbedring har blitt vurdert i flere livsløpsanalyser og økonomiske analyser (Lundin, Olofsson et al. 2004; Johansson, Perzon et al. 2008).

Vår studie fokuserer kun på klimaregnskapet ved å avhende slammet og tar dermed ikke hensyn til eventuelle positive eller negative effekter som kan oppstå ved bruk av slammet. Vi så på to avhendingsmetoder: 1) slammet sendes ut i sjøen i en rørledning og 2) slammet konsentreres og sendes med båt til et tenkt biogassanlegg. Vår nullhypotese var at alternativ 1, rørledning, være det beste alternativet når man kun ser på klimaregnskapet for avhending av slammet fra settefiskanlegget.

## Metoder

I forbindelse med utviklingen av et nytt settefiskanlegg ble SINTEF bedt om å sammenligne klimaregnskapet for avhending av slammet via avløpsledning til egnet utslippssted og levering av fortykket slam (10 % TS) til biogassproduksjon med båt.

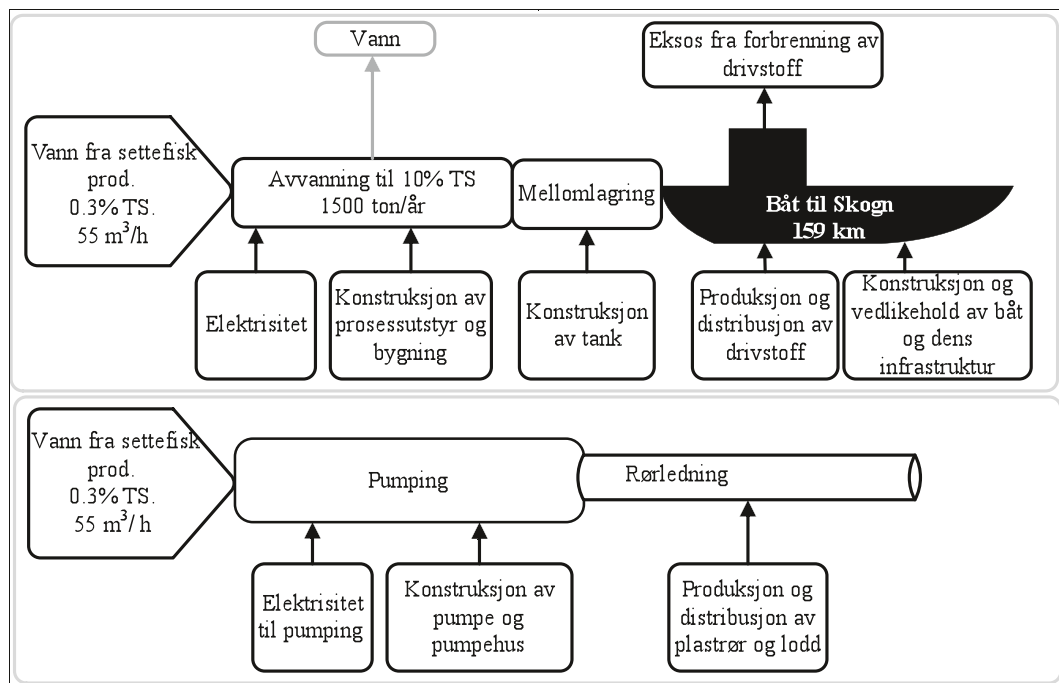
To alternative løsninger ble sammenlignet:

1. Slam pumpes direkte fra settefiskproduksjonen og ut til et egnet sted i sjøresipienten via en lang rørledning
2. Slam behandles til et økt tørrstoffinnhold, lagres og transporteres så med båt til den planlagte biogassfabrikken på Skogn for videre prosessering.

Grunnlaget for sammenligningen, dvs. den funksjonelle enheten, er et år med avhending av 484 800 m<sup>3</sup> slamvann med 0,3 % tørrstoff, dvs. 1 450 tonn TS, dette tilsvarer den forventede mengde slamholdig vann fra settefiskanlegget.

Et klimaregnskap bokfører utslipp av drivhusgasser som en prosess eller et produkt forårsaker fra dets investeringer og operasjonelle utgifter og gjennom hele livsløpet. Klimaregnskapet inkluderer både utslipp direkte fra slambehandlingen og utslipp fra produksjon og distribusjon av innsatsfaktorer som behandling avhenger av, f. eks. produksjon og distribusjon av plastmaterialer, drivstoff og elektrisitet. Klimaregnskapet ble gjennomført i henhold til ISO standardene for livsløpsanalyser (Life Cycle Assessment – LCA) (ISO 2006; ISO 2006). Et klimaregnskap angir kun den potensielle klimapåvirkningen fra et produksjonssystem, angitt som summen av CO<sub>2</sub> ekvivalenter det forårsaker, og ingen andre former for miljøpåvirkning.

Klimaregnskapet baserte seg på data fra et kommersielt settefiskanlegg med resirkulerings-teknologi (RAS). Vannforbruket lå på 56,5 liter/s og resirkuleringsgraden var 98,3 %. Det ble benyttet både mekaniske og biologiske filtre ved anlegget og i samarbeid med teknologileverandøren ble det prosjektert ulike alternativer for å konsentrere slamkomponenten til enten 10 % eller 25 % TS. Mengden slam pr år ble beregnet



Figur 1. Systemgrenser for klimaregnskapene: Avhending med båttransport til Skogn øverst og med pumping gjennom rørledning nederst.

til å utgjøre mellom 500 – 1500 tonn pr år avhengig av TS-konsentrasjonen. Urenset utgjorde det partikkelholdige slamvannet 55 m<sup>3</sup>/time med gjennomsnittlig konsentrasjon av TS på 0,3 %. Omlag 1/3 av vannforbruket gikk med til å drive vannrensing, dvs. spyling av mekaniske filtre og vasking av biofiltre.

Systemgrensene for analysene inkluderer material- og energibruk og kapitalinvesteringer fra slamvannet kommer ut av settefiskanlegget og til det forlater rørledninger eller ankommer havn i Skogn. Se Figur 1 for hva som er inkludert for hvert alternativ.

All bruk av elektrisitet, drivstoff, materialer og kjemikalier er modellert med data fra livsløpsinventar databasen EcoInvent v2.2 (PRé 2012) i LCA programvaren SimaPro 7.3<sup>1</sup>. Strømforbruket er modellert som en nordisk produksjonsmiks.

### Systembeskrivelse: Rørledning

Avhending via rørledning er modellert som en 5 eller 10 km lang rørledning ut i sjøen, tabell 2.

<sup>1</sup> [www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software](http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software)

Slammet pumpes direkte ut fra settefiskproduksjonen med en 4 kW (5 km) eller 11 kW (10 km) pumpe uten videre behandling. Energibruken for pumpingen er beregnet av Sweco og basert på en løftehøyde tilsvarende 4 bar, forskjellen i pumpenes energiforbruk kommer av at rørledningene har ulike traseer. Det er antatt at det trengs et pumpehus på land (5 m<sup>2</sup>). En viktig parameter for klimaregnskap av kapitalinvesteringer og infrastruktur er den antatte levetiden, det ble modellert alternativt med både 10 og 20 års levetid.

### Systembeskrivelse: Båttransport

Dette alternativet baserer seg på muligheten for å levere slam, konsentrert til 10 % tørrstoff, til biogassproduksjon på Skogn<sup>2</sup>. Slammet kan da transporteres med båt som går langs kysten for å samle inn biomateriale fra oppdrettsanlegg. For å øke tørrstoffinnholdet fra 0,3 % til 10 % må det bygges et slambehandlingsanlegg (50 m<sup>2</sup> grunnflate over to etasjer) for filtrering og avvanning på settefiskanlegget. Slambehandlingen er pro-

<sup>2</sup> Sted for planlagt biogassanlegg

Rørledning	Komponent	Mengde	Enhet
Data for 10 km rørledning	Rørledning (PE100 SDR 17, 200 mm diameter)	10	km
	Antall belastningslodd	3340	n
	Luftledninger (PE80 SDR 11, 63 mm diameter)	1000	m
	Effekt pumpe	11	kW
	Elektrisitet til pumping	96360	kWh/år
Data for 5 km rørledning	Rørledning (PE100 SDR 17, 200 mm diameter)	5	km
	Antall belastningslodd	1670	n
	Luftledninger (PE80 SDR 11, 63 mm diameter)	500	
	Effekt pumpe	4	kW
	Elektrisitet til pumping	35040	kWh/år
Data for utstyr	Spesifikk vekt plastrør (PE100 SDR 17, 200 mm diameter)	7.1	kg/m [1]
	Spesifikk vekt plastrør (PE80 SDR 11, 63 mm diameter)	1.06	kg/m [1]
	Vekt belastningslodd (Capone 200 mm)	80	kg/stk
	Bygg for pumpehus	5	m <sup>2</sup>

[1]: Data fra Opplandske Rørsystemer sine nettsider ([www.rorsystemer.no](http://www.rorsystemer.no))

Tabell 2. Inventardata for avhending ved pumping gjennom rørledning.

sjektert av settefiskanlegggets hovedentreprenør etter kontakt med aktuelle underleverandører.

For å modellere båttransporten ble data innhentet fra en aktør som allerede i dag innhenter slam og andre former for organisk avfall fra sjømatnæringen. Båten sin totale kapasitet er 900 tonn fordelt på 9 tanker, men båten har som regel mellom 200 og 400 tonn hver gang den losses. Drivstofforbruket er ca. 140-150 liter i timen ved 9 knop marsjart. For å beregne drivstofforbruket per tonn slam og per kilometer er følgende beregninger gjort: Med antagelsen om at båten i snitt har 300 tonn last (1/3 av maks

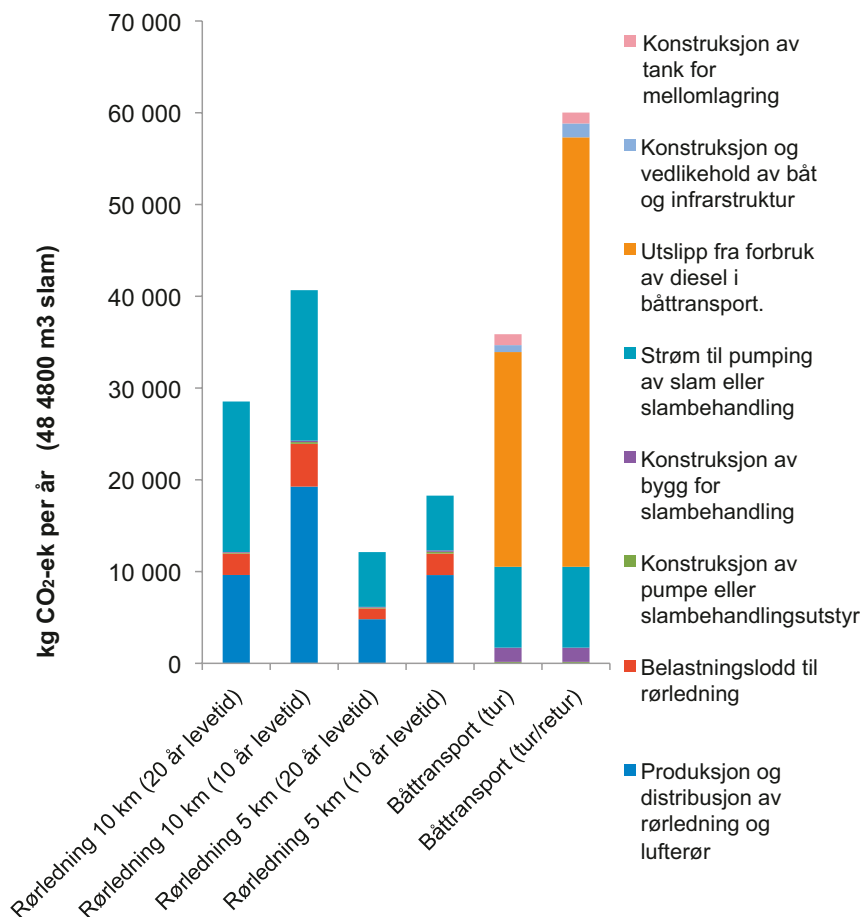
kapasitet) gir dette spesifikt forbruk på 0,029 liter per tonn og kilometer. Det ble antatt at båtens maksimale kapasitet på 900 tonn gjelder uansett tørrstoff innhold i slammet, dvs. at begrensningen går på vekten og ikke på volum. Se forøvrig tabell 3.

## Resultat og diskusjon

Resultatene viser at forskjellen mellom en rørledning med 20 års levetid og en optimalisert båttransport er 7 334 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter i favør av rørledningen, figur 2. Dersom man sammenligner dette med en moderne stasjonsvogn (150 g

Transport med båt	Mengde	Enhet	Kommentar
Avstand	159	Km	settefiskanlegg-mottaker
Tank for mellomlagring	300	m <sup>3</sup>	Levetid 20 år
Bygning for slambehandling	100	m <sup>2</sup>	Levetid 20 år
Slammengde til Skogn med 10 % TS	1 500	tonn/år	
Vekt utstyr for slambehandling	1 120	kg	Levetid 20 år
Årlig elkraft forbruk slambehandlingsutstyr	51 684	kWh	

Tabell 3. Inventardata for avhending med avvanning og transport til mottaker



Figur 2. Resultat klimaregnskap

CO<sub>2</sub>/km) så tilsvarer dette rundt 49 000 km per år (da er kun de direkte utslippene fra bilkjøringen inkludert og ikke bidraget fra produksjon og distribusjon av drivstoffet).

Det er tre antagelser som er spesielt viktige for konklusjonen:

1. Vi antar at biogassfabrikken på Skogn er bygget og i stand til å motta slammet. Pr dags dato er denne fabrikken på planleggingsstadiet.
2. Fraktbåtens utnyttelsesgrad. To alternativer er presentert: Et alternativ der man antar at båten også er i bruk på vei til settefiskanlegget, dvs. at transportlengden som slammet tilskrives kun er den mellom settefiskanlegget og biogassanlegget. Det andre alternativet

antar at båten kun opererer mellom settefiskanlegget og biogassanlegget og derfor tilskrives slammet også transportlengden som båten går, uten last, til settefiskanlegget. Dette scenarioet gir et klimaregnskap som er 39 % høyere enn antagelsen om at båten også er i bruk til settefiskanlegget. I tillegg til antagelsen om hvordan fartøyet benyttes mellom biogassanlegget og settefiskanlegget kommer antagelsen om at kun 1/3 av fartøyet totale lastekapasitet utnyttes, dersom denne utnyttelsesgraden også økte, uten betydelig økning i drivstofforbruket, så ville klimaregnskapet for båttransporten ytterligere reduseres.

3. Levetiden for rørledningen. Mengden plast per enhet slam avhendet er en viktig faktor for klimaregnskapet til rørledningsalternativet.

Den antatte levetiden til plastrørene blir derfor viktig da det har direkte innvirkning på hvor mye slam man antar at rørledningen vil avhende over livsløpet. Det presenteres resultat for både 10 og 20 år levetid for begge rørledningene. For sluttresultatet utgjør forskjellen mellom 10 og 20 år levetid henholdsvis 30 og 34 % redusert klimaspør for 10 km og 5 km rørledning. Det må også bemerkes at man kan forvente at rørledningen varer lengre enn 20 år, men her er 20 år valgt blant annet på grunn av at det er en "vanlig" tid å bruke på avskrivning i økonomisk sammenheng.

Klimaregnskapet er gjennomført med perspektivet til de som eier slammet og som vurderer hvilken avhendingsløsning som gir lavest klimapåvirkning. Det er altså ikke tatt hensyn potensielle klimaeffekter fra de formål slammet kan brukes til. For en mer komplett analyse må dette inkluderes: Er de produktene som kan produseres fra slammet mer klima- og miljøvennlig enn tilsvarende produkter i dagens marked? I denne analysen er ikke slike aspekter inkludert da det ville kreve en omfattende analyse av de spesifikke produktene som slammet kan gi, bruken av dem og deres ekvivalenter i dagens marked. Flere analyser viser til at slam kan være en kilde til klimavennlig energi (Lyng, Modahl et al. 2011), men andre viser også til at man må være svært kritisk til hvor mye innsats som kreves for å utnytte slammet (Houillon and Jolliet 2005; Pant, Singh et al. 2011). Vi utelukker derfor ikke en annen konklusjon dersom systemgrensene for analysen utvides til å omfatte de produktene slammet kan gi og vi håper på muligheten til å jobbe videre med dette temaet.

## Referanser

Bergheim, A. (2011). "Forskjeller i utslippsnivå fra smoltanlegg med enkel gjennomstrømning i forhold til resirkulering. In: IRIS (ed.) Smart bruk av vannressurser. Trondheim: NIVA."

Bergheim, A. and B. Braaten (2007). Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. Rapport nr 2007/180. Stavanger: IRIS.

Bergheim, A., S. Sanni, et al. (1993). "Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves" *Aquacultural Engineering*, 12, 97-109.

Blytt, L. D., T. K. Haraldsen, et al. (2011). Håndtering av slam fra rensing av avløp fra settefiskanlegg. 39s. SBF 2011A0081, Sintef byggforsk.

Cordell, D., J.-O. Drangert, et al. (2009). "The story of phosphorus: Global food security and food for thought." *Global Environmental Change* 19(2): 292-305.

Cordell, D., A. Rosemarin, et al. (2011). "Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options." *Chemosphere* 84(6): 747-758.

Cordell, D., S. White, et al. (2011). "Peak phosphorus: the crunch time for humanity?" *The Sustainability Review Journal* Research Vol 2(Issue 2).

Houillon, G. and O. Jolliet (2005). "Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis." *Journal of Cleaner Production* 13(3): 287-299.

ISO (2006). ISO 14040 Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.

ISO (2006). ISO 14044 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO 14044:2006(E). International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.

Johansson, K., M. Perzon, et al. (2008). "Sewage sludge handling with phosphorus utilization - life cycle assessment of four alternatives." *Journal of Cleaner Production* 16(1): 135-151.

Lundin, M., M. Olofsson, et al. (2004). "Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options." *Resources, Conservation and Recycling* 41(4): 255-278.

Lyng, K.-A., I. S. Modahl, et al. (2011). Modeller for beregning av klimanytte og verdikjedeøkonomi for biogassproduksjon Matavfall og husdyrgjødsel.

Pant, D., A. Singh, et al. (2011). "An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): 1305-1313.

PRé (2012). EcoInvent 2.2 Life Cycle Inventory (LCI) data [www.ecoinvent.org/database](http://www.ecoinvent.org/database). s. c. f. l. c. i. The Ecoinvent Centre.

Taranger, G. L., T. Svåsand, et al. (2011). Risikovurdering av Norsk Fiskeoppdrett. Pressekonferanse 13.01.2011 pp 1-24.

Ulgenes, Y. and U. Lundin (2003). Valsjøbyen fiskodling - Dokumentasjon av BIOFISH-anlegg for produksjon av settefisk (SFT 66 A03105). , Sintef.