



KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET

Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene
fra fiskeoppdrett i sjø

TA

2749

2010



Utført av

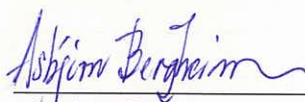
**Bjørn Braaten (NIVA), Guttorm Lange (NIVA) &
Asbjørn Bergheim**

**Vurdering av nye tekniske
løsninger for å redusere utslippene
fra fiskeoppdrett til sjø**

Rapport IRIS - 2010/134

Prosjektnummer: 794.1868
Prosjektets tittel: Fiskeoppdrett til sjø
Oppdragsgiver(e): KLIF – Klima- og forurensningsdirektoratet
Forskningsprogram:
ISBN: 978-82-490-0703-5
Gradering: Åpen

Stavanger / Bergen, 20. desember 2010



Asbjørn Bergheim
Prosjektleder

Sign.dato



Åge Molversmyr
Kvalitetssikrer

Sign.dato



Arild Johannessen
Forskningsleder
Biomiljø

Sign.dato

Forord

IRIS har i samarbeid med NIVA gjennomført prosjektet på oppdrag fra KLIF, Klima – og forurensningsdirektoratet. Rapporten bygger i hovedsak på innsamling av tilgjengelig litteratur og personlige opplysninger fra fagfolk og bedrifter. Forfatternes egne erfaringer er også inkludert. Det har vært foretatt befarings- og merdanlegg der nyutviklet oppsamlingsutstyr er installert.

Forfatterne ønsker særlig å takke følgende for viktige faglige bidrag til gjennomføring av prosjektet:

LiftUp AS, ved Jörgin Gunnarsson og Einar Holmefjord

Due Miljø AS ved Pål Skavås

Patos AS ved Kåre Håhjem

Fiskeridirektoratets Kyst- og Havbruksavdeling ved seksjonssjef Lise Kvinnsland

Havforskningsinstituttet ved Torjan Bodvin

Sanla Invest AS ved Kåre Sandtorv

Val videregående skole ved Geir Skarstad

Faglig kvalitetssikrer har vært seniorforsker Åge Molverersmyr

— — —

Prosjektet ble i sin helhet finansiert av KLIF.

Den opprinnelige versjon av Rapporten av 6. september 2010 er blitt betydelig omstrukturert etter anvisning fra KLIF. Det faglige innholdet er også blitt noe justert etter diskusjoner med KLIF.

Stavanger, 20. desember 2010

Asbjørn Bergheim, prosjektleder

Innhold

Sammendrag	7
1 INNLEDNING - PROBLEMSTILLING	9
2 ÅPNE MERDER	12
2.1 Beskrivelse av teknologi	12
2.2 Oppsamling av partikler	13
2.3 Fordeler	14
2.4 Ulemper	15
2.5 Utslipp av miljøgifter	15
2.6 Forventet utvikling	15
3 LUKKEDE ANLEGG I SJØ	16
3.1 BESKRIVELSE AV TEKNOLOGI	16
3.2 Fordeler - ulemper	18
3.3 Forventet utvikling	19
4 LANDBASERTE ANLEGG	19
4.1 INNLEDENDE FASE 1977-1989	19
4.2 Beskrivelse av teknologi	20
4.3 Fordeler - ulemper	23
4.4 Forventet utvikling	23
5 ANDRE LØSNINGER	24
5.1 Utnyttelse av næringssalter fra oppdrett	24
5.2 Forsøk med skjell og fisk	26
5.3 Fordeler - ulemper	27
5.4 Forventet utvikling	27
6 SLAM	28
6.1 Oppsamling	28
6.2 Bearbeiding/avvanning	28
6.3 Utnyttelse/bruk	29
6.4 Forventet utvikling	31

7	ANDRE PROBLEMSTILLINGER	32
7.1	Begroing av nøter	32
7.2	Økt fôringskontroll.....	34
7.3	Vurdering og forventet utvikling.....	36
8	ØKONOMISKE VURDERINGER.....	37
9	KONKLUSJON.....	38
10	REFERANSER.....	41

Sammendrag

Norsk oppdrettsproduksjon i dag er knyttet til oppdrett av laks og ørret i åpne merder i fjordene og langs kysten. Totalproduksjonen regnes å passere 1 million tonn i 2010. Settefiskproduksjonen på land som er grunnlaget for rekruttering av merdanleggene representerer anslagsvis kun 5 % av den produserte mengden i sjø. En vurdering av mulige løsninger for å redusere utslippene av organisk stoff og næringssalter fra norsk oppdrettsnæring vil derfor være knyttet til matfiskproduksjon av laksefisk.

I åpne merder er det kun den partikkelbundne delen av avgitte mengder som kan samles opp. Denne fraksjonen utgjør maksimalt om lag 3/4 av totalt organisk stoff og fosfor, og 1/3 av nitrogen. Partikler er imidlertid den del av utslippet som vil kunne forårsake størst negativ innvirkning lokalt med slamavsetning på bunnen, skader på bunnfaunaen og også representere en potensiell risiko for fisken i merdene ved produksjon av giftige gasser. Denne typen effekter hører mer fortida til da ofte grunne og strømsvake lokaliteter ble benyttet.

Gjennomsnittsstørrelsen på merdene har økt sterkt de siste årene og i dag representerer merdvolum mellom 20 000 og 40 000 m³ nesten 1/3 av totalantallet på 4000. Samtidig er mange anlegg blitt flyttet mot mer eksponerte lokaliteter.

For å redusere forurensningen fra åpne merder er det flere metoder. Det kan benyttes høyenergifôr, der en reduserer mengden protein og øker mengden med fett og karbohydrater. Overskuddsfôr og fekalier kan samles opp regelmessig, og man har økt fôringskontroll som er blitt et av de viktigste verktøy for å redusere utslipp av organiske materiale. Det pågår for tiden videreutvikling av utstyr med henblikk på oppsamling av død fisk, ekskrementer og fôrrester. Oppumpet slamvann må oppkonsentreres ved siling og deretter transporteres til land for stabilisering og lagring. Lukkede merdsystemer og rørformede systemer med tilførsel av oppumpet vann har vært og er under uttesting. Dette er en teknologi som i stor grad vil kunne eliminere utslippene av partikkelbundne stoffer, men her er det et stort behov for forskning og utvikling.

Flere norske selskap har under utvikling teknologi for landbasert produksjon av laks. Disse anleggene planlegges for resirkulering av vann og effektiv fjerning av partikler. Tidligere testede systemer på land uten resirkulering blir kostbare og lite effektive og er ikke i bruk.

Integrerte systemer har som hovedformål å utnytte de oppløste og partikulære næringsstoffene som kommer fra oppdrettsanlegg. Ved å sette ut bøyestrekk med innpodede småplanter av egnede makroalger kan man få en lønnsom produksjon av alger som fjerner store mengder oppløste næringssalter. Tilsvarende systemer kan også benyttes ved dyrking av skjell. Forsøk i Skottland og Chile har gitt lønnsomme resultater, og tilsvarende anlegg bør prøves ut i Norge.

Tidligere har kalkstabilisert slam fra settefiskanlegg vist god gjødseffekt i grasproduksjon i Norge. Det foreligger ikke rapporter over anvendelse av slam fra sjøanlegg i jordbruk, og innholdet av sjøsalter vil komme inn som aktuell problemstilling. Slam fra en produksjon på 1000 tonn laks/år vil kreve anslagsvis 10 da

spredeareal når det stilles samme arealkrav som ved slik anvendelse av kommunalt slam. Ellers er slam som råstoff for biogassproduksjon ved sentrale mottaksanlegg også vurdert og anslått midlere effektuttak fra omsetning av slam fra et middelstort oppdrettsanlegg er 100 KW.

Mange av de oppdrettsmetodene som er nevnt er ikke i bruk i dag eller foreligger i testskala. Andre er planlagt men ikke bygget. Det er derfor vanskelig å legge fram en sammenliknende undersøkelse av de økonomiske parametrene. Den eneste undersøkelsen som er relevant er fra 1992 og har tall for tradisjonelle anlegg, store merder, lukket sjøanlegg, kombinert åpen/lukket sjøanlegg og landbasert matfiskanlegg. Store merder var mest lønnsomme og landbaserte anlegg dyrest. Vi antar at forholdstallene er sammenliknbare for dagens oppdrett. Selv om flere tekniske løsninger ikke har fungert tilfredsstillende, kan bruk av ny teknologi og viten gjøre de alternative løsningene aktuelle.

Ved bruk av landbaserte anlegg kan oppsamling av partikulært materiale og viderebehandling av slammet gjennomføres på en enklere og mer effektiv måte enn i tradisjonelle merdanlegg. Effektiv oppsamling av slam er også gjennomførbart i lukkede sjøanlegg. Lukkede anlegg i sjø har vært i bruk i Norge i flere år, men uhell og manglende økonomi stoppet en videre utvikling. Nye konsepter er imidlertid nylig blitt lansert både i Norge og i utlandet. I lukkede anlegg er det ikke problemer med lakselus, og dermed er det ikke behov for kjemisk behandling av fisken i motsetning til i åpne anlegg.

Behovet for å finne nye effektive metoder for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett bør sees i sammenheng med de store lakselusproblemene, faren for spredning av sykdommer og rømming av fisk. Det krever ny forskning og utvikling og godt samarbeid med oppdrettsnæringen.

1 Innledning - Problemstilling

Norsk lakseproduksjon har hatt en vekstrate på nær 10 % i en lang periode men den ser ut til å flate ut (Blaalid, 2010). Totalproduksjonen av laks og regnbueørret var i 2009 på 953 000 tonn og beregnes å nå over én million tonn i 2010.

De naturgitte betingelsene for oppdrett i sjø med dype fjorder, beskyttelse for vær og vind, rikelig med strøm og rent vann, gjorde det naturlig med bruk av flytemerder. Denne driftsformen har dominert norsk oppdrettsnæring siden starten tidlig i 1970-årene, og må betegnes som svært vellykket. Problemer med kaldt vann og isproblemer på Sørlandskysten, nye sykdommer, forekomst av giftige alger, og periodevis forekomst av store mengder maneter skapte et behov for anlegg på land, og de første landbaserte anleggene ble bygget. Det viste seg snart at behovet for eksperthjelp ble presserende for å løse fundamentale problemer med oksygenering, overvåking av miljø og renseteknologi.

Selv om de aller fleste matfiskanlegg i dag er åpne merdsystemer, er det et behov for anleggstyper der en i større grad har miljøkontroll. Dette gjelder også intern kontroll i merden for å begrense infisering av lakselus, andre parasitter og sykdomsspredning og kontroll og begrensning av utslipp av organisk materiale og næringssalter. Slike er problemer sliter de fleste oppdrettsanlegg med over hele verden.

Utslipet av næringssalter og organisk stoff fra merdanlegg har gått sterkt ned i forhold til produsert mengde fisk siden næringa begynte å få kommersiell betydning for 30 år siden. I følge Havforskningsrapporten (Husa *et al.* 2010) har produksjonen av laks i løpet av de siste 15 årene blitt firedoblet, fra ca. 200 000 tonn til over 800 000 tonn pr. år, mens det totale utslippet av *oppløste* næringssalter, nitrogen og fosfor, bare økte med ca. 20 % gjennom samme periode. Beregningene over utslipp er basert på den såkalte Ancylus-modellen (MOM) og gir et utslipp på 1,7 kg oppløst fosfor (P) og 10,3 kg oppløst nitrogen (N) pr. tonn produsert laks ved en *fôrfaktor* på 1,1 kg/kg med bruk av dagens anvendte energiholdige vekstfôr.

Nitrogen er en nøkkelparameter mht eutrofiering i fjord- og kystområder og basert på nevnte Ancylus-modell slipper eksempelvis oppdrettsnæringa i Hardangerfjorden ut ca. 580 tonn N pr. år (Husa *et al.* op. cit). Dette er til sammenlikning mengder opp mot det årlige utslippet fra gjødselproduksjonen til Frierfjorden ved Porsgrunn.

I Figur 1 er skissert massebalansen av partikkelbundne og oppløste fraksjoner av N og P samt organisk stoff (som biokjemisk oksygenforbruk, BOF). Det framgår at mengden oppløst P er om lag identisk med Ancylus-modellens tall (2 kg P/tonn produsert), mens avgitt mengde oppløst N, bestående av total ammonium-N ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$), er mer enn to ganger høyere. Beregningene i Figur 1 er da basert på at 45 % av spist protein blir inkorporert i fisken, 13 % er ufordøyelig og dermed at 57 % blir utnyttet som energi og skilles ut som stoffskifteprodukter (ammonium-N + urea).

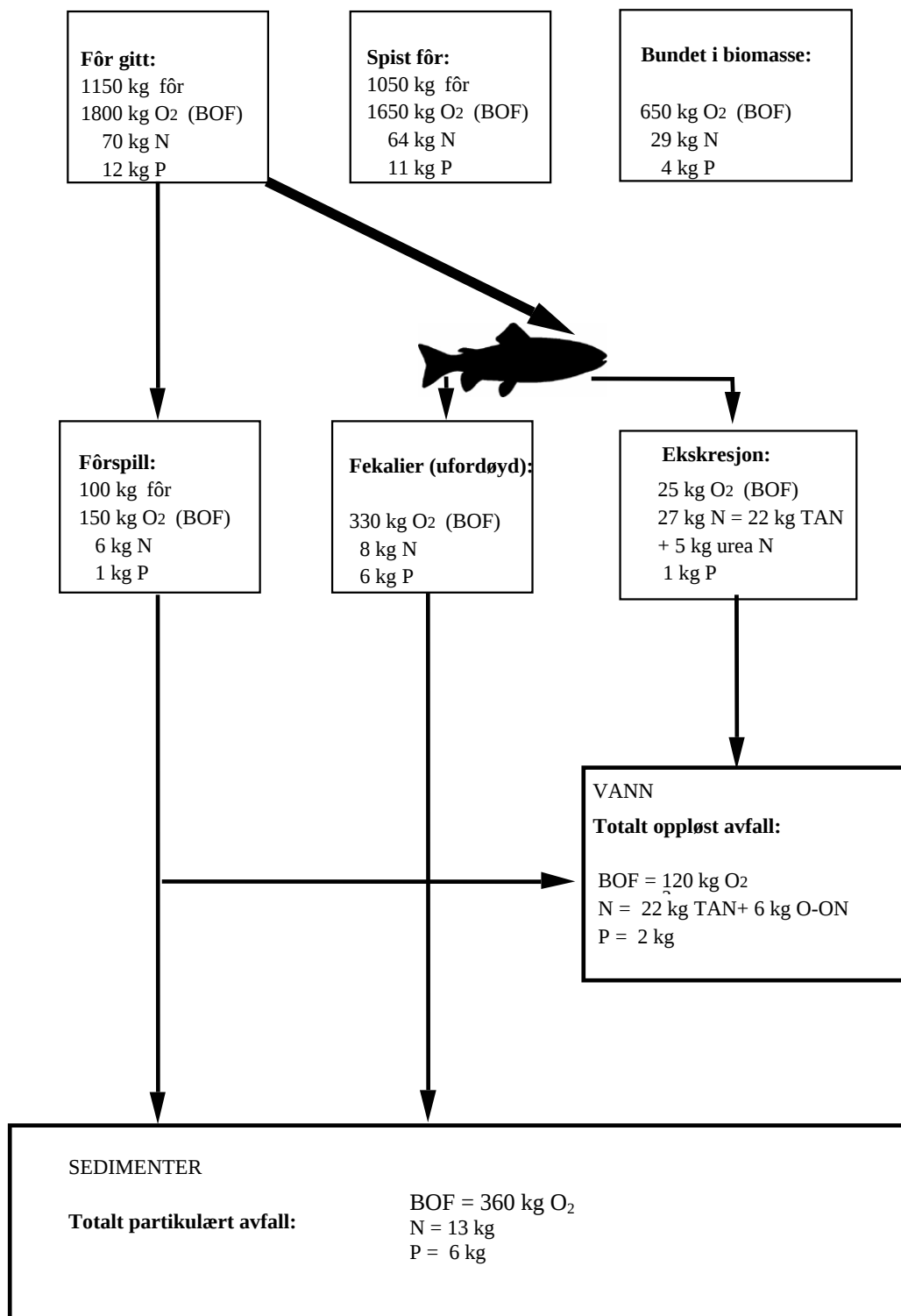
Mengden utskilte næringssalter fra oppdrettsnæringa på strekningen Lindesnes – grensa mot Russland, utgjorde hhv. 75 % og 50 % av totale tilførte mengder av fosfor og nitrogen i 2008 (www.klif.no).

I oppsamlingssystemer i åpne eller lukkede merdsystemer er det kun den partikkelbundne delen av næringssalter og organisk stoff som kan tas opp. Dette betyr i praksis at med utgangspunkt i Figur 1 så vil maksimalt om lag 3/4 av alt fosfor og organisk stoff som utskilles kunne samles opp, mens tilsvarende for nitrogen er omlag 1/3 av total utskilt mengde. Slike oppsamlingssystemer forventes å kunne bli relativt effektive mht opptak av sedimenterbart stoff, dvs. synkende partikler som vil kunne avsettes på bunnen under merdene. Skadeeffekter på bunnforholdene og risiko for avgang av giftige gasser, hydrogensulfid og ammoniakk, som kan forårsake skadeeffekter på fisken i merdene, er også et potensielt problem på sårbare lokaliteter (Kutti *et al.* 2007). I praksis vil partikkelavsetningen på bunnen under merdene være noe mindre enn antydnet i Figur 1 da en del av fôrspillet normalt blir spist av villfisk før det når bunnen. Ved et middelstort anlegg som produserer 1000 - 2000 tonn er det årlige utslippet til bunnområdene anslagsvis 150 – 300 tonn tørrstoff i partikler, 15 – 30 tonn nitrogen og 5 – 10 tonn fosfor.

Det oppsamlede slammet må viderebehandles, dvs. oppkonsentreres og gjøres lagringsdyktig. I utgangspunktet er slamvannet tyntflytende og tørrstoffinnholdet må økes mange ganger for å redusere volumet og gjøre det mer behandlingsdyktig. Videre vil det være aktuelt å lagre slammet en periode for senere utnyttelse, for eksempel som organisk gjødsel i jordbruk eller som kompostsubstrat.

En oppsamling av fôrspill og fekalier fra fisk i merdanlegg vil bidra til følgende:

- redusere eller helt eliminere avsetningen av sedimenter under merdene og dermed redusere miljøproblemene i merdene pga giftige gasser
- redusere/eliminere problemet med ansamling av villfisk/rømt oppdrettsfisk ved merdene som ernærer seg på fôrspill
- redusere den totale miljøbelastning fra anleggene
- representere en betydelig ressurs som organisk gjødsel og kalksubstrat anvendt i jord- og hagebruk



Figur 1. Stoffbalanse for organisk materiale og næringssalter i merdanlegg for laks og regnbueørret gitt høy-energifôr. Mengder ved produksjon av ett tonn fisk. Etter Bergheim & Braaten (2007).

Forutsetninger:

Fôrfaktor (FF): 1,15 kg/kg, 9 % fôrspill. Fôrsammensetning: 34 % fett, 38 % protein, 12 % karbohydrater, 10,5 g P/kg, 24 MJ/kg bruttoenergi. $N = \text{protein}/6,25$ (Kjeldahl – N)

Formål

Formålet med denne rapporten er å vurdere om det er behov for ytterligere tiltak for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø. Vi har derfor gått igjennom rapporter og publikasjoner som omhandler ulike oppdrettsystemer som er i bruk og har vært prøvet ut tidligere. Det omfatter små og store merder, lukkede anlegg i sjø, landbaserte gjennomstrømningsanlegg og resirkuleringsanlegg. Vi har også vurdert andre systemer og tekniske løsninger under utvikling, som oppsamling/rensing av partikler, bearbeiding/avvanning av slam og slambehandling, fôringskontroll, og fjerning av groe på nøter. Selv om problemer med lakselus ikke er en del av formålet med denne rapporten har vi gitt kommentarer til teknologier som kan løse dette. Utslipp av giftstoffer ved avlusing og behandling mot begroing er omtalt. Ved manglende skriftlig informasjon har vi snakket med fagpersoner i bransjen. Vi har også sett på bruk av integrerte systemer fisk/alger eller fisk/skjell hvor man kan utnytte og fjerne oppløste næringssalter som kommer fra åpne oppdrettsanlegg. For den enkelte oppdrettsform har vi gitt en beskrivelse av teknologien, sett på fordeler og ulemper og gitt en vurdering av forventet utvikling. Mange av de tekniske løsningene som er beskrevet har vært prøvet ut i liten skala og testet ut gjennom et forskningsprogram. Når det gjelder kostnad/effekt-vurdering foreligger det lite informasjon og vi har måtte benytte informasjon fra 1992.

2 Åpne merder

2.1 Beskrivelse av teknologi

Nesten all produksjon av matfisk foregår i åpne merder. Den teknologiske utviklingen har gått i fra småskala oppdrett til store anlegg, og størrelsen på merdene har økt 300 ganger siden 80-tallet (Nodland, 2008). Omkretsen på dagens merder varierer fra 70 til 157 m, og dybden på noten må tilpasses den enkelte lokalitet. Utviklingen har gått i fra manuell til automatisk drift på anleggene, og det som tidligere er løst på intuisjon er nå i ferd med å bli kunnskapsbasert (Nodland, op. cit). I 2003 ble det i regi av Norsk Allmenstandardisering etablert en egen standard for flytende oppdrettsanlegg (NS 9415) som resulterte i krav til tekniske løsninger. Parallelt ble *forskrift om krav til teknisk standard for anlegg som nyttes i oppdrettsvirksomhet* utviklet (NYTEK-forskriften) – basert på Akvakulturloven (Fiskeridirektoratet, 2010). Standarden ble senere revidert etter en enkeltrømming av 500 000 fisk, og ny versjon (NS 9415:2009) ble fastsatt høsten 2009.

Fiskeridirektoratet har utarbeidet en undersøkelse over utviklingen av merdstørrelse i perioden 2005 – 2009, med utgangspunkt i oktober måned som normalt er perioden med størst biomasse og antall merder. Antall merder totalt er på ca. 4000. Når det gjelder middels store merder (mellom 9000 og 19 499 m³) har antallet holdt seg stabilt, mens andelen store merder (mellom 19 500 og 38 999 m³) har økte betydelig fra 181 til 959 enheter. Antallet svært store merder (over 39 000 m³) har økt fra 14 til 212 enheter i

løpet av 4-årsperioden. Volumøkningen finner altså sted innen de to gruppene store og svært store merder. Det samlede oppdrettsvolumet har nær fordoblet seg fra 37 til 67 millioner m³. Fra og med januar 2005 ble volumbegrensningen avskaffet. I tillegg hadde oppdretterne en fôrkvote som også er fjernet. Nå er det bare en bestemmelse igjen – MTB (maksimal tillatt biomasse) som avgrenser tillatelsen. Den tillater en produksjon på 65 tonn pr. 1000 m³ konsesjonsvolum. En standard konsesjon på 12 000 m³ kan derved konverteres til 780 tonn MTB (Holm, 2008).

Når anlegget kommer lenger ut i fra kysten, blir lokalitetene dypere og nøtene varierer fra å være 20 – 60 m dype. For å holde merden utspilt, er bunnen hos enkelte produkter utstyrt med en bunnring og tunge lodd for å sikre optimale forhold. Notveggen er like stor som en fotballbane, de skal være sikre mot rømming, tåle sterk strøm og være godt ankret. Gjennom en rekke modelltester og tett samarbeid med kunder utvikles notdesign som tilpasses den enkelte lokalitet (Blaalid, 2008). Leverandørene av anlegg benytter moderne analyseverktøy for beregning av fortøyninger og de benytter spesialister til lokalitetsvurdering og studier av topografi, dyp, vind og strømforhold.

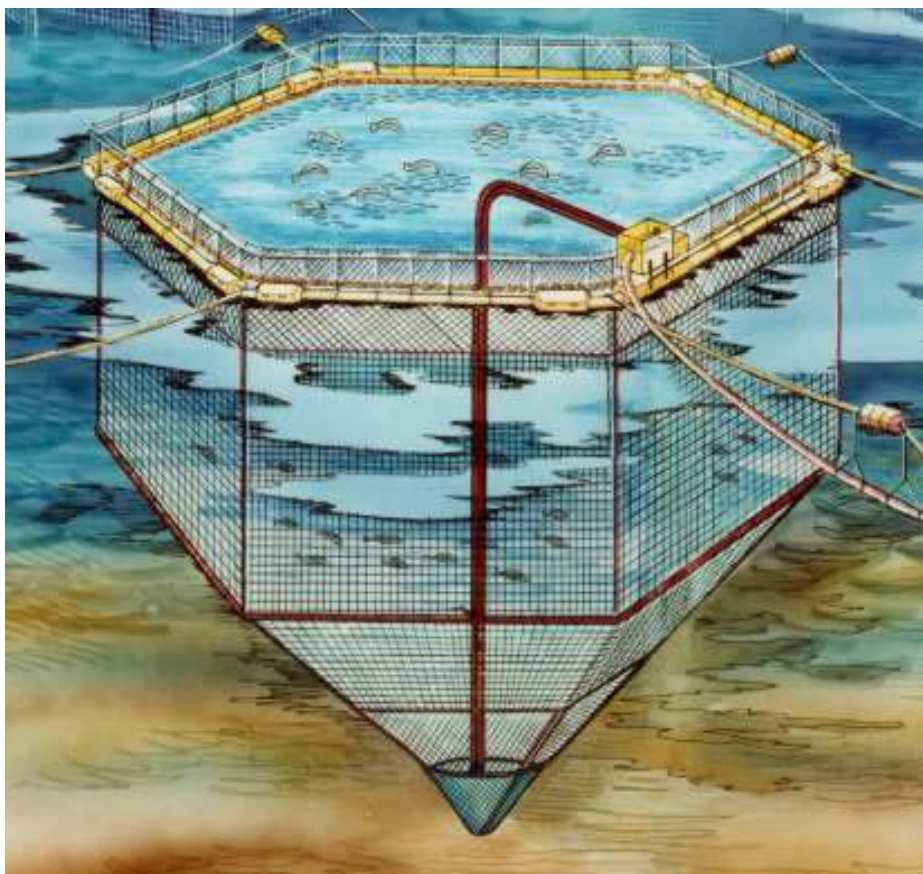
I følge Fiskeridirektoratet (2010) har det tradisjonelt vært en forskjell i preferanse mellom landsdelene i valg av merdsystem. I Sør-Norge har stålanleggene vært mest brukt, mens plastanleggene har vært dominerende i Nord-Norge. En hovedforklaring på forskjellene er at plastanleggene har større kapasitet til å tåle miljøkrefter som bølger og vind på lokalitetene.

2.2 Oppsamling av partikler

Ved bruk av tradisjonelle, åpne merder er det vanlig å ha tilkoblet et standardsystem for løpende oppsamling av dødfisk (Figur 2). Dette for å raskt kunne fjerne døde individer og samtidig holde kontroll med helsetilstanden i merden. I silkasser montert på merdkanten vil også fôrpartikler komme til syne og dermed gi en indikasjon på fiskens appetitt.

På begynnelsen av 1990-tallet, da bruk av medisinfôr fortsatt var et stort problem, ble bruk av en kjegleforma finmaska not under bunnen av merdene i kombinasjon med løfteslange testet ut for oppsamling av fôrspill og ekskrementer (Birkeland & Johnsen, 1991). Uten fisk i merden samlet systemet opp fra ca. 80 % av fôret ved bruk av fôrpartikler på 6 mm til opp mot 100 % ved fôring med 9 mm. Oppsamlingseffekten avtok med økende strømstyrke. Under vanlige forhold med fisk ble også ”mye av partikulære ekskrementer fra fisken” samlet opp.

Senere ble fôr- og dødfisksamleren testet i kombinasjon med båndfilter og komprimator for viderebehandling av avfall fra merden (Johnsen, 1993). Med 0,5 mm lysåpning på båndfilteret ble det holdt tilbake tilnærmet 100 % av alt spillfôr og ca. 12 % av alt fekal partikulært materiale sugd opp fra merden. For organisk stoff var tilbakeholdelsen ca. 40 %. Gjennom filteret økte tørrstoffinnholdet i spillfôr til hele 23 %, mens innholdet i fiskeekskrementer til ca. 6 %. Forfatteren konkluderte med at bruk av filter med lysåpning ned mot 100 µm ville ha økt tilbakeholdelsen av mindre partikler betydelig.



Figur 2. Oppsamlingssystem for dødfisk, spillfôr og fekalier i merder. Trakt for oppsamling i bunn av merden med løfteslange til silkasse for utskilling av dødfisk og fôrpartikler. System: LiftUp. Tillatelse: LiftUp Akva as, 5640 Eikelandsosen.

Det er også under utvikling tekniske løsninger for oppsamling av avfall tilpasset dagens store merder. Firmaet Patos har konstruert en oppsamlingsenhet for synkende partikler som løftes fra bunnen av merden med jevne mellomrom og tømmes ved overflaten, for eksempel ved slamsuging over i lekter (Kåre Håhjem, pers. medd.).

2.3 Fordeler

Bruk av åpne merder er en meget fleksibel og anvendelig produksjonsform. Den største fordelen er at merdene kan flyttes og tilpasses lokaliteten mht. dyp, vind- og strømforhold. Etter hver produksjonssyklus med matfisk eller stamfisk skal lokaliteten tømmes og brakklegges i minimum 2 mnd. Brakkleggingsperioden kan forlenges etter behov. Alle lokaliteter blir overvåket, miljødata journalføres og lokalitetenes biologiske tålegrense evalueres regelmessig. Ved bruk av de minste merdene på mer beskyttede lokaliteter er oppsamling av ekskrementer og fôrspill meget effektivt ved bruk av for eksempel LiftUp systemet. På åpne og værharde lokaliteter vil avfall fra merdene spres ut over et større område og redusere sjansen for akkumulering av partikler på sjøbunnen under merdene.

2.4 Ulemper

Ved bruk av store merder som flyttes ut i mer åpnet farvann er det under utvikling ulike systemer for oppsamling av partikler. Dagens utstyr for oppsamling av sedimentert avfall og død fisk ble konstruert for mange år tilbake og et hovedspørsmål er i hvilken grad et eventuelt nytt og forbedret utstyr vil være i stand til å samle opp avfallet fra stadig større merder i et eksponert og varierende havmiljø. Når nota utsettes for sterke strømmer, presses den sammen slik at volumet minker. Dette påfører anlegget store krefter på innfestingene som skal holde nota på plass. Det betyr at oppsamling av avfall kan bli betydelig vanskeligere i åpne områder der fôr og fekalier lett kan transporteres sideveis ut av merden før partiklene når bunnen av nota.

Alle oppløste næringssalter vil gå ut i miljøet ved en åpen løsning. Det vil også være vanskelig å samle opp medisiner, ulike kjemikalier til behandling mot lakselus, sopp og midler mot innvollorm som ikke er bakt inn i fôret. I tillegg vil lakselus være et problem i åpne merdsystemer. For anlegg som plasseres i åpne og værharde lokaliteter vil det være økt fare for havari.

2.5 Utslipp av miljøgifter

I 2009 ble det målt et økt forbruk av legemidler, og særlig midler mot lakselus (Grave & Horsberg, 2010). Mengder brukt er oppgitt i kg og satt i parentes. Økende resistens for midler mot lakselus har ført til at flere eldre midler er tatt i bruk. Det er observert en økende resistens mot midler som pyretroidene cypermetrin (88 kg) og delametrin (62 kg) samt emamektin (41 kg). Eldre midler mot lakselus er tatt i bruk på grunn av resistensproblemer. Dette gjelder azametifos (1460 kg), diflubenzeron (1413 kg) og teflubenzeron (2028 kg). I tillegg ble det også benyttet 308 tonn med hydrogenperoksid.

Av legemidler ble det i 2009 brukt totalt 1313 kg fordelt på stoffene florfenikol (303 kg), flumekin (1 kg), lincomycin/spectinomycin (43 kg), oksolinsyre (926 kg) og oksytetracyklin (40 kg).

Midler mot innvollorm har hatt en årlig nedgang siden 2004 og i 2009 ble det brukt stoffet praziquantel (29 kg). For midler mot sopp ble det i 2009 benyttet stoffet bronopol (508 kg), og av bedøvelsesmidler ble det brukt benzokain (ca. 800 kg), isoeugenol (65 kg) og trikainmesilat (metakain) (2379 kg). Tallene er basert på salg fra legemiddelgrossister og fra fôrfirmaer til oppdrettere.

2.6 Forventet utvikling

Selv om mange anlegg fortsatt ligger i fjorder og på beskyttede lokaliteter, forventes det at anleggene i økende grad flyttes ut i mer åpne farvann der forholdene rent miljømessig er bedre. På slike eksponerte lokaliteter vil det i perioder være betydelig røffere vær, med sterke og varierende strømmer, høy vindstyrke og stor bølgehøyde. På mange lokaliteter er vannstrømmer på 1,5 knop i sjøen ikke uvanlig (Blaalid, 2008). Det vil måtte settes strengere krav utstyr for å unngå havari og det må være muligheter for kontinuerlig overvåkning av fisk og anlegg. Det er sannsynlig at bruk av åpne merder

fortsatt vil være den dominerende oppdrettsform i Norge. Alternative metoder vil i økende grad bli utprøvd for å redusere forurensning, luseproblemer og spredning av sykdom/andre parasitter.

3 Lukkede anlegg i sjø

3.1 Beskrivelse av teknologi

3.1.1 Flytende raceways

Det er utviklet flere systemer for lukkede anlegg i sjøen og et av de første var firma Noraqua A/S sammen med Stranda Motorverksted og søsterselskapet Biotec. De lanserte et nytt oppdrettssystem i 1985/86 som de kalte en "Flytende raceway" (Christie, 1987). Prinsippet var at fisken skulle holdes i flytende kanal i sjøen med kontinuerlig gjennomstrømning av friskt oksygenrikt vann. Dette skulle gi bedre vekst, helse og kvalitet på fisken. Systemet skulle også gi en rekke fordeler ved at fisken måtte svømme og bli bedre trent. Den ville få lengre tid til å ta opp fôret og gi bedre fôrutnyttelse. Vannkanalen ble bygget i solid tekstilduk og vannstrømmen ble generert av strømsettere. Det ble benyttet laks på 2 kg under prøvene og vannhastigheten var ca 28 cm/sek. Resultatene ble sammenlignet med en kontrollgruppe av samme størrelse som ble holdt i merd, der vannhastigheten var 2,5 cm/sek. Forsøkene viste at det var flere fordeler med "raceway-systemet". Fisken vokste bedre (nesten 40 % raskere), hadde høyere kondisjon, litt lavere dødelighet, generelt bedre kvalitet og økonomien ble forbedret. Dette virket lovende, men forsøkene ble utført i liten skala. Da "racewayen" ble testet ut i et kommersielt oppdrettsanlegg, oppsto flere tekniske feil. Systemet var ikke selvrensende, og det var vanskelig å opprettholde ønsket vannkvalitet. Økonomiske problemer stoppet videre utvikling. Hvis teknologien hadde vist seg mer konkurransedyktig, ville slike systemer kunne bidratt til reduserte utslipp, bl.a. ved bedre utnyttelse av fôret og muligheter for partikkeloppsamling.

3.1.2 Flytende poser, tanker og rør

Lukket poseanlegg - Vestlandet

På et anlegg i en Vestlandsfjord ble det i 1997 benyttet lukkede poser, og vann ble pumpet opp fra dypet. På grunn av store variasjoner i saltholdighet oppsto det problemer med å holde formen på posene. Det oppsto også problemer med oksygeninnhold og tilvekst på fisken (Kåre Sandtorv, pers. info.). Til slutt ble posene oppgitt og fisken flyttet over i en åpen merd der den raskt viste tydelige tegn på økt velferd og bedre vekst.

Kanadisk lukket anlegg

Agrimarine inc. (www.agrimarine.com) er et kanadisk teknologifirma som siden år 2000 har jobbet med å utvikle et flytende lukket anlegg der de benytter faste tanker som monteres i et sjøanlegg i stedet for poser eller merder. Anlegget ligger nær land og samler opp alt avfallet for viderebehandling til kompostering. Flere store norske firma ble invitert til å benytte teknologien, men var skeptiske til teknologien og kostnadene. Agrimarine har bygget opp et anlegg for produksjon av regnbueørret og laks i Kina, og forventer å slakte fisken sommeren 2010. De har et testanlegg på Vancouver Island der de har produsert 150 tonn laks. Teknologien kan benyttes på skjermede lokaliteter, men det er usikkert hva et slikt anlegg tåler av sterk vind, strøm og store bølger.

Rørbasert oppdrett

Som et alternativ til storskala produksjon av slaktefisk på land har firma Preline (www.Preline.no) satset på å lage pilotutgaver som i fremtiden vil kunne bli et alternativ til merdbasert teknologi. Så langt ser det ut til at firmaet muligens kan levere storskala anlegg for kommersiell bruk i løpet av 2-3 år.

Prinsippet bak teknologien til Preline kan oppsummeres i følgende punkter:

- Vann pumpes fra justerbar (25 m vurderes som velegnet) dybde via et rør og ledes inn i flytende hovedrør. Dette gjøres for å få konstant temperatur, unngå virus/bakterier og lakseluslarver. Fordi inntaksrøret er regulerbart kan dette justeres slik at det tilpasses forskjellige arters behov.
- Vannstrømmen i rørene kan justeres for å oppnå optimal oksygenering og hastighet slik at fisken er i konstant bevegelse. På dette viset senkes aggresjonsnivået og filetkvaliteten blir bedre.
- Rørenes gjennomsliktighet kan tilpasses de enkeltes arters behov for lys.
- Utføringen kan justeres veldig presist.
- Fôrspill og fekalier samles opp i et samlefilter og pumpes på land for videre prosessering.
- Rømming av fisk vil være svært lite sannsynlig siden systemet er helt lukket.
- Sortering av fisken gjøres ved hjelp av rister inne i rørene.
- Systemet er modulbasert og kan lett utvides/reduseres ved behov.
- Utsiden av rørene er behandlet med anti-begroingsmiddel.

3.1.3 NTNF Forskningsprogram - lukket sjøanlegg

I 1989 startet NTNF et 5 års forskningsprogram der et av programmene var lukkede anlegg på land og i sjø. Målet var å utvikle systemer som kunne gi oppdrettere bedre kontroll med både fiskens miljøforhold og selve driften. De flytende lukkede anleggene ville fjerne risikoen ved algeoppblomstring, manet – og luseangrep. Samtidig var målet å oppnå kommersiell lønnsom drift.

Forsøkene ble utført av Agderforskning i Flekkefjordområdet. Det ble bygget et fullskala flytende, lukket oppdrettsanlegg hvor det ble gjennomført et 4 års forskningsprosjekt i samarbeid med oppdrettere, utstysprodusenter, SINTEF NKL og MARINTEK (Norges Forskningsråd, 1994; Skaar & Bodvin, 1992, 1993).

Selve anlegget var et Viking merdsystem som besto av 10 enheter (12 x 12 m). I 8 av enhetene var det en PVC pose på 450 m³, diameter 10,2 m. Vanninntaket var på 80 - 90 m dyp og under sprangsjiktet som medførte mer stabil temperatur gjennom året enn med åpne anlegg mot overflaten. En kontrollert oksygentilførsel var helt nødvendig. Tilveksten ble bedre enn teoretisk forventet. I tillegg til muligheten for å fjerne partikler over en viss størrelse vil bruk av kjemikalier mot parasitter bli sterkt redusert/eliminert. Det ble ikke benyttet kjemikalier mot lakselus i de lukkede merdene i ovennevnte forsøk (Skaar & Bodvin, 1992) i motsetning til i de åpne kontrollmerdene.

3.1.4 Slamoppsamling

Et eget prosjekt ved Støytland Fisk AS ble opprettet for utvikling av slamoppsamling inkludert kontroll av fôrspill og videre håndtering av avfallet (Bodvin, 1997). Prosjektet ble gjennomført av Procean AS, var SFT - finansiert og ble kalt "Tilpasning, testing og demonstrasjon av pelletsoppsamlingssystemer for flytende lukkede oppdrettsanlegg". Den mest effektive løsningen viste seg å være anvendelse av et todelt avløpssystem der en via en slamlomme samlet opp hovedmengden av sedimenterbare partikler gjennom ca. 1 % av den totale vannstrømmen. Slammet pumpes ut av slamlommen v.h.a. en mammutpumpe. Det føres opp til en såkalt pelletindikator der alt vann/slam renner over en skråstilt rist. Slamvannet ble pumpet videre til et trommelfilter og deretter til en slamkum for avvanning og kalkstabilisering. Resultatene viste at opp mot 100 % av mengden sedimenterbare partikler (partikkelstørrelse > 100 µm) ble samlet opp. Et annet viktig problem som ble løst var intertransport av fisk i systemet.

3.2 Fordeler - ulemper

Flytende lukkede anlegg har flere fordeler sammenliknet med landbaserte anlegg. Investeringskostnadene er mindre, pumpehøyden er lavere., de er flyttbare og lar seg lett kombinere med åpne anlegg (Solaas *et al.* 1993).

De har også flere fordeler i relasjon til åpne merder. Avfallet kan samles opp og behandles videre. Siden de tar opp vann fra ønsket dyp kan de i stor grad unngå problemer med lakselus, maneter og giftige alger. Tilvekst på fisken var god og kvaliteten var meget bra.

Ulempen er at lukkede anlegg i stor grad må legges nær land. Oppløste næringssalter vil pumpes ut i miljøet, mens fôrpartikler og ekskresjonspartikler i stor grad vil kunne samles opp. Lukket teknologi i sjø kan ikke fjerne oppløste næringssalter, medisinrester eller kjemikalier. Anleggene er lukket, men ikke teknologien. Oppløste salter vil kunne fjernes i betydelig grad i landbaserte resirkuleringsanlegg, men ikke i lukkede sjøanlegg der vannet strømmer gjennom anlegget én gang.

Flytende lukkede poseanlegg må oppfylle en rekke kriterier for design, ha riktig innvendig vannsirkulasjon og oppdrettsvolumet må ta opp vekten av anlegg og utstyr, men må også dimensjoneres for differanser i vanntetthet og nivåforskjell. Når man beregner krefter på anlegget, må det tas hensyn til vind, bølger, tidevann, stormflo, is og snø samt innbyrdes beliggenhet.

Flytende lukkede anlegg har hatt en rekke tekniske problemer. Den ”flytende raceway”-løsningen til Noraqua AS fungerte bra i liten skala, men da systemet ble bygget i fullskala viste det seg at anlegget ikke var selvrensende og at vannkvaliteten ble dårlig.

Etter at forsøkene i regi av NTNFs forskningsprogram ble avsluttet, fortsatte driften av det lukkede anlegget i flere år som fullskala anlegg. I følge Torjan Bodvin (pers. info.) ble posene på 450 m³ byttet ut med større poser (800 m³). Etter en tids drift løsnet innfestingen til flytekraven, posen revnet og fisken gikk tapt. Det viste seg at duken i posen ikke tålte sollys og saltvann. Tapene ble for store til at driften kunne fortsette.

3.3 Forventet utvikling

Det er viktig å konstatere at lukkede flytende anlegg fortsatt befinner seg på utprøvningsstadiet og det er et sterkt behov for videre utvikling av teknologien. Det kanadiske selskapet Agrimarine har valgt en annen teknologi med bruk av faste tanker i stedet for poser, og har produsert 150 tonn laks. Det rørbaserte systemet fra Preline kan best sammenliknes med det kanadiske anlegget med faste tanker og er et interessant alternativ. Systemet testes p.t. ut i liten skala ved et kommersielt anlegg i Canada, men det gjenstår å teste denne løsningen i full skala.

Når det gjelder økonomi, er det fortsatt mer kostbart og risikofylt å satse på lukkede flytende anlegg enn tradisjonelle flyteanlegg både når det gjelder kapitalkostnader og inntjening. På skjermede lokaliteter forventes en videre utvikling med bruk av lukket teknologi og det vil følgelig være et stort behov for videre teknologisk utvikling.

4 Landbaserte anlegg

4.1 Innledende fase 1977-1989

Skottland har den lengste tradisjonen innen landbasert oppdrett av laksefisk og allerede i 1977 sto Otter Ferry Salmon ferdig, og det har vært i drift i mange år. Anlegget ble utviklet og bygget etter en fase med prøving og feiling med tanker på hhv 12 og 25 m diameter og med en øvre fisketetthet på 30 kg/m³. Ved Lephinmore ble det tatt i bruk tanker på hhv 32 og 45 m i diameter, totalvolum på 17 000 m³ og med en produksjonstetthet på 17,6 kg/m³. I 1989 ble det satt opp 15 landbaserte anlegg på vestkysten av Skottland. En økonomisk analyse av anleggene viser at de var lite lønnsomme (Anon, 1989).

I 1984 ble de første anleggene på Island bygget, og 5 år senere var 19 anlegg i drift av varierende størrelse (Ibrekk & Braaten, 1989), hvorav de største hadde et volum på 26 000 m³. Sjøvann ble tilført gjennom en tunnel i lavamassene og flere var satt i drift uten oksygenering. I tillegg ble mange av anleggene tatt i bruk før de var ferdige. Disse anleggene var kostbare, og ble til å begynne med benyttet til smoltproduksjon. Smolten

var umulig å selge p.g.a. veterinærbetingelser. Resultatet var katastrofalt, og i løpet av få år gikk de fleste av anleggene konkurs.

Erfaringene i Norge var nesten tilsvarende tilstanden på Island. I samme periode var det 12 anlegg i Norge som varierte i størrelse fra 87 til 10 500 m³, men bare to var bygget i kommersiell skala. På grunn av markedsproblemer, fallende laksepriser, sykdom og tekniske problemer har nesten alle anleggene blitt refinansiert. Blant norske eksperter var det enighet om at anleggene ble for kostbare både i etablering og drift og kunne ikke konkurrere med sjøbaserte systemer. (Braaten, 1992). Det andre problemet var manglende teknologi, som effektiv oksygenering og renseteknologi, manglende sikkerhetskontroll og lite erfaring med drift av store tanker (Braaten, op. cit).

4.2 Beskrivelse av teknologi

4.2.1 Forskning og utvikling

Under NTNFs 5-årige forskningsprogram, også omtalt under kapittel 3.1.3, ble landbasert anleggsteknologi tillagt særlig vekt og et betydelig antall delprosjekter ble gjennomført. Resultatene fra forskningsprogrammet foreligger i rapportform hos Forskningsrådet. Her vil kun nevnes kort de viktigste erfaringene fra programmet (Norges Forskningsråd, 1994):

Gjennom forskningsprogrammet er det utviklet kompetanse, både teknologisk og driftsmessig som gjør at det i dag kan bygges langt bedre og mer driftsvennlige anlegg enn for få år siden.

- Forbedret og nyutviklet teknologi gjør det i dag mulig å kontrollere miljøforholdene i lukkede produksjonsenheter
- Det er utviklet kostnadseffektive metoder for vannbehandling – oksygentilsetting og lufting
- Ved å ta i bruk disse metodene sammen med pumping av vann, kan energikostnadene, og dermed også driftskostnadene, reduseres
- Programmet har utviklet metoder for flytting og sortering av fisk som i vesentlig grad rasjonaliserer driften av lukkede anlegg og muliggjør markedstilpasset produksjon
- Laksens oksygenforbruk er klarlagt: Man vet hvilket oksygennivå som gir best vekst, trivsel og helse
- Det kan produseres 90 – 100 kg laks per m³ per år med et fôrforbruk på under 1 kg pr kg produsert fisk
- Avløpsvannet fra lukkede anlegg kan renses. Det er utviklet enkle tekniske løsninger for effektiv oppsamling av partikulært stoff

Resultatene fra programarbeidet er i vesentlig grad omsatt i praksis ved norske oppdrettsanlegg – bl.a. Midnor Hemskjell, Helland Laks, Bustvik Fiskeoppdrett, Senja

Fiskefarm, Kvarøy Landfiskefarm, Støytland Fisk (Flekkefjord) og kveiteanlegget Stolt Sea Farm (Eggesbønes).

Utvikling og teknologi for landbasert matfiskproduksjon har ikke vært en prioritert aktivitet i Norge siden 1992, da NTNF avsluttet sitt 5 årige forskningsprogram. Etter nedleggingen av programmet ble ikke FOU-satsing på landbaserte oppdrettssystemer videreført (Ulgenes & Bergheim, 2010). Utviklingen av teknologi har for det meste vært drevet av leverandørindustrien og oppdrettsindustrien selv. Rapporter og publikasjoner fra denne bransjen er vanskelig tilgjengelig siden de for det meste er fortløpig informasjon.

4.2.2 Selvrensing og partikkelfjerning

De oppløste stoffene i avløpsvannet kan ikke fjernes innen akseptable kostnadsrammer (Norges Forskningsråd, 1994), derfor er partikkelfjerning eneste hensiktsmessige rensemetode. Til dette brukes ulike former for siler, skivesil, trommelsil, båndsil etc. Ved utprøving på Midnor Hemskjels matfiskanlegg, ble ca. 85 % av partiklene fjernet. For totalfosfor var renseseffekten 50 - 65 % og for totalnitrogen 25 - 35 %. Et alternativ var å fjerne partikler ved bruk av en todelt avløpsstrøm og en såkalt partikkelfelle. Renseseffekten var litt lavere enn rensing med sil, men slammet var mer konsentrert og ga mulighet for direkte slambehandling uten fortykning av råslammet.

Dersom fôr- og ekskresjonspartikler blir liggende på bunnen av et kar, vil de raskt bli løst opp og ødelagt. For å hindre oppsmuldring og utlekking av næringssalter må de fjernes snarest mulig. Dette kan løses ved å benytte en partikkelfelle (Lunde & Skybakmoen, 1993) som virker i tre trinn. I første trinn vil de hydrauliske forholdene i karet sørge for at partiklene samles, i neste trinn fanges de opp i en partikkelfelle, for deretter å bli transportert ut i et eget uttak der de samles opp for videre behandling.

Landbasert oppdrett av laks fram til slaktbar størrelse har nesten utelukkende vært gjennomført i gjennomstrømningsanlegg, der vannet kun brukes en gang før utslipp til resipient. Renseseffekten ved bruk av mikrosiler ved enkel gjennomstrømning vil medføre at halvparten av totalt fosfor og organisk stoff bli samlet opp. Spylevannet fra mikrosilene inneholder partikler i mengder tilsvarende 1-2 g tørrstoff/l, og vil kunne avvannes videre til 80-100 g tørrstoff/l ved sedimentasjon (Ulgenes & Bergheim 2010).

Landbaserte resirkuleringsanlegg har stort potensial for reduksjon av utslipp av fôrbasert forurensning. Ved bruk av det såkalte Biofish-konseptet som bruker partikkelfjerning vha. virvelseparator og biofiltrering, ble utslippene redusert til følgende mengder (totalt tilført i fôr: 100 %): suspendert stoff 1,2 %, kjemisk oksygenforbruk 4,2 %, total fosfor 9,5 % og total nitrogen 42 % (Ulgenes & Eikebrokk, 1999).

Sogn Aqua

Sogn Aqua as er lokalisert i Bjordal i Sogn. Firmaet har spesialisert seg på utvikling av landbasert produksjon i Norge. Dette er relativt små anlegg basert på raceways-teknologi (lengdestrømskar) og har produksjonskapasitet fra 20 - 100 tonn med slakteferdig fisk pr. år.

Tanken bak konseptet er at det på dypet i de norske fjordene finnes vann som har helt spesielle kvaliteter med hensyn til salinitet, temperatur og bakterie-/virusinnhold. Ved å bruke dette vannet til produksjon av fisk i landbaserte oppdrettsanlegg kan man redusere investering og driftskostnader tilknyttet vannbehandling, samt hindre utslipp av fekalier, fôrrester og unngå rømming av fisk. Siden 2006 har Sogn Aqua, med støtte fra Innovasjon Norge og Høyanger Næringsutvikling, arbeidet med å utvikle småskala enkle landbaserte oppdrettsanlegg tilpasset norske forhold med bruk av dypt vann som ressurs.

Renseteknologien baserer seg på "tradisjonell" resirkulering med et eksternt biofilter plassert i sløyfe med tankene. Anlegget er designet som et modulbyggesett som gir mulighet for utvidelse ved behov. I tillegg er Sogn Aquas anlegg designet spesielt for å gli naturlig inn i omgivelsene.

NIRI

NIRI er et norsk selskap som ønsker å etablere seg og utvikle løsninger for fullskala oppdrett av laks på land. NIRI har utviklet en alternativ løsning tilpasset produksjon av laks opp til slaktestørrelse i kar (NIRI-prospekt, juli 2010). Modulen som renser vannet slik at det kan gjenbrukes (resirkuleres) er plassert inne i selve oppdrettstanken. Det medfører at en slipper å bygge et innfløkt rørsystem noe som igjen reduserer pumpekostnadene. I tillegg vil en slik konstruksjon hvor hvert enkelt kar utgjør en komplett enhet gi stor fleksibilitet med hensyn til utbygging av anlegget.

Erfaring fra utlandet

Kanadiske forskere (Wright & Arianpoo, 2010) har utarbeidet en rapport der de hevder at levedyktige landbaserte oppdrettsanlegg kan bygges opp i British Columbia ved å benytte anerkjent teknologi. Forskerne har ennå ikke bygget et konkret anlegg, men henviser til eksisterende teknologiske muligheter. Anleggskonseptet som omtales ville primært benytte ferskvann. Dette viser at det er en økende interesse for landbaserte anlegg, og myndighetene i flere land ønsker å sette strengere krav til oppdrettsbransjen

Tilsvarende kunnskap og utstyr finnes også i Norge.

4.2.3 Resirkuleringsanlegg

De senere årene har resirkuleringsteknologi hatt en sterk utvikling, og man omtaler i dag oppdrett av fisk i slike anlegg som forutsigbart og sikkert (Summerfelt et al., 2004). I Frankrike er oppdrett av seabass basert på resirkuleringsteknologi, og uten denne løsningen ville oppdrett av seabass vært mindre lønnsomt og forutsigbart (Blancheton, 2000).

Hovedprinsippet ved dagens landbaserte anlegg er resirkuleringsteknologi, dvs. rensing og gjenbruk av vann. Ved resirkulering kjøres vannet gjennom et basseng hvor et biofilter sørger for bakteriell nedbryting av avfallsstoffene fra fisken. Dette filteret er vanligvis plassert som en separat enhet i produksjonshallen.

Systemer for oppdrett av stor laks i resirkulert system er på forsøksstadiet i USA, og i Franklin, Maine er det satt i gang resirkuleringsanlegg for oppdrett av stamfisk av

atlantisk laks. Dette er det eneste anlegget i sitt slag som er beskrevet i tilgjengelig litteratur (Ulgenes & Bergheim, 2010)

4.3 Fordeler - ulemper

Et landbasert anlegg med moderne resirkuleringsteknologi ville løst de fleste problemer både men hensyn til utslipp av organiske partikler, oppløste næringssalter, lakselus, spredning av sykdommer, giftige alger, maneter og rømming av fisk. Men et slikt anlegg er ennå ikke testet ut i stor skala.

Storskala landbasert oppdrett har p.t. ikke greid å utkonkurrere merdbaserte løsninger i Norge. Årsaken ligger, som tidligere nevnt, primært i faktorer knyttet til økonomi, teknologi og biologi. I tillegg har interessen for å utvikle landbaserte løsninger vært relativt lav, noe som bl.a. knyttes til Norges naturgitte lokaliteter. På tross av dette har det i flere år vært gjentatte forsøk på etablering av landbaserte anlegg basert på ulik teknologi, men det er først i den senere tid at utviklingen har resultert i relativt velfungerende systemer.

4.4 Forventet utvikling

Problemer med lakselus, sykdommer og rømming av fisk har igjen satt fart i debatten rundt lokaliseringen av oppdrettsinstallasjonene, men i følge produsenter av landbasert utstyr ligger det både økonomiske og politiske årsaker til grunn for at utviklingen og implementeringen av landbaserte løsninger ikke har oppnådd ønsket markedsandel (<http://www.niri.no/images/stories/niri/brev-kronikk.pdf>). Særlig påpekes det at en ytterligere utvikling av landbasert teknologi vil kunne svekke Norges posisjon som en av verdens ledende lakseoppdrettsnasjoner. Tanken bak denne filosofien er at ved utvikling av landbaserte løsninger vil det være tilnærmet ubegrenset hvor det da kan drives oppdrett av laks. På tross av ovennevnte problemstillinger finnes det i dag noen få selskaper som satser på å etablere og utvikle løsninger for fullskala oppdrett av laksefisk på land, med bl.a. NIRI (www.niri.no) og Sogn Aqua (www.sognaqua.no) som eksempler på slike.

På lengre sikt er det sannsynlig at både lukkede anlegg i sjø og landbaserte anlegg vil øke i antall. Hvis man ønsker en slik utvikling, må det etableres et nytt forskningsprogram der målet er å bygge effektive anlegg som kan løse de gjeldende miljø- og fiskehelseutfordringene i dag opplever og som i tillegg kan være økonomisk lønnsomme. For de landbaserte anleggene kan det være problemer å finne egnede arealer med tilgang til dypvann. For Norge vil det være viktig og fortsatt være i forskningsfronten av denne utviklingen som allerede er i gang både i Canada og USA.

5 Andre løsninger

5.1 Utnyttelse av næringssalter fra oppdrett

Metoder for å utnytte næringssalter fra lukkede produksjonssystemer i akvakultur ble forsøkt i midten av 1970 årene (Ryther *et al.* 1975, Langton *et al.* 1977), og ny interesse ble skapt i 1990 årene (Cohen & Neori, 1991; Buschmann *et al.* 1994, 1996). Disse studiene viste at avløpsvann fra kultivering av fisk er en egnet kilde som næring til ulike typer alger, og integrering av alger kan redusere utslippet av næringssalter i betydelig grad (Troell *et al.* 1997).

Etter hvert som akvakulturnæringen vokser og blir viktigere har det blitt en økende bekymring over hele verden hvordan utslippene av næringssalter og organisk materiale bare øker og skaper potensielle problemer. Samtidig er det blitt en voksende interesse for å utnytte dette overskuddet av næringssalter og organiske partikler på en positiv måte. I 2003 arrangerte European Aquaculture Society en konferanse "Beyond Monoculture" der disse spørsmålene ble tatt opp og presentert. Flere land har fulgt opp, og noen av de mest spennende resultatene kommer fra Skottland og Chile. Disse er delvis publisert, særlig fra Skottland.

Dagens oppdrettsteknologi kan samle opp partikler (fôr og avfall i fast form), men ikke de oppløste næringssaltene. I upåvirkede tempererte marine økosystemer er det næringssalter til stede vinter og tidlig vår, men de blir deretter gradvis brukt opp i overflatevannet i den varme årstid. I marine kulturpåvirkede økosystemer vil store mengder næringssalter kunne anrikes i vannmassene gjennom den varme årstid som følge av tilførselen av avfall fra flytende oppdrettsanlegg (Mente *et al.* 2006).

I Norge er det laget flere utredninger om utnyttelse av næringssalter fra fiskeoppdrett til dyrking av alger og fôring av skjell og som er beskrevet i rapporten "Det miljøvennlige havbruk". Forfatterene mener at dette vil kunne være et satsingsområde for regionalt næringsliv, forskning og høyskoleundervisning (Bodvin *et al.* 1994).

I Skottland og Chile er det gjort en rekke forsøk med dyrking av storalger, og i Kina planlegges slike forsøk i stor skala. Forsøk med dyrking av skjell nær oppdrettsanlegg er forsøkt i en rekke land og i Norge. Erfaringene fra disse forsøkene er kort skissert.

5.1.1 Alge – fisk forsøk i Skottland

Sanderson *et al.* (2008) gjennomførte prøvetaking på 4 m dyp i perioden februar – juni nær oppdrettsanlegg for laks på vestkysten av Skottland. Tre marine lokaliteter ble benyttet og bestanden av laks varierte fra 200 – 450 tonn. Parallellt prøver ble tatt 500 m fra anlegget. Resultatene viste at det ikke var signifikante forskjeller i innholdet av nitrat og fosfat mellom anlegg og kontrollområde. Derimot var det signifikant høyere konsentrasjoner av ammonium. Forhøyde verdier ble funnet ca. 3 timer etter fôring av laksen og fortsatte i minimum 5 timer. Målinger nedstrøms anlegget viste forhøyede konsentrasjoner minst 200 - 300 m fra merdene. Vanligvis vil opptak av ammonium være større enn for nitrat ved normale konsentrasjoner.

I neste trinn i undersøkelsene (Sanderson *et al.* 2006) ble det satt ut bøyestrek med innpodede småplanter av henholdsvis rødalgen søl (*Palmaria palmata*) og sukkertare (*Laminaria saccharina*). Etter en periode på 6 mnd (januar - juni) ble tilveksten målt og sammenliknet med kontrolllokalitet, og for begge arter ble funnet betydelig bedre vekst nær oppdrettsanlegget. Sukkertaren viste en vekstøkning på 28 - 51 % nær oppdrettsanlegget, mens søl viste stor vekstvariasjon, men med økning opp mot 57 %. Begge arter hadde fordeler av nærhet til anlegget. Søl trives bedre i en avstand på 100 - 200 m fra anlegget, mens sukkertaren hadde det bedre nær anlegget. Forsøkene viste klart at dyrking av alger i nærheten av oppdrettsanlegg for laks kan gi betydelig bedre vekst enn på naturlig upåvirkede lokaliteter og at de tar opp store mengder av nitrogen, primært i form av ammonium.

Forsøk med nitrogenisotopen ^{15}N muliggjorde kvantifisering av mengdene opptatt nitrogen i algene fra oppdrettsanlegget. Det ble funnet at de nevnte algeartene tok opp ca. 30 % av avgitt nitrogen fra anlegget, eller om lag 7 tonn av total produsert mengde nitrogen på 23 tonn fra et anlegg med en lakseproduksjon på 500 tonn. Algekulturen beslagla et areal på ca. 1 ha.

Med gitte forutsetninger ble det antydnet at salgsverdien av algen søl ville kunne være ca. 270 000 NOK med dagens valutakurs.

5.1.3 Algeforsøk i Chile

Sør for Puerto Montt i Chile ble det i perioden januar - mars 1995 gjennomført vekstforsøk med algen *Gracilaria chilensis* på såkalt rep-kultur nær et oppdrettsanlegg (Troell *et al.* 1997). Fiskeanlegget produserte ca 227 tonn årlig med regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) og stillehavslaks (*O. kisutch*). Manuell føring ble gitt to ganger daglig og bestanden i merden varierte fra 30 til 40 tonn gjennom forsøksperioden. Algene ble dyrket ca. 10 m, 150 m og 1 km fra fiskeanlegget.

Gracilaria som ble dyrket 10 m fra anlegget vokste best i 1 m dybde (økning 20 – 40 %) og betydelig bedre enn på stasjonen 150 m og 1 km fra anlegget, som begge var like. Innholdet av N og P i algene var også signifikant høyere ved anlegget enn ved de to øvrige lokalitetene.

Denne algearten (*G. chilensis*) ble valgt fordi den forekommer naturlig i området, har en god økonomisk verdi, og den absorberer næringssalter meget effektivt (Buschmann *et al.* 1994, 1996). I et karforsøk fjernet disse algene 90 – 95 % av ammoniuminnholdet i vannet fra fisketankene. For hvert 100 tonn laks produsert kunne den integrerte farmen også produsere 92 tonn med *Gracilaria* som representerte en salgsverdi på 110 000 US\$ eller 625 000 NOK (Buschmann *et al.* upubl.).

Fei (2004) mener at utvalgte alger som har en meget høy produktivitet er i stand til å absorbere store mengder av N, P og CO_2 , produsere oksygen og ha en meget god effekt mot økt eutrofiering. Han mener dette kan få stor betydning, men at det stilles følgende fire betingelser:

1. Produksjonen må skje i stor skala innen de områder som har problemer med eutrofiering

2. Fundamentale vitenskaplige og tekniske problemer med kultivering i storskala må løses
3. Kultivering må ikke ha skadelige økologiske effekter
4. Kultivering av alger må være økonomisk gjennomførbart og lønnsomt.

I den nordlige delen av Kina foregår det storskala dyrking av *Laminaria japonica* for å motvirke de negative effektene ved dyrking av kamskjell. Kineserne har nylig kartlagt hvilke alger som har de beste betingelsene i ulike områder (Fei, op. cit).

5.2 Forsøk med skjell og fisk

Det faste avfallet som skilles ut fra et lakseanlegg er i stor grad rester av fôr og fekalier fra fisken. Restpartiklene som ikke spises av villfisk kan utnyttes av andre organismer og mange har ment at de kan utnyttes av filterspisende skjell (muslinger, østers, kamskjell). I Tasmania ble det gjort feltforsøk med tasmansk blåskjell (*Mytilus planulatus*) som ble dyrket ved siden av et oppdrettsanlegg med Atlantisk laks. Skjell som ble dyrket 70 – 100 m fra fiskeanlegget ble ikke særlig forskjellig fra skjell som ble dyrket 500 og 1200 m fra anlegget (Cheshuk *et al.* 2003). Den manglende responsen kan ha mange årsaker, bl.a. at skjelleanlegget lå for langt borte og på feil dyp. Det kan også antas at skjellene bare i liten grad har utnyttet det partikulære avfallet (Cheshuk *et al.* op. cit). En annen sannsynlig årsak er at vanntransport og strøm i og rundt anlegget har ført partikler og næringssalter vekk fra området før det kom i gang en planktonproduksjon. Tidligere undersøkelser har vist at skjell har utnyttet avfall fra landbaserte akvakulturanlegg med stor suksess (Sphiegel *et al.* 1993; Jones & Preston, 1999).

Forsøk med kamskjell (*Placopecten magellanicus*) ble utført i et lakseanlegg på østkysten av Canada (Parsons *et al.* 2002). Kamskjellyngel satt ut på to lokaliteter i såkalte perlenett ca. 4 m fra oppdrettsanlegget og på 3 m dyp. Om lag 100 m fra oppdrettsanlegget ble yngel plassert i et bur på bunnen. Buret skulle representere en kontrolllokalitet. Heller ikke i dette forsøket ble det funnet forskjeller i vekst på skjell ved fiskeanlegget og kontrolllokalitet. Dette er i overensstemmelse med andre forsøk, men ikke alle. Mangel på forskjell kan skyldes den store tidevannsforskjellen i området (maksimum 8,3 m), kraftig strøm og godt gjennomblandede vannmasser (Parsons *et al.* op. cit).

I forsøk som ble utført i Middelhavet ble skjells evne til å utnytte avfall fra fiskeoppdrett testet (Navarrete-Mier *et al.* 2010). De to skjellartene europeisk østers (*Ostrea edulis*) og Middelhavsskjell (*Mytilus galloprovincialis*) ble plassert i et transekt fra 0 til 1800 m fra et oppdrettsanlegg med dorade (*Sparus auratus*) og havabbor (*Dicentrarchus labrax*). Forsøket varte i 3 mnd og tilvekst og konsentrasjon av stabile isotoper (C og N) samt metaller ble beregnet. Alle resultatene viste at hverken Middelhavsskjellet eller østers spiste avfall fra oppdrettsanlegget.

De ovennevnte forsøkene med kombinasjonen fisk og skjell viste altså liten forskjell i åpne anlegg, men i andre kontrollerte forsøk i Canada (Robinson *et al.* 2003) viste det

seg at blåskjell (*Mytilus edulis*) hadde 20 % bedre vekst direkte ved lakseanlegget i 5 m dyp enn skjell som vokste 200 og 1200 m lenger vekk. Praktiske forsøk i Norge har også vist positive resultater. Dette har ikke minst kommet fram med klart forbedret vekst til blåskjell på avskjermede lokaliteter i nærheten av lakseanlegg i Follafjorden (Geir Skarstad, pers. medd.). Disse resultatene viser at skjell kan utnytte avfall fra fiskeoppdrett til bedre vekst når konsentrasjonen av POM (partikulært organisk materiale) er høyt nok og av riktig størrelse.

De variable resultatene viser hvor vanskelig det er å integrere flere arter i åpne systemer. Strøm, vind, bølger og god vanntransport kan være en årsak til at man ikke fant forskjeller. For å lykkes med integrerte systemer er det nødvendig med en grundig kartlegging av den enkelte lokalitet.

NIVA har i den senere tid utviklet verktøy for å kunne bedømme risikoen for smittespredning mellom ulike oppdrettslokaliteter (Urke *et al.* 2010). Dette verktøyet kan også benyttes for transport og spredning av næringssalter - noe som vil være meget nyttig ved integrert oppdrett av fisk og alger. Informasjon om strømforhold er viktig for å plassere et algeanlegg på den mest optimale lokalitet i forhold til et eller flere oppdrettsanlegg for å sikre en jevn tilførsel av næringssalter fra oppdrettsvirksomheten.

5.3 Fordeler - ulemper

Integrert oppdrett har som hovedmål å utnytte de oppløste næringssaltene som kommer fra oppdrettsanlegg. Algene er avhengig av oppløste næringsalter for å kunne vokse og blåskjell ernærer seg av planteplankton og organiske partikler. I tanker på land har dette vært forsøkt i en årrekke med gode resultater der inntil 90 - 95 % av ammoniuminnholdet fra fisketanken ble tatt opp og utnyttet av algene.

Praktiske forsøk har vist at en rekke arter av storlger kan dyrkes nær oppdrettsanlegg, men resultatene varierer for ulike alger og med avstand fra anlegget, strøm og tidevann. De algene som ble valgt hadde en god økonomisk verdi og skaffet ekstrainntekter.

For et oppdrettsanlegg kan det være en ulempe å ha et blåskjellanlegg eller anlegg for storlger for nær fisken. Det må plasseres med omtanke så det ikke hindrer driften av anlegget ved utsetting eller henting av fisk eller manøvrering av båter og bruk av utstyr til ulike formål. De varierende resultatene fra samdrift av fisk, skjell og alger viser at det er nødvendig med grundige studier av strøm og vindforhold for plassering av anleggene i forhold til hverandre for å oppnå positiv resultater.

5.4 Forventet utvikling

Bruk av integrerte systemer er nytt i Norge, og man trenger mer erfaring ved praktiske forsøk og forskning og utvikling før slike metoder kan benyttes i stor skala. Integrerte systemer vil sannsynligvis best kunne utnyttes på skjærmede lokaliteter der en har bedre kontroll på miljøbetingelsene. Forsøkene fra Middelhavet, Tasmania og Canada viser at kombinasjonen fiskeoppdrett og skjell er en vanskelig løsning, og for å lykkes må både partikkelstørrelse og konsentrasjonen av organiske partikler være riktig for den enkelte

art. Ved bedre praktisk og biologisk erfaring, og ved valg av riktige arter av kommersiell interesse, kan integrert oppdrett bli en interessant, lønnsom og nyttig oppdrettsform. Metoden har en positiv effekt på miljøet, og videre forsøk bør stimuleres med støtte både fra næringen selv og forskningsmidler.

6 Slam

6.1 Oppsamling

Som nevnt innledningsvis vil hoveddelen av nitrogenutslippet fra merdene være i oppløst form og dermed umulig å samle opp, mens det motsatte er tilfelle mht. fosfor og organisk stoff. Basert på forutsetningene i Figur 1, med produksjon av ett tonn fisk, er bare 13 av totalt 41 kg N partikkelbundet (32 %), mens hele 6 av 8 kg P (75 %) og 360 kg av totalt 505 kg O₂ som BOF/organisk stoff (71 %) er knyttet til partikler og dermed mulig å fjerne med mekaniske metoder.

Ved en fôrfaktor på 1 – 1,5 kg/kg er som antydnet det partikulære utslippet omkring 100 – 150 kg tørrstoff/tonn produsert laks. I oppsamlet slam under laksemerder i Chile var tørrstoffinnholdet så vidt høyt som 12 – 15 % (Salazar & Saldana, 2006). Slampartiklene som suges til overflaten sammen med død fisk i system for kontroll av fôropptak og helsetilstand er derimot tyntflytende. For viderebehandling av tyntflytende slamvann er ulike metoder for avvanning aktuelt.

Mengden av slam som pumpes fra bunnen av merdene er avhengig av hvor effektivt oppsamlingen skjer, bl.a. hvor mye ekstra vann som dras med i prosessen. Ved oppumping av slam med 12 – 15 % tørrstoff vil den totale slamvannsmengden fra produksjon av 1000 tonn laks årlig kunne være av størrelsesorden 1000 m³/år for viderebehandling. Ved lavere tørrstoffinnhold vil nødvendig pumpe- og rørkapasitet, og også behovet for avvanning være tilsvarende høyere. Videre avvanning av oppumpet slamvann må enten skje ved merdene (for eksempel på lekter) eller på land.

6.2 Bearbeiding/avvanning

De mest aktuelle metodene for avvanning av slamvann er siling gjennom silduk og/eller sedimentasjon. Det vanlige er å benytte siler/filter der tilbakeholdte partikler blir ført med spylevann til videre oppkonsentrering. Med oppumping av slamvann fra merder bør effekten med ulike filterduk (eksempelvis fra 1 til 0,3 mm) utprøves. I en tidligere test ble slamvann fra mikrosiler først avvannet i en stasjonær buesil og det ble oppnådd en tilbakeholdelse på ca. 90 % av partiklene med en lysåpning på 0,2 og 0,5 mm (Bergheim & Bakkevig, 1998). Det bør benyttes ferskvann for tilbakespyling for å redusere saltinnholdet i slammet.

Ved den videre avvanning er det aktuelt å benytte sedimenteringstanker med konisk bunn og styrt vannstrøm (eksempelvis en såkalt virvelseparator, (Ulgenes & Eikebrokk,

1999). Dette er systemer som er tilgjengelig på markedet, men som må testes ut/benyttes på en effektiv måte. Uttappet slam fra en virvelseparator inneholder vanligvis minimum 10 % tørrstoff (10 – 30 %).

Kalktilsetning for å oppnå såkalt stabilisert slam, dvs. lagringsdyktig slam som er hygienisert for unngå spredning av fiskepatogener og lagring uten luktproblemer, er den metoden som har vært mest testet i Norge. Det kreves at pH i slammet heves til ca. 12,0 for å inaktivere bakteriell aktivitet. Vanligvis anvendes brent kalk (CaO) i mengder på 120 – 150 g pr. kg slamtørrstoff. Mao. er det behov for 12 – 15 kg brent kalk til 500 l slam med 20 % tørrstoffinnhold.

Stabilisering ved anaerob nedbryting av slammet omtales under utnyttelse/bruk.

6.3 Utnyttelse/bruk

6.3.1 Jordforbedring

Det foreligger analysedata av oppsamlet slam fra merder i sjøvann, sedimenter under merder i ferskvann og sjøvann, og slam fra settefiskproduksjon (Tabell 1). Dette er analyser som særlig er utført med henblikk på utnyttelse av slam som gjødsel i planteproduksjon og de utvalgte parametrene er også blitt sammenlignet med tilsvarende nivåer i gjødsel fra husdyr. Det framgår av Tabell 1 at selv om nivåene varierer mye, så er innholdet av nitrogen i slam noe lavere enn i gjødsel fra storfe, høyere når det gjelder fosfor og svært lavt når det gjelder kalium. I følge Salazar & Saldana (2006) inneholder slam fra fiskeoppdrett samme innhold av nitrogen og om lag 5 ganger høyere nivå av fosfor sammenlignet med innholdet i organisk gjødsel fra melkeproduksjon. Det høye fosforinnholdet er særlig viktig over sikt da tilgangen på fosfor fra kjente kilder i verden kun rekker for 50 – 100 år forbruk ut fra dagens prognoser (Denstadli, 2010). Kalsiuminnholdet i slam vil øke 5 – 6 ganger når det anvendes kalk for stabilisering. Mikronæringsstoffene kobber og sink er på nivå med innholdet i husdyrgjødsel. Innholdet av tungmetaller er gjennomgående lavt i oppdrettsslam til tross for betydelige variasjoner. Sammenlignet mot Landbruksdepartementets kvalitetsklasser for bruk som gjødsel i landbruk ("Forskrift om handel med gjødsel og jordforbedringsmiddel m.m.", 1996,) er alle nivåene klart under grenseverdiene for Klasse 1, høyeste kvalitetsklasse, med unntak av kadmium (Cd) der grenseverdien er 0,8 mg/kg tørrstoff (Bergheim & Bakkevig, 1998).

Analysene av ferskt slam fra merdanlegg i sjøvann (Tabell 1) inneholdt ca. 6,5 % tørrstoff (Jörgin Gunnarsson, pers. medd.). Videre var mengden klorid (Cl) ca. 90 g/kg tørrstoff eller ca. 50 % av saltinnholdet i sjøvann med salinitet over 30 ppt. Innholdet av natrium (Na) var ikke målt, men dette er en viktig parameter for framtidig bruk av slikt slam i jordbruk. I Gjødselvereforskriften (op. cit.) er natrium – til forskjell for tungmetaller – kun angitt under hoved- og sekundærnæringsstoffer, men det foreligger ingen øvre grenser for anvendelse som gjødsel. Klorid inngår ikke i Forskriften. Disse analysene viser uansett at oppumpet ferskt slam må avvannes både mht mengder/transportkostnader og utnyttelse, og det må følges opp med analyser av saltinnhold.

Oppsamlet slam i avløpsvann fra settefiskanlegg bestående av ufordøyde fôrpartikler og fôrspill har vist seg å ha god gjødseleffekt i grasproduksjon (Nygaard Austrheim, 1996; Fludal, 1997). del Campo *et al* (2010) refererer også en test med bruk av slam fra ferskvannsanlegg i potetproduksjon der avlingsutbyttet var signifikant høyere med bruk av uorganisk handelsgjødsel (N-P-K gjødsel) sammenlignet med slam. Slikt slam er tilsatt kalk (pH 12) for stabilisering og har dermed også en gunstig kalkingseffekt i jord. Det er viktig at slam fra saltvannsanlegg inneholder minst mulig vann (> 20 % tørrstoff) anvendt som gjødsel/jordforbedrer for å holde saltinnholdet (Na etc.) på et lavest mulig nivå.

Med en maksimal tilførsel på 4 tonn slamtørrstoff pr. da i løpet av 10 år (i henhold til Gjødselforeforskriften, op. cit.), er nødvendig spredeareal om lag 20 da for slammet fra et anlegg som produserer 1000 tonn fisk pr. år.

I det følgende vises det til et eksempel fra Hardangerfjorden for å illustrere spredearealet. I følge produksjonsoppgaver innhentet fra Fiskeridirektoratets Kyst- og Havbruksavdeling (Lise Kvinnsland, pers. medd.) var totalproduksjonen av laks og ørret i Hardangerfjorden 70 555 tonn i 2009. Tallene omfattet da også produksjonslokaliteter i ytre deler av fjordssystemet, dvs. Stokksundet på innsiden av Bømlø og lokaliteter i øyene mellom Fitjar og Stord. Ved å anvende Gjødselforeforskriftens krav til maksimaltilførsel av slam er dermed minimalt spredeareal for slammengden fra anleggene i Hardangerfjorden ca. 1500 daa. *Det er imidlertid viktig å påpeke her at slam fra sjøanlegg ikke har vært rapportert anvendt som gjødsel/jordforbedrer og slike studier må gjennomføres.*

6.3.2 Biogass

Slam fra fiskeoppdrett som substrat for produksjon av biogass har vært omfattende studert av Gebauer (1998). I doktoravhandlingen ble anaerob nedbrytning av slam fra settefiskproduksjon i ferskvann og slam fra sjøanlegg studert. Forhøyede natriumkonsentrasjoner i slam fra saltvann kunne inhibere nedbrytningsprosessen og forholdet mellom saltene (kationer) i slammet viste seg avgjørende viktig for prosessforløpet. Anvendelse av såkalte mesofile bakterier ved 35 °C fungerte best for fortynnet saltvannsslam i forholdet 1:2 med springvann. I utgangspunktet var natriuminnholdet i slammet så vidt høyt som 10,2 g/l ved et tørrstoffinnhold på 8 – 10 %. I forhold til optimal substratsammensetning for anaerob nedbrytning er innholdet av karbon i oppdrettsslam lavt sammenlignet med innholdet av spesielt fosfor, men også nitrogen.

Den produserte mengden metan representerer en netto energimengde som er liten i forhold til behovet for energi ved det enkelte oppdrettsanlegg (Gebauer, op. cit.). Energiproduksjonen fra biogass i et matfiskanlegg med en årlig produksjon på 2000 tonn fisk/år vil være 400 – 1400 MWt/år eller en midlere effekt på ca. 100 KW. Biogassproduksjon fra oppdrettsslam vil kun være aktuelt ved mottak fra flere anlegg og/eller i kombinasjon med mottak fra andre kilder (eksempelvis husdyrgjødsel). Økonomiske vurderinger for utnyttelse av slam til biogass er kort omtalt under Kap. 6.

I følge del Campo *et al* (op. cit) er det i dag i drift 10 biogassanlegg i Norge med en total kapasitet på 115 000 tonn årlig mottak av organisk avfall, men det er under planlegging slike anlegg tilsvarende 467 000 tonn pr. år.

Tabell 1. Analyser av slamprøver fra norsk merdanlegg (Jörgin Gunnarson, pers. medd.), fra chilenske merdanlegg (Salazar & Saldana, 2006) og seks norske settefiskanlegg (Bergheim *et al.* 1996) sammenlignet med innhold i gjødsel fra melkeproduksjon.

Parameter	Ferskt slam merdanlegg*	Merdanlegg Chile**	6 norske smoltanlegg	Blautgjødsel melkeproduksjon
Makronæringsemner, % av tørrstoff:				
N	1,4	0,4 – 2,8	3,2 – 8,6	3,0
P	0,8 – 0,9	0,8 – 2,5	1,4 – 4,3	0,5
K	0,4 – 0,7	0,10 – 0,63	0,03 – 0,6	2,9
Ca	1,2 – 2,0	2,6 – 7,0	2,8 – 17,5	-
Mg	0,6 – 2,0	0,5 – 1,7	0,06 – 2,0	0,5
Mikronæringsemner, mg/kg tørrstoff:				
Cu	25 - 29	33	24 - 204	62,3
Zn	276 - 342	605	400 - 770	209
Tungmetaller, mg/kg tørrstoff:				
Pb	< 15	2,5 - 5,5	0,6 – 2,5	5,9
Cd	< 1,5	0,6 – 1,1	0,2 – 2,2	0,3
Cr	< 3,7	3,9 – 14,8	2,6 - 29	5,6
Ni	< 75	4,9 – 12,3	0,5 - 19	5,4
Hg	< 3,0		< 0,03	

*: usedimentert slam samlet opp fra merd i sjø

**:: inkluderer sedimenter under merdanlegg i ferskvann og sjøvann, samt fekalier fra ørret

6.4 Forventet utvikling

Hovedkilden for drift av planlagte anlegg er husdyrgjødsel. Det foreligger ikke pr. dato konkrete planer for etablering av biogassanlegg basert på slam fra fiskeoppdrett i Norge. For tiden er imidlertid et prosjekt i gang i regi av Norsk Institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) med tittel ” Biogass som klimatilak – virkemidler, rammebetingelser og økonomi” (Helge Berglann, pers. medd.). I prosjektet vil slam fra oppdrettsnæringa inngå som råstoff for produksjon av biogass.

7 Andre problemstillinger

7.1 Begroing av nøter

Alle nøter og annet utstyr som står i sjø over noe tid vil bli begrodd av ulike marine organismer, og det er primært alger (sly), blåskjell, hydroider og sjøpølser (sjøpunger/ascidiacea) som skaper problemer (Olafsen, 2006). Algene er relativt lett å fjerne og de kommer i april- mai i Sør-Norge og i juni/juli i nord. Begroing av blåskjell er et problem langs hele kysten, men det varierer fra år til år. Hydroider, som er en type nesledyr er et tiltagende problem, og det er flere arter som skaper vanskeligheter (Olafsen, op. cit).

Begroing på nøter og anlegg blir et miljøproblem når begroingsorganismene ikke fjernes før de vokser opp og deretter slippes ned på bunnen under merdene, hvor de akkumuleres sammen med organiske partikler og fekalier. Etter en tid vil det lett kunne dannes oksygenfrie forhold. For å hindre begroing har det vært vanlig å impregnere nøtene med toksiske midler. I dag benyttes det kobberholdige kjemikalier, men av hensyn til miljøet forsøker man å redusere dette så mye som mulig. Ved impregnering av nøtene kommer det giftstoffer ut i miljøet.

Begroing utgjør for oppdretterne også et praktisk betydelig problem. Først på grunn av at vekten på noten øker relativt mye, noe som kan føre til at den revner ved for eksempel uvær. Begroing hindrer i tillegg vanngjennomstrømningen slik at oksygennivået i vannet inne i merden kan komme under kritisk minstemål og igjen gi dødelighet. Tett begroing fører også til at det blir mye mer "strømfang" i merden. Ved ekstreme tilfeller er det observert at oppdrettmerder på grunn av kraftig strøm har blitt presset sidelengs, noe som vil være svært uheldig da trykket på nota kan overstige strekkbelastningsgrensen og dermed revne.

På denne bakgrunn har det blitt utviklet ulike metoder for behandling av nøtene og som kan kategoriseres i tre typer strategier:

1. Utsett av impregnerte nøter kombinert med tørking
2. Utsett av impregnerte nøter kombinert med vasking på land eller sjø, og
3. Utsett av uimpregnerte nøter og hyppig notskift (Olafsen, op. cit).

Ved spyling i sjø brukes dykkere med høytrykksspyler for å gjøre nota ren. Siden denne metoden er manuell er den både dyr og tidkrevende, samt at den stresser fisken.

Fjernstyrt spyling av nota i sjø ved bruk av vaskeskiver er i dag en svært effektiv og utbredt metode som har sitt utspring fra midten av 1980-tallet. Metoden er mye brukt da den kan utføres av anleggets eget personell i tillegg til at den ikke påfører nota skader og fisken unødig stresspåkjenning.

Ulempen ved bruk av dykkere eller vaskeskiver er at begroingen spyles rett i sjøen uten å bli samlet opp. Hvor store mengder det er snakk om har det p.t. ikke vært publisert resultater av, men at det dreier seg om mange tonn ved en lokalitet med for eksempel 10 stk. 120 m merder må anses som sannsynlig. Ved kontakt med leverandører av vaskeskiver blir det opplyst at de har prøvd å utvikle en oppsamlingsmulighet, men at de ikke har oppnådd tilfredsstillende resultat og prosjektet er derfor skrinlagt.

Problemet med begroing er utførlig behandlet i sluttrapporten fra SINTEF (Olafsen, op. cit), som har kartlagt begroingsproblemene i ulike deler av landet. Det er lagt ned mye arbeid for å hindre bruk av giftige stoffer som tilføres miljøet, men få tenker på at store mengder organisk avfall akkumuleres på bunnen under oppdrettsanleggene ved vasking i sjøen.

En aktiv vaske-/tørkestrategi uten bruk av kobber kan være lønnsomt, gitt at skifte av not eller vasking skjer før noten er synlig begrodd (Olafsen, op cit). Strategi 3 (uten bruk av impregnering) krever enten økte investeringer i teknologi eller økte arbeidskostnader. Samtidig sparer man impregneringskostnader.

7.1.1 Nye typer nøter

Det har blitt jobbet mye med å finne materialer til å lage nøter av som vil kunne være sterke nok og samtidig av en slik sammensetning at begroing ikke får betydelig omfang. Nota må gjøres så ugjestmild og vanskelige å innta at begroingen reduseres betydelig. Dette oppnåes ved en kombinasjon av tynne små, men relativt lange pigger hvor prinsippet er at piggenes konstante bevegelse hindrer etablering av forskjellige organismer.

For å bedre forstå hvordan dette fungerer er det viktig å skille mellom tre typer av organismers måte å feste og etablere seg:

1. Encellede organismer som etablerer seg vil over tid danne tråder, men grunnet den konstante svaiende bevegelsen som piggene gir, vil cellestrukturen ødelegges og trådene kuttes
2. Sporer vil ikke kunne slå seg sammen i tilstrekkelig grad på grunn av svaiingen
3. Larver av forskjellige organismer vil ikke finne miljøet stabilt nok til å etablere seg permanent.

Det bør påpekes at dette materialet fra Micanti kun er testet ut i liten utstrekning i Norge, men at tester utført i Middelhavet så langt virker lovende.

7.1.2 Vurdering og anbefaling

Ut i fra miljøhensyn er nevnte strategi 3 sterkt å anbefale, der en setter ut uimpregnerte nøter som vaskes og tørkes før noten er synlig begrodd. For å spare arbeidskostnader vil det være lønnsomt å satse på ny teknologi. Bruk av nye nøter som hindrer etablering av påvekstorganismer (som skissert) kan være en mulig løsning.

7.2 Økt fôringskontroll

For å redusere utslippet av fosfor og nitrogen ble det tidligere lagt stor vekt på å utvikle et høyenergifôr av høy kvalitet der en reduserte proteinmengden og økte mengden av fett og karbohydrater (Hillestad *et al.* 2001).

Et av de viktigste verktøyene for å minimere utslipp av organisk materiale til sjø fra oppdrettsmerder er god fôrings- og biomassekontroll. Herunder ligger mengde fôr gitt, antall fisk, størrelsesfordeling, appetittkontroll og vekstrate.

Sett i fra en produsents side er det svært viktig å ha kontroll på de nevnte faktorene da de utgjør en betydelig økonomisk del i produksjonen. Utstysleverandørene har derfor helt siden oppstarten av kommersielt lakseoppdrett forsøkt å utvikle teknologi for optimal utfôring og kontroll med biomassen i merdene for igjen å gi produsentene best mulig økonomisk utbytte av driften.

Det er først i de senere årene at skjerpede miljøkrav har gjort seg gjeldende innen norsk fiskeoppdrett med den følge at utstysleverandører og produsenter har hatt en dreining mot mer miljøfokusert produksjon.

Utfôring kun etter tabell har vært mye brukt tidligere, men dette er en metode som nå primært er erstattet med appetittstyrt utfôring. Det vil si at man plasserer ulike typer sensorer i merdene som gir signaler tilbake til utfôringsanlegget om justering av utfôringshastigheten.

I tillegg til klare økonomiske fordeler er det også store økologiske og biologiske gevinster å hente ved god kontroll over tilstanden i merdene. Korrekt utfôring vil naturlig nok sørge for at mest mulig av fôrpelletten blir spist av fisken i stedet for å synke gjennom merden og forurensa havbunnen.

Selve utfôringen skjer i dag ved bruk av i hovedsak to typer systemer; sentralfôring og automatfôring. Sentralfôringsanlegg er i dag den rådende teknologien ved anlegg med stor grad av kompleksitet og høyt produksjonsvolum.

Ved sentralfôring fordeles fôret til merden fra en sentral fôrsilo ved hjelp av trykkluft gjennom lange slanger. Fôrsiloen kan enten være plassert på en flåte fortøyd ved merdene eller den kan være plassert inne på land. Fordelen ved bruk av denne teknologien er at den er mer stabil mht. driftsuhell enn separate fôrautomater plassert på merdkanten. Den gir også mulighet for mer kontinuerlig utfôring da alt fôret kommer fra en og samme silo som kan ha fôrkvanta fra 600 tonn (stållekter) og helt opp til 1000 tonn i betongflåter.

Sentralfôring åpner i tillegg for bruk av større merder ettersom strømmen av fôr kan kjøres uavbrutt fra fôrsiloen. Noen av de største sentralfôringsanleggene kan fordele ut 192 kg fôr/min tilsvarende 11,52 tonn i timen per fôringsløype (Merdbasert Akvakultur 2010/2011). Naturligvis er det ingen anlegg som fôrer med en slik intensitet, men det viser igjen potensialet som systemet med sentral utfôring har.

Ulempen med denne teknologien er at det kan oppstå et fenomen under utfôringen som kalles ”støv og knus”. Det vil si at det grunnet feiljustert høytrykk, skarpe kanter inne i utfôringsslangene eller uheldig temperatur vil kunne oppstå knust pellets. Knust pellets

er svært uheldig da det tetter til slangene i tillegg til at det forurenses miljøet inne i og rundt merden. I tillegg er knusing av fôrpellets svært kostbart og det er en krevende prosess å gjøre rent i slangene etter en slik hendelse. Utstysleverandørene har de senere årene jobbet i tett samarbeid med oppdrettselskapene med å utvikle løsninger som reduserer dette problemet. Dette har resultert i avanserte luftkontrollsystemer hvor ikke bare lufttrykket optimaliseres, men at det i tillegg også skjer en nedkjøling. Nedkjøling av transportluften er viktig ettersom fôrpellets ved for høy temperatur kan "slippe" fettstoffene den inneholder. Dette er kjent som "fettslipp" og kan utgjøre en betydelig forurensing lokalt på/ved oppdrettmerden. Tross disse utfordringene er det en klar trend at store lokaliteter skifter fra separate utfôringsautomater til sentralstyrte anlegg.

Med bakgrunn i ovennevnte utfordringer har dagens mest moderne sentralfôringsanlegg integrert kamerakontroll, miljø- og pellet-sensorikk, strømmålere, biomasse-scannere, samt integrasjon mot datamaskiner med spesialprogramvare. All fôringsinformasjon og miljødata blir lagret i en database som igjen kan brukes for å finjustere utfôringen som i tillegg gir unike data å lære av i ettertid for driftspersonellet.

En av de viktigste innretningene i en oppdrettsmerd er sensorikken som styrer utfôringen. Dette kan være IR-sensorer, doppler-sensorer, kamera eller en kombinasjon av disse.

IR-sensorikk

Prinsippet bak IR-sensorer er bryting av infrarøde lysstråler som en følge av fôrpellets i bevegelse. Sensoren henger i bunnen av en oppsamlingstrakt som er festet i midten av merden. Ved utfôring vil en del fôrpellets slippe forbi fisken og havne i trakten som kanaliserer pellets videre ned mot sensoren.

Sensoren er utformet som en disk med et hull i midten hvor fôrpellets går gjennom. Samtidig som dette skjer brytes IR-lysstrålen og en datamaskin registrerer frekvensen av lysbruddene som i sin tur justerer fôringsintensiteten opp eller ned. Ulempen med en slik teknologi er at det ved kraftig strøm vil kunne være vanskelig å fange opp korrekt antall fôrpellets til å justere utfôringen. Dette problemet reduseres ved bruk av strømsensorer og kamera i tillegg.

Strømsensor

Som nevnt i avsnittet over brukes strømsensoren i samspill med annen sensorteknologi. Strømsensorens virkemåte ved fôringskontroll er å registrere strømningsendringer i og rundt merdene. Informasjonen sendes til fôringsanlegget som enten senker eller øker fôringsintensiteten. Ved bruk av strømsensor under utfôring kan det på denne måten settes grenser for hvor sterk strøm det er "tillatt" å fôre i.

Oksygensensor

For å opprettholde god fiskevelferd og ønsket vekstrate brukes i dag oksygenmålere inne i merdene. Lave oksygenverdier kan være tegn på for intensiv fôring, temperaturhopp eller overbelastet resipient. Oksygensensoren er, som andre nevnte sensorer, forbundet direkte til fôringsanlegget og vil kunne sette ned evt. stoppe fôringen ved oksygensvikt i vannet. Alle data fra sensoren kan i tillegg lagres i en

sentral datamaskin og slike data vil kunne bidra til å tolke hvordan lokaliteten over tid takler belastningen.

Temperatursensor

Temperatursensorens primære oppgave er å sende temperaturdata direkte til datamaskinen som styrer utføringsregimet. I tillegg vil temperaturdata samlet inn over tid kunne bidra til å justere og dermed skreddersy veksttabeller for hver enkelt lokalitet. Optimale veksttabeller er helt avgjørende for å hindre over- eller underfôring.

Kamerateknologi

Merdenes voldsomme økning i volum de senere årene har fremskyndet et behov for gode kameraløsninger. I en merd med 160 m omkrets er det synlige området fra overflaten kun 0,2 %. Siden biomassen i en slik merd representerer en meget høy økonomisk verdi, har det derfor blitt jobbet mye fra utstyrleverandørenes side for å kunne levere fleksible og gode kameraløsninger som kan gi informasjon om både fiskens appetitt og atferd samt registrere diverse miljøparametere som dybde, temperatur, salinitet og oksygenmetning.

Det benyttes i dag flere kameraprinsipper ved overvåkning i merdene; både over- og undervannsstilte kamera for visuell informasjon til driftspersonell, og kamera integrert i fôr- eller miljøsensorer. Kamera brukt for å overvåke tilstanden på overflaten av merden benyttes primært for å følge utfôring og atferd til fisken, men kan og brukes til å overvåke og passe på de tekniske installasjonene i og rundt merdene.

Norges forskningsråd og Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond har i 2010 finansiert et prosjekt som tar sikte på å utvikle aktive radiosendere for bruk i fisk. Teknologien er utviklet i et samarbeid mellom Thelma Biotel, NTNU og Nofima (Aas-Hansen *et al.* 2010). Bakgrunnen for prosjektet er behovet for å innhente mer sanntidsinformasjon om fiskens atferd og velvære for på den bakgrunn å bl.a. kunne justere utføringsintensiteten eller fange opp evt. forurensningsepisoder. Prinsippet er at det tas ut et utvalg fisk som bedøves og som deretter får operert inn en radiosender i bukhulen. Senderen består av sensorer, dataprosessor og en akustisk del. Data sendes så trådløst via akustiske mottakere som igjen sender dataene til en datamaskin hvor de lastes inn i et program for videre tolking.

7.3 Vurdering og forventet utvikling

Bruk av fôr som fordeles ut etter appetitt fra et sentralfôringssystem er i dag den rådende teknologi. De mest moderne sentralfôringssystemer har i dag integrert kamerakontroll, miljø- og pellet-sensorikk, strømmålere, biomasse-scannere samt integrasjon mot datamaskiner med spesialprogramvare. Dette gir oppdretteren god kontroll på utfôringen som sparer miljø og gir mest mulig økonomisk utbytte av driften.

I tillegg utvikles det gjennom forskningsprosjekter, radiosendere for fisk som innhenter informasjon om fiskens adferd og velvære som brukes for å justere utføringsintensiteten og fange opp eventuelle forurensningsepisoder. Produsentene av fôringssystemer og

annet utstyr vil i den grad det nødvendig fortsette utviklingen med forbedring av teknologien.

8 Økonomiske vurderinger

Akva Instituttet A/S gjennomførte i 1992 en sammenliknende undersøkelse av de økonomiske parametrene for ulike anleggstyper (Tabell 2): tradisjonelle sjøbaserte systemer, store merder, flytende lukkede anlegg, kombinerte installasjoner (lukket/åpen) og landbaserte systemer (Blakstad, 1993). Alle tall og priser gjelder for kostnader i 1992/93. På denne tiden var landbaserte systemer og store merder å betegne som nye førstegenerasjonsanlegg. Lukkede anlegg i sjø var det enda mindre erfaring med, og kun ett anlegg var i drift. På dette grunnlag er det vanskelig å komme med konklusjoner, men tallene gir en indikasjon på produksjonskostnader, internrente og kapitalbehov.

Tabell 2. Sammenlignende produksjonskostnader, internrente og kapitalbehov for fem ulike anleggssystemer (Blakstad, 1993). Beregningene er basert på en årlig produksjon av 340 tonn. Merk: Kostnader pr. 1993.

Type anlegg	Produksjonskostnad, mill kr	Internrente tilbake, %	Kapitalbehov mill kr
Tradisjonelt sjøanlegg	30,15	19,8	10,9
Store merder	28,90	24,8	11,2
Lukket sjøanlegg	32,10	17,9	12,5
Kombinert Åpen/lukket	29,40	20,1	11,7
Landbasert matfisk	35,60	10,2	16,7

Åpne merder

I denne undersøkelsen fra 1992/93 kommer åpne merder best ut, og de store merdene er mest lønnsomme. Det er denne gruppen som i dag dominerer oppdrettsbransjen, og disse anleggene er meget effektive. Mange ligger på åpne lokaliteter, og de utstyrt med sentralføringsanlegg og moderne overvåkningsutstyr. Produksjonskostnaden for laks var i snitt 21,80 i 2008 og 23,20 NOK/kg bruttovekt (Norsk Fiskeoppdrett, 2010).

Lukkede sjøanlegg

Det er få data fra lukkede sjøanlegg da det for tiden ikke er slike anlegg i drift, med unntak av rørbasert oppdrett som er i en utprøvingsfase. I den sammenliknede undersøkelsen fra 1992/93 kom de nest sist, men bedre enn landbaserte anlegg.

Landbaserte anlegg

Det framgår at landbaserte anlegg kom dårligst ut av alle anleggstypene. Alle gjennomstrømningsanlegg er lagt ned, og det er ennå ikke bygget et landbasert resirkuleringsanlegg i stor skala. Vi mangler derfor sammenliknbare tall.

Slambehandling

Ekstra utstyr og arbeidsinnsats for å samle opp, bearbeide og transportere slam til mottak for utnyttelse vil alltid representere en ekstra kostnad ved et anlegg.

Markedsprisene for fisk vil svinge og det avgjørende spørsmål vil alltid være i hvor stor grad miljøtiltak tilpasset eksisterende teknologi, eller alternativt introduksjon av mer miljøvennlig produksjonsteknologi, øker de totale produksjonskostnadene så vidt mye at oppdrettsvirksomheten blir uøkonomisk ved lave markedspriser.

Det eksisterer ikke erfaringsbaserte data over oppsamling og viderebehandling av slam fra åpne merdsystem. I det omtalte prosjektet ved de lukkede merdposene tilhørende Støytland Fisk AS ble det beregnet at driften av slamsystemet (slamoppsuging, avvanning, stabilisering) medførte en direkte ekstrakostnad av størrelsesorden kr. 0,50 pr. kg produsert fisk ved en årlig produksjon på 300 tonn (Bodvin, 1997).

Som nevnt er slam som gjødsel i jordbruk eller som kilde til biogassproduksjon to aktuelle anvendelsesområder. At slam anvendt i jordbruk vil kunne bli noen potensiell kilde til inntekt er lite sannsynlig – i områder med tett husdyrhold i dag er mengdene gjødsel mer ansett som et disponeringsproblem. I øvrige områder langs kysten og i fjordområder vil det trolig kunne være mer snakk om avtaler om mottak av slikt slam av bønder og hageeiere vederlagsfritt. Imidlertid kan situasjonen endre seg da prisen på handelsgjødsel er økende.

Biogassproduksjon vil som nevnt kunne representere en betydelig inntektskilde som energikilde. Effektiv oppsamling av slam fra et middelstort matfiskanlegg som produserer 2000 tonn/år vil kunne generere et årlig biogassvolum på ca. 3000 m³ metan som igjen tilsvarer en energiproduksjon på over 1000 MWt/år tilsvarende en inntekt på ca. 500 000 NOK/år (del Campo, 2010). Kostnadene med oppsamling, behandling og transport av slam vil da kunne reduseres tilsvarende.

9 Konklusjon

Åpne merder

Dagens oppdrett med en produksjon på ca. 1 million tonn laksefisk kommer i all hovedsak fra åpne merder. Alle oppløste næringssalter og store mengder partikulært materiale slippes ut i miljøet. Alle anlegg har fått krav om regelmessig oppfølging av miljøet på de benyttede lokaliteter, og det finne en stor mengde informasjon som er tilgjengelig. Det bør utarbeides en samlet miljørapport som beskriver tilstanden langs kysten mht oppdrett og miljø.

I begynnelsen av 1990 årene ble det utviklet en kombinert fôr- og dødfisksamler, som var i stand til å holde tilbake store mengder spillfôr og fekalier. I dagens åpne merdssystem som har økt i størrelse fra en omkrets på 40-50 m og til 157 m i omkrets er det under utvikling tekniske løsninger for effektiv oppsamling. Dette arbeidet bør prioriteres.

Anlegg med store merder legges ofte ut på værharde lokaliteter med god strøm og dypt vann. Det ville være ønskelig med undersøkelser som viser stabiliteten til partikulært materiale (fôr og fekalier) under ulike betingelser, og hvor stor spredningen er på sjøbunnen.

Oppdrett i store merder har vist seg å være en meget effektiv og lønnsom oppdrettsmetode som øker i omfang og utbredelse og vil sannsynligvis fortsatt være den dominerende metode i tiden framover. Det er derfor viktig å skaffe seg mest mulig informasjon om hvordan metoden fungerer i praksis med hensyn til mulige effekter på miljøet.

Lukkede anlegg i sjø

Det ligger fortsatt mange anlegg i fjorder der miljøforholdene er mindre gunstige. På slike lokaliteter vil lukkede anlegg på land eller i sjø være en gunstig metode. Flytende lukkede anlegg har i forsøk gjennom flere år vist at tilvekst og kvalitet på fisken var meget bra. Det var ikke problemer med lakselus og det ble utviklet en metode for oppsamling av fôr og fekalier. Metoden kan ikke fjerne oppløste næringssalter. Firma Preline har satset på å lage pilotutgaver av et rørbasert anlegg som kan bli et alternativ til merder

Selv om lukkede anlegg i sjø hadde tekniske problemer i overgang fra små til større poser bør denne teknologien føres videre i et forsknings- og utviklingsprogram som omfatter alle aktuelle modeller. Kanadiske forskere har gjennomført forsøk som benytter faste tanker i stedet for poser og mener å ha utviklet et godt system.

Landbaserte anlegg

Lukkede gjennomstrømningsanlegg på land ble forsøkt både i Skottland, Island og i Norge perioden 1977 – 92. I det norske forskningsprogrammet i regi av NTNF ble det utviklet kompetanse både teknologisk, driftsmessig og biologisk kunnskap. Til tross for at anleggene kan produsere matfisk av god kvalitet, med gode muligheter for rensing av vannet, blir kostnadene for store.

I dag kan det bygges landanlegg basert på resirkulering. Teknologien er tilstede, og i Franklin, Maine i USA er det satt i gang et resirkuleringsanlegg for stamfisk av laks. Et landbasert anlegg med moderne resirkuleringsteknologi ville løst de fleste problemer både men hensyn til utslipp av organiske partikler, oppløste næringssalter lakselus, spredning av sykdommer, giftige alger, maneter og rømming av fisk. Men et slikt anlegg er ennå ikke bygget og testet ut i stor skala, og vi kjenner heller ikke prisen på anlegget eller produksjonskostnadene pr. kg fisk.

I Norge er det viktig å være med på utviklingen videre i et forskningsprogram, for før eller senere vil det trolig komme krav om slike anlegg på utvalgte og sårbare lokaliteter.

Slam

Hovedkilden for drift av planlagte anlegg er husdyrgjødsel. Det foreligger ikke pr. dato konkrete planer for etablering av biogassanlegg basert på slam fra fiskeoppdrett.

Begroing

Ut i fra miljøhensyn er nevnte strategi 3 sterkt å anbefale, der en setter ut uimpregnerte nøter som vaskes og tørkes før noten er synlig begrodd. For å spare arbeidskostnader vil det være lønnsomt å satse på ny teknologi. Bruk av nye nøter som hindrer etablering av påvekstorganismer (som skissert) kan være en mulig løsning.

Fôringskontroll

Bruk av sentralfôringsystem er rådene teknologi, og de mest moderne systemene har integrert kamerakontroll, miljø-og pellet-sensorikk, strømmålere, biomasse-scannere samt integrasjon mot datamaskiner med spesialprogramvare. Det gir en ypperlig kontroll.

Integrert oppdrett

Bruk av integrerte systemer er nytt i Norge. Slike systemer vil sannsynligvis best kunne utnyttes på skjermede lokaliteter der en har bedre kontroll på miljøbetingelsene. Forsøkene fra Middelhavet, Tasmania og Canada viser at kombinasjonen fiskeoppdrett og skjell er en vanskelig løsning, og for å lykkes må både partikkelstørrelse og konsentrasjonen av organiske partikler være riktig for den enkelte art. Ved bedre praktisk og biologisk erfaring, og ved valg av riktige arter av kommersiell interesse, kan integrert oppdrett bli en interessant, lønnsom og nyttig oppdrettsform. Metoden har en positiv effekt på miljøet. Det er viktig og nødvendig med forskning og utvikling før slike metoder kan benyttes i stor skala

Økonomi

Akva Instituttet A/S gjennomførte i 1992 en sammenliknende undersøkelse av de økonomiske parametere for ulike anleggstyper (Tabell 2): tradisjonelle sjøbaserte systemer, store merder, flytende lukkede anlegg, kombinerte installasjoner (lukket/åpen) og landbaserte systemer (Blakstad, 1993). I denne undersøkelsen fra 1992/93 kommer åpne merder best ut, og de store merdene er mest lønnsomme. Det framgår at landbaserte anlegg kom dårligst ut av alle anleggstypene.

Alle gjennomstrømningsanlegg er lagt ned, og det er ennå ikke bygget et landbasert resirkuleringsanlegg i stor skala. Vi mangler derfor sammenliknbare tall.

Problemene må løses i fellesskap

Oppdrettsbransjen er relativt ny i Norge, den har vært vellykket og har vokst meget raskt. Den store produksjonen har medført store utslipp av organisk materiale og næringssalter, selv om utslippet pr. kg fisk har gått kraftig ned. Det er usikkert i hvilken grad miljøet blir påvirket av utslippene, fordi de fleste anlegg blir lagt i åpne lokaliteter med god vannutskifting og vanntransport. Store problemer med lakselus og sykdommer samt rømming av fisk er også aktuelle problemstillinger som bør sees i sammenheng

med bedre metoder for å redusere utslippene til sjø. Sist men ikke minst bør problemstillingene diskuteres med oppdrettsbransjen for å sikre best mulige løsninger.

10 Referanser

Anon.1989. Pump-ashore pioneers extend scope at Lephimmere. *Fish Farmer*, 4 July/August, p. 46.

Bergheim, A. & K. Bakkevig. 1998. Soby Miljøfilters avløps- og slambehandlingsanlegg. Testresultater. Rapport RF - 1998/282. 21 s. + vedlegg.

Bergheim, A. & B. Braaten. 2007. Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. Rapport IRIS – 2007/180. 35 s.

Bergheim, A., Liltved, H., Cripps, S., Indrevik, G. & L. Nygaard Austrheim. 1996. Avvanning, stabilisering og utnyttelse av våtslam fra fiskeoppdrett. Rapport fra Rogalandsforskning, RF-96/280. 49 s.

Birkeland, K. & G. H. Johnsen. 1991. Vurdering av Lift Up fôroppsamlers effekt på utslipp av antibakterielle midler fra fiskeoppdrett. Rådgivende Biologer as. Rapport nr. 49/1991. 61 s.

Blancheton, J. P. 2000. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural Engineering*, 22:17-31.

Blakstad, F. 1993. The economic aspects of land based versus ocean based Atlantic salmon farming. In: 1st Int. Conf. on Fish Farming Technology (Eds. H. Reinertsen et al.), pp. 409 - 413. Trondheim, Norway, 9-12 August 1993.

Blaalid, G. E. 2008. Når notveggen er like stor som en fotballbane. *Norsk Fiskeoppdrett*, 33, 11, 28-30.

Blaalid, G. E. 2010. Norsk lakseproduksjon flater ut. *Norsk Fiskeoppdrett* 35, 3, 18-21.

Bodvin, T. 1997. Slamhåndtering i flytende, lukkede oppdrettsanlegg. SFT-prosjekt nr: 972600. 14 s.

Bodvin, T., Indegaard, M., Norgaard, E., Jensen, A. & A. Skaar. 1994. "Det miljøvennlige havbruk" som satsingsområde for regionalt næringsliv, forskning og høgskoleundervisning. Agderforskning. Rapportnr. : Aft å 94001. 55 s.

Braaten, B. 1992. Technology for cultivation of Atlantic salmon, problems and possibilities. The International Symposium on Cultivation of Atlantic Salmon, Bergen 16-20 August 1992 (oral presentation).

Buschmann, A. H., Mora, O. A., Gomez, P., Bottger, M., Buitano, S., Retamles, C., Vergara, P. A. & A. Gutierrez. 1994. *Gracilarias chilensis* outdoor tank cultivation in Chile, use of landbased salmon culture effluents. *Aquacult. Eng.* 13, 283-300.

- Buschmann, A. H., Troell, M., Kautsky, N. & L. Kautsky. 1996. Integrated tank cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilarales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326/327, 75-82.
- Cheshuk, B. W., Purser, G. J. & R. Quintana. 2003. Integrated open water mussel (*Mytilus planulatus*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) culture in Tasmania, Australia. *Aquaculture*, 218, 357-378.
- Christie, M. 1987. Flytende raceway – et nytt og bedre oppdrettssystem. *Norsk Fiskeoppdrett*, 5, 33-35.
- Cohen, I. & A. Neori. 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. *Bot. Mar.* 34, 475-82.
- del Campo, L. M., Ibarra, P., Gutiérrez, X. & H. Takle. 2010. Utilization of sludge from recirculation aquaculture systems. Report Nofima, No. 9/2010. 64 p.
- Denstadli, V. 2010. Fosfor: dagens kilder og fremtidige utfordringer. *Norsk Fiskeoppdrett*, 35, 38-40.
- Fei, X. 2004. Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation. *Hydrobiologia*, 152, 1-3.
- Fiskeridirektoratet. 2010. Utredning. For stor merd eller for mange fisk. Fiskeridirektoratets og Mattilsynets anbefalinger. Høringsnotat.
- Fludal, A. 1997. Slam fra fiskeoppdrett som gjødsel til etablert eng. Rapport fra Haugaland Forsøksring. 11 s.
- Gebauer, R. 1998. Anaerobic digestion of fish farming sludge. Dr. ingeniøravhandling, Inst. for vassbygging, NTNU, Trondheim. 332 s. + appendix.
- Grave, K. & T. E. Horsberg. 2010. Økt forbruk av legemidler. *Norsk Fiskeoppdrett* 35, 4, 18-19.
- Hillestad, M., F. Johnsen & T. Åsgård. 2001. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmin (*Salmo salar* L.) *Aquaculture Research*. 32, 517-529.
- Holm, J. C. 2008. Overtredelsesgebyr og overskridelse av maksimalt tillatt biomasse (MTB). Fiskeridirektoratet. Akvakulturregelverk.
- Husa, V., Skogen, M., Eknes, M., Aure, J., Ervik, A. & P. Kupka Hansen. 2010. Oppdrett og utslipp av næringssalter, s. 79 – 81 I: Akvakultur. Havforskningsrapporten 2010 (Harald Gjøsæter m. fl., red.).
- Ibrekk, H. O. & B. Braaten. 1989. LENKA-lukket oppdrettsteknologi. Metode for typifisering av sjøområder. NIVA-rapport, O-88145. Lnr 2269. 45 s.
- Johnsen, G. H. 1993. En vurdering av filtreringseffektivitet ved Soby Miljøfilter i forbindelse med Lift-Up Kombi fôr- og dødfisksamler. Rådgivende Biologer as. Rapport nr. 102/1993. 14 s.

- Jones, A. B. & N. P. Preston. 1999. Sydney rock oyster *Saccostrea comersialis* (Iredale and Roughley), filtration of shrimp farm effluents; the effects on water quality. *Aqua. Res.* 30, 51-57.
- Kutti, T., Ervik, A. & P. Kupka Hansen. 2007. Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. I. Vertical export and dispersal processes. *Aquaculture*, 262, 367-381.
- Langton, R.W., Haines, K. C. & R. E. Lyon. 1977. Ammonia-nitrogen production by the bivalve mollusk *Tapes japonica* and its recovery by the red seaweed *Hypnea musciformes* in a tropical mariculture system. *Helgol. Meeresunters.* 30, 217-229.
- Lunde, T. & S. Skybakmoen. 1993. Particle separation integrated in enclosed rearing units. In: 1st Int. Conf. on Fish Farming Technology (Eds. H. Reinertsen et al.), pp. 465 - 467. Trondheim, Norway, 9-12 August 1993.
- Mente, E., Pierce, G. J., Santos, M. B. & C. Neofitou. 2006. Effects of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult. Int.* 14, 499-522.
- Navarrete-Mier, F., Sanz-Lazaro, C. & A. Marin. 2010. Does bivalve mollusc polyculture reduce marine fish farming environmental impact? *Aquaculture* (in press).
- Nodland, E. 2008. Akvagrupper vil mer enn tredoble omsetningen på syv år. *Norsk Fiskeoppdrett*, 33,11, 44-45.
- Norges Forskningsråd. 1994. Forskningsprogrammet Lukkede produksjonsanlegg på land og i sjø. Sluttrapport. ISBN: 82-12-00240-3. 22 s.
- Norsk Fiskeoppdrett. 2010. Bør investere i omdømme og lokalsamfunn. NF, 35 (3), 16-17.
- Nygaard Austrheim, L. 1996. Kalkstabilisert slam fra landbasert fiskeoppdrett brukt som gjødsel. Notat fra Ytre Midthordland Forsøksring. 12 s.
- Olafsen, T. 2006. Koordineringsarbeid mv. – Alternative begroingshindrende strategier for havbruksnæringen. Sluttrapport. SINTEF Rapport nr. SFH80 A066083.
- Parsons, G. J., Shumway, S.E., Kuenstner, S. & A. Gryska. 2002. Polyculture of sea scallops (*Placopecten magellanicus*) suspended from salmon cages. *Aquaculture International*, 10, 65-77.
- Robinson, S., Lander, T., MacDonald, B., Barrington, K., Chopin, T., Martin, J. D., Bastarache S., Belyea, E., Haya, K., Sephton, D., Page, F., Martin J. L., Eddy, S., Stewart, I. & P. Fitzgerald. 2003. Development of integrated aquaculture of three tropic levels (finfish, seaweed and shellfish): the AquaNet project in the Bay of Fundy, Canada. The production dynamics of mussels as a filter-feeder utilising enhanced seston fields within a salmon aquaculture site. Abstract from the conference "Beyond Monoculture", Aquaculture Europe 2003. Trondheim 8-12 August 2003.

- Ryther, J. H., Goldman, J. C., Gifford, J. E., Huguenin J. E., Wing A. S., Clarner J. P., Williams L.D. & B. E. Lapointe. 1975. Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems. *Aquaculture*, 5, 163-177.
- Salazar, F. J. & R. C. Saldana. 2006. Characterization of manure from fish cage farming in Chile. *Bioresource Technology* (In press 2006).
- Sanderson, J. C., Kelly, M. S. & M. J. Dring. 2006. Redweed "Reducing the environmental impact of sea-cage farming through the cultivation of seaweeds". Oral presentation. Scottish association for Marine science.
- Sanderson, J. C., Cromey C. J., Dring, M. J. & M. S. Kelly. 2008. Distribution of nutrients for seaweed cultivation around salmon cages at farm sites in north-west Scotland. *Aquaculture*, 278, 60-68.
- Skaar, A. & T. Bodvin. 1992. Sluttrapport for prosjekt HB 1901 26090 "Driftsoptimalisering av flytende lukkede oppdrettsanlegg." Agderforskning 47 s.
- Skaar, A. & T. Bodvin. 1993. Full-scale production of salmon in floating, enclosed systems. In: 1st Int. Conf. on Fish Farming Technology (Eds. H. Reinertsen et al.) pp. 325 - 328. Trondheim, Norway, 9-12 August 1993.
- Solaas, F., Rudi H., Berg, A. & K. Tvinnereim. 1993. Floating fish farms with bag pens. In: 1st Int. Conf. on Fish Farming Technology (Eds. H. Reinertsen et al.) pp. 317-323. Trondheim, Norway, 9-12 August 1993.
- Sphiegel, M., Lee, J., Soohoo, B., Fridman, R. & H. Gordin. 1993. Use of effluent water from fish pond as a food source for the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture and Fisheries Management*, 24, 529 - 543.
- Summerfelt, S. T., G. Wilton, D. RobertsT. Rimmer & K. Fokalsrud. 2004. Developments in recirculating systems for Artic char culture in North America. *Aquacultural Engineering*, 30: 31-71
- Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Bushmann, A.H., Kautsky, N. & L. Kautsky. 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*, 156, 45-61.
- Ulgenes, Y. & B. Eikebrokk. 1999. Reduction of effluent discharges from an in-tank recirculation system using dual outlet and whirl separation. Proc Annual International Conference and Exposition of the World Aquaculture Society, 26 April - 2 May 1999, Sydney, Australia.
- Ulgenes, Y. & A. Bergheim. 2010. Teknologi og miljøkrav for landbasert oppdrett av laks. Kort oversikt over tilgjengelig litteratur. SINTEF Byggforsk. Vann og Miljø (Draft rapport).
- Urke, H.A., Molvær, J., Staalstrøm, A., Viljugrein, H., & P.A. Jansen. 2010. Nyutviklet verktøy for risikovurdering forklarer spredning av PD-smitte mellom oppdrettslokaliteter. Vann 1,45. 129-133.

Wright, A.S. & N. Arianpoo. 2010. Technologies for Viable Salmon Aquaculture. An examination of Land-Based Closed Containment Aquaculture. A public domain report. Draft-May 2010. 47 s.

Aas-Hansen, Ø., Stien, L.H., Gytte, T., Tennøy, T., Bjørnsen, J. E., Evensen, T., Sæther, B. S., Damsgård, B., Brataas, R., Finne, D., Koren, C., Alfredsen, J. A. & T. S. Rikardsen. 2010. Ny teknologi for overvåking av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i oppdrettsmerder. Sluttrapport for FHF prosjekt 900085. Rapport 3/2010.



**KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET**

Klima- og forurensningsdirektoratet
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo
Besøksadresse: Strømsveien 96
Telefon: 22 57 34 00
Telefaks: 22 67 67 06
E-post: postmottak@klif.no
Internett: www.klif.no

Utførende institusjon International Research Institute of Stavanger (IRIS)			ISBN-nummer 978-82-490-0703-5
	Kontaktperson i Klima- og forurensningsdirektoratet Lokalmiljøseksjonen	TA-nummer TA-2749/2010	
	År 2010	Sidetall 45	Klima- og forurensningsdirektoratets kontraktnummer 5010119
Utgiver Klima- og forurensningsdirektoratet		Prosjektet er finansiert av Klif	
Forfatter(e) Asbjørn Bergheim – IRIS, Bjørn Braaten – NIVA, Guttorm Lange - NIVA			
Tittel - norsk og engelsk Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø Assessment of technical solutions for reducing effluents from sea-cage fish farming			
Sammendrag – summary Rapporten gir en oversikt over utslippene av næringssalter og organisk stoff fra norsk oppdrettsnæring. Videre vektlegges vurdering av ulike tekniske muligheter for å redusere utslippene. This report reviews the emission of nutrients and organic waste from Norwegian aquaculture. Possible ways to reduce the outlets by technical attempts are especially emphasised.			
4 emneord Fiskeoppdrett Tekniske løsninger Utslipp Avfallsutnyttelse		4 subject words Aquaculture Technical solutions Effluents Waste reclamation	

Klima- og forurensningsdirektoratet

Postboks 8100 Dep,

0032 Oslo

Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00

Telefaks: 22 67 67 06

E-post: postmottak@klif.no

www.klif.no

Om Klima- og forurensningsdirektoratet

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) er fra 2010 det nye navnet på Statens forurensningstilsyn. Vi er et direktorat under Miljøverndepartementet med 325 ansatte på Helsefyr i Oslo. Direktoratet arbeider for en forurensningsfri framtid. Vi iverksetter forurensningspolitikken og er veiviser, vokter og forvalter for et bedre miljø.

Våre hovedoppgaver er å:

- redusere klimagassutslippene
- redusere spredning av helse- og miljøfarlige stoffer
- oppnå en helhetlig og økosystembasert hav- og vannforvaltning
- øke gjenvinningen og redusere utslippene fra avfall
- redusere skadevirkningene av luftforurensning og støy

TA-2749 /2010