

## Lukkede oppdrettsanlegg i sjø – økt kunnskap er nødvendig

*Av Trond W. Rosten, Bendik Fyhn Terjesen, Yngve Ulgenes, Kristian Henriksen, Erik Biering, Ulf Winther*

Trond W. Rosten, Kristian Henriksen og Ulf Winter er knyttet til SINTEF Fiskeri og havbruk, 7465 Trondheim. Bendik Fyhn Terjesen er ansatt i Nofima, divisjon Akvakultur, 6600 Sunndalsøra. Yngve Ulgenes er ansatt i SINTEF Byggforsk, avdeling Vann og Miljø, 7465 Trondheim. Erik Biering er ansatt i Veterinærinstituttet, 7485 Trondheim.

### Summary

**More knowledge is needed about aquaculture in closed fish farms at sea.** From various voices, both public and private, the introduction of closed-containment fish farming technology is demanded. There are, however, considerable efforts needed before closed-containment fish farms are sufficiently documented and ready for use in commercial salmon production. Due to a lack of an exact definition of the term “closed-containment fish farm”, there is a lot of confusion regarding what the term actually mean. In this article we suggest a new classification system based upon four classes of closed-containment systems with increasing grade of complexity and extent of separation from the ambient environment. We conclude that there are large knowledge gaps within several important fields related to closed-containment fish farming, such as technology, economy, fish health and disease and fish performance. This article builds upon a study carried out in 2011 by SINTEF Fisheries and Aquaculture, Nofima and The Norwegian Veterinary Institute.

### Sammendrag

Fra ulike interessehold tas det til orde for innføring av lukkede oppdrettsanlegg. Det gjenstår imidlertid ennå mye før lukkede anlegg kan anses som tilstrekkelig dokumenterte og klare for bruk i kommersiell lakseproduksjon. En må også bli mye tydeligere på å kommunisere hva man skal lukke anleggene mot og det hersker mye forvirring rundt bruken av begrepet lukket oppdrettsanlegg. I denne artikkelen foreslår vi et nytt klassifiseringssystem basert på fire ulike klasser, med økende kompleksitet og grad av lukking mot eksternt miljø. Studien viser at det for lukkede anlegg er behov for økt kunnskap innenfor sentrale felter som teknologi, økonomi, fiskehelse, fiskevelferd og biologisk ytelse. Dette er blant hovedkonklusjonene fra en forskergruppe fra SINTEF Fiskeri og havbruk, Nofima og Veterinærinstituttet som har sett på situasjonen. Artikkelen bygger på en forstudie utført av forskergruppen på vegne av Fiskeri- og havbruksnæringsforskningsfond i 2011 (Rosten et al., 2011).

### Introduksjon

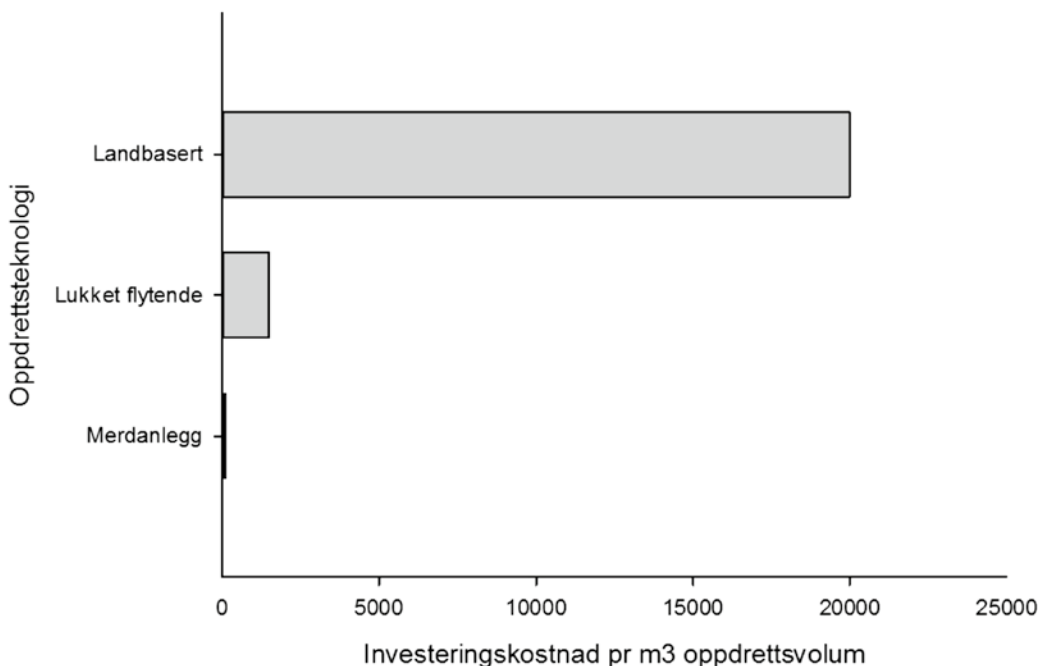
Det tradisjonelle åpne notanlegget (krage + not) er en viktig årsak til Norges suksess innen lakseoppdrett. Notanlegget er en rimelig teknologi, og

det utnytter Norges naturgitte fortrinn med rikelig tilgang på friskt og rent sjøvann. Vanlige nøter sikrer som oftest stor vannutskifting uten å måtte bruke energi til pumping, og de er svært fleksible siden det er enkelt å flytte anlegg og fisk, skifte og rengjøre nøter eller sette inn og ta ut fisk. Fiskens veksthastighet og førfaktor er relativt forutsigbare. Det har vært en gevinst i oppskalering av tradisjonelle nøter, noe som også har bidratt til å senke produksjonskostnadene. Investeringskostnadene pr m<sup>3</sup> oppdrettsvolum er langt rimeligere for tradisjonelle merdanlegg enn for lukkede anleggstyper på land eller i sjø, figur 1. Såkalte lukkede oppdrettsanlegg er ingen ny ting. Hele 16 fiskearter har blitt rapportert å bli produsert i ulike varianter av lukkede oppdrettsanlegg internasjonalt (EPI, 2008). Rapporten til EPI (2008) spenner imidlertid over alt fra damanlegg, lengdestrømsrenner og resirkuleringsanlegg (RAS) til lukkede poseanlegg. Sett under ett er det uklart hva disse anleggene skal lukke mot. Lukkede anlegg må konkurrere med tradisjonelle nøter, men det må skje uten negative effekter på fiskens helse, velferd eller ytelse. Det må også

stilles spørsmål om lukking mot rømming av fisk isteden lettest kan oppnås med utvikling av nye nottyper og sikrere driftsoperasjoner.

### Svakheter ved den åpne merd- teknologien. Mulige fordeler ved lukkede anlegg

I de siste årene har det fremkommet mange synspunkter på svakheter ved den tradisjonelle teknologien, figur 2. Notanlegg er åpne for smittsomme parasitter og sykdommer, slik at smitte kan forekomme fra villfisk til fisk i not og *vice versa*. Parasitter som lakselus er et problem for vill laksefisk og for omdømmet til norsk lakseindustri. Tradisjonell drift i nøter har blitt trukket frem som negativt for villaksbestandene, men omfanget av de potensielt negative effektene er debattert (f. eks. van Nes, et al., 2011). Alle notanlegg skal være rømmingssikre, men rømming forekommer likevel, mye som følge av hull i not. Miljøforholdene i åpne nøter er skiftende siden miljøet påvirkes av strøm, vannkvalitet og temperatur i de frie vannmassene. Et mer stabilt oppdrettsmiljø kan derfor bli resultatet dersom



Figur 1. Anslagsvis investeringskostnad pr m<sup>3</sup> oppdrettsvolum ved tre mulige produksjonsformer for laks: Tradisjonelt åpent merdanlegg, lukket flytende anlegg i sjø, landbasert anlegg.

godt designede og dimensjonerte lukkede anlegg blir utviklet i fremtiden. Videre er organiskstoff og næringsalter (f.eks. nitrogen og fosfor) fra åpne nøter vanskelig å fange opp og gjenvinne. Faktorene over har vært trukket frem av forskjellige meningsbærere som argumenter for innføring av lukkede anlegg i hele eller deler av produksjonen av laks. Lukket teknologi ses som en mulig løsning for å begrense uønsket miljøpåvirkning ved oppdrett av laksefisk. Dette er miljøpåvirkning som kan oppsummeres langs fem linjer; (1) utslipp av organisk materiale, (2) utslipp/tap av næringsalter, (3) rømming av fisk, (4) utveksling av lakselus med omgivelsene, og (5) utveksling av andre fiskepatogener. Hver for seg er dette store forskningstema med behov for teknologisk utvikling, men det finnes etter vår mening per i dag ikke løsninger som håndterer alle disse utfordringene. Trolig kan heller ikke dagens åpne merd-teknologi løse alle disse problemene fullt ut.

## Hva skal anleggene lukkes mot?

Debatten om bruk av lukkede anlegg er svært utydelig på hva slags faktorer man faktisk skal lukke mot. Dette er en viktig avgrensning som vil ha betydning i forhold til forskning og utstyrsutvikling. Dersom vi ser på utfordringene som ligger mellom oppdrettsfisk og omgivelsene er disse kort oppsummert nedenfor.

*Utslipp av organisk materiale* fra oppdrett kan være betydelig. Typisk utslipp ble estimert til 2.1-2.5 m<sup>3</sup> slam med 10 % tørrstoff per tonn levendevekt fisk (Bergheim og Bråthen, 2007; Ackefors og Enell 1994). Regionalt i Norge anses dette utslippet å ha liten risiko (Taranger et al, 2011), men det kan være lokale effekter. Bruk av multi-trofisk kultur eller såkalt "catch crop", f. eks. filter-spisere som skjell, i nærheten av oppdrettsanlegg har blitt foreslått som en mulig løsning for å redusere effekter av utslipp av organisk materiale (Troell et al. 2003). Om man kan utnytte proteinet



Figur 2. Tradisjonelt oppdrettsanlegg med åpen merdteknologi har vist seg godt tilpasset det røffe norske kystklima. Foto SINTEF Fiskeri og havbruk.

i catch crop til fiskefôrproduksjon vil det være en bra måte å gjøre produksjonen grønnere på. Organisk materiale, slam, må ses på som en ressurs snarere enn et problem, og bør ved videre utvikling kunne utnyttes til jordforbedring og energiproduksjon. Det er imidlertid begrenset med vitenskapelige data angående de fysiske og kjemiske egenskapene av fekalier fra lakseoppdrett i tradisjonelle åpne nøter (Reid et al. 2009), noe som vil være nødvendig for å oppnå en slik utnyttelse.

*Lakselus* representerer en stort økonomisk kostnad ved oppdrett av laks, og tidvis forhøyet forekomst av lakselus i oppdrettsystemer anses å kunne utgjøre en fare for ville laksepopulasjoner både i Norge og internasjonalt (Costello, 2009; Frazer, 2009, Anon, 2011). Lakselus ble imidlertid ikke påvist som årsak til populasjonsvingninger for vill pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) i et 20 års datasett fra et oppdrettsområde for Atlantisk laks (Marty et al., 2010). I Norge har bl.a. Havforskningsinstituttet (HI) rettet søkelys på stor risiko for negativ påvirkning av lakselus på vill sjøørret. Det stilles store forventninger til at lukkede anlegg med styrt vanninntak skal oppnå positive gevinster i forhold til lakselus, men dette gjenstår å dokumentere. Et pilotprosjekt i Nord-Norge med lukket merd og vanninntak på 25 m. viser så langt svært gode resultater uten påviselig negativ innvirkning på fiskevelferd. Fisken ble satt i sjø i mai og har nå blitt observert i 4 mnd. uten at man har registrert lusepåslag. Lokaliteten har god vannomrøring og er til dels kraftig eksponert for lus, alle de åpne kontrollmerdene (3 stk.) har blitt behandlet mot lus 1-2 ganger i løpet av forsøksperioden. Forsøket vil bli avsluttet i løpet av høsten 2012 (Arve Nilsen, Veterinærinstituttet, personlig kommunikasjon).

Helsesituasjonen for norsk oppdrettslaks vurderes som relativt god (Bornø og Sviland 2010), men en rekke sykdommer kan representere utfordringer for drift og operasjoner i det det marine miljø. Det vil være en stor utfordring å lukke anlegget mot andre fiskepatogener enn lakselus. Det må sannsynligvis utvikles nye løsninger med

filtrering og/eller desinfeksjon av inntaksvann, samt beskyttelse mot andre smittekilder for å oppnå en høyere klassifisering i forhold til skjerming mot omgivelsene. På generelt grunnlag kan det være en risiko for at en redusert vanngjennomstrømning i kombinasjon med økt fiske tetthet isolert sett vil kunne øke smittepresset i et lukket anlegg og dermed muligheten for sykdomsutbrudd. Imidlertid anser vi at vanninntak fra dypere lag, eventuelt kombinert med behandling av inntaksvannet, sannsynligvis vil føre til mindre inntak av patogener i anlegget. Inntak av sjøvann fra dypt har også en problematisk side med økt risiko for sårproblematikk. Dermed er det mulig at lukkede anlegg kan minske antall sykdomsutbrudd, men at de utbruddene som forekommer kan bli kraftigere og vanskeligere å kontrollere. Bare forskning, utvikling, etterfulgt av uttesting i industriskala kan gi oss fasiten på sykdom og helse hos laks i lukkede anlegg.

*Rømming* av oppdrettet fisk er en av de største miljømessige utfordringene for akvakulturnæringen der omfanget av de potensielt negative effektene er uklare (Jacq, et al., 2011, Glover et al., 2012). I 2006 oppnevnte Fiskeri- og kystdepartementet en egen uavhengig rømmingskommisjon (RKA). I 2010 rapporterte RKA 56 reelle rømmingsepisoder (RKA, 2011) fordelt på 37 for Atlantisk laks, 4 for regnbueørret og 15 for torsk. Omlag 65 % av disse rømmingene skyldes hendelser ved matfiskanlegg i sjø, 16 % transport, 14 % slakteri og 5 % settefiskanlegg. Ved matfiskanleggene skyldes episodene håndtering (21 %), utspilingsystemer (29 %), andre hull (29 %), propell (8 %) og riving (13 %). Det er altså hull i not som er hovedproblemet ikke havari. Når det gjelder antall fisk viser RKA til at det er feil knyttet til montering og håndtering av ekstraustyr som forårsaket mye av lakserømmingen. Disse to faktorene utgjør samlet 50 % av hendelsene i 2010. RKA advarer mot risiko for rømming ved bruk av ny teknologi for avlusing i lukket pose og påpeker at det i dag ikke finnes lukkede anleggstyper som er helt rømmingssikre. Design av flytende lukkede anlegg forutsetter derfor undersøkelser av lokale miljøforhold, dragkrefter på

anlegget, bølgebelastning, forankring og materialstress på konstruksjonen (Fredriksson et al. 2008).

**Utslipp eller tap av næringsalter** til det marine miljø fra oppdrett ligger på omlag 7-10 kg fosfor og 41-60 kg nitrogen pr tonn fisk produsert (Bergheim og Braaten, 2007, Ackefoss og Enell 1994). Det er særlig utslipp av nitrogen i sommerhalvåret som kan bidra til vekst av marint fytoplankton (Wild-Allen et al. 2010). I all hovedsak (ca 80 %) skilles nitrogenet ut som ammonium og urea over gjellene, men noe lekkasje av nitrogen (ca 20 %) fra fiskeslam (uspist fôr og fekalier) kan også påregnes. Rensing av nitrogenutslipp ved planteproduksjon i avløpsvann har vært forsøkt blant annet for ferskvann /brakkvannsoffdrett av tilapia på Hawaii (Liu et al., 1994), samt tester av marint samoppdrett av laksefisk og sukkertare (*Gracilaria chilensis*) (Buschmann et al. 1996). Det er også rapportert at makroalgen *Gracilaria* kan utnyttes til å fjerne metaller som Al, Cr, og Zn i et lukket produksjonssystem (Kang og Sui, 2010). Vi må heller ikke glemme at utslipp av nitrogen og fosfor fra oppdrett kan være en ressurs for tang- og tareproduksjon. En relativt ny studie viser at sukkertare vokser signifikant bedre i umiddelbar nærhet av oppdrettsanlegget enn ved en kontrollstasjon 4 km unna (Forbord et al, 2011). HI konkluderer imidlertid med at risiko for regional eutrofi og organisk overbelastning fra oppdrett

langs Norskekysten er liten (Taranger et al. 2011). Imidlertid vil behovet for lukking være større i eutrofe sjøområder som Østersjøen. På sikt tror vi imidlertid at den globale knappheten av uorganisk fosfor (Cordell et al., 2011) vil være drivende for fangst og gjenvinning fra all matvareproduksjon, også akvakultur. Dersom merdteknologien fortsatt skal være åpen er det mye som tyder på at man må gå veien om bruk av tare og blåskjell som catch crop for gjenvinning av næringsalter.

## Klassifisering av lukkede anlegg

Det er nå økende interesse for testing og utvikling av lukkede anlegg, både nasjonalt og internasjonalt (DFO, 2008). På grunn av begrepsforvirring rundt hva som menes med et lukket anlegg foreslår vi en klassifisering av lukkede anlegg i fire kategorier, gradert etter teknologiens mulighet til å stenge den ytre miljøpåvirkningen ute, tabell 1. Kategori I er det minst avanserte og kategori IV det mest avanserte.

I Norge er det kommet forslag til nye anleggs-konsepter med løsninger i forskjellige materialer, herunder kompositt, helduk og not, tankskip, plastrør, fleksibel polymer-plastikk, kar, betong og stål. Lukkede oppdrettsanlegg har også vært prøvd tidligere (Skaar et al. 1994). De fleste av disse plasserer seg i kategori I (delvis kategori II), en klasse som også bør kunne kalles semi-lukket. Erfaringer fra 90-tallet peker på muligheter for

Kategori I	Kategori II	Kategori III	Kategori IV
Oppdrettsvolum avgrenset av vegg eller duk (+ ev. not)	Som I med tillegg av;	Som II med tillegg av;	Som I, II, og III med tillegg av; Biologisk vannbehandling for minimalisering av vannforbruk, og fjerning av større mengder organisk materiale, nitrogen og fosfor.
Styrt inntak av vann	Dobbel rømmings-sikring	Fjerning av fiskepatogener fra inntak	Aktuelle systemer; - Resirkuleringsystemer for akvakultur (RAS) med slambehandling - Løsninger med bruk av organismer for å øke renseseffekten for organisk materiale og næringsalter
Styrt avløp av vann	Fjerning av lakseluslarver fra avløp/innløp ved filtrering		
	Filtrering av slam fra avløp		

Tabell 1. Forslag til klassifisering av lukkede anleggskonsepter i sjø

like god tilvekst i slike anlegg som i åpne merdanlegg, og med perioder med bedre tilvekst (Sølsnes og Hansen, 1992; Skaar et al. 1994). Forsøkene til Skaar et al. (1994) ble utført fra smoltutsett i mai til april året etter, med en fiske tetthet i posen opp mot 23 kg/m<sup>3</sup>. Forsøkene til Sølsnes og Hansen (1992) ble gjort med post-smolt (0.35 kg og 0.75 kg) frem til slaktning (1-1.4 kg og 1.8 – 2.1 kg). Driftsuhell med poseanlegg ble også erfart i form av at posen klappet sammen på grunn av stans i vanntilførselen (Skaar og Bodvin, 1994). Tidlige modelltester i bølgetank indikerte at selve posen overlevde bedre enn fisken (Skaar og Bodvin, 1994). I en sammenligning mellom forskjellige konsepter som poseanlegg, stormerd og landanlegg, ble finanskostnadene per kg beregnet til henholdsvis NOK 1.70, NOK 0,80 og NOK 4.85<sup>1</sup>, mens produksjonskostnaden per kg ble beregnet til NOK 4.80 dyrere i poseanlegg fremfor stormerd (Kartevoll og Skaar, 1993). Dette var nok en medvirkende årsak til at konseptet ikke vant frem på 90-tallet. Kanadisk havbruksindustri har utviklet flere lukkede oppdrettskonsepter for produksjon av matfisk (Chadwick et al. 2010), men i en studie der man så på de teoretiske økonomiske sidene for ulike oppdrettskonsepter (Boulet, et al. 2010), fant man at de fleste konseptene har store utfordringer med å skape lønnsomhet i prosjektene. Bare konseptene åpne merder og landbaserte anlegg med resirkulerings-teknologi (RAS) gav et positivt økonomisk resultat.

## Manglende kunnskap om de dynamiske kreftene på lukkede anlegg

Det er rapportert få vitenskapelige undersøkelser av kreftene som virker på tunge nedsenkede og fleksible oppdrettskonstruksjoner. Dette vil gjøre det problematisk å typegodkjenne anleggene. Eksisterende kunnskap har i hovedsak konsentrert seg om rigide konstruksjoner, eksempelvis skip og plattformkonstruksjoner, hvor det er mindre deformasjon på grunn av ytre krefter. Det eksisterer også verktøy for dimensjonering og styrkeberegning av not med flytende, ikke rigide

<sup>1</sup> kg/rund slaktet/pakket levert forsendelsessted

konstruksjoner (Le Bris and Marichal, 1998; Lader et al., 2003; Tsukrov et al., 2003; Zong et al., 2008). De dynamiske kreftene som virker på tradisjonelle åpne oppdrettsmerder er dermed relativt godt kjent (Lader et al., 2008, Lader and Enerhaug, 2005). Tilsvarende kunnskap og verktøy finnes ikke for nedsenkende tunge, fleksible, flytende lukkede systemer.

## Mer biologisk forskning nødvendig

Informasjon fra næringsaktører antyder at investering og drift av lukkede anlegg kan bli dyrere enn tradisjonelle åpne merdanlegg, men det er viktig å påpeke at dette gjelder ved dagens sett med reguleringer. Dette forholdet må kompenseres for enten ved økt produktivitet eller ved økt pris på sluttproduktet. Noen biologiske forutsetninger ut fra dagens kunnskapsgrunnlag er oppsummert av Terjesen et al., (se denne utgave av VANN). Det foreligger svært lite vitenskapelige data for oppdrett av stor laks i intensive enheter, mye av kunnskapen vi har foreligger på smolt og regnbueørret. Det er imidlertid lite sannsynlig at produktiviteten blir høy nok dersom krav til fisketetthet i lukkede anlegg for laks bibeholdes på 25 kg/m<sup>3</sup>. I tillegg hefter det usikkerhet rundt biologisk risiko ved drift ved så høye tettheter for stor laks. Som et eksempel kan vi nevne at erfaring fra landbasert produksjon av settefisk i sjøvann og driftserfaringer med tidlige landbaserte matfiskanlegg med gjennomstrømming har vist tildels store problemer med særskader med diffus årsakssammenheng. Likevel kan man merke seg at det rapporteres om gode resultater med landbaserte resirkuleringsanlegg for stor laks i ferskvann. Her har man dokumentert god fiskehelse og vekst ved tettheter over 80 kg/m<sup>3</sup> (Summerfelt, 2011).

## Økt arealbehov

Dagens konsepter for lukkede anlegg i sjø vil etter våre vurderinger føre til betydelig økning av arealbehov i sjø (Henriksen et al., 2012). Drivene for arealbehov er først og fremst oppdrettsvolum, fisketetthet og fortøyningsystemer. Dagens åpne merdteknologi gir relativt rimelig

tilgang til et stort oppdrettsvolum, mens de lukkede konseptene vi har sett presentert i stor grad er av vesentlig mindre volum. Det må utredes i hvilken grad man kan gå opp i skala i forhold til kostnads- og risikobetraktninger. Anlegg som kan utnytte dagens merd- og fortøyningsløsninger vil sannsynligvis kunne representere en raskere vei til kommersialisering av flytende lukkede anlegg enn helt nye anleggs-konsepter. Dette forutsetter imidlertid tilstrekkelig kunnskap om kreftene som påvirker konstruksjonen og gode løsninger på opprett- holdelse av vannkvaliteten inne i systemet.

## Anbefalinger

Arbeidsgruppen anbefaler en rekke tiltak dersom bruk av lukket anleggsteknologi skal bli mulig;

1. Det må legges til rette for kunnskapsoppbygging innenfor en rekke felter (biologi, konstruksjon, styring, driftsøkonomi) når det gjelder flytende lukkede anlegg i sjø.
2. Innenfor det biologiske feltet er det særlig temaene velferd, helse og ytelse hos laks i lukkede anlegg i sjø og på land som ikke er tilstrekkelig dokumentert, spesielt for større fisk. Dette gjelder helt basale felt som vannforbruk, fisketetthet, vannkvalitetskriterier, fôr og ernæring under rask vekst samt sykdomsutvikling. Vi konkluderer med at forskningsinnsatsen må styrkes på disse feltene.
3. Det må legges til rette for teknologisk forskning på kreftene som virker på flytende konstruksjoner, samt mulighetene for å styre anleggets respons på slike krefter. Vi trenger kunnskap som kan fremskaffe bedre modellverktøy for flytende fleksible konstruksjoner, samt på materialtilpasning til rigide konstruksjoner.
4. Ved utvikling av ulike anleggstyper og materialer anbefaler vi at det gjennomføres prosjekter basert på LCA (Life Cycle Assessment) for å bestemme det økologiske avtrykket til de ulike løsningene. Det er særlig forhold som materialvalg, energiforbruk, logistikk, fôrforbruk og utslipp som vil være viktige faktorer og vil påvirke klimaavtrykket.
5. Det bør foretas analyser av de økonomiske sidene ved etablering og drift av ulike teknologier for lukket anlegg, herunder anleggstyper både i sjø og på land. Det må særlig ses på mulighetene for å få ned investeringskostnadene pr m<sup>3</sup> oppdrettsvolum og øke produktiviteten.
6. Vi anbefaler at det blir foretatt en konsekvensanalyse av ulike offentlige reguleringer i forkant av eventuell innføring (av krav/forskrifter). Oppdretternes handlingsrom i forhold til eventuelle nye reguleringer bør belyses.
7. Forskning fra forsøksanlegg/pilotproduksjoner i ulike konsepter av lukket teknologi må underlegges vitenskapelige kriterier med tanke på metodebeskrivelse, reproduserbarhet, utsagnskraft og fagfelle-review. Dette kan peke i retning av at utvikling, design og storskala testing av fremtidige lukkede anleggstyper bør skje i samarbeid med noen få store tverrfaglige kompetansemiljø.
8. Det bør arbeides med å utvikle mer effektive fortøyningsystemer for anlegg i sjø for å gjøre både dagens åpne anleggstyper og nye lukkede anleggstyper mer arealeffektive og samtidig sikrere.
9. Det bør gjennomføres en vurdering av helheten knyttet til en kombinert bruk av lukkede og åpne anlegg i sjø som et ledd i å komme nærmere de prioriterte miljømålene rømming, utslipp og sykdomskontroll.

*Artikkelen bygger på en forstudie utført av forskergruppen på vegne av Fiskeri- og havbruksnæringsforskningsfond i 2011; «Oppdrett av laks i lukkede anlegg: Forprosjekt», prosjekt nr 900615. For mer detaljer anbefaler vi å laste ned rapporten fra FHF sin hjemmeside.*

## Referanser

ACKEFORS, H. & ENELL, M. 1994. The release of nutrients and organic-matter from aquaculture systems in nordic countries. *Journal of applied ichthyology – Zeitschrift für angewandte ichthyologie*, 10, 225-241.

ANON. 2011. Status for norske laksebestander i 2011. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 3, 285 s.

- BERGHEIM, A., BRAATEN, B., 2007. Modell for utslipp frå norske matfiskanlegg til sjø. Rapport nr 2007/180. Stavanger: IRIS.
- BORNØ, G., SVILAND, C. (eds) Fiskehelse rapporten 2010. Veterinærinstituttet. ss35.
- BOULET, D., ALISTAIR, S. & GILBERT, É. 2010. Feasibility Study of Closed-Containment Options for the British Columbia Aquaculture Industry. Innovation and sector strategies, Aquaculture management directorate, Fisheries and Oceans Canada.
- BUSCHMANN, A., TROELL, M., KAUTSKY, N. & KAUTSKY, L. 1996. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *HYDROBIOLOGIA*, 327, 75-82.
- CHADWICK, M.P., BOUMY SAYAVONG G. J. P (EDS) (2010). Evaluation of Closed-containment Technologies for Saltwater Salmon Aquaculture - Appendices. NRC Research Press.
- CORDELL, D., WHITE, S. AND LINDSTRÖM, T. (2011) Peak phosphorus: the crunch time for humanity?, The Sustainability Review journal, Issue 2, Research Vol 2, Apr 4th 2011.
- COSTELLO, M. 2009. How sea lice from salmon farms may cause wild salmonid declines in Europe and North America and be a threat to fishes elsewhere. *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B-BIOLOGICAL SCIENCES*, 276, 3385-3394
- DFO, 2008. Potential technologies for closed-containment saltwater salmon aquaculture, DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep., pp. 17.
- ECOPLAN INTERNATIONAL (EPI), 2008. Global assessment of closed system aquaculture. The David Suzuki Foundation and The Georgia Strait Alliance.
- HENRIKSEN, K., ROSTEN, T.W., TERJESEN, B.F., ULGENES, Y., WINTHER, U. (2012). Overgang til lukkede oppdrettsanlegg i sjø – teoretisk beregning av endret arealbehov. *VANN* (nr 4, 2012). 10s
- FORBORD, S., HANDÅ, A., REITAN, K.I., SKJERMØ, J. Year. Growth of *Saccharina latissima* in close vicinity to an exposed salmon cage aquaculture site in Central Norway In: 4th Congress of the International Society for Applied Phycology 2011 Halifax, Canada
- FRAZER, L. (2009). "Sea-Cage Aquaculture, Sea Lice, and Declines of Wild Fish." *CONSERVATION BIOLOGY* 23(3): 599-607.
- FREDRIKSSON, D., TSUKROV, I. & HUDSON, P. 2008. Engineering investigation of design procedures for closed containment marine aquaculture systems. *AQUACULTURAL ENGINEERING*, 39, 91-102.
- GLOVER, K. A., QUINTELA, M., WENNEVIK, V., BERNIER, F., SORVIK, A. G. E. & SKAALA, O. 2012. Three Decades of Farmed Escapees in the Wild: A Spatio-Temporal Analysis of Atlantic Salmon Population Genetic Structure throughout Norway. *Plos One*, 7.
- JACQ, C., ØDEGÅRD, J., BENTSEN, H., GJERDE, B., 2011. A review of genetic influences from escaped farmed Atlantic salmon on wild Atlantic salmon populations. *Nofima report 16/2011*
- LE BRIS, F. AND D. MARICHAL (1998). "Numerical and experimental study of submerged supply nets: Applications to fish farms." *Journal of Marine Science and Technology* 3: 161-170.
- LADER, P. F., B. ENERHAUG, ET AL. (2003). Modelling of 3D Net Structures Exposed to Waves and Current. 3rd International Conference on Hydroelasticity in Marine Technology, Oxford, UK, Department of Engineering Science, The University of Oxford.
- LADER, P. F. AND B. ENERHAUG (2005). "Experimental Investigation of Forces and Geometry of a Net Cage in Uniform Flow." *IEEE Journal of Ocean Engineering* 30(1).
- LADER, P., T. DEMPSTER, ET AL. (2008). "Current induced net deformations in full-scale sea-cages for Atlantic salmon (*Salmo salar*)." *Aquacultural Engineering* 38(1): 52-65.
- LIU, C., XIA, W. & PARK, J. 2007. A wind-driven reverse osmosis system for aquaculture wastewater reuse and nutrient recovery. *DESALINATION*, 202, 24-30.
- KANG, K. & SUI, Z. 2010. Removal of eutrophication factors and heavy metal from a closed cultivation system using the macroalgae, *Gracilaria* sp (Rhodophyta). *CHINESE JOURNAL OF OCEANOLOGY AND LIMNOLOGY*, 28, 1127-1130.
- KARTEVOLL, E. & SKAAR, A. 1993. Økonomisk analyse av flytende lukkede oppdrettsanlegg. *Statens forurensningstilsyn*.
- MARTY, G., SAKSIDA, S. & QUINN, T. 2010. Relationship of farm salmon, sea lice, and wild salmon populations.



- PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA, 107, 22599-22604.
- RKA, 2011. Årsmelding 2010. Tenk sjølv ta ansvar. (www.rommingskommisjonen.no)
- REID, G. K., LIUTKUS, M., ROBINSON, S. M. C., CHOPIN, T. R., BLAIR, T., LANDER, T.,
- MULLEN, J., PAGE, F. & MOCCIA, R. D. 2009. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research*, 40, 257-273.
- ROSTEN, T., ULGENES, Y., HENRIKSEN, K., TERJESEN, B.F., BIERING, E., WINTHER, U., 2011. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - forprosjekt (rapport A-21169). Trondheim: SINTEF Fiskeri og havbruk.
- SKAAR, A., KITTELSSEN, A., REFSTIE, T., STEINSHYLLA, K. & BODVIN, T. 1994. Miljøanalyse og driftserfaring for lukket oppdrettsanlegg i sjø.
- SUMMERFELT, S. 2011. Containment systems for Biosecurity, Escapes, Alien species and other Environmental Factors. AquaNor Forum. Trondheim, Norway: The Conservation Fund.
- SØLSNES, E., HANSEN, T., (1992) Lukket merd Sluttrapport for NFFR-Prosjektet 1401-701.205. Havforskningsinstituttet. Pp 1-12.
- TARANGER, G.L., SVÅSAND, T, MADHUN, A.,S., BOXASPEN, K.K. (2011) Risikovurdering av Norsk Fiskeoppdrett. Pressekonferanse 13.01.2011 pp 1-24.
- TROELL, M., HALLING, C., NEORI, A., CHOPIN, T., BUSCHMANN, A., KAUTSKY, N. & YARISH, C. 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *AQUACULTURE*, 226, 69-90.
- TSUKROV, I., O. EROSHKIN, ET AL. (2003). "Finite element modeling of net panels using a consistent net element." *Ocean Engineering* 30(2): 251-270.
- VAN NES, S., JOHANSEN, L.-H., GJERDE, B., SKUGOR, S., ØDEGÅRD, J., 2011. Evaluering av faktagrunnlaget om påvirkning mellom oppdretts- og villaks: Lakselus. Nofima, Tromsø, pp. 59.
- WILD-ALLEN, K., HERZFELD, M., THOMPSON, P. A., ROSEBROCK, U., PARSLOW, J. & VOLKMAN, J. K. 2010. Applied coastal biogeochemical modelling to quantify the environmental impact of fish farm nutrients and inform managers. *Journal of Marine Systems*, 81, 134-147.
- ZONG, Z., S. H. HAO, ET AL. (2008). "In-plane hydroelastic response of a circular ring in water waves." *Applied Ocean Research* 30(3): 208-214.