A21169 - Åpen

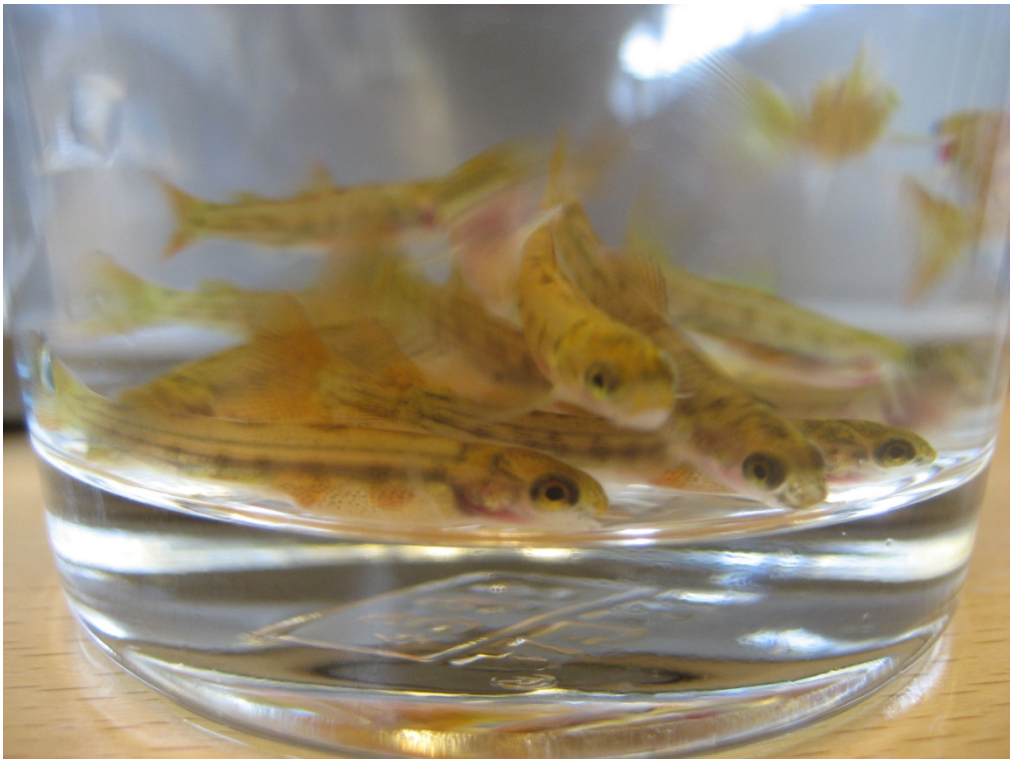
RAPPORT

Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - forprosjekt

Utredning for Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

Forfatter(e)

Trond Waldemar Rosten (SINTEF Fiskeri og havbruk AS)
Yngve Ulgenes (SINTEF Byggforsk)
Kristian Henriksen (SINTEF Fiskeri og havbruk AS)
Bendik Fyhn Terjesen (NOFIMA Akvakultur)
Eirik Biering (Veterinærinstituttet)
Ulf Winther (SINTEF Fiskeri og havbruk AS)



SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Internasjonale prosjekter og rådgivning
2011-12-07

SINTEF

SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Postadresse:
Postboks 4762 Sluppen

Sentralbord: 40005350
Telefaks:

fish@sintef.no
www.sintef.no/fisk
Foretaksregister:
NO 980 478 270 MVA

Rapport

Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - forprosjekt

Utredning for Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

EMNEORD:
Lukkede anlegg
Atlantisk laks
Kunnskapsbehov

VERSJON
Endelig

DATO
2011-12-07

FORFATTER(E)

Trond Waldemar Rosten	(SINTEF Fiskeri og havbruk AS)
Yngve Ulgenes	(SINTEF Byggforsk)
Kristian Henriksen	(SINTEF Fiskeri og havbruk AS)
Bendik Fyhn Terjesen	(NOFIMA Akvakultur)
Eirik Biering	(Veterinærinstituttet)
Ulf Winther	(SINTEF Fiskeri og havbruk AS)

OPPDRAGSGIVER(E)
Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond

OPPDRAGSGIVERS REF.
Kjell Maroni

PROSJEKTNR
86021201

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
75

SAMMENDRAG
Rapporten oppsummer kunnskapsstatus innenfor grunnlaget for lukkede oppdrettsanlegg. Det foreligger en rekke nye forslag til konsepter i ulike materialer og design. Et fellestrekk er at få av anleggene er testet ut med fisk eller rapportert i et vitenskapelige verifiserbart format. Det foreslåes en ny systematisk tilnærming på begrepet lukket oppdrettsanlegg i fire nivå, avhengig av det skal lukkes i mot. Rapporten gir en oversikt over denne inndeling. Det konkluderes med at lukkede oppdrettsanlegg foreløpig ikke kan betraktes som kommersialisert og at det trengs betydelig innsats av både teknologisk, biologisk og økonomisk art for å lykkes med å gjøre oppdrettsanlegg for laks mer lukket i forhold til omgivelsene. Rapporten peker også på at det, pr i dag, ville bli et betydelig økt arealbehov langs kysten, dersom man gikk over til lukkede anleggstyper. Utredningen peker også på en del muligheter med lukkede anlegg, som at det er sannsynlig med mindre lakseluspåvirkning, at man kan oppnå sammenlignbar vekst med åpne anlegg og økte muligheter for teknologi for reduksjon av utslipp av organisk partikulært materiale.

UTARBEIDET AV
Trond W. Rosten

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Arne Fredheim

SIGNATUR

GODKJENT AV
Ulf Winther

SIGNATUR

RAPPORTNR	ISBN	GRADERING	GRADERING DENNE SIDE
A21169	978-82-14-05212-1	Åpen	Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
4	2011-12-07	Endelig rapport

SINTEF

Innholdsfortegnelse

1 Sammendrag ... 6

2 Innledning ... 9

3 Metoder ... 9

4 Kunnskapsstatus ... 9

5 Biologiske forutsetninger ... 12

5.1 Vekst og fôring ... 12
5.2 Oksygen ... 12
5.3 Karbondioksid ... 13
5.4 Ammoniakk ... 14
5.5 Fisketetthet ... 14
5.6 Vannutskiftning ... 15
5.7 Nitritt og Nitrat ... 15

6 Utslipp fra produksjon av laksefisk ... 16

6.1 Rensing av avløp fra lukkede anlegg ... 20

7 Sykdomsstatus for laksenæringen ... 20

7.1 Virus ... 23
7.2 Bakterier ... 23
7.3 Parasittsykdommer ... 24
7.3.1 Lakselus – *Lepeophtheirus salmonis* ... 24

8 Muligheter for desinfeksjon av vann til/fra oppdrett i sjø ... 24

9 Design karakteristika for oppdrettsanlegg i sjø ... 26

9.1 Åpne anlegg (merdanlegg) ... 27
9.1.1 Forankringssystemer ... 28
9.1.2 Bruk av bunnring ... 29
9.1.3 Flytekrage i plast ... 29
9.1.4 Flytekrager i stål ... 29
9.1.5 Nøter og ringer ... 30

10 Beskrivelse av konsepter for flytende lukkede anlegg ... 30

10.1 Lukkede poseanlegg ... 31
10.2 Lukkede anlegg med stive vegger. ... 34
10.2.1 Agrimarine Inc. ... 34
10.2.2 "Fisk i betong" – drTechn Olav Olsen og Marine Harvest ... 34
10.2.3 Coast Innovation ... 36

10.2.4 Oppdrett av fisk i rør – Preline Fish Farming System AS ... 36
10.2.5 Mood Harvest – lukket anlegg i båtskrog ... 37
10.2.6 EFAF AS - Aquadomen ... 38
10.2.7 Aquafarm Equipment AS ... 39
10.3 Landbaserte anlegg med gjennomstrømmingsteknologi ... 39
10.4 Landbaserte anlegg med RAS teknologi ... 39
10.5 Teoretisk sammenligning av 3 ulike lukkede konsepter med åpent merd system ... 40

11 Økonomi ... 43

12 Arealbeslag i forhold til anleggstyper ... 43
12.1 Forutsetninger for beregninger av totalt arealbeslag ved ulike oppdrettsanlegg ... 45

13 Synspunkter fremkommet på workshop ... 48

14 Vurdering ... 48
14.1 Forslag til klassifisering ... 48
14.2 Mulige fordeler med lukkede anlegg i sjø ... 50
14.3 Utfordringer og forskningsoppgaver i lukkede anlegg ... 51
14.3.1 Teknologiske forhold ... 51
14.3.2 Biologiske forhold (Vannkvalitet, respirasjon og tetthet) ... 52
14.3.3 Fôr, slam og kvalitet av sluttproduktet ... 52
14.4 Konsekvenser for arealbruk ... 53

15 Forslag til oppfølging ... 53

16 Takk til ... 55

17 Referanser ... 56

18 Vedlegg ... 66
18.1 Vedlegg 1 Volum pr enhet ved ulike størrelser på notposer ... 66
18.2 Vedlegg 2 Sykdomsstatus laksefisk i Norge ... 67
18.2.1 Virus ... 67
18.2.1.1 Viral hemoragisk septikemi (VHS) ... 67
18.2.1.2 Infeksiøs lakseanemi (ILA) ... 67
18.2.1.3 Pankreassykdom (PD) ... 67
18.2.1.4 Infeksiøs pankreasnekrose (IPN) ... 68
18.2.1.5 Hjerte og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) ... 68
18.2.1.6 Kardiomyopatisyndrom (CMS) ... 69
18.2.2 Bakterier ... 69
18.2.2.1 Vintersår ... 69
18.2.2.2 Tenacibakulum sp. ... 69
18.2.2.3 Pseudomonas fluorecens ... 69
18.2.2.4 Flavobacterium psychrophilum ... 70
18.2.2.5 Yersiniose ... 70

18.2.2.6 Bakteriell nyresyke (BKD) 70
18.2.2.7 Piscirickettsiose 70
18.2.2.8 Proliferativ gjellebetennelse (PGI) 70
18.2.2.9 Parvicapsulose 70
18.2.3 Øvrige parsittsykdommer 71
18.2.3.1 Costia 71
18.2.3.2 Bendelmark 71
18.2.3.3 Desmozoon lepeophtherii (synonym *Paranucleospora theridion*) 71
18.3 Vedlegg 3 Innspill fra Workshop 20.06.11 72

1 Sammendrag

Denne rapporten er resultat av et forprosjekt på status lukkede anlegg som SINTEF Fiskeri og havbruk har utført for Fiskeri og Havbruksnærings Forskningsfond (FHF), i samarbeid med Nofima og Veterinærinstituttet. Gjennom arbeidet har vi i hovedsak konsentrert oss om flytende lukkede konstruksjoner, men vi har også kort berørt landbasert resirkuleringsteknologi (RAS), da denne teknologien har rask internasjonal fremmarsj. Rapporten trekker frem viktige forhold som kunnskapsstatus og forutsetninger, betydning for areal bruk, samt påpekning av kunnskapshull.

Arbeidet viser at det er stor interesse for testing og utvikling av lukkede anlegg i sjø, både nasjonalt og internasjonalt. Mye av interessen har sin årsak i et ønske om å redusere interaksjonen mellom oppdrettsfisken og det ytre miljø, blant annet for å redusere overføring av lus. Diskusjonen rundt lukkede anlegg går på hvilken teknologi som skal velges. Dette vil også avhenge av hva man skal lukke i mot. Vårt arbeid konkluderer med teknologien for lukket flytende anlegg foreløpig ikke er tilstrekkelig kommersialisert eller vitenskapelig dokumentert. Dette gjelder i forhold til (1) fiskens velferd, helse og ytelse, (2) risiko for rømming, (3) påvirkning av ytre sjøkrefter, (4) risiko for lakselus, (5) utslipp av organisk materiale og næringssalter. Vi har ikke funnet informasjon som kan avkrefte at lukkede anleggskonsepter vil bli en langt dyrere teknologi enn åpen merdteknologi. Informasjon fra næringsaktører antyder at lukkede anlegg kan bli mellom 10 til 200 ganger dyrere i investeringskostnad pr m^3 oppdrettsvolum, enn et tradisjonelt merdanlegg. Dette forholdet må kompenseres for enten ved økt produktivitet eller ved økt pris på sluttproduktet. Det er imidlertid ikke sikkert at det er mulig å hente ut nok produktivitetsgevinst dersom krav til fisketetthet i lukkede anlegg for laks bibeholdes på 25 kg/m^3. I tillegg hefter det usikkerhet med biologisk risiko ved drift med så høye tettheter. Erfaring fra landbasert produksjon av settefisk i sjøvann og tidligere driftserfaringer med landbaserte anlegg, med inntak av sjøvann, har hatt problemer med sårskader med diffus årsakssammenheng.

Vår vurdering av de lukkede konseptene peker i retning av at de inntil videre vil kunne utnyttes til nisjeproduksjon av et differensiert produkt med dertil høyere markedspris. Dette er imidlertid ikke undersøkt nærmere. Det synes imidlertid klart at oppdrettsaktører kan tenke seg å benytte lukkede anleggstyper i tidlig sjøfase, som et virkemiddel til å endre produksjonsstrategi til større settefisk og kortere oppholdstid i sjø. Det er også en viss forventning til at lukkede anleggstyper skal kunne benyttes på lokaliteter hvor forholdene er marginale for åpen merdproduksjon. Vi tror likevel ikke at slike anleggstyper, på det nåværende tidspunkt og med dagens sett av reguleringer, vil kunne inngå som aktuell erstatning for teknologien innenfor den generiske lakseproduksjonen, der produksjonskostnad er den viktigste driver. Det er også en oppgave å dokumentere effekten av slike produksjonstilpasninger til eventuelle nye reguleringer av næringen.

Vi konkluderer videre med at det ennå mangler vitenskapelige data på storskala utprøving av lukkede oppdrettskonsepter. Dette gjelder både innenfor teknologi, økonomi og biologi. Det foreligger mye kompetanse på intensiv drift med settefisk, men kunnskapsgrunnlaget er mye dårligere når det gjelder stor laks i intensive systemer. Fokus innenfor teknologiutvikling må rettes mot mulighetene for å overvåke og styre miljøet for fisk, samt sikre systemet mot sammenbrudd og rømming. Dette er helt sentrale tema om man skal lykke med et nytt oppdrettskonsept med lukket merd.

Erfaringer fra rømmingskommisjonen for laksefisk antyder at operasjoner og håndtering av nytt tungt utstyr kan gi stor risiko med tanke på rømming. Det er manglende erfaring med nye lukkede oppdrettsanlegg i sjø, og vi forventer at både operasjoner og utstyr må endres. Dette kan gi endret risiko i forhold til dagens kjente teknologi, men det er intet empirisk grunnlag for å hevde at rømmingssikringen skal bli bedre.

Det hersker stor begrepsforvirring på hva som menes med et lukket anlegg. Vi foreslår derfor en klassifisering av lukkede anlegg i fire nivå i forhold til hvilke muligheter de har for å stenge den ytre miljøpåvirkningen i forhold til oppdrett. Nivå 1 er det minst avanserte og nivå 4 det mest avanserte. De fleste forslagene til lukkede anlegg synes å falle innenfor kategori 1 til 2. Det er også naturlig å dele inn marine lukkede anlegg i fleksible og rigide konstruksjoner. Her er det flere varianter innenfor hver av disse gruppene med ulike materialvalg. Rapporten omtaler kort de ulike konseptene som finnes i stål, betong, plast, kompositt, duk og not.

Det stilles store forventninger til at lukkede anlegg med styrt vanninntak skal oppnå positive gevinster i forhold til lakselus. Dette gjenstår å dokumentere, verifisere og publisere. Vanninntak i dypere vannlag anses alene ikke nok i forhold til målsettingen om å lukke anlegget 100 % for luseinntak. Det samme gjelder i forhold til fiskepatogener. Det må sannsynligvis utvikles nye løsninger med filtrering og/eller desinfeksjon av inntaksvann, samt skjerming mot andre smittekilder for å oppnå en høyere klassifisering i forhold til skjerming for ytre omgivelser. Bruk av silduksystemer på inntak eller avløp kan imidlertid påvirke hvilke pumpeløsninger som kreves, samt energiforbruket. Vi holder det som sannsynlig at redusert vanngjennomstrømning i kombinasjon med økt tetthet, isolert sett vil øke smittepresset 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. 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 og uttesting i industriskala kan gi oss fasiten.

Dagens konsepter for lukkede anlegg i sjø vil etter våre opplysninger og vurderinger føre til økning i arealbehov i sjø. Driverne for arealbehov er først og fremst oppdrettsvolum, fisketetthet og fortøyningssystemer. 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 utledes 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 anleggskonsepter. Dette forutsetter imidlertid tilstrekkelig kunnskap om kreftene som påvirker konstruksjonen.

Forprosjektet konkluderer med en rekke tiltak som anses nødvendig for utvikling av lukket anleggsteknologi.

1. Det må legges til rette for kunnskapsoppbygging innenfor en rekke felter (biologi, konstruksjon, styring, drift økonomi) 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 atlantisk laks. Dette gjelder helt basale felt som vannforbruk, fisketetthet, vannkvalitetskriterier, og fôr og ernæring, under rask vekst. 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 til slike krefter. Vi trenger kunnskap som kan fremskaffe bedre modellverktøy for flytende fleksible konstruksjoner, samt på material tilpasning og produksjon på rigide konstruksjoner.
4. Ved utvikling av ulike anleggstyper og materialer anbefaler vi at det gjennomføres prosjekter på LCA (Life Cycle Assessment) analyser for å bestemme det økologiske avtrykket til de ulike løsningene. Det er særlig forhold som materialvalg, energiforbruk , logistikk og fôrforbruk og utslipp som vil være viktige faktorer.
5. Det bør samles bedre dokumentasjon av de økonomiske sidene ved etablering og drift av de ulike teknologier for lukket anlegg, herunder anleggstyper i sjø og på land. Det må særlig ses på mulighetene for å få ned investeringskostnadene pr m^3 oppdrettsvolum.
6. Vi anbefaler at det blir foretatt en konsekvensanalyse på virkning av ulike krav/forskrifter i forkant av eventuell innføring. Produsentenes 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-vurdering. Dette kan peke i retning av at utvikling, design og storskala testing av fremtidige lukkede

anleggstyper bør skje i åpent forpliktende samarbeid med de sentrale utstyrsprodusenter og noen få store tverrfaglige kompetansemiljø.

8. Det bør arbeides med å utvikle mer effektive fortøyningssystemer for anlegg i sjø for å gjøre både dagens åpne anleggstyper og nye lukkede anleggstyper mer arealeffektive og samtidig sikrere.
9. Det bør foretas nærmere beregninger av energiforbruk ved ulike anleggskonsepter for å skaffe bedre grunnlag for økonomiske vurderinger.
10. 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 (lus).

2 Innledning

Denne rapporten er resultat av et forprosjekt på status lukkede anlegg som SINTEF Fiskeri og havbruk har utført for Fiskeri og Havbruksnærings Forskningsfond (FHF), i samarbeid med Nofima og Veterinærinstituttet. Rapporten er ikke ment å være en komplett sammenstilling av alle fasetter og problemstillinger som er knyttet til begrepet lukket oppdrettsproduksjon. Gjennom arbeidet har vi i hovedsak konsentrert oss om flytende lukkede konstruksjoner, men vi berører også landbasert resirkuleringsteknologi (RAS) da denne teknologien har rask internasjonal fremmarsj. Det er forsøkt å trekke frem viktige forhold som kunnskapsstatus og forutsetninger, betydning for arealbruk, samt påpekning av kunnskapshull. Rapporten omtaler noen lukkede konsepter, men vår oppgave har ikke vært å evaluere eller rangere disse anleggsideene. Utvalget er tilfeldig utplukket av ideer som er presentert i media og eller på konferanser og er sikkert ikke helt dekkende for det store idètilfanget innenfor dette feltet. Rapporten gir også en kort overordnet oversikt over hvilke fiskesykdommer som er aktuelle i Norge. Det er ikke foretatt nye undersøkelser eller nye beregninger i prosjektet av biologisk, teknisk eller økonomisk art.

3 Metoder

Oppdraget ble løst som en kombinasjon av innhenting og systematisering av data fra publiserte forskningsartikler fra ISI WEB of Knowledge ved bruk av en rekke kombinasjoner av søkeordene closed fish farm/closed containment. I tillegg ble gamle rapporter på lukkede anlegg fra Akva Instituttet AS, Havforskningsinstituttet, Marintek og Sintef innhentet og gjennomgått. Videre ble rapporter fra Canada på lukkede anlegg (Chadwick et al, 2011, Boulet et al, 2010, EPI, 2008) gjennomgått. Beskrivelse av nye konsepter for lukkede anlegg ble delvis innhentet ved direkte kontakt med leverandørselskapene og delvis ved innhenting av tilgjengelig informasjon publisert på nettsider og under AquaNor 2011 messen. Praktiske erfaringer og synspunkter fra næringen ble innhentet ved en workshop den 20. juni i Trondheim. I tillegg til oppdrettsselskaper var Nofima ved Bendik Fyhn Terjesen og Veterinærinstituttet ved Eirik Biering invitert til å holde innlegg og bidra på diskusjonen. Øvrige deltagere på møtet var Truls Hanssen (Mainstream), Erlend Haugarvold (Lingalaks), Jesper Økland (Lerøy Seafood), Marta Valdez (LO), Sverre Eriksen (LO), Kjell Maroni og Aina Valland (FHL Havbruk), Tor Arne Giskegjerde, Ewos Innovation. På workshopen ble følgende tema diskutert; (1) biologiske forutsetninger for etablering av lukkede anlegg (innledning Trond Rosten, SINTEF), (2) Oversikt over aktuelle teknologier for flytende lukkede anlegg (innledning Yngve Ulgenes SINTEF), (3) arealbetraktninger ved ulike teknologier (innledning Kristian Henriksen SINTEF), (4) Kan lukkede anlegg løse sykdomsproblemene i oppdrett (innledning Eirik Biering VI), (5) Er lukkede anlegg rømmingssikre (Innledning Østen Jensen, SINTEF), (6) Hvilke nye muligheter oppstår i "lukkede" anlegg, og hvilke utfordringer vil man møte?" (innleder Bendik Fyhn Terjesen, Nofima, fokus på biologiske forutsetninger).

4 Kunnskapsstatus

Det tradisjonelle åpne notanlegget (krage + not), er trolig 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, de er svært fleksible siden det er enkelt å flytte anlegg og fisk, skifte og rengjøre nøter, og sette inn og ta ut fisk. Veksthastighet og fôrfaktor er i de fleste tilfeller forutsigbare. Det har videre vært en gevinst i oppskalering av tradisjonelle nøter, noe som også har bidratt til å senke produksjonskostnadene. Når en nå diskuterer lukkede anlegg er det viktig å ha dette perspektivet, siden det er på dette grunnlaget lukkede anlegg må konkurrere med tradisjonelle nøter, i tillegg til å ivareta fiskens helse og velferd. Grunnlaget for oppdrett av fisk av laksefisk i lukkede system er de biologiske forutsetningene som fisken setter. Med slike forutsetninger mener man, vekst og fôringsmodeller, oksygenforbruk, fisketetthet, produksjon av metabolitter som karbondioksid og ammoniakk, fiskens toleranse for disse, samt vannutskiftning. Dette har delvis blitt gjennomgått i en artikkel av Thorarensen og Farell (2010 og 2011).

I de siste årene har det imidlertid fremkommet synspunkter på svakheter ved den tradisjonelle teknologien. Notanlegg er åpne for smittsomme sykdommer, både fra fisken i anlegget og fra villfisk/de frie vannmasser

rundt anlegget. Parasitter som lakselus er et problem for omdømmet til norsk lakseindustri. Tradisjonell drift i nøter har blitt trukket frem som negativt for villaksbestandene, men dette temaet er sterkt debattert (f. eks. van Nes et al., 2011). Alle notanlegg skal være rømningssikre, men rømming forekommer likevel. Miljøforholdene i åpne nøter er skiftende, siden miljøet påvirkes av strøm, vannkvalitet og temperatur i de frie vannmassene. Organiske og uorganiske utslipp fra åpne nøter er vanskelig å fange opp og gjenvinne. Disse faktorene har vært trukket frem av forskjellige meningsbærere som grunnlag for innføring av lukkede anlegg, i hele eller deler av produksjonen av laks. Lukket teknologi ses dermed på som en mulig løsning for å begrense uønsket miljøpåvirkning ved oppdrett av laksefisk. Dette er miljøpåvirkning som kan oppsummeres langs seks linjer; (1) utslipp av organisk materiale, (2) utslipp av næringssalter, (3) rømming av fisk, (4) utslipp av lakselus, (5) utslipp av fiskepatogener, (6) total miljøpåvirkning målt etter LSA standardarden (ISO 14044). Hver i seg er dette store tema, med behov for omfattende forskning, men teknologisk finnes det ikke løsninger som integrerer og løser alle disse utfordringene. Hele 16 arter oppdrettsfisk har blitt rapportert å bli produsert i ulike varianter av lukkede oppdrettsanlegg (EPI, 2008), internasjonalt. Teknologien i rapporten til EPI (2008) spenner imidlertid over alt fra damanlegg, lengdestrømsrenner, resirkuleringsanlegg til lukkede poseanlegg.

Utslipp av organisk materiale fra oppdrett kan være betydelig. Typisk utslipp ble estimert til 2500 kg våt vekt pr tonnlevende vekt fisk (Ackermann og Enell 1994) ved oppdrett av regnbueørret. Regionalt i Norge anses dette utslippet å ha liten risiko (Taranger et al, 2011), men det kan være lokale effekter. Bruk av multitrofisk kultur, f.eks. filterspisere 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). Økt vekst av blåskjell (*Mytilus galloprovincialis*) er vist blant annet av Sará et al. (2009), men det er også publisert forskning som bestrider at polykultur av fisk og blåskjell er en metode for å redusere utslipp fra fiskeoppdrett (Navarrete-Mier et al 2010). Denne artikkelen har imidlertid møtt kritikk fra fagfeller (Troell et al., 2011). Det er foreløpig begrenset med vitenskapelige data tilgjengelig angående de fysiske egenskapene av faeces fra lakseoppdrett i åpent marint oppdrett av laks (Reid et al. 2009).

Lakselus representerer et stort økonomisk tap for oppdrett av fisk og lakselusinfeksjon i oppdrettssystemer kan representere en fare for vill laks, internasjonalt og i Norge (Costello, 2009; Frazer, 2009, Anon, 2011). Dette ble imidlertid ikke påvist som årsak til populasjonssvingninger for vill pink salmon *(Oncorhynchus gorbuscha*) i et 20 års datasett fra et oppdrettsområde for atlantisk laks (Marty et al., 2010). Her hjemme retter (HI) søkelys på stor risiko for negativ påvirkning av lakselus på vill sjøørret og genetisk påvirkning av rømming på villlaksen.

Rømming av oppdrettet fisk er en av de største miljømessige problemstillingene for akvakulturnæringen. I 2006 oppnevnte Fiskeri- og kystdepartmentet 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 matfiskanlegg i sjø, 16 % transport, 14 % slakteri og 5 % settefiskanlegg. Ved sjøanlegg for laks skyldes episodene håndtering 21 %, utspilingssystemer 29 %, andre hull 29 %, propell 8 % og riving 13 %. Når det gjelder antall fisk viser RKA til at det er feil knyttet til feil montering og håndtering av ekstrautstyr 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 avlusning i lukket pose og påpeker at det pr i dag ikke finnes lukkede anleggstyper som er helt rømmingssikre (Fredheim, 2011). Design av flytende lukkede anlegg forutsetter undersøkelser av lokale miljøforhold, dragkrefter på anlegget, bølgebelastning, forankring og material stress på konstruksjonen (Fredriksson et al. 2008).

Utslipp av næringssalter til det marine miljø fra oppdrett av fisk 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 løst ammonium og urea over gjellene, men noe lekkasje av nitrogen (ca 20 %) fra fiskeslam (uspist fôr og feces) kan også påregnes. Rensing av nitrogenutslipp ved planteproduksjon i avløpsvann har vært forsøkt blant annet for ferskvann /brakkvannsoppdrett av tilapia på

Hawai (Liu et al., 1994), samt tester av marint samoppdrett av laksefisk og sukkertare (*Gracilaria chilensis*) (Buschmann et al. 1996). Det er også publisert at makroalgen Gracilarie kan utnyttes til å fjerne metaller som (Al, Cr, Zn) i et lukket produksjonsssystem (Kang og Sui, 2010) og at dette kan være aktuelt i bruk i multitrofisk akvakultur. 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). Havforskningsinstituttet (HI) konkluderer også i en nylig utført vurdering at risiko for regional eutrofi og organisk overbelastning fra oppdrett langs Norskekysten er liten (Taranger et al. 2011). Tekniske løsninger for å redusere utslipp fra oppdrett er også vurdert relativt nylig (Braaten et al, 2010).

Livssyklusanalyse (LSA) er en metode som har blitt foreslått for å kvantifisere og sammenligne potensiell miljøpåvirkning av antropogene installasjoner (Rebitzer, et al. 2004.). Denne metoden er også aktuell å bruke for å studere miljøeffekter av produksjon av laksefisk. Her er det foreløpig begrenset med vitenskapelige studier, men en studie av Ayer and Tyedmers (2009) der konvensjonelt notoppdrett ble sammenlignet med tre andre teknologier: (1) landbasert gjennomstrømming, (2) landbasert resirkuleringssystem og (3) marin flytende poseanlegg foreligger. De konkluderte etter sensitivitetsanalyser at konvensjonelle merdanlegg hadde best miljømessig prestasjon, dersom fossilt drivstoff ble benyttet av poseanlegget for å drive vannpumper. Flytende poseanlegg fulgte så dernest, landbasert gjennomstrømming og landbasert resirkuleringsanlegg, Grunnen til dette skyldes økt bruk av energi og materialkostnad gjennom økt samlet livssyklus påvirkning.

Det er økende interesse for testing og utvikling av lukkede anlegg, både nasjonalt og internasjonalt[1] (DFO, 2008). Her i Norge kan vi nevne anleggskonsepter med løsninger i; kompositt[2], helduk og not[3], tankskip[4], plastrør[5], fleksibel polymer plastikk[6] , kar[7] , betong[8] og stål[9]. Lukkede oppdrettsanlegg har også vært prøvd tidligere (Skaar et al, 1994). Erfaringer fra 90-tallet peker på muligheter for like god tilvekst som i åpne merdanlegg 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 fisketetthet i posen opp mot 23 kg/m^3. Førsøkene til Sølsnes og Hansen (1992) ble gjort med post-smolt (0.35 kg og 0.75 kg) frem til slakting (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 er finanskostnadene per kg på henholdsvis NOK 1.70, NOK 0,80 og NOK 4.85 per kg[10], mens produksjonskostnaden pr/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. Disse tallene bør gjennomgås på nytt for en norsk situasjon, hvor man legger til grunn moderne fisk og moderne fôr som gir potensiale for rask tilvekst og god fôrutnyttelse, og de nyvinninger i teknologi for not og –landanlegg en har sett siste to tiårene. Canadisk 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 oppdrettskonspeter (Boulet, et al. 2010) fant man at de fleste konseptene har store utfordringer med å skape lønnsomhet i prosjektene. Bare konseptene åpne merder og lukket anlegg med resirkulasjonsteknologi (RAS) gav et positiv økonomisk resultat.

---

[1] For formelle definisjoner og inndelinger av lukkede anlegg henvises det til andre kapitler i den felles rapporten fra prosjektet.
[2] http://nb-no.facebook.com/pages/EFAF-AS-LeitheGruppen-AquaDome og www.aquafarm.no
[3] www.botngaard.no
[4] Intrafish 04.Juli 2011 – Mood Harvest
[5] www.preline.no
[6] http://www.closedfishcage.com
[7] http://marineharvest.com/no/Marine-Harvest-Norge/Media/Aktuelt/Vurderer-lenger-periode-med-lukket-produksjon/
[8] www.olavolsen.no
[9] http://www.kyst.no/index.php?page_id=59&article_id=91856
[10] kg/rund slaktet/pakket levert forsendelsessted

Rent vitenskapelig er det gjort lite på undersøkelse av kreftene som virker på tunge nedsenkede og fleksible oppdrettskonstruksjoner. 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 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), men tilsvarende kunnskap og verktøy finnes ikke for nedsenkende tunge flytende lukkede systemer.

5 Biologiske forutsetninger

Oppdrett av Atlantisk laks (*Salmo salar*) i systemer som er lukket for omgivelsene forutsetter kontroll på vannkvaliteten i systemet. Vannkvaliteten i oppdrettssystemer er stor grad bestemt av metabolitter produsert og utskilt av fisken selv og i hvilken grad disse metabolittene blir fjernet fra oppdrettsvolumet. De viktigste metabolittene som har betydning for velferd, ytelse og miljø er karbondioksid og nitrogenforbindelser. Disse dannes kontinuerlig som følge av fiskens metabolisme og skilles ut til vannet i all hovedsak over fiskens gjeller. Metabolismen er avhengig av fiskens størrelse, vannets temperatur, stress og fôringsstatus. I tillegg produserer fisken feces i forhold til fôrinntak, fôrets komposisjon og pelletstabilitet og fordøyelighet. Grovt sett regner man med at omlag 25 % av fôret fisken har spist blir til organisk materiale (Hutchinson et al 2004). Konsentrasjon av metabolitter i oppdrettsvannet kan beregnes etter lov om massebalanse (Losordo og Westers, 1994). Kort sagt kan vi forklare dette som at nivået av karbondioksid, nitrogen og organisk materiale er avhengige av fiskens metabolisme, hvor mye friskt vann som går igjennom oppdrettssystemet, samt effektivitet og kapasitet på eventuelle vannbehandlingssystemer.

I et lukket oppdrettssystem kan det være formålstjenlig å redusere vannmengden til et håndterbart nivå, særlig med tanke på muligheter for vannbehandling og utslippsrensing. Uten oksygenering vil det kreve store vannmengder for å tilføre nok oksygen til oppdrettssystemet (Colt, 1994). Alternativt kan man se på systemer for å flytte store mengder vann med liten energi (liten løftehøyde). I de fleste tilfeller anser man at fiskens behov for oksygen må tilleggsdekkes av tilførsel av oksygen fra en ekstern kilde.

5.1 Vekst og fôring

I et lukket oppdrettsanlegg vil det være en forutsetning å ha god kontroll på fiskens tilvekst. På denne måten kan man oppnå gode estimater på fôrtildeling. Veksten hos laks er avhengig av tilgang på för, temperatur, fotoperiode og andre miljømessige forhold (Brett (1979), Austreng et al. (1987); Saunders and Harmon (1988), Forsberg (1995); Nordgarden et al (2003).

TGC (thermal growth coefficient) for Atlantisk laks mellom 30 og 3000g ligger på omlag 2.7 for en temperatur mellom 4 og 14 grader. Temperaturoptimum for Atlantisk laks ligger rundt 15-16 ^{O}C (Koskela et al. 1997). Til sammenligninger gjennomsnittlig TGC for Atlantisk laks i Norge på 2.46 i 2003 (Iversen og Kosmo (2004). Vekstmodeller og veksttabeller laget på basis av disse benyttes til å beregne fôrmengder. Gjennomsnittlig fôrfaktor for laks i flere nyere studier ligger på omlag 0.97, med noe lavere fôrfaktor forforsøk i kar enn i merd (Thorarensen og Farell (2010). Oppsummert kan man si at det er grunn til anta man kan forvente en TGC på mellom 2.7–3.0 og FCR på 0.9 - 1.0 for Atlantisk laks. Imidlertid vil perioder med høyere tilvekst (TGC 3-5) stille vesentlig høyere krav til bæreevnen i oppdrettsystemene og uttesting av prototyper må derfor inkludere perioder hvor en slik tilvekst kan oppstå.

5.2 Oksygen

Forbruk av oksygen hos fisk er en meget sentral parameter å ha kontroll på. Oksygenforbruket hos laks avhenger av kroppsstørrelse (Berg et al. 1993), temperatur (Wedemeyer 1996), vekstrate (Jobling 1994), fôringsrate (Forsberg 1997), svømmehastighet (Grøttum og Sigholt 1998) og stress (Portz et al. 2006). Fiskens oksygenforbruk kan benyttes til å beregne hvor mye fisken produserer av velferdsrelevante metabolitter (CO_2 og TAN) og er en forutsetning for dimensjonering av vann og oksygenmengder som skal

tilsettes oppdrettssystemet. Biomassens samlede oksygenforbruk (såkalt bulk oksygen) kan beregnes når man kjenner oksygenkonsentrasjonen på vann inn og vann ut og vannstrømmen gjennom systemet (Q). Dette kan utrykkes ved Fick's ligning; MO2 = Q([O_2]inn – [O_2]ut). For oppdrett i lukkede systemer skal man være klar over at det er funnet at vannhastighet og svømmehastighet har større betydning enn temperatur (Bergheim et al. 1993). Det er tildels stor variasjon i de ulike modellene for oksygenforbruk (Fivelstad og Smith 1991; Gebauer, 1992; Christansen et al. 1990; Bergheim et al. 1993; Grøttum og Sigholt 1998) som er publisert for Atlantisk laks, hvilket betyr at man bør legge inn en tilstrekkelig sikkerhets margin når man planlegger lukkede flytende anlegg med oksygentilsetning. Man må også være oppmerksom på at sikkerhetsmarginer er ofte uvitenhetsmarginer. For store marginer kan bidra til at anlegg bygges for store og derfor får unødvendig høye produksjons kostnader. Sikkerhetsmarginer bør som et minimum være utarbeidet på bakgrunn av ny forskning og en detaljert analyse av hva som kan oppstå.

Siden oksygenforbruket blant annet er relatert til fôrinntaket (Forsberg (1997)) er det blitt foreslått at man kan estimere oksygenforbruket med en ratio i forhold til fôrinntak. Det er imidlertid stor variasjon i et slikt estimat (0.25 – 0.50 kg oksygen :1 kg fôr), hvilket borger for at estimater på produksjon av metabolitter ved bruk av en slik modell kan være tilsvarende usikre. Døgnvariasjoner i oksygenforbruk kan forventes i forhold til fôrinntak (måltider) og man kan forvente 15-25 % økning i forhold til gjennomsnittsforbruk i døgnet (Forsberg 1994).

Oksygennivå i oppdrettssystemet må tilpasses fiskens behov og forbruk. For lave verdier kan føre til redusert vekst og økt dødelighet (Crampton et al. (2003); Bergheim et al (2006)) og dermed redusert velferd. De samme forfatterne påviste også en sammenheng mellom oksygenmeting i vann og laks sin tilvekst, som viser at metning bør være minimum 85 % (Thorarensen and Farrell, 2011). For høyt oksygennivå kan også gi problemer ved oksidativt stress (Karlson et al, 2011, Kristensen et al., 2010, Lygren et al., 2000, Rosten, 2009) Oksygenmeting på 140 – 150 % gir redusert tilvekst, økt dødelighet og redusert sykdomsmotstand (Lygren et al. (2000); Fridell et al. 2000), redusert respirasjonsfrekvens, og akkumulering av CO2 i blod (Powell og Perry 1997). Lave oksygennivå kan øke giftigheten av ammoniakk (Alabaster et al. 1979). Eksponering for svært høye oksygennivå (500 %) kan forårsake redusert sjøvannstoleranse (Brauner et al. 2000). Forskningen peker i retning av at oksygennivå mellom 80-100 % er å anbefale. Rosten (2010) anbefalte 100 % som målsetting for oksygennivå i intensivt oppdrett og i transport (Rosten og Kristensen 2011). Som en følge av dette må oksygennivå reguleres nøye med feedbacksystemer i et lukket oppdrettsanlegg, og hydraulikken i oppdrettsenhetene må være så god at det blir minimale gradienter i forskjellige seksjoner og dybder, og at fare for hypo- og hyperoksia unngås.

5.3 Karbondioksid

Som følge av redusert vannforbruk i intensive oppdrettssystemer vil karbondioksid akkumulere i vannmassen. Karbondioksid er negativ for fiskens velferd og høye verdier vil føre til redusert tilvekst, forstyrrelser i syre-base og ioneregulering, og nyreskader (Fivelstad et al. 1999, 2003, 2007), redusert oksygenbindingskapasitet i hemoglobin. Svært høye nivå har sløvende effekt (Bernier og Randall 1998) og vil kunne føre til fiskedød (Wedemeyer 1997). Grunnet disse forhold må man regne med at karbondioksid må fjernes fra oppdrettsvannet i et lukket anlegg, dersom tilfredsstillende kriterier for fiskevelferd skal kunne oppnås. Mattilsynet i Norge anbefaler maks 15 mg /l karbondioksid i oppdrettsvannet. Det er et tilnærmet 1:1 forhold mellom forbruk av oksygen og produksjon av karbondioksid. Imidlertid bør respirasjonskoeffisienter (molar CO_2 prod/O_2 forbruk) hos fisk (f. eks. Kieffer et al., 1998), legges til grunn i den detaljerte dimensjonering av lukkede anlegg. Data på parr av Atlantisk laks fra Fivelstad og Binde (1994) fant at CO_2 konsentrasjonen økte med 1.1 mg /l for hvert mg oksygen som ble konsumert. Av denne grunn kan forbruk av oksygen benyttes for å anslå CO_2 mengder i et oppdrettsmiljø, men må beregnes mer nøyaktig under dimensjonering.

Løselighet av karbondioksid er omvendt proporsjonal med økende temperatur og salinitet, men direkte proporsjonal med partialtrykk. Av denne grunn vil 10 mg/l CO_2 ha 40 % høyere partialtrykk ved 15 grader enn ved 5 grader (Thorarensen og Farell 2010). Likedan vil partial trykket av CO_2 være rundt 20 % høyere i fullstyrke sjøvann sammenlignet med 0 ppt ferskvann. For fisken er det partialtrykket av CO_2 som er mest

relevant i forbindelse med ekskresjon til vann. Toksisitet av CO_2 antas å være større ved lavere oksygenmetning (Wedemeyer 1997) og laksefisk synes mer sensitiv for CO_2 ved lave temperaturer enn ved høye (Fivelstad et al. 2007). Anbefalte grenseverdier for CO_2 ligger i størrelsesorden 20 mg/l (Portz et al. 2006) til 10 mg /l (Wedemeyer 1996, Fivelstad et al. 1999). Imidlertid er det kun gjennomført ett CO_2 -forsøk på postsmolt av laks (Fivelstad et al., 1998), og dette tema må derfor undersøkes ytterligere.

5.4 Ammoniakk

Ammoniakk er et sluttprodukt i hovedsak av proteinmetabolismen og skilles ut over gjellene. Ammoniakk kommer også fra nedbrytning av nukleotider og kan i enkelte situasjoner bli signifikant. Kjemisk snakker man som regel om totalammonium nitrogen (TAN) siden ammoniakk foreligger på to hovedformer i forhold tilfølgende reaksjonslikning;

$NH_3 + H^+ \text{ <--> } NH_4^+$

Man regner at fôret Atlantisk laks skiller ut ca 0.04 – 0.06 g TAN for hvert gram oksygen som konsumeres, men detaljerte budsjetter som skal ligge til grunn for dimensjonering bør benytte tall fra studier hos laks gitt moderne fôr (f. eks. Aas et al., 2006) og beregnes for flere størrelsesklasser av fisken. Ofte benyttes forholdet 10:1 for å utrykke sammenhengen mellom forbruk av O_2 og produksjonene av TAN. I ferskvann skiller fisken ut ammoniakk ut via gjellene ned en partial trykk gradient som NH_3 som igjen reagerer med H^+ i gjelleslimet og vannets som passerer gjellene. I sjøvann derimot antar man ammoniakk skilles ut som NH_4^+via passive transport ned en elektrokjemisk gradient. Nyere forskning viser også at dedikerte proteinporter i gjellene deltar i ammoniakk-ekskresjon (Terjesen and Rosseland, 2009, Terjesen et al., 2010). En konsekvens av dette som er relevant for intensivt lukket oppdrett er at det kan være vanskeligere for fisken å kvitte seg med ammoniakk i sjøvann når konsentrasjonen i oppdrettsvannet er høy (Wilson og Taylor 1992).

Uionisert ammoniakk (NH_3) er den desidert giftigste formen av ammoniakk hos fisk (Randal og Ip 2006), gjennom virkning på sentralnerve systemet (Randall og Tsui 2002), aminosyremetabolisme, forstyrrelse av enzymsystemer, gjelleskader, og osmoregulatoriske forstyrrelser (Boyd 2000, McKenzie et al. 2003, Portz et al. 2006). Dette har således stor velferdsmesssig relevans og må tas hensyn til ved dimensjonering og design av lukkede anlegg for fiskeoppdrett, spesielt landbaserte anlegg med resirkulering. Tegn på for høye nivå av uionisert ammoniakk er redusert appetitt, redusert svømmekapasitet, hosting, muskelkramper, tap av likevekt og akutt død (Meade 1985, Russo og Thurston 1991, Shingles et al. 2001). De maksimale anbefalte nivå av uionisert ammoniakk (utrykt som NH_3-N) ligger i størrelsesorden 12 ug -25 ug/l (Fivelstad et al. 1995, Timmons et al. 2001, Wedemeyer 1996), men er avhengig av mange faktorer, blant annet livsstadium og vannkvalitet for øvrig (Terjesen, 2008, Terjesen and Rosseland, 2009).

5.5 Fisketetthet

Tetthet av fisk er en av de viktigste parameterne innen fiskeoppdrett. Maksimal tetthet av fisk i oppdrett er ofte bestemt ut i fra begrensninger som vannutskiftningen i det aktuelle oppdrettsvolumet setter (Wedemeyer 1996). Fortynning eller fjerning av de aktuelle metabolske avfallsstoffene ved vannutskiftning eller vannbehandling må utføres for at man skal oppnå de velferds- og ytelsesmessige krav som settes for vannkvalitet (f.eks. CO_2 og TAN). Resultater av forskning på tetthetseffekter for oppdrett av laksefisk er noe sprikende. I et arbeid av Ellis et al. (2002), der man så på en rekke artikler som omhandlet vekst og velferd i sammenheng med fisketetthet for regnbueørret, konkluderte man med at økt fisketetthet ikke uten videre medførte økt stress, men resultatene peker i retning av redusert velferd kan bli konsekvensen av redusert fôring ved høye fisketettheter. En mulig grunn til dette er at bæreevnen til teknologien som blir brukt under forsøk varierer mye. Økt fisketetthet kan forårsake atferdsmessige interaksjoner som er stressende for fisken (Wedemeyer 1997, Ellis et al. 2002). Dette kan komme til utrykk som økt aggressivitet, finneslitasje og større størrelsesspredning (North et al 2006). Normal og anbefalt fisketetthet av laks i åpne flytende oppdrettssystemer ligger i størrelsesorden 15-25 kg/m^3 (Turnbull et al. 2005), men det er trolig at tetthet i

lukkede løsninger må være høyere enn dette for å oppnå økonomisk forsvarlig drift. Studier i kar på parrstadiet, opptil 86 kg/m^3, og oppfølging av fisken i tradisjonell not i sjø gav ingen påvisbare negative effekter (Hosfeld et al., 2009). Det er lite data om større Atlantisk laks i kar, men forsøk i kommersiell skala viste ingen forskjell i tilvekst på grupper ved 20 og 40 kg/m^3 (Handeland et al., 2008), og Kjartansson et al. (1988) påviste ingen negative effekter i intervallet 30-125 kg/m^3 hos stor Atlantisk laks. Dette indikerer at oppdrett ved høy tetthet er mulig, men nye forsøk er nødvendig for intervallet 0.1-1kg fisk, og under relevante produksjonsbetingelser lik de typene lukkede anlegg som er aktuelle. Det gjøres samtidig oppmerksom på at tålbar tetthet ikke nødvendigvis er det samme som tetthet for optimal velferd (Thorarenson og Farell 2010).

5.6 Vannutskiftning

Modellering (med maksgrense på 20 mg/l CO_2), antyder at man i et åpent gjennomstrømmingsanlegg for laks med oksygentilsetning vil komme opp i velferds- og vekstbegrensende nivå ved en vannutskiftning under 0.13 l/kg/min. I Norge anbefaler Mattilsynet en maksimalgrense på 15 mg/l og man har sett fysiologiske effekter ned mot 10 mg/l (Fivelstad et al. 1998). Minimumsgrense for vannutskiftning i et anlegg med gjennomstrømming og oksygenering ligger i størrelsesorden 0.2 – 0.3 l/kg/min. Imidlertid er datagrunnlaget ikke tilstrekkelig sterkt og må videreutvikles. Hvor langt ned i vann-gjennomstrømning en kan gå før en når CO_2 som begrensende faktor er usikkert siden det bare er utført ett CO_2 -forsøk på postsmolt (Fivelstad et al., 1998). Det anses derfor som en stor fordel for utviklingen av lukkede anlegg at det blir utført flere forsøk med vannutskiftning og CO_2. Manglende kunnskap om nødvendig spesifikt vannforbruk (l/kg/min) og en velferdsmessig forsvarlig behandling (mengde og design av O_2-tilsetning, og CO_2-fjerning) for stor laks kan derfor føre til at dimensjonering av lukkede anlegg krever andre løsninger enn bare oppskalering. Ved bruk av interne CO_2 luftere som vannbehandling vil man kunne oppnå forbedring i allefall på 35 – 40 % (Rosten 2000). Dette er også verifisert med målinger fra landbaserte anlegg, hvor man ikke kom høyere enn 12 mg/l CO_2 ved en vannutskiftning i området 0.14 – 0.4 l/kg/min (Sanni og Forsberg 1996). Minimumskrav til vannutskiftning avhenger også av vannets bufferkapasitet (Colt og Orwitcz 1991) og vanntemperatur (Fivelstad et al. 2007).

Uionisert ammoniakk regnes ikke som en begrensende faktor i gjennomstrømmings-system med oksygenstilsetting så lenge drifts pH er under 7.0 (Colt og Orwicz 1991, Fivelstad et al. 1993, Fivelstad og Binde 1994). Ammoniakk konsentrasjonen er relativt uavhengig av vannutskiftning i området 0.05 – 0.3 l/kg/min da pH reduseres på grunn av CO_2 akkumulering (Sanni et al 1993) og driver ammoniakk likevekten fra toksisk NH_3 til det langt mindre toksiske NH_4^+. Dette er også verifisert fra empiriske målinger fra gjennomstrømmingsanlegg (Seymore 1990). Uionisert ammoniakk kan bli ett problem ved lavere vannutskiftning 0.05 l/kg/min (Thorarenson og Farell 2010).

5.7 Nitritt og Nitrat

Dersom vannutskiftningen er så lav at uionisert ammoniakk blir et potensielt problem, kan resirkuleringssystemer for akvakultur (RAS) være en teknologisk mulighet for omdanning av TAN til andre nitrogenforbindelser. Det må da benyttes en bioreaktor (biofilter) hvor nitrifiserende bakterier omdanner ammoniakk til nitritt (NO_2^-) og så nitrat (NO_3^-) (Schreier et al., 2010). Nitritt er i utgangspunktet giftig for laksefisk, da det forårsaker blant annet metylisering av hemoglobinet og dermed redusert oksygen opptak, og forstyrrelser i ionebalanse og endokrinologiske prosesser (Jensen, 2003, Svobodová et al., 2005). Nitritt vil aktivt tas opp via klorid/bikarbonat mekanismen i gjellene. På grunn av dette er det en mulighet for å øke terskel for giftighet ved å tilsette salt til oppdrettsvannet, men kunnskap om optimal Cl: NO_2-N ratio for kronisk eksponering hos Atlantisk laks i ferskvann har kun vært undersøkt i ett nylig gjennomført forsøk (Gutierrez et al., 2011). Bruk av RAS i sjøvannsbasert oppdrett vil dermed sannsynligvis ha mindre problemer med akutt giftighet av nitritt enn RAS i et rent ferskvannssystem, men også her bør optimal ratio undersøkes. Grenseverdien for nitritt i ferskvann er foreslått så lavt som 0.1 mg/l (Wedemeyer 1996, Timmons et al. 2001), men den antydes 10 ganger høyere(< 1.0 mg/l) i sjøvann (Timmons 2005). Vi må være oppmerksom på at dette er basert på data fra regnbueørret og at ny kunnskap gjeldende for Atlantisk

laks trengs. Ny forskning som er under publisering tyder på at ratio klorid versus nitritt, bør være over 108:1 i FW. Enkelte RAS operatører bruker feks. en Cl: NO_2-N ratio > 200 i oppdrett av laks (pers.med Bendik Fyhn Terjesen).

Nitritt omdannes til nitrat som er langt mindre giftig. I LC_{50} tester har man funnet toksiske nivå ved 1000 – 3000 mg /l (Colt og Armstrong 1981). Anbefalte nivå for nitrat i oppdrett spriker mellom < 1 mg/l (Wedemeyer, 1996) til 400 mg/l (Timmons et al. 2001). Ved prosjektering av RAS anlegg benyttes ofte 150-350 mg/l nitrat som dimensjonerings kriterium for fisk i RAS. Andelen tilsetning av nytt vann i RAS (spedevann) beregnes ofte i forhold til dette, eller denitrifiseringstrinn installeres. Publiserte resultater om nitritt og nitrat i RAS system for Atlantisk laks er foreløpig begrenset.

6 Utslipp fra produksjon av laksefisk

Utslipp fra oppdrettsanlegg kan beregnes i forhold til fôrsammensetning og fôrmengder.

Fôrfaktoren varierer gjennom produksjonen ved at små fisk (smolt) har lav biologisk fôrfaktor (ca 0,7), mens stor, slaktemoden fisk (ca 4,5) kg har høyere biologisk forfaktor (ca 1,2) Einen (2001). For en produksjon fra smolt til slaktefisk er det vanlig å beregne en gjennomsnittlig fôrfaktor. I følge Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse (Fiskeridirektoratet (2010) var gjennomsnittlig fôrfaktor for produksjon av laks for hele landet ca 1,26 i 2009. Denne verdien har variert lite de senere årene, men det har vært en tendens til økt fôrfaktor. I følge nøkkeltall for 2005/06 var forfaktoren i denne perioden ca 1,23 som landsgjennomsnitt. (Fiskeridirektoratet 2006).

Fôrets innhold av protein, fett og fosfor har mye å si for utslipp av organisk stoff og næringssalter fra oppdrett. Fra fisken settes ut som smolt til den slaktes, brukes fôr med ulike sammensetninger. Generelt vil innholdet av protein reduseres og innhold av fett øke ettersom fisken vokser. Innholdet av fosfor vil variere mindre, men det er en liten nedgang i fôrets fosforinnhold fra smoltstadiet til slaktestadiet. Tabell 1 gir en enkel oversikt over normalt innhold av protein, fett og fosfor i fiskefor som brukes til laks med ulik størrelse (etter Bergheim og Braathen, 2007).

Tabell 1

Normalt innhold av protein, fett og fosfor i tørrfôr med ca. 90 % tørrstoff brukt til smolt etter utsett i sjø, smålaks (400g) og laks over 2 kg (fram til slakt).

	Protein (%)	Fett (%)	Fosfor (g/kg)
Smolt (etter utsett i sjø)	47	26	11,1
Smålaks (400 g – 2 kg)	44	30	10,8
Stor laks (2 kg →)	35	38	9,5

For beregning av utslipp fra produksjon, er det laget ulike modeller for å estimere størrelse og sammensetning av utslippene. Alle modellene er basert på massebalanser som angir forhold mellom fôrets innhold av næringsstoff og mengden av de samme næringsstoffer i produsert fisk.

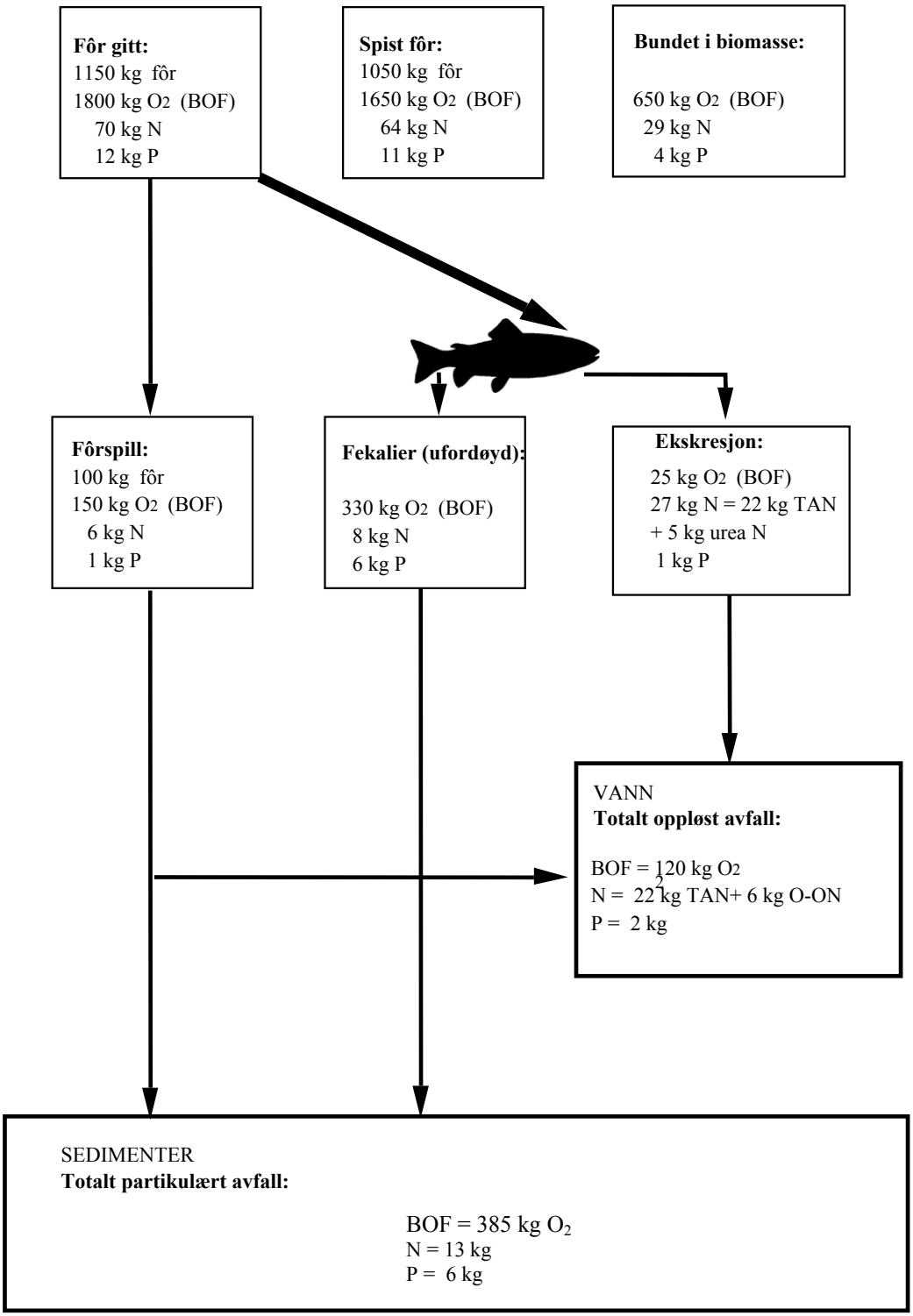
Taranger m. fl (2010) presenterte utslippstall som fremkommer ved beregninger via ANCYLUS-modellen/ MOM. Selvik m fl. (2005) har beregnet utslipp fra oppdrett i en modell (TEOTIL) som tar utgangspunkt i utslipp som en differanse mellom innhold av nitrogen og fosfor i alt fôr som benyttes i oppdrett og innhold av nitrogen og fosfor i produsert fisk. Einen m fl. (1995) laget en tilsvarende modell for utslipp der man beregner tilvekst og utslipp basert på en varierende fôrfaktor avhengig av fiskestørrelse og summerer resultatet fra mange intervaller regnet fra fisken settes ut som smolt og til den slaktes. Modellen forutsetter at man kjenner fordøyelighetsdata for hver enkelt utslippsparameter (P/N).

Bergheim og Braathen (2007) presenterte en modell for å beregne utslippet basert på litteratur og en modifikasjon av stoffbalanse presentert av Bergheim og Åsgård (1996). De satte opp en sammenheng

mellom fôrforbruk og utslipp ved produksjon av 1 tonn slaktefisk (rund, ubløgget) som angitt i figur 1. Utslippene som er angitt her, er basert på følgende forutsetninger:

1. Det benyttes fôr med 38 % protein, 34 % fett, 12 % karbohydrat og fosfor 10,5 g/kg. Dette fôret er et høyenergifôr med en sammensetning som representerer et gjennomsnitt for de fôrtyper som benyttes for fisk fra ca 400 gram og til den slaktes. Dette intervallet utgjør den største biomasseøkningen i produksjonen og dermed også størst fôrforbruk.
2. Fôrets innhold av næringsstoffer er balansert og tilgjengelighet av næringsstoffene er god.
3. Nødvendig (biologisk) fôrfaktor settes til 1,05. Denne regnes som gjennomsnitt for produksjon av fisk i det samme vektintervallet som angitt ovenfor.

Fôrspillet (uspist fôr) angis til 100 kg pr tonn fisk produsert. Dette gir en ”økonomisk” fôrfaktor på 1,15 hvis man ikke tar hensyn til dødelighet.



Figur 1
Stoffbalanse for organisk materiale og næringssalter i merdanlegg for laks og regnbueørret som fôres med høy-energi fôr. Fra Bergheim og Braathen, 2007.

Utslippene fra produksjonen deles inn i en partikulær del som kan sedimentere på bunnen, og en oppløst del som fordeles og spres med vannmassene rundt anleggene. Fordeling mellom partikulær del og oppløst del vil endres noe etter lang tids opphold for partiklene i vann.

Figur 1 beskriver med de angitte forutsetningene massestrømmer som resultat av å produsere 1 tonn slaktefisk av laks. Til dette brukes 1150 kg fôr og av dette utgjør 100 kg fôrspill som sedimenterer. Ved lang tids opphold i sjøen løses noe av det sedimenterte fôret opp og danner oppløst materiale.

Av det foret fisken spiser, vil ca 40 % av det organisk materiale (angitt som BOD5), ca 45 % av nitrogen og ca 36 % av fosfor bli inkorporert i biomasse i form av tilvekst. Resten av de samme komponentene i fôret som spises, vil slippes ut til miljøet i form av ekskrementer (partikler) og i form av oppløste stoffer. Av det nitrogenet fisken spiser i form av protein, vil ca 43 % skilles ut igjen som oppløst nitrogen, dvs totalammonium-nitrogen (TAN) og urea-nitrogen. Ca 12 % av spist nitrogen via fôr vil havne i ekskrementer som partikkelbundet nitrogen. Dette betyr at en meget stor andel av den totale mengden nitrogenet fisken spiser via fôr, vil gå til ekskresjon som oppløst materiale og kun en liten del i form av partikler.

For fosfor er forholdet omvendt. Her vil det meste av det som går til ekskresjon, gå ut i form av partikler i ekskrementer og kun en liten del i oppløst form.

Med utgangspunkt i figur 1, hvor det er antatt en reell fôrfaktor på 1,15, kan vi sette opp verdier for fôrforbruk og utslipp pr tonn fisk produsert som angitt i tabell 2.

Tabell 2

Utslipp av organisk stoff (BOD5), næringssalter (N og P) i partikulær og oppløst form ved produksjon av 1 tonn slaktefisk av laks (rund vekt). Verdiene i tabellen i kg.

		Spist fôr (1050 kg)		Fôrspill (100 kg)	
	Parameter	Partikulært	Oppløst	Partikulært	Oppløst
Organisk stoff	BOD5	330	25	55	95**)
Nitrogen*)	N	8	27	5	1**)
Fosfor	P	6	1	0	1**)

*) Som Kjeldahl – N (= protein/6,25)
**) Verdiene for oppløst fraksjon av spillfôr forutsetter lang tids opphold i vann

Med utgangspunkt i tallene ovenfor kan vi anslå de totale utslippene (partikulært + oppløst) fra produksjon av 1 tonn laks til (sum av oppløst stoff og partikler):

505 kg organisk stoff (BOD5) = 28 % av det som var i fôret
41 kg nitrogen (N) = 58 % av det som var i fôret
8 kg fosfor (P) = 67 % av det som var i fôret

Mht nitrogenutslipp er det viktig å påpeke at vi her angir det som såkalt ”Kjeldahl-N” eller det vi kaller ”amino-nitrogen”. Som angitt i tabellen ovenfor, vil utslippet av organisk stoff være mest i partikulært form. For nitrogen er utslippene mest i oppløst form, mens det meste av fosforet er i partikulær form. Vi må anta at utslippet fra et lukket anlegg vil ha omtrent samme sammensetning som det ved et åpent merdanlegg. Et unntak må likevel nevnes. Fôrspill som oppstår ved produksjon i et lukket anlegg, vil ikke oppholde seg i vann i særlig lang tid. Det betyr at man vil få en større andel av totalutslippet som partikler, noe som igjen gir mulighet for å fjerne mer via avløpet med partikkelfjerning. Hvor stor denne gevinsten kan bli i praksis, må

dokumenteres via forsøk. Hvis vi tar utgangspunkt i de tallene som er presentert i figur 1, kan vi hevde at utslippet av organisk stoff (som BOD5), fosfor og nitrogen kan reduseres en del som en direkte følge av at fôrspill kan samles opp direkte fra avløpet. I et merdanlegg vil fôrspill synke til bunns og etter hvert gå i oppløsning og bidra til den løste fraksjonen av utslipp fra lakseproduksjon.

6.1 Rensing av avløp fra lukkede anlegg

I et lukket anlegg der man kan rense avløpet, er det kun partikkelfjerning i form av siling som er det aktuelle alternativet på grunn av den store vanngjennomstrømmingen man har i systemene. Andre typer partikkelrensing som sedimentering, filtrering i granulatfilter (f.eks sandfilter) eller annen type filtrering, vil ikke være aktuelle metoder siden de har for liten hydraulisk kapasitet. Mikrosiler med poreåpning i området 60 – 90 um er mest aktuelle (Cripps og Bergheim, 2000).

Hvis man bruker silsystemer ved partikkelfjerning er det den partikulære delen av utslippet i form av partikler som er større enn porestørrelsen i silen, som kan separeres fra avløpet. Som det framgår i figur 1, er størstedelen av nitrogen på oppløst form (omtrent 3/4) og dette medfører at den totale renseeffekten ved partikkelfjerning blir relativt lav. Forsøk med slike systemer har vist renseeffekt på ca 20 % for totalnitrogen. Mht fosfor er ca. ¾ deler av totalfosfor i utslippet i form av partikler, og total renseeffekt for fosfor blir ca. 50 – 60 %. For organisk stoff, uttrykt som BOF, er forholdet om lag det samme som for fosfor dvs en forventet renseeffekt på 50 – 60 % (Cripps og Bergheim, 2000, Brinker m. fl 2005, Sindilariu m. fl 2009)

De angitte renseeffektene gjelder avløp fra landbaserte anlegg med ferskvann. Erfaringer fra anlegg med sjøvann er meget få. Stechey og Robertson (2010) forutsetter en renseeffekt på i overkant av 60 % for partikulært stoff. Det vil i praksis si samme renseeffekt som den man oppnår med silsystemer for ferskvann. Det påpekes imidlertid av forfatterne at angitt renseeffekt må verifiseres.

Det er også svært lite data for slamproduksjon fra rensing av avløp fra lukkede anlegg med sjøvann. Fra silsystemer med ferskvann regner man vanligvis en slamproduksjon på ca 1,5 – 2 kg slam (10 % TS) pr kg fôr som brukes i anlegget. Stechey og Robertson (2010) oppgir produksjon av ekskrementer fra spist fôr til 390 gram pr kg fôr. Hvis man regner at 50 % av dette kan fjernes fra avløpet i en mikrosil (60 – 90 um silduk) og det dannes et slam med 10 % tørrstoff (utenom salt), vil dette si en slamproduksjon på i størrelsesorden 2 liter slam pr kg fôr som benyttes. Hvis reell forfaktor er høyere enn den biologiske fôrfaktoren, vil det bety et visst fôrspill. Vi antar at dette fôrspillet kan holdes lavt i et lukket anlegg med god fôringskontroll, og at slamproduksjonen derfor ikke blir vesentlig over 2 liter pr kg fôr.

Hvis man så omsetter dette til et matfiskanlegg som produserer 1000 tonn slaktefisk, har en fôrfaktor på 1,05 uten fôrspill, vil det med rensing av avløpet bety en slamproduksjon på 2100 m^3 med slamtørrstoff på 10 % (utenom sjøsalt).

Disse dataene må verifiseres for et fullskala anlegg i praksis, og må på dette tidspunktet anses som relativt usikre. Det illustrerer likevel at slam vil bli en stor utfordring dersom man velger å rense avløp fra lukkede anlegg i sjø.

7 Sykdomsstatus for laksenæringen

Det ble i følge Kontali Analyse produsert 944 000 tonn med laks og 55 700 tonn med regnbueørret i Norge i 2010. Et helhetlig bilde av helsesituasjonen for oppdrettsfisk i Norge er beskrevet i Fiskehelserapporten (Bornø et al. 2011). Denne bygger på data fra Veterinærinstituttets laboratorier og Mattilsynet samt informasjon fra fiskehelsetjenester langs kysten og andre forskningsinstitusjoner som har aktivitet innen fiskehelse. Rapporten påpeker at man har begrenset kunnskap om helsesituasjonen til villfisk.

Så godt som all oppdrettsfisk er produsert i åpne flytende oppdrettssystemer i sjøen. Tap av fisk i sjøfasen anslås å ligge mellom 15 – 20 %, og en stor del av dette tapet skyldes infeksjonssykdommer og produksjonslidelser (se Tabell 3) forårsaket av fiskepatogener. Variasjonen mellom anlegg er stor, og tall fra Færøyene indikerer at det er mulig å redusere dette tapet (Bornø et al. 2010).

Med fiskepatogener mener man både virus, bakterier og parasitter. Virussykdommer som er en utfordring for norsk oppdrett er bl. a. pankreassykdom(PD), infeksiøs lakseanemi (ILA), infeksiøs pankreas nekrose (IPN), hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og kardiomyopatisyndrom (CMS). Innenfor parasittsykdommer er den største utfordringen lakselus som også er sett på som en av de største fiskehelseutfordringene generelt. Rapporten påpeker at problemene med nedsatt følsomhet for medikamenter (resistensutvikling) har økt. Det understrekes at nye medikamenter mot lus er nødvendig, men at dette kun er kortsiktige løsninger for å få på plass andre bekjempelsesstrategier. Bornø et al (2010) påpeker at norsk oppdrettsnæring kan være tjent med å innføre smitteatskillende tiltak og relevansen i forhold til lukkede anlegg er dermed satt.

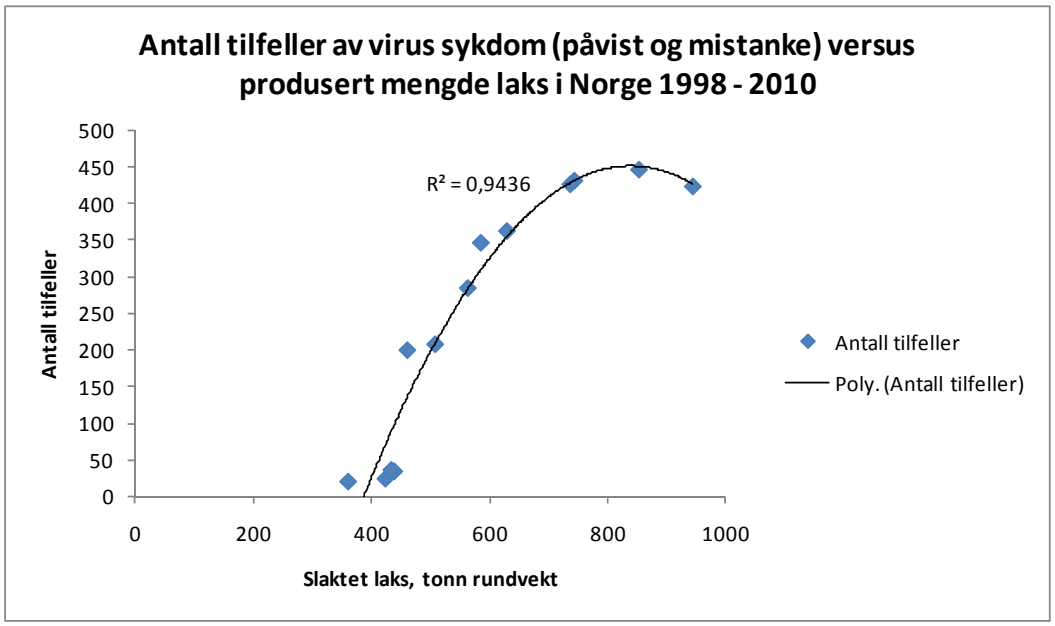
Tabell 3

Antall lokaliteter i årene 1998 – 2010 med infeksiøs lakseanemi (ILA), pankreassykdom (PD), hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og infeksiøs pankreasnekrose (IPN). Modifisert etter Bornø et al. 2010.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ILA	13	14	23	21	12	8	16	11	4	7	17	10	7
PD	7	10	11	15	14	22	43	45	58	98	108	75	88
HSMB							54	83	94	162	144	139	131
IPN					174	178	172	208	207	165	158	223	198
Antall tilfeller	20	24	34	36	200	208	285	347	363	432	427	447	424
Produksjon av laksefisk i Norge[11] (1000t)	362	425	440	435	462	509	564	586	630	744	737	853	944

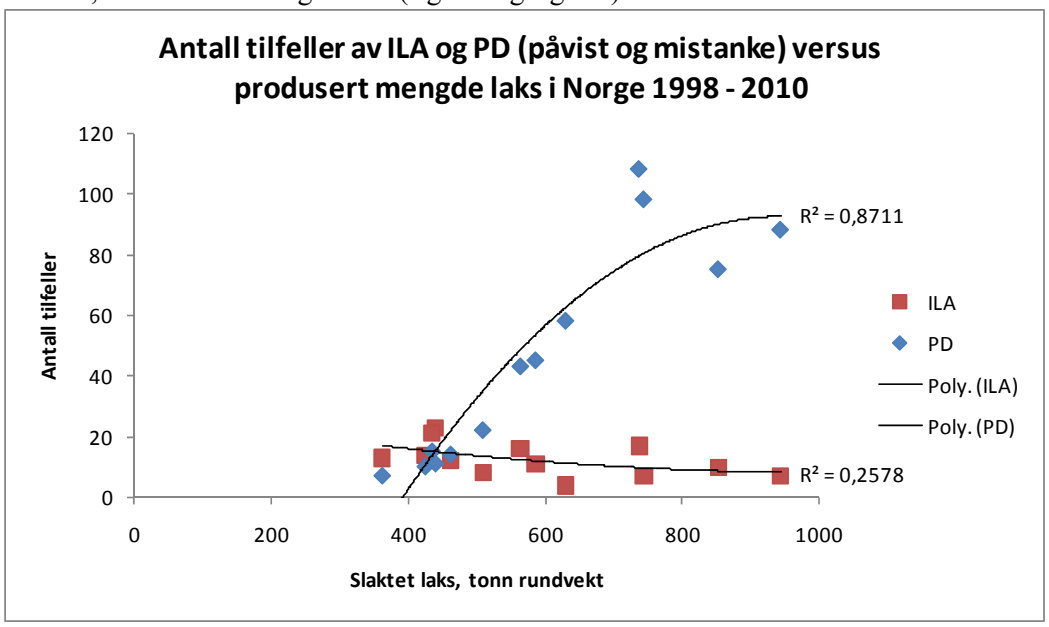
Når vi ser på denne statistikken ser vi at det synes å være en sammenheng mellom mengde produsert laks og antall påvisninger av virussykdommer på oppdrettsfisk (Figur 2), noe som forøvrig ikke er uventet.

[11] Slaktet laks, tonn rundvekt Kilde Fiskeridirektoratet (1998 – 2009) og Kontali Analyse AS (2010)

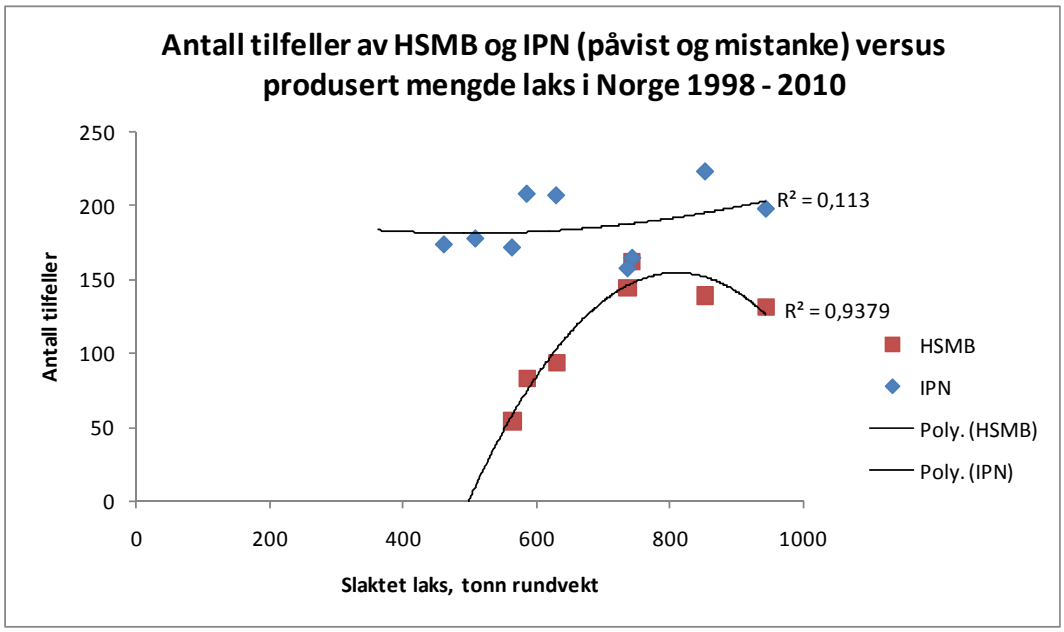


Figur 2
Sammenheng mellom produsert mengde laks (Kilde: Fiskeridirektoratet og Kontali Analyse AS) og påviste virussykdommer (Kilde: Bornø et al., 2010).

Når man bryter dette ned til den enkelte virussykdom, ser man at HSMB, IPN og PD bidrar mest til antallet utbrudd, samt at ILA har gått ned (figur 3 og figur 4).



Figur 3
Sammenheng mellom produsert mengde laks (Kilde: Fiskeridirektoratet og Kontali Analyse AS) og ILA og PD (Kilde: Bornø et al., 2010).



Figur 4
Sammenheng mellom produsert mengde laks (Kilde: Fiskeridirektoratet og Kontali Analyse AS) og IPN og HSMB (Kilde: Bornø et al., 2010).

Fisk i oppdrett som smittes og utvikler sykdom vil være en betydelig kilde til smittestoff. Fiskens miljø har også betydning for stress og fiskehelse (Portz et al. 2006), og det følger dermed at økt grad av biosikkerhet vil oppnås ved smitteadskillende tiltak (kontroll av inntaksvann og utslipp) og ivaretakelse av et godt oppdrettsmiljø. Skal man oppnå smittebeskyttelse i lukkede anlegg, vil de tekniske og biologiske løsningene måtte kunne håndtere de aktuelle sykdomsfremkallende organismene vi kan forvente å finne i marint lakseoppdrett. Nedenfor gis en kort oversikt over ulike virus, bakterier og parasitter som representerer et problem i dag, og avslutningsvis omtales kort aktuell teknologi for desinfeksjon av inntaksvann og utslipp. I den nye Fiskehelseforskriften av 2008 (FOR-2008-06-17-819) listeføres sykdommer som er gjenstand for offentlige tiltak, og de deles inn i eksotiske sykdommer (Liste 1), ikke-eksotiske sykdommer (Liste 2) og nasjonale sykdommer (Liste 3). Liste 1 inneholder sykdommer som ikke forekommer i Norge, mens på Liste 2 finner vi blant annet infeksiøs lakseanemi (ILA) og viral hemorrhagisk septikemi (VHS). Infeksiøs pankreasnekrose (IPN) er tatt ut av listene, og dette vil kunne få konsekvenser for antallet registrerte tilfeller i de kommende årene.

7.1 Virus

Det er pr 2010 hovedsakelig seks sykdommer med viral eller mulig viral årsak som er aktuelle i oppdrett av laksefisk i Norge (Bornø et al, 2010). Disse er: (1) Viral hemoragisk septikemi (VHS), (2) Infeksiøs lakseanemi (ILA), (3) Pankreassykdom (PD), (4) Infeksiøs pankreasnekrose (IPN), (5) Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og (6) Kardiomyopatisyndrom (CMS). En kort beskrivelse av virus som gir sykdom er gjengitt i Vedlegg 2.

7.2 Bakterier

Det er pr 2010 hovedsakelig åtte bakteriesykdommer som er aktuelle i oppdrett av laksefisk i Norge (Bornø et al, 2010). Dette er (1) Vintersår, (2) Tenacibaklum , (3) *Pseudomonas fluorecens*, (4) Flavobacterium, (5) Yersiniose (6) Bakteriell nyresyke (BKD), (7) Piscirickettsiose og (8) Proliferativ gjellebetennelse (PGI). Tidligere alvorlige bakterielle sykdommer som vibriose, kaldtvannsvibriose og furunkulose er i dag kontrollert ved vaksinasjon. En kort beskrivelse av bakterier som gir sykdom er gjengitt i Vedlegg 2.

7.3 Parasittsykdommer

Av parasittlidelser som er aktuelle i fiskeoppdrett i dag, har vi valgt ut fem for nærmere omtale. Dette er (1) Lakselus, (2) Parvicapsulose, (3) Costia, (4) Bendelmark og (5) Mikrosporider. Hovedvekten legges på lakselus som forårsaker de klart største problemene i forhold både oppdrettet- og vill laksefisk. Siden lakselus er det sykdomsproblem som man forventer mest effekt av lukkede anlegg er denne omtalt nedenfor. Øvrige parasitter er omtalt Vedlegg 2.

7.3.1 Lakselus – *Lepeophtheirus salmonis*

Lakselusa er et krepsdyr i familien Caligidae som bare infiserer laksefisk. En grei oversikt over lakselusbiologi finnes i Heuch & Schram (1999). Dessuten har både Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet egne sider om lakselus. Hos Veterinærinstituttet finner man også Lakselusveilederen som gir en detaljert beskrivelse av lakselusbekjempelse. Lusen er avhengig av en vert for å fullføre sin livssyklus som har 10 stadier atskilt med skallskifte. Det første naupliusstadiet klekker fra eggstrengene til voksne hunner og er ca 0,5 mm langt. Det er dette stadiet som må fanges opp dersom man ønsker å hindre smitte av lakselus ut av et anlegg. Copepoditten (ca. 0,7 mm) er det infektive stadiet som må stenges ute (sammen med eventuelle nauplier) dersom man vil hindre smitte inn i anlegget. Etter påslag av copepoditter følger de fire fastsittende chalimusstadiene etterfulgt av de bevegelige preadulte og voksne stadiene. En voksen hunn blir befruktet én gang og kan deretter produsere eggstrenger resten av livet. Eggproduksjonen er sterkt avhengig av temperatur; ved 12 °C kan en hunn produsere 10 par eggstrenger før en hunn som har vokst opp ved 7 °C produserer sitt første par. Dette betyr at temperatur er en meget viktig faktor for det totale smittepresset av lus, men i dag blir bare antall lus per fisk brukt for å vurdere behovet for avlusing.

Copepodittene lever i ca. 10 dager ved 12 °C og har en atferd som antakelig øker sannsynligheten for å infisere verten. Om dagen tiltrekkes de av lys og befinner seg i de øvre vannlag, mens de er mer spredt i vannsøylen om natten. Copepodittene vil også unnvike vann med lavere saltholdighet enn 20 ‰. Man antar at det under 10 meter finnes lite luselarver, og det vil dermed være fornuftig med vanninntak under dette nivået for å begrense påslag dersom vannet inn i anlegget ikke filtreres. Det er viktig å understreke at dette ikke vil være en absolutt forsikring mot inntak av lus i anlegget. Håndteringen av lakselus i oppdrettsanlegg reguleres i dag av ”Forskrift om bekjempelse av lus i akvakulturanlegg” (luseforskriften) som nå er under revisjon. Forskriften fastslår grenseverdier for behandling mot lus og gir en detaljert beskrivelse av rapporteringsplikten det enkelte anlegg har i forbindelse med lakselustellinger og behandlinger. Avlusning av hele anlegget skal gjennomføres dersom det i perioden 1. januar til 31. august påvises mer enn 0,5 voksne hunnlus, alternativt mer enn 3 bevegelige lus i gjennomsnitt per fisk. I perioden 1. september til 31. desember er grensene hhv 1 voksen hunnlus eller fem bevegelige i gjennomsnitt per fisk. Forskriften tar ikke høyde for det totale antall lus i et anlegg eller i en region. I tillegg til luseforskriften finnes det nå spesifikke soneforskrifter for Bjørnefjorden, Hardangerfjorden og Sunnhordland samt Nord- Trøndelag og Osen som gir mer detaljerte pålegg om behandling innen sonene. Lakselus i anlegg behandles i dag med rensefisk og kjemikalier. Lenge var badmidler basert på pyretroider (Alpha Max, Betamax og Excis) samt fôrmiddelet Slice (emamectin benzoat) foretrukket. Grunnet resistens hos lakselusen og dermed nedsatt effekt av disse midlene, har man nå også begynt å bruke hydrogenperoksid (H_2O_2), kitinsyntesehemmerne Releeze og Ektobann (hhv diflubenzuron og teflubenzuron) samt igjen tatt i bruk gamle midler basert på organofosfater (Salmosan). Resistensutviklingen er bekymringsfull, og det er et delmål i alle ”luseforskriftene” å hindre videre spredning av resistent lus. I dag har vi ingen koordinert innsamling av resistensdata som gjør oss i stand til å overvåke utviklingen på en tilfredsstillende måte.

8 Muligheter for desinfeksjon av vann til/fra oppdrett i sjø

Dersom man ønsker å ”lukke” oppdrettsanlegg for utslipp av fiskepatogener, vil det være mest naturlig å forsøke å begrense smitte inn i anlegget helt eller delvis. Dette vil kreve mindre tekniske installasjoner, og forhåpentligvis bidra til reduksjon i risiko for utbrudd av sykdom i anlegget med påfølgende oppformering og utslipp av smittestoff. Det er flere mulige kilder til smitte inn i et anlegg og vann er bare en av disse. En

kan derfor vanskelig tenke seg en komplett lukking i forhold til smittestoff. Man kan se for seg tre nivå av behandling av inntaksvann som vil bidra til senket smittepress:

1) **Inntak av vann fra dypere lag.** Dette vil sannsynligvis bidra til senket smittepress både av lakselus og andre sykdomsfremkallende organismer som man antar anrikes i overflaten. Imidlertid kan man risikere en endring i sykdombildet fordi det mikrobielle miljøet i anlegget blir annerledes. Senket vanninntak vil på ingen måte være en garanti for å unngå sykdom.
2) **Filtrering av inntaksvann.** Lakseluslarvene er 0,5 - 0,7 mm lange, og en slik partikkel er det mulig å filtrere bort med dagens teknologi. IPN-virus derimot er ca 60 nanometer i diameter, og vanlig filtreringsteknologi vil ikke kunne fjerne slike organismer.
3) **Desinfeksjon av inntaksvann.** Den mest aktuelle teknologien er UV, men det vil være vanskelig å garantere inaktivering av UV-resistente organismer som IPN-virus. Andre alternativer er klor eller ozon behandling som begge vil være mer kompliserte å bruke enn UV i sjøvann.

Sikkerheten vil selvsagt bli bedre dersom man også behandler utslippsvannet etter punkt 2 eller 3. Imidlertid vil bare grovfiltrering og fjerning av avføring og fôrrester sannsynligvis også bidra til senket smittepress. Det er i dag naturlig nok ingen krav til desinfeksjon av verken inntaks- eller avløpsvann fra merdbaserte anlegg i sjø. Dersom det i et revidert regelverk skulle bli krav om desinfeksjon av inntaksvann til eller avløpsvann fra lukkede anlegg, kan det være naturlig å se på FOR 1997-02-20 nr 192: ”Forskrift om desinfeksjon av inntaksvann til og avløpsvann fra akvakulturrelatert virksomhet”. Denne forskriften regulerer krav til desinfeksjon blant annet for inntaksvann til settefiskanlegg som har vanninntak med oppgang av anadrom fisk eller bruker sjøvannstilsetting. Det stilles de samme krav til utslippsvann fra slakterier og tilvirkningsanlegg. Det er Veterinærinstituttet som foretar godkjenning av desinfeksjonsutstyret.

Kravet er 99,9 % inaktivering av *Aeromonas salmoncida* supsp. *salmonicida* og ILA-virus. Desinfeksjon ved UV-stråling er den mest aktuelle etablerte teknologien for desinfeksjon av sjøvann. Basert på forsøk er krav til UV dose satt til 25 mWs/ cm^2. Denne dosen er imidlertid ikke tilstrekkelig for inaktivering av svært UV-resistente organismer som IPN-virus. Nødvendige UV doser i forhold til PD-virus og vintersårbakterien *Moritella viscosa* er heller ikke fastsatt. UV- desinfeksjon virker ved at strålingen ødelegger mikroorganismenes arvemateriale (DNA og RNA), og det er stor variasjon i mikroorganismenes motstandsdyktighet mot UV-stråler. Mest følsomme er bakterier, mens sopp og bakteriesporer er mer resistente og effekt på parasitter og sopp er lite studert. *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* (furunkulose), *Yersinia ruckeri* (yersiniose) og ulike Vibrio-arter inaktiveres 99,9 % ved UV-doser fra 1,5-5 mWs/cm^2. For fiskepatogene virus er variasjonen i UV-følsomhet stor. ILA-virus, VHS-virus og IHN-virus er svært følsomme for UV-lys og inaktiveres 99,9 % ved doser fra 1-7,5 mWs/cm^2. IPN-virus derimot er i den andre enden av skalaen, og UV-doser fra 100-250 mWs/cm^2 er nødvendig for 99,9 % reduksjon. Dette gjør IPN-viruset til et av de mest UV-resistente virus som finnes. Bakterier har enzym-mekanismer som kan reparere skadene UV-ståling påfører arvestoffet. Disse mekanismene virker både i lys (fotoreaktivering) og mørke (mørkereparasjon). Mange fiskepatogene bakterier har slike enzym og kan dermed få tilbake sin evne til formering etter inaktivering (Husby, 2006). Reparasjonsevnen kan motvirkes ved å øke UV doseringen. Denne informasjonen om UV-behandling er hentet fra Husby (2006) og referansene som der er brukt.

Partikkelnivået i vannet har betydning for effekten av UV-stråling. Bakterier, sopp og virus kan unngå UV-stråler ved å være bundet til partikler og organisk materiale. Ofte forutsetter derfor UV-desinfisering forfiltrering av vannet. Ved UV-desinfisering av utløpsvann fra lukkede anlegg, vil man kunne møte store utfordringer da vannet inneholder større mengder partikler og organisk materiale som vil påvirke desinfiseringseffekten. Desinfisering av inntaksvann vil vanligvis være lettere, men unntakssituasjoner med algeoppblomstring, flomvann og lignende vil sannsynligvis forekomme.

9 Design karakteristika for oppdrettsanlegg i sjø

I Norge drives majoriteten av matfiskproduksjon i åpne oppdrettsanlegg i sjø – dvs merdanlegg. Dette er teknologi som ble først tatt i bruk i Norge på 70-tallet. Notbaserte oppdrettssystemer gir den enkleste formen for drift siden vannutskifting i systemene styres av naturlige strømmer i sjøen. Lukkede anlegg har i liten grad vært benyttet til matfiskproduksjon, og dette skyldes hovedsakelig at de åpne merdsystemene har vært overlegne mht enkelhet i etablering, drift og lønnsomhet. Med bakgrunn i ulike miljøfaktorer, vanligvis kontroll av sykdom og/eller utslipp, har lukkede anlegg blitt mer aktuelt. I perioden fra 1987 til 1992 ble det med finansiering fra Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) gjennomført et 5 årig forskningsprogram kalt ”Lukkede produksjonsanlegg på land og i sjø” (Annon, 1994). Dette FoU-programmet hadde landbaserte anlegg som hovedtema.

Resultatene fra overnevnte forskningsprogram ble presentert i sammenheng med konferansen ”Fish farming technology” som ble holdt i Trondheim 1993. Foredrag og posters fra denne konferansen er utgitt i bokform (Reinertsen m. fl. 1993). En av de store framskritt som kom i sammenheng med overnevnte FoU-program, var etablering av kunnskap om grunnleggende prinsipper for utforming og drift av landbaserte oppdrettsenheter. Teknisk utforming av kar, rørsystemer, vannutskifting etc for å oppnå god vannhydraulikk er beskrevet i tre samlerapporter på temaet (Tvinnereim 1990, 1994, 1997). Rapportene er utformet som brukerrapporter/håndbøker på dette område, og samlet er de det mest fullstendige og detaljerte materialet som finnes på norsk når det gjelder teknisk utforming av lukkede anlegg for laksefisk.

Mye av denne kunnskapen har man benyttet ved modernisering av settefiskanlegg for laks og ørret, og flere smoltanlegg har i dag større oppdrettsenheter i drift enn de karsystemene som var bygget som landbaserte matfiskanlegg tidlig på 1990-tallet. Det er ingen kommersiell produksjon av matfisk av laks i landbaserte system i Norge i dag.

Det er i denne rapporten ikke gitt noen gjennomgang av prinsipper for utforming og drift av landbaserte oppdrettssystemer for produksjon av matfisk.(E. Michael P. Chadwick, 2010) gir i et stort appendiks til deres hovedrapport en oversikt over landbaserte anlegg for matfiskproduksjon i ulike deler av verden. Denne oversikten omtaler ingen som gjelder oppdrett av laks. Som følge av at lukkede, flytende anlegg i sjø har fått større oppmerksomhet, har vi konsentrert beskrivelsene omkring disse.

Oppdrettsanlegg som flyter i sjø, kan inndeles i to hovedkategorier:

1. Åpne merdsystemer
2. Lukkede, flytende anlegg

For å skille mellom hva vi mener med ”åpne” og ”lukkede anlegg”, har vi brukt følgende definisjon:

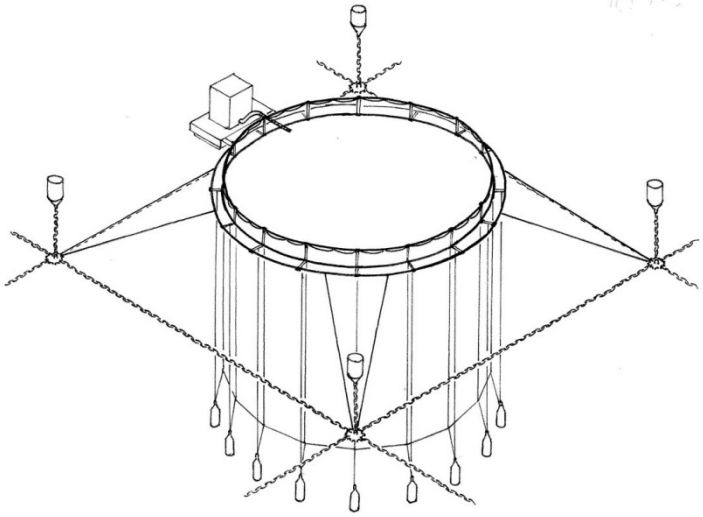
”Et åpent anlegg for oppdrett av fisk i sjø består av en notvegg formet som en pose, der notveggen representerer barrieren mellom oppdrettsvolumet inne i notposen og miljøet omkring. Det er ikke noen styrt vannutskifting i oppdrettsvolumet inne i notposen i form av pumping eller styrt tilførsel av vann, og det er heller ikke noe definert avløp fra notposen. Vannet i notposen skiftes ut som et resultat av naturlige strømmer i sjøvannet omkring notposen.” ”Et lukket anlegg for produksjon av fisk har en tett eller bortimot tett fysisk barriere mellom vannmiljøet der fisken oppholder seg og det omkringliggende miljøet. En slik fysisk barriere kan være en karvegg, en dukvegg e l. Den fysiske barrieren behøver ikke å være helt vanntett – for eksempel kan den bestå av en delvis permeabel tekstilduk .

Utskifting av vann og styring av vannmiljø for å sikre krav til fiskevelferd i et lukket anlegg bestemmes av en styrt vanntilførsel via pumping, mekanisk strømsetting eller lignende. Tilført vann som fordeles i oppdrettsvolumet, gir vannstrøm og vannfordeling i det lukkede anlegget. Vannet ledes ut fra enheten via et definert avløp med barriere for å hindre at fisk går ut dette avløpet (rist/tårnsluk e l). Vanntilførsel kan enten pumpes inn i anlegget, eller det besørges via gravitasjonsfall (”selvfall”) for vann inn i det lukkede anlegget. Etter overnevnte definisjon vil et lukket anlegg måtte ha minst både vegger og bunn for å fylle kriteriene. Et anlegg bestående av en not-merd med ”skjørt” trukket rundt merden, og som går et stykke ned i sjøen langs

notveggen, men er uten bunn annet enn det som utgjøres av notlin, vil være et åpent anlegg. I et slikt anlegg kan det eksempelvis være tilført vann via et innløp, men vannet går ikke ut via et definert avløp. Vannutskiftingen i deler av et slikt anlegg kan skyldes direkte utskifting fra/til omgivelsene f eks i bunnseksjonen av anlegget. Det er derfor ikke noen egentlig barriere mellom omgivelsene og selve oppdrettsvolumet i anlegget.

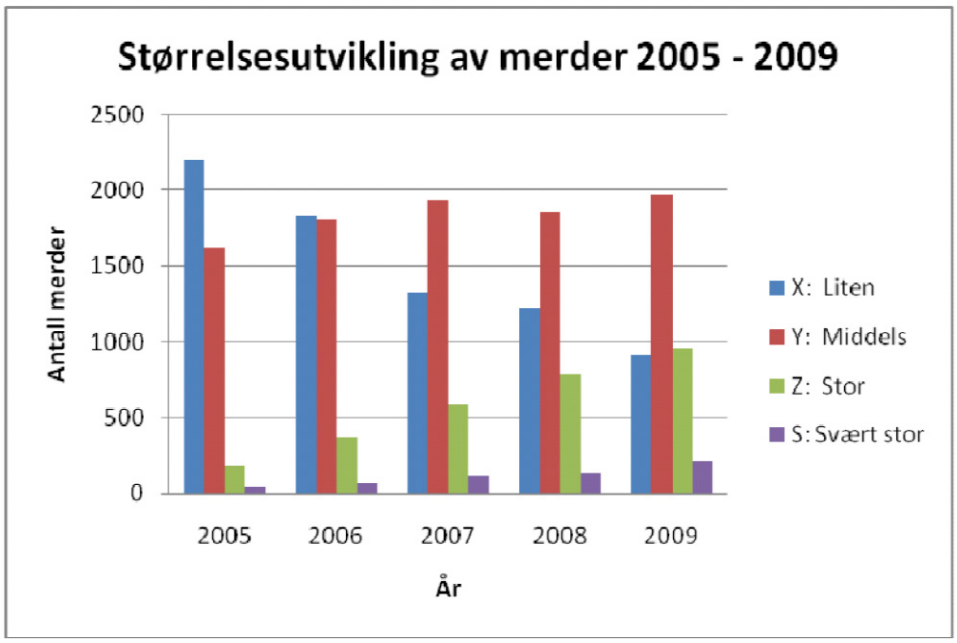
9.1 Åpne anlegg (merdanlegg)

De mest anvendte oppdrettsanlegg i Norge kalles gravitasjonsutspilte merdsystemer. I disse merdsystemer er det flyteelement og vekter som sørger for å holde notposen utspilt og motvirke strøm og bølgekrefter, samt opprettholde volum i nota. Flyteelementet ligger i sjøoverflaten, og vekter som sørger for utspiling/strekk (nedlodding) er festet i nedkant av notposen. Systemet for nedlodding skal være dypere enn notposen. Dette motvirker gnag mellom lodd og not. I figuren nedenfor (figur 5) er det vist et vanlig oppsett av en merd med flytekrage, notpose og system for nedlodding. Hovedkomponenter i gravitasjonsutspilte merdsystemer er flytekrage, flåte, lekter, not og fortøyning. Det er i hovedsak to kategorier av flytekrager som benyttes - sirkulære plastringer eller firkantede og hengslede stålanlegg. I tillegg finnes det andre varianter av stålanlegg, for eksempel med horisontale stålrør og andre løsninger. Størrelsen på gravitasjonsutspilte merder kan variere fra små merder med volum på 8 000 m^3 til de største merdene med volum på nært 60 000 m^3 (se figur 5 og tabell 4).



Figur 5
Gravitasjonsutspilte merdsystemer (anlegg til venstre er fra Aqualine og skisse til høyre er fra SINTEF fiskeri og havbruk).

Det er en klar trend at merder med sirkulær form blir større. De senere årene har merder som settes ut hatt omkrets i området 120 -160 m (se figur 6 og tabell 4).



Figur 6
Utviklingen av oppdrettsvolum per merdenhet for laks og regnbueørret fra 2005 til 2009. Figuren er hentet fra rapporten "For stor merd eller for mange fisk" utgitt av Mattilsynet og Fiskeridirektoratet[12.]

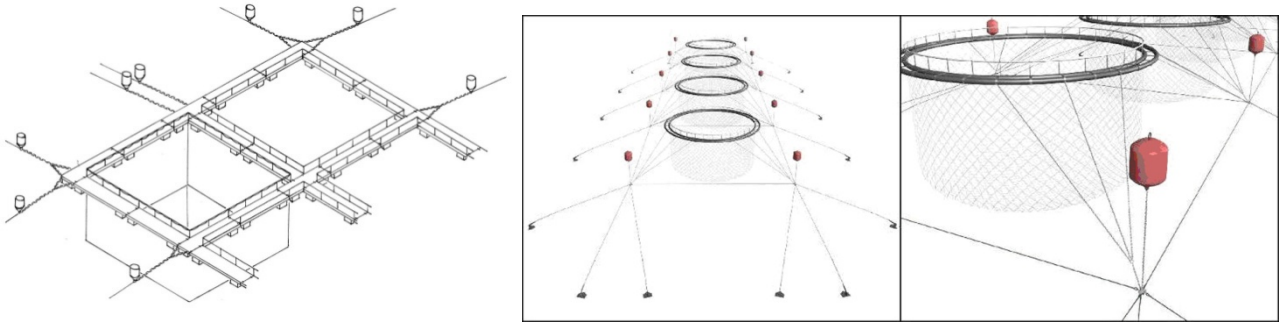
Tabell 4
Beskrivelser av merdstørrelser (X, Y, Z, S) som er angitt i figur 6.

Betegnelse	Størrelse	Eksempler på merdstørrelser
X: Liten	Opp til 8 999 m^3	O=60m og 20 - 30m dyp repr. merdvolum fra 5 700 til 8 600 m^3
Y: Middels	Mellom 9 000 og 19 499 m^3	O=60m og 35m dyp repr. 10 000 m^3. O=90m og 30m dyp repr. 19 300 m^3.
Z: Stor	Mellom 19 500 og 38 999 m3	O=120m og 20m dyp repr. 22 900 m^3. O=157m og 20m dyp repr. 39 300 m^3.
S: Svært stor	Over 39 000 m^3	O=120m og 35 m dyp repr. 49 100 m^3. O=157m og 30m dyp repr. 58 900 m^3.

9.1.1 Forankringssystemer

Merdanlegg med flyteringer av plast forankres på andre måter enn stålanlegg med firkantede bur. For hengslede stålanlegg kan man koble forankringsliner direkte inn i flytekragen. Denne har nok egen oppdrift og horisontal integritet og stivhet til å ta opp forankringskreftene direkte. En sirkelformet plastring har liten horisontal stivhet, er ikke integrert sammen med andre ringer, og krever et forankringssystem som bidrar til horisontal stivhet av systemet. Forenklet kan man si at for et stålanlegg tas kreftene opp i flytekragen, men for plastringer kobles plastringene inn i et forankringssystem. Forankring av stålanlegg og plastringer er vist i figur 7.

[12] http://tinyurl.com/6xngdty



Figur 7
Forankring av hengslet stålanlegg til venstre og forankring av sirkulære plastmerder til høyre (Ill. SINTEF Fiskeri og havbruk)

På grunn av NYTEK-forskriften og krav i NS 9415 har dimensjonene på forankringsliner og komponenter i stor grad økt de siste årene. Også trenden med større anlegg og at anlegg ligger på mere eksponerte lokaliteter har bidratt til dette. Krav i NS 9415 har også medført mindre bruk av knyting av tau og i større grad bruk av kjetting, sjakler og kauser. Andre krav i NS 9415 som har hatt betydning er krav om at en ankerline skal kunne ryke uten at det skal medføre rømming og sterkere krav til dimensjonering av koblingspunkt i hjørnene på systemforankring til plastringer. Dette har blant annet medført at enkelte produkter har blitt fjernet fra markedet da de ikke tilfredsstiller kravene. I forbindelse med revidert NS 9415 har kravene til redundans og koblingspunkt blitt styrket.

9.1.2 Bruk av bunnring

Siden 2004 har det blitt mer og mer vanlig å bruke bunnring i merdene. Det har også skjedd en viss utvikling av selve bunnringen med blant annet økning i vekten i denne. Bunnringen holdes på plass ved hjelp av kjetting. Gnag mellom kjetting og notposen har ført til flere rømminger de siste årene. Det arbeides med nye typer innfestinger og med ny design som hindrer kontakt mellom kjetting og not.

9.1.3 Flytekrage i plast

Plastmerder er produsert i High Density Polyethylen (HDPE). En sirkulær plastring produseres ved å sveise sammen rette plastrør som så tvinges til en ring. Klammer brukes til å holde sammen to eller flere ringer. De forskjellige leverandørene av plastmerder tilbyr i stor grad like konstruksjoner. Hovedforskjellen er om klammene for å holde sammen ringene er laget i stål eller plast. I hovedsak har utviklingen av plastmerder på sjø de siste årene stort sett vært i form av økte størrelser på anleggene og økende dimensjoner i rørtykkelse. Økende tykkelse på rør har i stor grad bakgrunn i krav satt i NS 9415 og bruk av mere eksponerte lokaliteter.

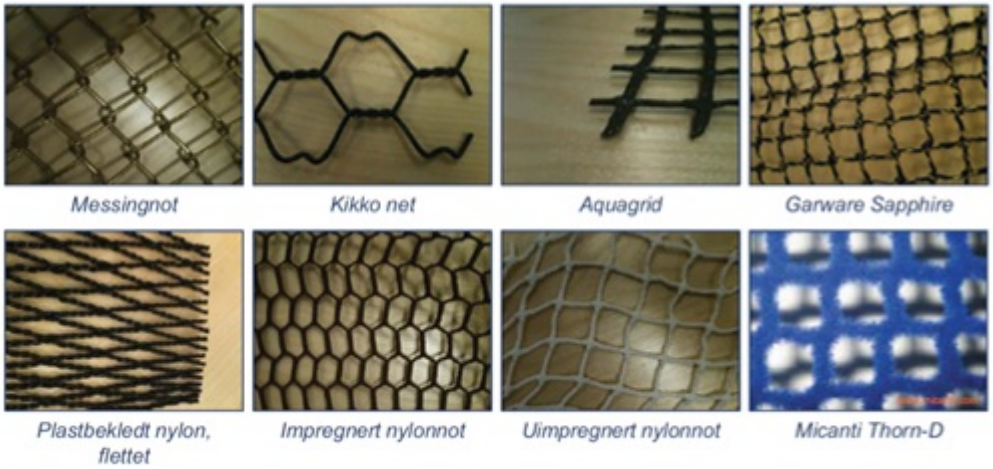
9.1.4 Flytekrager i stål

Flytekrager i stål finnes i fire hovedutforminger; brygge element som er hengslet sammen (hengslede stålanlegg), røranlegg som er horisontale stålrør som er sveiset sammen til en firkantet ramme, katamaran-anlegg som er lange stålpongtonger som er hengslet sammen og helt stive stålkonstruksjoner som f.eks. fagverk. Hengslede stålanlegg er den vanligste typen og spesielt på Sør- Vestlandet er dette en vanlig anleggstype. Av flere grunner har salg av stålanlegg blitt redusert de siste årene, og også i sørlige deler av Norge selges det nå i større grad plastmerder. Sertifisering av stålanlegg i henhold til NS 9415 er mye mer omfattende og kostbart for et stålanlegg og dette kan ha medført et teknologiskift fra stål til plast. I tillegg har plastanlegg en fordel fremfor stålanlegg på lokaliteter med mye bølger og også etterspørselen etter store anlegg med omkrets på 160 meter ser ut til å favorisere plastmerder fremfor stålmerder på grunn av tekniske utfordringer med stålanlegg når hoveddimensjonene øker. Men det er fremdeles mange stålanlegg i bruk.

9.1.5 Nøter og ringer

Hoveddesignet for nøter har i liten grad endret seg på mange år. Det er i all hovedsak nøter produsert i nylon som benyttes. På grunn av krav i NS 9415 har dimensjoner på notlin og rammetau økt, og antall ramme- og krysstau har økt. Det har også blitt satt strenger krav til testing og kontroll av nøter. Kravene i NS 9415 for dimensjonering av nøter er stort sett basert på erfaring og empirisk kunnskap i form av tabeller med krav til styrke i forhold til størrelse og dybde på not. De siste årene har det i økende grad vært tatt i bruk større og dypere nøter hvor man har lite eksiterende erfaring. Dette har gitt utfordringer for dimensjonering av disse nøtene. Det er i NS 9415 skissert en metodikk for dimensjonering av slike nøter, men denne er nok i liten grad verifisert. Det er de siste årene presentert en rekke nye notmaterialer, basert på notlignende konstruksjoner som gjerne er hentet fra andre bransjer som geostabiliseringsduk, sprengningsmatter, gjerdematerialer osv, som kan erstatte konvensjonelle nylonnøter på kort eller lengre sikt (se figur 8). Massive tråder i plast eller metall vil kunne danne stivere og sterkere nøter som er mer motstandsdyktige mot den belastningen de blir utsatt for i sjøen og kan tilby lengre levetid med færre feil og skader. Mindre påslag av groe, bedre gjennomstrømning av vann, lettere vask og desinfisering er andre mulige egenskaper som trekkes frem som fordeler.

Hovedutfordringen for å ta i bruk nye notmaterialer er at de i varierende grad er stivere enn nylon og ikke uten videre kan benyttes i eksisterende notkonstruksjoner. Disse materialene og nøtene er ikke tilpasset de drifts- og operasjonsrutiner som i dag er vanlig, slik som f.eks. mulighet til å trenge fisk, heving av not i forbindelse med avlusning, skifte not osv. Det gjenstår en god del utprøving og utvikling før en kan forvente en sikker overgang til andre materialer og notkonstruksjoner. De erfaringsbaserte og empiriske kravene til notdimensjonering i NS 9415 og mangel på gode teste- og analysemetoder for disse nye notmaterialene kan nok også virke bremsende på denne utviklingen.



Figur 8
Ulike typer notmaterialer. Bildet til høyre nede er eksempel på begroings selvrensende belegg på notlin.

10 Beskrivelse av konsepter for flytende lukkede anlegg

I samråd med FHL ble det i dette forprosjektet gjort en avgrensing av type teknologi for lukkede systemer til først og fremst å gjelde for lukkede anlegg i sjø – dvs flytende lukkede anlegg. Dette innebærer at det her ikke er gitt noen detaljert beskrivelse av landbaserte anlegg for oppdrett av laks i sjøvann. I et appendix til rapporten "Evaluation of closed-containment technologies for saltwater salmon aquaculture" (Chadwick, et al 2010) er det gitt en gjennomgang av tidligere og nåværende lukkede anlegg som har vært eller er i drift. I alt 42 anlegg/prosjekter for oppdrett av både laks og andre fiskearter er omtalt. De største av de aktørene som er i drift i dag er:

- Blue Ridge Aquaculture Inc. USA (produksjon av tilapia til det lokale markedet)

- Landbaserte anlegg på Island (flere aktører, produksjon av hovedsakelig røye)
- Landbasert anlegg i USA (lokasjon ikke oppgitt, produksjon av hybrid striped bass).

I tillegg er det i den siste tiden fremkommet informasjon om store landbaserte anlegg for laks i Kina, og anlegg under planlegging i Danmark[13] Den store majoriteten av landbaserte anlegg for oppdrett av fisk produserer ferskvannsfisk. Disse anleggene omfattes ikke i denne sammenheng, siden denne rapporten tar for seg oppdrett i sjøvann. Settefiskanlegg for laks og ørret bruker i noen grad sjøvann for oppdrett av smolt i kortere perioder til smolten settes ut i sjøen. Vi har heller ikke inkludert denne typen anlegg i beskrivelsen her. Ingen av de landbaserte anleggene som opprinnelig ble bygget for oppdrett av laks og ørret i sjøvann, er i dag i drift til dette formålet. Dette gjelder både i Norge og andre land. Flere av de aktørene som er nevnt i rapporten til (Chadwick, et al 2010) har gått fra saltvann til brakkvann eller ferskvann i produksjonen. Dette gjelder bl a for de landbaserte anleggene på Island der man har gått fra oppdrett av laks på 90-tallet til hovedsakelig oppdrett av røye i dag. Lukkede oppdrettsanlegg for oppdrett med sjøvann kan inndeles i følgende hovedkategorier:

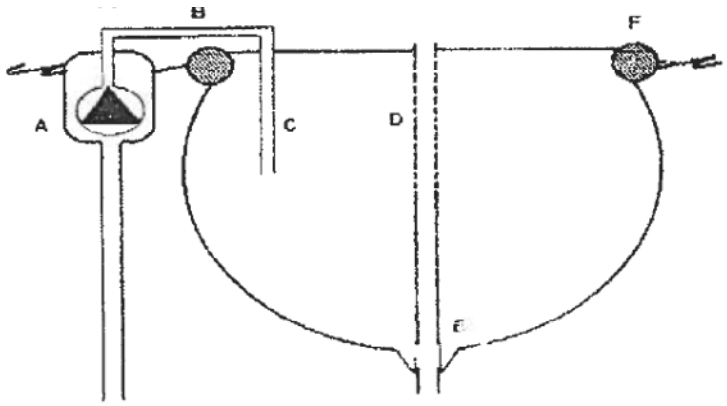
1. Landbaserte anlegg med oppdrettskar
   - Ulike kar design og karstørrelse
   - Etableringskriterier på land (vanntilgang, avløp, tomteareal)
   - Resirkuleringsdesign og dimensjoneringsgrunnlag
2. Lukkede anlegg som er nedsenket i sjø
   - Lukkede, fleksible poseanlegg
   - Lukkede, stive anlegg (Plast og betong)
   - Lukkede anlegg basert på rørteknologi

Lukkede anlegg i sjø betegnes gjerne som ”lukkede, flytende anlegg” siden dette er den mest kjente formen. Det kan imidlertid også være anlegg som er bygget slik at de er forankret/står på fast grunn, men er senket i sjø slik at vannspeilet i de lukkede enhetene er nesten eller i samme nivå som vannspeilet i sjø. Vi har sett forslag til utforming av slike anlegg, men har ingen åpen dokumentasjon av slike.

10.1 Lukkede poseanlegg

Denne typen lukkede flytende anlegg har vært prøvd ut i flere utgaver. En av de første ble prøvd ut ved forsøksstasjonen til Matre Havbruksstasjon fra 1988. Forsøkene var knyttet til bl a muligheter for å øke tilvekst hos laks om vinteren ved å bruke varmere dypvann. Resultatene viste normal vekst hos laks ift temperatur i de lukkede posene, og systemet ble omtalt som lovende (Sølsnes og Hansen, 1992; Hansen 1992).

[13] http://www.kyst.no/index.php?page_id=59&article_id=92665
http://www.kyst.no/index.php?page_id=59&article_id=92690



Figur 9
Prinsippskisse for lukket, flytende poseanlegg som ble testet ut i Flekkefjord. A = pumpeanlegg, B = tilførselsrør for innløpsvann, C = sprederør i posevolumet, D = stående, perforert rør ("tårnsluk"), E = luke for dødfisk i bunnen av posen, F = Flytepontong. Fra Bodvin og Ulgenes (1994).

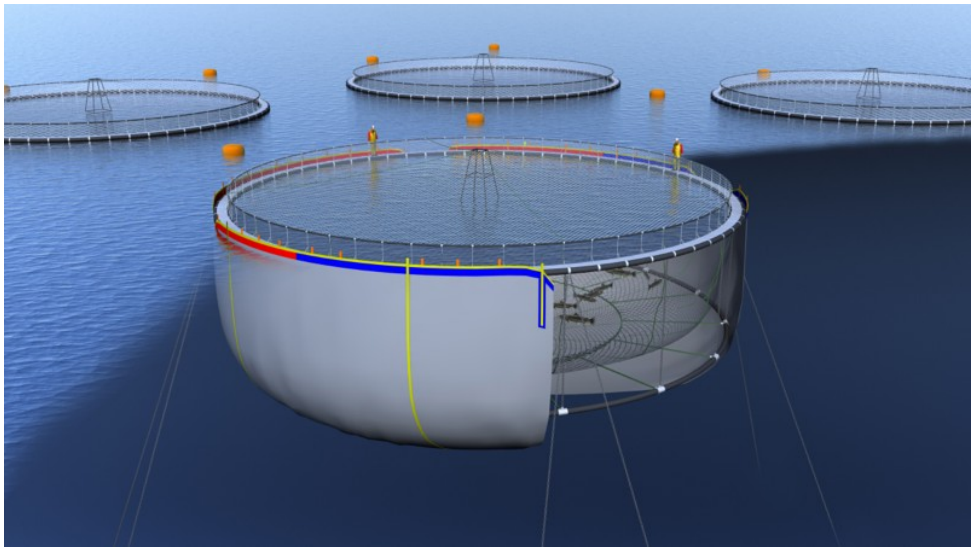
Et tilsvarende system ble på begynnelsen av 1990-tallet prøvd ut ved Støytland Fisk i Flekkefjord (figur 9). Lukkede poser ble montert i et Viking stålanlegg med 12x12 m bur. Poser med diameter 10,7 m og volum 475 m3 ble montert på en ring av flytepontonger som var festet til posen i overflaten. I overflaten og inntil posen lå en pumpestasjon med dykkpumper som hentet vann fra ca 90 meters dyp via en inntaksledning (Skaar et al, 1994). Anlegget var i drift over en periode på ca. 4 år og ble benyttet for utsetting av smolt og produksjon over 6 – 11 mnd i posene før fisken ble satt ut i åpne merder og fôret fram til slakt. Grunnen til at denne teknologien ble benyttet ved Støytland Fisk var å unngå giftige alger som hadde gitt dramatisk dødelighet i perioden 1988 – 90. En oppskalering av denne poseteknologien ble prøvd i Arendal- området ca 1995. I dette anlegget ble samme type anlegg som skissert i figur 9 bygd med poser på ca 1000 m3 hver. Etter ganske kort tid fikk man materialsvikt i anlegget ved at duken revnet fra flyterne og det oppstod havari. Siden da har ikke denne typen anlegg vært benyttet i kommersiell sammenheng i Norge (T. Bodvin – pers medd.). Ved en av Marine Harvests oppdrettslokaliteter i Canada er det fra 2002 gjennomført en utprøving av et lignende konsept basert på "presenning-poser" som det man hadde i Flekkefjord på 1990-tallet. Systemet ble levert og installert av utstyrsleverandøren Future Sea Inc. Dette selskapet har levert og prøvd ut anlegg av denne typen flere steder i verden (British Colombia, New Brunswick, Tasmania) og forsøkene har vært gjennomført både i saltvann og ferskvann (Chadwick et al, 2010). I sammenheng med forsøkene gjennomført hos Marine Harvest er det publisert en oppsummerende rapport som beskriver resultater og erfaringer (Hatfield Consultants 2002). Konklusjonene fra dette forsøket kan kort oppsummeres slik:

- Tilvekst, overlevelse og fôrfaktor for produksjon av laks var sammenlignbare mellom poseanlegget og det åpne merdsystemet
- Det var en del tekniske utfordringer med å drive det lukkede poseanlegget – blant annet var det et problem å tilføre nok oksygen
- Begroing på poseanlegget i form av fastsittende alger og dyr var et betydelig problem, og det var tidkrevende å fjerne slik begroing
- Totalt sett var det dyrere å produsere i lukkede poser enn i åpne merdsystem – de største forskjellene lå i oksygenkostnader, driftskostnader og nedskriving

I Norge har vi pr i dag forsøk i gang med lukkede poseanlegg i sjø. Et slikt forsøksopplegg er knyttet til et EU-prosjekt i regi av Plasts SveisAS med partnere. Vi har vært i kontakt med koordinator Trond Johannesen for informasjon om prosjektet. Et anleggskonsept med et lukket fleksibelt system med polymerduk og not, har blitt utviklet og testet gjennom EU finansiering fra 7.Rammeprogram, ordningen med forskning for

SMB'er[14]. (se http://www.closedfishcage.com/Project-Description). Prosjektet har fått navn Closed Fish Cage. Et pilotanlegg har stått i sjøen på Havbruksenteret på Toft, Brønnøysund i et og et halvt år, men er nå demontert. Konseptet er testet ut i liten skala med notpose på 500m^3, vanninntak på 60 meter og 50 stk atlantisk laks. Laksen har stått i posen fra smoltstørrelse til ca 5 kg og man har oppnådd normal tilvekst. Det er ikke tilsatt ekstra oksygen eller benyttet lystilsetting i produksjonen. I følge Johannsen har man ikke har hatt tekniske uhell med anlegget, men man gjennom uttesting fant ut at avløpet var for lite dimensjonert for å oppnå ønsket vannstrøm i posen. Man påviste ingen temperatur- eller vekst gevinst ved å ta opp vann fra 60 meter sammenlignet med åpen merd på samme lokalitet. Derimot fikk man ikke lusepåslag i perioden i den lukkede posen, der de åpne merdene på samme lokalitet fikk lusepåslag. I følge Johannesen skal konseptet nå videreutvikles i samarbeid med Gildeskål Forskningsstasjon AS. Selskapet er tildelt en 5 årig FoU konsesjon som vil benyttes i forbindelse med forskning og utvikling av konseptet. Man forventer et ferdig dokumentert kommersielt produkt i løpet av 2013-2014.

Selskapet Botngaard AS som bl a lager dukløsninger til avlusing i notposer, har foreslått et nytt konsept for oppdrett i poser (figur 10). I det flytende, lukkede anlegget plasseres en vanlig oppdrettsmerd inne i en pose av tekstilduk der denne duken fungerer som barriere mellom omkringliggende miljø og oppdrettsvolumet i nota. For å hindre gnag mellom tekstilduk og notpose, må det være en viss avstand mellom duk og notlinet i merden. Vannutskifting inne i det lukkede anlegget skal besørges gjennom pumping av vann fra dypere vannlag enn selve posen. Et forsøksanlegg med denne typen løsning er planlagt og skal testes i et anlegg ved Smøla.



Figur 10
llustrasjon av lukket anlegg med notpose plassert inne i en pose av tekstil. Illustrasjonen er hentet fra beskrivelse av prinsipp for avlusing med poser. Indikasjon av pumpers plassering for vanntilførsel mangler på figuren.

[14] **Partnere:** Plast-sveis AS, Buraschi Italia srl, Studsgaard AS, SEAFARM SYSTEMS APS, Cultivos Marinos del Marisme SA, Fjord Marine Holding, Seawork Ltd, Polytechnika Gdanska (GUT), Tecnologías Avanzadas Inspiralia SL (ITAv), Teknologisk Institutt (TI)

Selskapet Aquaculture Innovation i Brønnøysund har utarbeidet beskrivelse av et poseanlegg der en spesialdesignet tekstilduk plasseres inne i en notpose (merd). Vann tilføres via pumping fra dypvann. Oppsamling av avfall og dødfisk er mulig som for andre poseanlegg. Av hensyn til patentsøknad for konseptet, har vi ikke fått mer informasjon fra dem som står bak konseptet og er henvist til en kort omtale i IntraFish 30. august 2011.

10.2 Lukkede anlegg med stive vegger.

Slike anlegg kan man egentlig kalle nedsenkede kar, raceways eller annet avhengig av designet på de lukkede enhetene som benyttes. En tidlig versjon av nedsenkede raceways ble presentert av Christie (1987). Utprøvinger av systemet i pilotskala viste lovende resultater, bl a ved at fisken vokste bedre enn kontrollfisk som ble holdt i merd. Systemet var også i drift en kort periode i et kommersielt anlegg, men pg flere tekniske feil – bl a manglende selvrensing i det storskala systemet – ble det tatt ut av bruk.

10.2.1 Agrimarine Inc.

Det er i den senere tid presentert flere initiativ med bruk av nedsenkede kar som alternativ til flytende, lukkede poseanlegg. Selskapet Agrimarine Inc.med hovedkontor i Canada har installert lukkede kar på flere lokaliteter i Canada og Kina. Systemet består av sirkulære kar støpt i plastmateriale (GUP) med størrelse i området 3000 – 5500 m^3 pr kar. Større kar med volum opp til 10 000 m^3 er planlagt. I prinsippet er det en pumpestasjon for hver karenhet lignende det man hadde for lukkede poser, og karenhetene har sentralt avløp som i en konvensjonelt oppdrettskar på land. Bildet nedenfor er fra presentasjonsmateriell som er lagt ut på web ifm montering av lukkede kar ved Middle bay i Canada februar 2011.

Figur 11
Montering av flytende anlegg ved Middle Bay i Canada.Til venstre: Oppdrettskar med volum 3000 m3 før det senkes i sjø. Til høyre: Nedsenket kar.

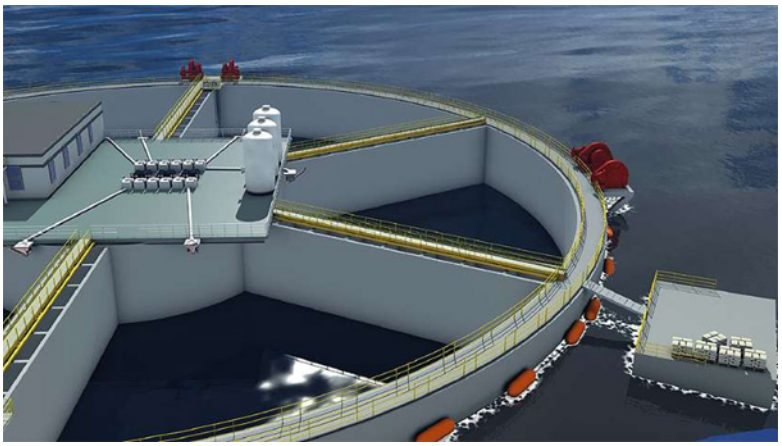
Tilsvarende karsystem er montert både i sjøvann (Canada) og i ferskvann (Kina). I følge oversikten gitt av Chadwick et al. (2010) er det ennå ikke noen oversikt over resultater og erfaringer fra produksjon av fisk i dette oppdrettskonseptet. Det er nå ifølge nyhet presentert på Intrafish 13. mai 2011 også opprettet en norsk avdeling av Agrimarine hvor det er planlagt å etablere et demonstrasjonsprosjekt i Norge med lukket anlegg av den typen selskapet utvikler.

10.2.2 "Fisk i betong" – drTechn Olav Olsen og Marine Harvest

Et tilsvarende konsept basert på flytende karenheter laget i betong ble presentert i planform på et seminar arrangert av Tekna 20. oktober 2010 i Stavanger. Her presenterte Olav Weider fra ingeniørselskapet Dr.Techn Olav Olsen et foreslått konsept for lakseoppdrett basert på flytende betongkonstruksjoner og med

faglig kompetansebakgrunn bl a i offshore oljeteknologi i Nordsjøen (Weider, 2010). Systemet tenkes bygget som store oppdrettskar som flyter i sjøen og har vanntilførsel via nedsenkbare pumper. Oppsamling av avfall (fôrspill, ekskremeter og dødfisk) foreslås løst i prinsippet på samme måte som for andre lukkede systemer.

Det fremheves at betong har mange positive egenskaper for anvendelse i marint miljø: robust, vedlikeholdsfri, stabile og tunge konstruksjoner etc. Anlegg i betong krever imidlertid mye oppdrift, og kvaliteten av selve betongen må velges ut fra den konkrete anvendelsen. Eksempelvis kan variasjoner mht vannkvalitet inne i en oppdrettsenhet (f eks høyt CO_2-innhold), påvirke betongen gjennom lavere pH i sjøvannet.

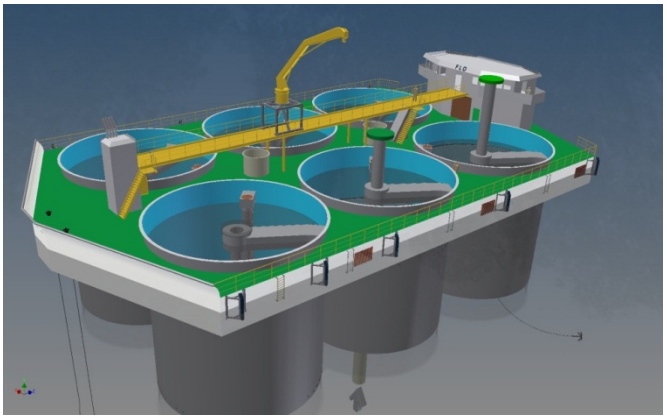


Figur 12
Figur 12 er hentet fra omtale av konseptet i bransjetidsskriftet "Betongindustrien". Systemet er ennå ikke bygget og utprøvd i praksis.

En vurdering innhentet fra SINTEF Byggforsk sier følgende om utfordringer ved betong som byggemateriale for oppdrettsanlegg; - Miljøaspektet ved bruk av lukkede anlegg bør gjenspeiles også i materialvalget. Det vil si lavutslippsbetong, lokale materialer og lokal produksjon (lite transportbehov). Da blir alternative bindemidler aktuelt og her vet vi foreløpig lite om bestandigheten. Lokal produksjon med lokale materialer er utfordrende når det gjelder betong med kvalitetskrav på dette nivået. Produksjonsteknikk (lokal betong og lokal støping) er derfor et tema for videre utvikling. Det kan også være aktuelt å redusere vekt ved å benytte tynne vegger. Dette gir utfordringer både for dimensjonering og materialvalg (svært tett betong, rustfri armering osv). Bruk av lettbetong kan også være et alternativ. Det må foretas en vurdering av hvilke krefter slike anlegg vil bli utsatt for og det dimensjoneres ut fra dette. Betongens pH i yttersjiktet vil reduseres pga kjemiske prosesser, i tillegg vil det raskt gro på et lag med kalsiumhydroksid på overflata. Dette bør verifiseres ved utredning/prøving. Bruk av alternative bindemidler kan være bedre/verre, og må utredes. Fra referansegruppen har vi også fått følgende informasjon; I mangel på kommersielle leverandører leide Marine Harvest Norway inn Dr Tech Olav Olsen (konsulentselskap med bred erfaring fra oljeindustriens bruk av betongkonstruksjoner) for å få konstruert, styrkeberegnet og prissatt en betongmerd på 4000 m^3 beregnet på produksjon av postsmolt fra 100 gram til 1 kg hvor inntaksvannet fra fleksibelt dyp skulle filtreres og UV behandles og hvor utløpsvann skulle renses for partikulært materiale. I detaljprosjekteringen ble det også innhentet prisestimater på tilsvarende bygg med utgangspunkt i kompositt. Prosjektet konkluderte med at betong ville falle svært dyrt for merder av denne størrelsen. Kompositt var om lag halve prisen av betong og er mer aktuelt. Et avgjørende punkt for hvilket prisleie konstruksjonen ender opp i, er hvilken bølgehøyde merdenheten skal tåle samt hvilken grad av smittesikring som skal legges til grunn.

10.2.3 Coast Innovation

Gründerne Ola Sveen ved Svanøy Havbruk og Gunnar Stavøstrand i Coast Innovation har utarbeidet et patentsøkt konsept for flytende, lukket anlegg basert på ståltanker som er opphengt i en stiv plattform.

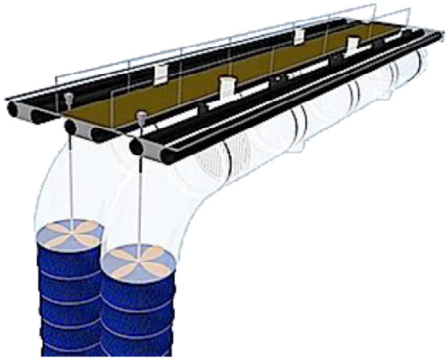


Figur 13
Illustrasjon av Svanøy Havbruk (og partnere) sitt konsept for flytende anlegg basert på ståltanker montert i en flyteplattform.

Anlegget består av 6 tanker i stål i ei stiv ramme. Tankene er 15 meter i diameter og 15 meter dype. To sentrale pumpestasjoner i anlegget forsyner anlegget med vann fra ønsket vanndyp. Fisken kan trenges sammen i anlegget ved at det er en dobbelt bunn som kan heves og senkes. Regulering av vannvolumet på denne måten gjør også at man kan regulere biomassetetthet og regulere vannets oppholdstid i hver tank med varierende vanntilførsel. Avfall fra produksjonen (fôrspill og ekskrementer) samt dødfisk kan pumpes opp til en sideliggende flåte med et liftUP-system. Konseptet er ennå ikke bygget og utprøvd med fisk, men dette vil skje i nær framtid.

10.2.4 Oppdrett av fisk i rør – Preline Fish Farming System AS

Preline er et selskap som over en årrekke har arbeidet med utvikling av en teknologi for oppdrett av marine arter i lukkede omgivelser ved hjelp av store plastrør med styrt vannstrøm via strømsettere plassert inne i rør (impellere) (figur 14).



Figur 14
Skjematisk illustrasjon av oppdrettskonsept basert på nedsenkede rør .

Oppdrettsvolumet i anlegget består av en nedsenket rørlignende konstruksjon som ligger horisontalt i vannflaten. Diameter på rørene kan variere, men foreløpig har produksjonsteknske begrensninger satt grensen for rørdiameter til ca 2,5 meter. Rør med større diameter er nå under planlegging. Vannsirkulasjon i anlegget hentes fra dyp på 20 til 30 meter og pumpes inn i anlegget via saktegående impellere (”strømsettere”) som er plassert i det vertikale inntaksøret. Foreløpige erfaringer med inntak av vann fra 20 – 30 meters dyp viser at man her unngår det aller meste av luselarver, og man får dermed svært lite luspåslag på fisken. Siden vannet på dette dypet har en høyere temperatur enn overflatelaget om vinteren, kan det oppnås fordeler med hensyn til tilvekst i denne årstiden. Om sommeren er forholdet omvendt der vannet i overflaten har høyest temperatur. Et pilotanlegg av Preline’s konsept er kjørt i et prøveprosjekt hos Lingalaks i Tørvikbygd/Hordaland i perioden 2008 til 2010. Dette viste positive resultater med hensyn på fiskevekst og trivsel. (www.preline.no).

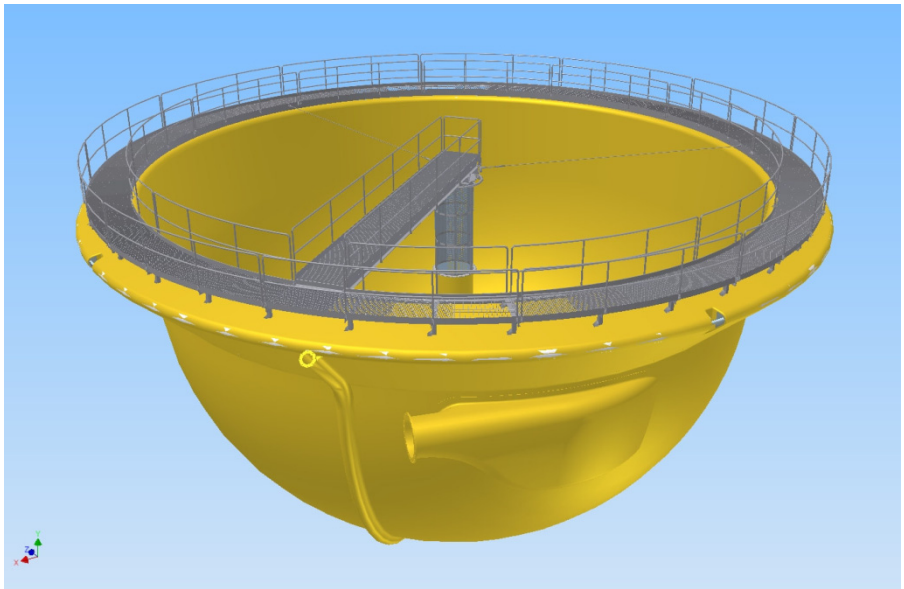
I september 2010 startet Preline samarbeid med Lerøy Vest om prosjektet ”Extended Smolt Farm”. Målet er å utvikle og bygge et anlegg basert på Prelines teknologi som produserer fisk fra smoltstadiet opp til en vekt på mellom 850 og 1000 gram. Det første anlegget – hvor designet vil være klart i 2011, vil ha en kapasitet på ca 2000 kubikkmeter oppdrettsvolum og beregnes å ta en biomasse på mellom 100 og 200 tonn når fisken er klar for flytting (dvs ca 1 kg). Man forventer å kunne kjøre 2 batcher pr år i anlegget med denne produksjonsstrategien. Første produksjon i det planlagte anlegget forventes å være gjennomført i løpet av 2012. (Bjørn Bilberg og Rune Måbø pers. medd.).

10.2.5 Mood Harvest – lukket anlegg i båtskrog.

Selskapet Mood Harvest, stiftet av Fredrik Mood, har som forretningsidé er med utgangspunkt i utrangerte bulkskip, tankskip eller tilsvarende skip som ikke lenger er i drift, å bygge disse om til lukkede oppdrettsanlegg for fisk. Mood Harvest skal også drive de lukkede anleggene. Konseptet kan også tenkes brukt til levendelagring av fisk eller lignende. Utrangerte skip har mye maskinell utrustning som laste- og lossesystemer, generatorer osv som kan anvendes i driften som oppdrettsanlegg. I tillegg har de nødvendig infrastruktur som lugarer, messe, oppholdsrom etc for mannskap. Bruk av skip som lukket anlegg for oppdrett av fisk er tenkt som en internasjonal satsing, og i følge informasjonen lagt ut på web (http://moodharvest.com/) ser de for seg muligheter både i Amerika, Asia og Europa. Mood Harvest har ikke bygget et slikt konsept ennå, men er i følge informasjonen på web i prosess med å skaffe investorer.

10.2.6 EFAF AS - Aquadomen

AquaDomen er et flytende, lukket anlegg formet som en halvkule og er laget av glassfiberarmert plast. Selskapet EFAF AS som ble stiftet i 2006, står bak konseptet.



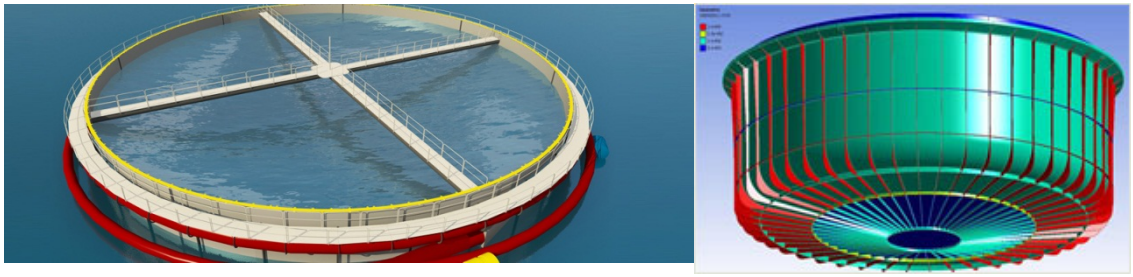
Figur 15A
Illustrasjon av Aquadomen flytende oppdrettsanlegg for laks. Bildet er hentet fra presentasjon laget av EFAF v/Øystein Olav Grenolen.

Flytekragen til AquaDomen er rund med gangbane som for et sirkelrundt merdanlegg. Denne typen anlegg kan derfor plasseres og fortøyes som et konvensjonelt merdanlegg. Første pilotanlegg som ble sjøsatt i september 2010, hadde en diameter på 10 meter og et volum på ca 260 m^3. Anlegg med diameter opp til ca 27 meter og volum på ca 5000 m^3 er planlagt, men ennå ikke bygget. Vanntilførselen til anlegget skjer gjennom et tangentielt innløp gjennom veggen i halvkulen. Ideen bak å designe anlegget som en halvkule, var at bølger og strøm påvirker minst på denne formen. Dette skal blant annet gi mindre belastning på fortøyninger og selve konstruksjonen.

Systemet testes ved EWOS sitt forsøksanlegg i Dirdal med laks som ble satt ut på smoltstadiet høsten 2010. Denne skal gå i anlegget til slaktefisk våren 2012 der man forventer å nå opp i maksimal fisketetthet på ca 80 kg/m3. Erfaringene så langt har vært preget av en del "prototype-vanskeligheter" knyttet til pumping av vann, oksygentilførsel, alarmer etc. Problemene har imidlertid ikke vært av alvorlighet karakter og har vært mulig å reparere innen kort tid. Med unntak av noe dødfisk pga uhell i starten har overlevelse samt tilvekst vært omtrent som for den andre fisken i det åpne merdanlegget. Noe redusert tilvekst kan sannsynligvis tilskrives at det i sammenheng med tekniske utfordringer blir mye trafikk på selve anlegget og dermed mer stress. Det har omtrent ikke vært lus på fisken, men det er funnet lus uten at man har funnet grunn til behandling. Vannet tas fra ca 19 meter, men det er noe sjøskvett over kanten av karet ved bølgepåvirkning. Dette kan ha medvirket til at luselarver har kommet inn i anlegget.

Alle de tekniske erfaringene som er gjort i sammenheng med testingen av prototypen, vil bli tatt inn i revisjon av anleggsdesign for neste byggetrinn, og det er god tillit til at det tekniske lar seg løse (T.A.Giskegjerde, pers komm.)

10.2.7 Aquafarm Equipment AS



Figur 16B
Illustrasjon av ide fra Aquafarm Equipment

Selskapet Aquafarm Equipment AS har designet et flytende, lukket anlegg bygget som et nedsenket kar produsert av glassfiberarmert polyester og forsterket med stål. Anlegget forsynes med vann fra en pumpestasjon som er plassert på en nærliggende serviceflåte som også har fôrlager og fôringssystem. Anlegget er i følge informasjon fra web, bygget for rolige farvann med maksimal signifikant bølgehøyde på 0,6m og strømhastigheter opp til 0,75 m/s. Anlegget er ikke utprøvd med fisk ennå, men planer foreligger om å inngå i en IFU-kontrakt med et oppdrettselskap for å teste ut teknologien. Informasjon om systemet finnes på www.aquafarm.no

10.3 Landbaserte anlegg med gjennomstrømmingsteknologi

Vi kjenner også til at selskapet GRØMI AS er tildelt en 10-årig FoU konsesjon for landbasert matfiskproduksjon på Kråkvåg, Ørland kommune. Det som er kjent fra konseptet beskriver et pilot oppdrettsanlegg med store landbaserte kar med gjennomstrømmingsteknologi, men med tilpasning til etablering på tomt bak dike, under middels flomål. Konseptet ønsker å utnytte den lave tomte koten til å kostnadseffektivt flytte store vannmengder gjennom oppdrettsanlegget. Diket vil kunne tjene som dobbel rømmingssikring. Anlegget planlegges bygget i 2012.

10.4 Landbaserte anlegg med RAS teknologi

Benevnelsen «lukkede» anlegg er til en viss grad misvisende i den sammenhengen det som oftest omtales i. Lukkede anlegg i sjø, slik konseptet fremstilles i dag, er egentlig poser, kar eller raceways med gjennomstrømming, som er satt i sjøen. Vannet benyttes bare en gang og systemet er slikt sett ikke lukket. Det er kun anlegg med full resirkulering (RAS) inkludert denitrifisering og effektiv slambehandling og -utnyttelse, som nærmer seg en korrekt bruk av ordet "lukket", selv om all matproduksjon i prinsippet vil ha utveksling med det eksterne miljø. Det er ingen prinsipielle hindringer for at også anlegg for matfiskproduksjon av laks i fremtiden kan produseres i RAS. I dette prosjektet er derimot lukkede anlegg i sjø, som har hovedvekt, men vi har valgt å inkludere noe informasjon om landbaserte anlegg. Bakgrunnen for dette er at (1) utviklingen i vannbehandling og alarmsystemer har vært stor siden 80- og 90-tallet, (2) selv om vann må pumpes internt, vil resirkulering kraftig redusere behovet for inntak av vann utenfra, (3) selv om rømming kan forekomme også her, vil landbaserte anlegg gi en ytterligere sikkerhet mot dette,(4) en nøytral vurdering av konsepter med lukkede anlegg bør ikke oppfattes som teknologivridende og (5) det eksisterer allerede i dag RAS konsepter for matfiskproduksjon av laks (se tabell 5).

RAS anlegg er på mange måter store vannbehandlingsfabrikker hvor vannflow er det som driver prosessene ved at den frakter oksygen til fiskekulturen, mottar avfallsstoffer fra fiskekulturen og frakter avfallstoffer fra oppdrettstankene til vannbehandlingsenheten (Summerfelt, 2011). Vannflowen i RAS skifter ut oppdrettsvolumet hvert 15 – 60 min. Vannbehandlingen i RAS kommer i ulike varianter og størrelser men

består gjerne av følgende hovedkomponter; (1) ozonering for fjerning av farge, nedbryting av organisk materiale, flokkulering og fjerning av metaller (2) mekanisk filtrering for fjerning av suspendert stoff, 3) bioreaktor (biofilter) for omdanning av ammoniakk til nitrat, (5) eventuelt denitrifikasjonsfilter for omdanning til nitrogengass, og 6) oksygenering.

På verdensbasis ser det ut til at lukkede landbaserte anlegg med RAS teknologi får økende tillit også som produksjonssystem for laksefisk (Summerfelt, 2011). Det rapporteres om flere prosjektplaner for matfiskproduksjon[15] i RAS med investeringer i størrelsesorden 50 – 100 millioner $ i Nord-Amerika. Produksjonen i RAS forventes å økes til 50.000 ton/år i Nord- Amerika (inkluderer flere arter). Det planlegges minimum ni større prosjekter (1000 – 10 000 tonn/år) for matfiskproduksjon av Atlantisk laks og Coho i RAS, samt flere mindre prosjekter (Summerfelt, 2011). Tabell 5 gir et bilde av dette. Oppdrett av Atlantisk laks (0 – 5 kg) i rent ferskvann hele syklusen i RAS har blitt dokumentert av The Freshwater Institute, USA. Resultatene fra forsøket tyder på at Atlantisk laks tolererer tetthet på 80 kg/m^3 bedre enn regnbueørret (Summerfelt, 2011). Ved konstant vanntemperatur på 13 grader er det mulig å produsere fra plommesekk til 4 kg i løpet av 24 måneder. Dette er omlag 33 % rasker omløpshastighet enn normal produksjon i Norge i tradisjonelle systemer. De rapporterte videre om 95 % overlevelse, fôrfaktor på 1.05, kondisjonsfaktor på 1.7 og VF3faktor på 2.7. Produksjonskostnaden pr kg rapporteres til 3.76$ (HOG) (Brian Vinci in Summerfelt, 2011). På utfordringssiden nevner man tilnærmet 100 % kjønnsmodning av hannfisken og 0 % av hunnfisken (Summerfelt, 2011). Det er et forsknings- og utviklingsbehov for flere sider rundt eventuell RAS-basert matfiskproduksjon av Atlantisk laks. For det første kan det tenkes at en ikke tar potensialet hos fisken fullt ut i slike systemer, fordi en ikke tilstrekkelig kjenner til hvilken vannkvalitet stor laks faktisk bør ha i RAS. Dette gjelder spesielt produksjon av stor laks i RAS under høy veksthastighet, siden mye er ukjent om optimal salinitet, tetthetstoleranser og vannkvalitetskrav. Drift - og investeringskostnader i RAS kan være avhengig av valgt saltholdighet, siden nitrifiseringshastighet og CO_2-fjerningseffektivitet er lavere i sjøvann sammenlignet med ferskvann (Chen et al., 2006, Moran, 2010), mens sjøvann, eventuelt brakkvann, kan tenkes å være optimalt for fisken. Ved bruk av brakkvann kan det oppstå giftige brakkvannsblandinger med metaller, spesielt Al (Bjerknes et al., 2003), så det er viktig å kjenne til de vannkvaliteter som skal brukes. Økt kunnskap om disse faktorene kan bidra til at landbaserte anlegg for laks dimensjoneres og driftes målrettet og derfor bli mer kostnadseffektive.

Tabell 5
Antall landbaserte matfiskanlegg for atlantisk og coho laks (under bygging/planlegging) med RAS teknologi. Kilde Summerfelt, 2011.

Hvor	Antall matfiskanlegg (under bygging og/eller planlegging) med RAS teknologi (produksjon 1000 – 10.000 tonn/år)
Kina	3
Danmark	1
USA	3
Chile	1
Canada	1

10.5 Teoretisk sammenligning av 3 ulike lukkede konsepter med åpent merd system

I en kanadisk rapport av Stechey og Robertson (2010) er det angitt 5 ulike hovedkriterier for å vurdere og sammenligne lukkede anlegg med åpne merdsystem. Kriterier som ble valgt, er:

1. Oppdrettsvolum
2. Behov for vanngjennomstrømming i anleggene
3. Areal som båndlegges via anleggsetableringen

[15] Aktuelle arter; atlantisk laks, coho, sea bream, yellow perch, stør, artisk røye, walleye, sablefish

4. Ulike typer vannbehandling for å begrense vannforbruk (lufting og oksygenering)
5. Energibruk ved pumping av vann og slam samt drift av fôringsanlegg

Forfatterne sammenligner tekniske særtrekk ved de ulike typer lukkede anlegg (landbaserte og flytende lukkede) basert på opplysninger fra leverandører av de ulike typene teknologi. Sammenligningen ble gjort med bakgrunn i definerte størrelser der alle anlegg hadde samme produksjonskapasitet gitt som tonn slaktefisk pr år. Vurderingene som er gjort, tar ikke utgangspunkt i reelle erfaringsdata fra produksjon i de ulike anleggene. Dette skyldes at det er ikke bygd anlegg av de typene det her er snakk om i en slik skala.

Alle anleggene har en nominell produksjonskapasitet på 2500 tonn slakteklar laks i løpet av 2 år. Denne kapasiteten er beregnet ut fra laksens normale tilvekstrate i åpne systemer. En produksjonstid på 2 år fra smolt til slakteklar laks ble valgt fordi man i et sjøanlegg i BC Canada vil ha ca 2 års produksjonstid for slaktelaks i åpne merder. Følgende anleggstyper er tatt med her (Tabell 6):

Tabell 6
Anleggskonsepter som ble sammenlignet av Stechey og Robertson (2010).

Type	Beskrivelse
1	Merdanlegg med oppdrettsvolum på 13 500 m^3 pr merd – maksimal fisketetthet 15 kg/m^3.
2	Flytende lukket (stivt) anlegg basert på sirkelrunde, dykkede tanker (kar) – gjennomstrømming uten vannbehandling – maksimal fisketetthet 25 kg/m^3.
3	Flytende lukket (stivt) anlegg basert på sirkelrunde, dykkede tanker (kar) – lufting av vann for oksygentilsetting og delvis CO_2-fjerning – maksimal fisketetthet 40 kg/m^3.
4	Flytende lukket (stivt) anlegg basert på sirkelrunde, dykkede tanker (kar) – tilsetting av rent oksygen til innløpsvannet – maksimal fisketetthet 40 kg/m^3.
5	Flytende lukket (pose) anlegg basert på poser med sirkelrunde flytere – tilsetting av rent oksygen til innløpsvannet – maksimal fisketetthet 65 kg/m^3.

Mht produksjonen ble det antatt omtrent lik dødelighet i alle anlegg fra smoltinnsett til slakt (7 – 8 %), lik forfaktor (1.05) og vekstfaktor (2.75). For alle anlegg ble det antatt likt spesifikt oksygenforbruk hos fisken uavhengig av om det er ulik strømhastighet i systemene[16]. Det ble forutsatt lik total "løftehøyde" for pumpet vann i de lukkede anleggene. Denne ble antatt til 1.6m og var i hovedsak forårsaket av ulike komponenter av hydraulisk motstand for vannet i rørene. Vanntilførselen i de lukkede anleggene var konstant gjennom hele produksjonssyklusen. Tilført vann- og oksygenmengde (der dette ble brukt) ble beregnet ut fra fiskens oksygenbehov gjennom produksjonssyklusen. Imidlertid avviker modeller for oksygenforbruk mye (Thorarensen and Farrell, 2011), og konklusjoner rundt vannforbruk kan derfor bli influert av valg av modell. Ingen andre begrensende vannkvalitetsfaktorer enn oksygen ble vurdert. I merdanlegget var det ingen pumping av vann eller annen styring av vannstrømmen gjennom merdene. Det var heller ingen form for vannbehandling i merdanlegget. Produksjonen i alle anleggene var basert på "all in – all out" for fisk, og det var ingen splitting av gruppene etter innsett. Tabell 7 gir en skjematisk sammenligning av de ulike anleggskonseptene basert på forutsetningene gitt ovenfor. Beregninger av behov for vanntilførsel ut fra de forutsetningene som er gitt ovenfor, viser at produksjon i et gjennomstrømmingsanlegg uten noen form for

[16] Dette kan være en feilkilde da en stor del av oksygenforbruket vil gå nettopp til aktivitet.

vannbehandling, og en maksimal tetthet på f eks 25 kg/m3 ikke er fysisk mulig. Dette skyldes at hvis man ved bruk av kun naturlig sjøvann skal opprettholde fiskens krav til oksygenmetning i vannmiljøet i enhetene, må man tilføre så mye vann at oppholdstiden i de lukkede enhetene kommer ned mot 4 – 5 minutter. Det er ikke realistisk med denne typen anlegg og så store enheter. Som i dette eksempelet, ville en kar enhet med volum 2500 m^3 (tabell 7) og oppholdstid på 4 minutter tilsi en vanngjennomstrømming på over 600 m^3 pr minutt eller 10 m^3 pr sekund i hvert kar. Så stor vanngjennomstrømming er ikke mulig å opprettholde i et kar. Hvordan dette ville artet seg i et system basert på en rørlignende konstruksjon, vet vi ikke, da dette ikke er vurdert i den omtalte artikkelen. Forfatterne av artikkelen konkluderer med at tilførsel av oksygen er helt essensiell for å kunne drive oppdrett i lukkede anlegg. Vi gjør oppmerksom på at man må ta i betraktning energikostnad ved å forflytte vann kontra kostnader med oksygen.

Tabell 7

Oversikt over volum, antall enheter samt beregnet vanntilførsel og nominelt energiforbruk (kW) i ulike typer lukkede anlegg sammenlignet med åpent merdsystem. Anleggene skal ha produksjonskapasitet på 2500 t slaktelaks pr 2 år. Modifisert etter Stechey og Robertson (2010).

Type a)	Antall enh.	Diam. (m)	Dybde (m)	Vol/ enhet (m^3)	Total volum (m^3)	Q b)	Energi (kW) totalt i anlegget				
							Nytt vann	Blåse-maski-ner c)	Slam	Fôring	Total
1	12	30x30 d)	15	13500	162 000	-	-	-	-	62	62
2	40	20	8	2500	100 000	548	7040	-	36	64	7140
3	24	20	8	2500	60 000	54	525	1433	18	64	2040
4	15	20	8	2500	37 500	33	255	-	18	64	337
5	20	15	11,3	2000	40 000	25	80	-	18	64	162

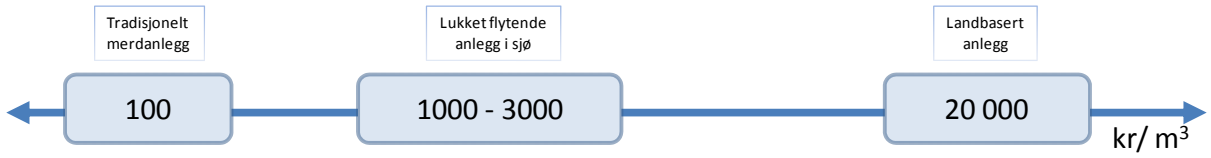
a) anleggstype refererer til liste over konsepter beskrevet i tabell 7.
b) Vanngjennomstrømming pr enhet (m^3/enhet/minutt)
c) For lufting av vann
d) Merdanlegget har firkantede bur

Tabell 7 er et ekstrakt av data som er listet opp i artikkelen til Stechey og Robertson (2010). Som det framgår av tabellen vil totalt oppdrettsvolum for å kunne produsere 2500 t slaktefisk pr 2 år variere mye. Dette er naturlig nok i hovedsak bestemt av hvor høy biomassetetthet man kan ha i de ulike anleggene (se ovenfor) siden man har forutsatt lik veksthastighet for fisken i alle anleggstypene. De ulike anleggene krever svært ulik gjennomstrømming av vann, noe som er direkte bestemt av graden av vannbehandling i form av oksygentilsetting. Anlegget som baseres på kun gjennomstrømming, kan som tidligere nevnt, ikke medregnes. Oppholdstiden for vannet i de øvrige lukkede anleggene (3, 4 og 5) varierer fra 46 til 100 minutter. Dette kan la seg gjøre i praksis ved å konstruere avløpene for stor vanngjennomstrømming.
Det er i alle de lukkede anleggene forutsatt at avløpsvannet fra anleggene renses, og det produseres et slam via partikkelfjerning enhetene. Renseeffekter for de ulike utslippsparameterne partikler, nitrogen, fosfor og organisk stoff, er estimert i det teoretiske oppsettet. Slamproduksjon og renseeffekter har vi omtalt i eget avsnitt om utslipp fra produksjonen (se nedenfor). Mht energiforbruk er det, som ventet, stor variasjon mellom de ulike konseptene. For de lukkede anleggene med stive vegger (kar), er det vurdert normale pumpesystemer som er konstruert for ulike typer landapplikasjoner (f eks i store pumpestasjoner). I følge opplysninger gitt av Future SEA Technologies har de utviklet et spesielt energieffektivt pumpesystem som gjør at energiforbruket for tilførsel av vann i deres posesystem er lavt sammenlignet med andre nedsenkede systemer (Chadwick et al, 2010). Beregnet fra vannstrøm og totalt energiforbruk gitt i tabell 7, er energiforbruket i det lukkede posealternativet (5) omtrent 0,16 kW/m^3, mens det i det lukkede anlegget med flytende kar (4) ca 0,52 kW/m^3.

11 Økonomi

Det foreligger lite oppdaterte data fra reelle produksjonsforhold for lukkede marine flytende anlegg. De data som er publisert fra storskala forsøk er relativt gamle. Det er særlig to viktige forhold som er av betydning; (1) investeringsbehovet for nye type lukkede anlegg er foreløpig lite kjent, og (2) det er usikkert om man vil få tillatelse til å produsere matfisk av laks ved høyere tetthet enn det som er godkjent for åpne sjøanlegg, og dersom man får tillatelse til dette, kan nye utfordringer oppstå med tanke på håndtering og/eller smittepress.

Det som er publisert er at investeringskostnadene pr kubikkmeter oppdretts volum er mye høyere ved lukkede anlegg enn ved tradisjonelle åpne merdanlegg i sjø (Kartevoll og Skaar, 1993). Anslag fra næringsaktører vi har vært i kontakt med under dette arbeidet, antyder at investeringskostnadene ved åpne merdanlegg ligger på ca 100 kr/ m^3 oppdrettsvolum, mens investeringskostnaden ved et landbasert anlegg kryper opp mot 20.000 kr/m^3 oppdrettsvolum. Nye konsepter med flytende lukkede anlegg sjø vil antydningsvis havne i området 1000- 3000 kr/ m^3 oppdrettsvolum. Figur 16 illustrerer den dramatiske forskjellen.



Figur 17
Anslagsvis investeringskostnad pr m^3 oppdrettsvolum ved tre mulige produksjonsformer for laks; tradisjonelt åpent merdanlegg, lukket flytende anlegg i sjø, landbasert anlegg.

Når det gjelder produksjonskostander i flytende lukkede anlegg så har vi bare funnet eldre tall, men disse pekr i retning av at produksjonskostnaden pr/kg ble funnet å være NOK 4.80 dyrere i poseanlegg fremfor stormerd (NOK + 6.82 i 2010 kr) (Kartevoll og Skaar, 1993). Kapasitetsutnyttelsen av et tradisjonelt åpent merdanlegg i sjø er svært lav de første månedene etter utsett av smolt. Dette er en naturlig følge av MTB regulerings regime som begrenser mengde stående biomasse ved et oppdrettsanlegg, samt krav til brakklegging av lokalitet mellom generasjonene. Kapasitetsutnyttelsen av MTB regimet blir i tillegg bedre ved flere utsett av smolt i ulike størrelser (spredning i utsett). Dette som konsekvens av lavere snittvekt i anlegget (innenfor MTB-regimet) og derigjennom økt antall fisk. Produksjon av stor settefisk i landbaserte og eller lukkede systemer i sjø vil således både kunne begrense behovet for produksjonsdager i åpne merdanlegg, og øke utnyttelsen av MTB ved flere utsett (lavere snittvekt og derigjennom økt antall fisk). Redusert produksjonstid i åpne nøter i sjø vil samtidig gi et lavere antall individ i sjø, samt færre generasjoner lus på fisken. I følge næringsaktører vi har vært i kontakt med vil kapasitetsutnyttelse kunne øke med 20-40 % ved å øke fra 1-2 smoltutsett til 3- 6 utsett. Dette kan være en viktig driver for utvikling av nye produksjonsregimer med lukkede anlegg på land eller i sjø.

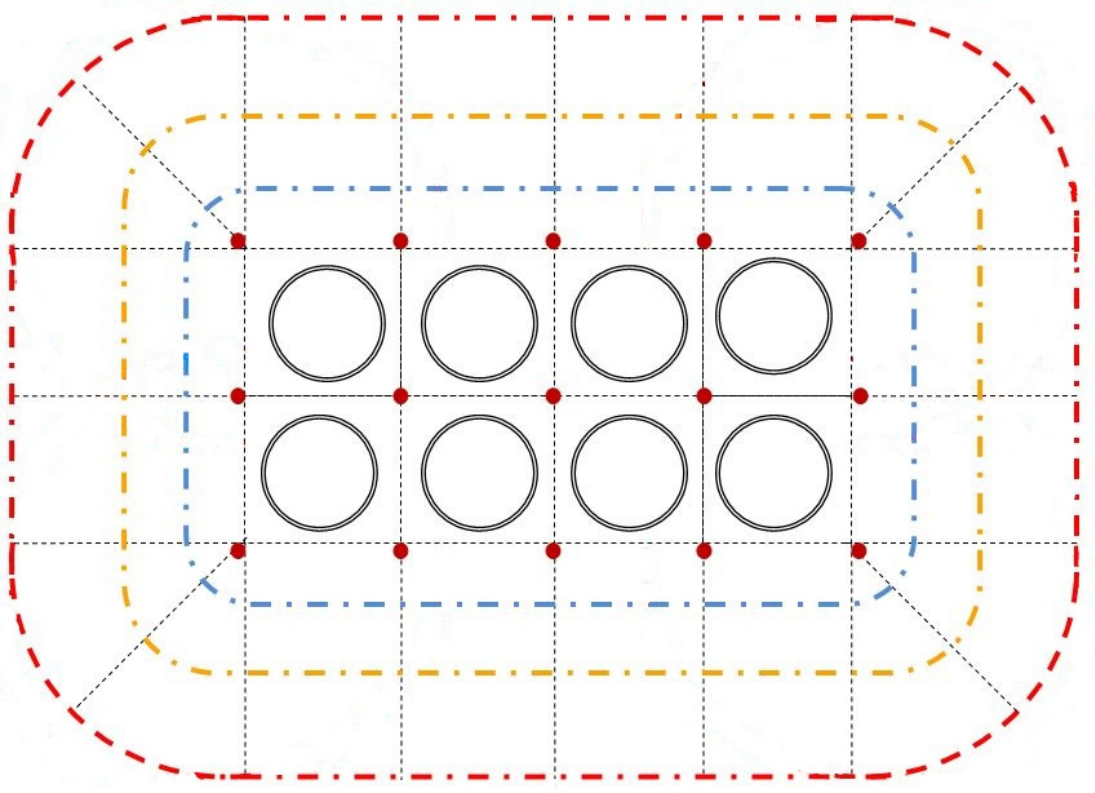
”Nye lukkede oppdrettsanlegg må betraktes som en ny teknologi. I forkant av finansierings av disse som kommersielle produksjonsanlegg forventer banken seg at teknologien er gjennomprøvd og ferdig utviklet. Investeringer i kostnadskrevende og kostnadsfordyrende anleggstyper vil kreve tung egenkapital innsats, ha lav opplånings- og utbytteevne og er svært krevende i en periode med lave markedspriser” (Banksjef Einar Stephansen, Sparebank 1, Tekmar 2011). Dette illustrerer at de økonomiske utfordringene med utvikling og etablering av lukkede anlegg er store.

12 Arealbeslag i forhold til anleggstyper

Vi har sett på arealbeslaget et oppdrettsanlegg i sjø innehar. Dette må ses i ulike nivåer avhengig av interessepartner, men ved å se på arealbeslaget i et todimensjonalt perspektiv, kan en dele arealbeslaget i fire hoveddeler:

1. Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten
2. Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten, pluss ferdselsforbudssone
3. Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten, pluss fiskeforbudssone
4. Oppdrettsanleggets totale arealbeslag. Herunder fysisk areal i overflaten og arealbeslag på havbunnen på grunn av fortøyninger

Oppdrettsanleggets fysiske areal i overflaten regnes som arealet innenfor ytterste fortøyningsbøye. Markert med rød sirkel i figur 17. Her er det viktig å se bort i fra opphaler til fortøyningsjern eller lignende. Videre vil arealbeslaget utvides dersom en inkluderer forbudssoner og fortøyninger. Jf akvakulturdriftsforskriften § 18 er det forbudt å ferdes nærmere et oppdrettsanlegg enn 20 meter, illustrert med blå stiplet linje i figur 13 og fiske nærmere enn 100 meter, illustrert med gul stiplet linje i figur 13, fra anleggets faktiske ytterpunkt i overflaten. For interessenter som er avhengig av havbunnen, vil oppdrettsanleggets totale arealbeslag, i tillegg til anleggets fysiske areal i overflaten, inkludere anleggets fortøyninger, illustrert med rød stiplet linje i figur 17.



Figur 18
Skjematisk fremstilling over et oppdrettsanleggs areal beslag. Blå siplet linje er ferdselsforbudssone. Gul stiplet linje er fiskeforbudssone. Rød stiplet linje er anleggets ytterste fortøyninger.

Andreassen (2010) har beregnet at arealbeslaget fra et standard oppdrettsanlegg per 2010 utgjør følgende etter overnevnte inndeling:

1. 59 daa
3. 195 daa
4. 422 daa

12.1 Forutsetninger for beregninger av totalt arealbeslag ved ulike oppdrettsanlegg

For å kunne beregne det teoretiske arealbeslaget oppdrettsnæringen har, ved produksjon av 1 million tonn, er en avhengig av noen forutsetninger. I beregningene er det forutsatt at et oppdrettsanlegg har en standard arealbruk i overflaten på 59 daa. Total produksjon per lokalitet er derfor avhengig av tilgjengelig produksjonsvolum og produksjonstetthet.

For å kunne beregne totalt produksjonsvolum per standard lokalitet på 59 daa, er det forutsatt at det benyttes rammefortøyninger, illustrert i Figur 17. Videre er det forutsatt at oppdrettsenhetene er sikret til rammefortøyningene med hanføtter og at disse er fem ganger lengden på dybden til rammefortøyningen. Basert på tilbakemeldinger er dybden for rammefortøyningene satt til åtte meter i beregningen. Avstand mellom fortøyningsplatene i rammefortøyningene er fastsatt på bakgrunn av størrelsen på merden og lengden på haneføttene.

Gitt disse forutsetninger, får en følgende arealbehov per enhet (Tabell 8):.

Tabell 8
Arealbeslag i forhold til tilgjengelig oppdrettsvolum ved ulike merde størrelser (90-157m) og normalt tilhørende notpose.

Størrelse merde	Diameter (m)	Diagonal fortøyninger (m)	Avstand mellom fortøyningsplater (m)	Arealbeslag per enhet (daa)	Dybde notpose (m)	Volum per enhet (m3)
90	29	107	76	5,72	20	12 851
120	38	116	82	6,78	25	28 557
140	44	123	87	7,54	30	46 643
157	50	128	91	8,22	35	68 435

Enhetene som i dag benyttes i oppdrett har stor variasjon i totalt volum. Sirkelmerder varierer med indre omkrets på 90 meter til 200 meter og oppdrettsnøtter med dybde fra 10 til 60 meter. Med utgangspunkt i tetthetsbegrensning på 25 kg/m^3, og maksimalt arealbruk per lokalitet på 59 daa vil en få følgende maksimal teoretisk produksjon per enhet til en hver tid (Se Tabell 9). Totalt produksjon vil kunne bli større per enhet, dersom en slakter ut fisk over en lengre periode og i så måte utnytter tetthetsbegrensningen maksimalt, men dette er ikke hensyn tatt i denne beregningen.

I beregningene for totalt produksjon er det forutsatt at enheter uten noen form for vannbehandling har en tetthetsbegrensningen på 25 kg/m^3. Denne tetthetsbegrensningen en i dag gjeldende begrensning jf. akvakulturdriftsforskriften § 46. For enheter med kontrollert vanntilførsel er tetthetsbegrensingen i beregningene satt til 80 kg/m^3. I et lukket anlegg med styrt vannmiljø er det gjennom forsøk fastsatt at en kan produsere atlantisk laks med en tetthet på 80 kg/m^3 uten at dette fører til redusert vekst eller økt dødelighet. (Chadwick et.al. 2010)

For å kunne fastsette total produksjon per standard lokalitet, 59 daa, er totalt antall enheter per lokalitet beregnet. Da avstanden mellom hver fortøyningsplate i rammefortøyningen, markert med en rød sirkel i Figur 17, er avhengig av størrelsen på oppdrettsmerden som benyttes, vil arealbeslag i overflaten, per enhet, variere etter størrelsen på oppdrettsmerden. Antall enheter per standard lokalitet, 59 daa, vil derfor variere, jf Tabell 9.

Den maksimale teoretiske produksjon per standard lokalitet, 59daa, blir dermed som følger (Tabell 9):

Tabell 9
Maksimal teoretisk produksjon per standard lokalitet, 59 daa, i forhold til merde størrelse (90 – 157m) og normalt tilhørende notpose.

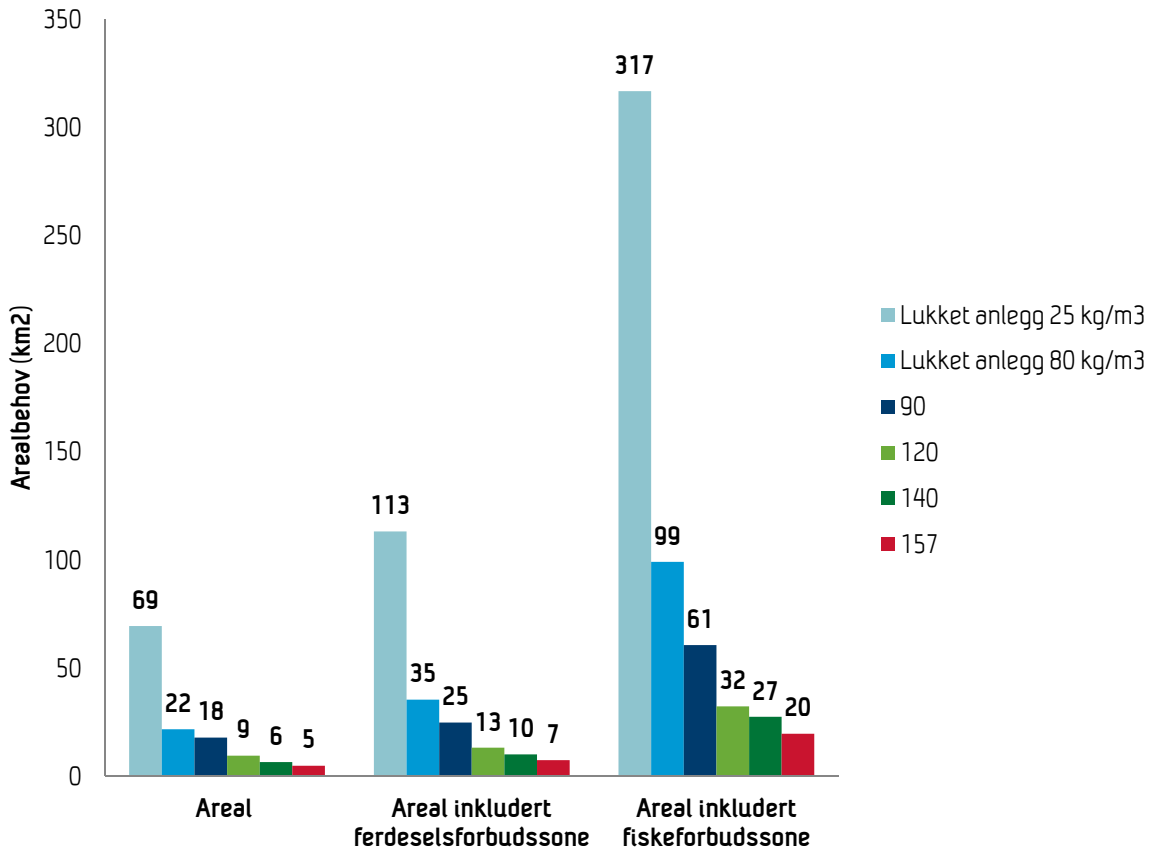
Størrelse merde	Dybde notpose (m)	Maks antall enheter	Totalt volum (m^3)	Maksimal produksjon (tonn)
90 m	20	10	128 507	3 213
120 m	25	8	228 456	5 711
140 m	30	7	326 502	8 163
157 m	35	7	479 004	11 976

I følge Fiskeridirektoratet var det i 2010 i gjennomsnitt 562 lokaliteter for laks og regnbueørret i drift gjennom årets 12 måneder. Totalt ble det produsert 968 453 tonn laksefisk, rund vekt, i 2010. Dette gir en total gjennomsnittlig produksjon per lokalitet på 1723 tonn. Dersom en legger til grunn en total produksjon på 1 000 000 tonn laksefisk og en arealbegrensning for fysisk areal i overflaten til 59 daa, vil det teoretisk beregnede behovet for antall lokaliteter og arealbruk, bli som følger (Se Tabell 10):

Tabell 10
Teoretisk behov for antall lokaliteter og arealbelag.

Størrelse merde	Antall lokaliteter for produksjon av 1 000 000 tonn	Arealbehov innenfor ramme fortøyninger (km^2)	Arealbehov inkludert ferdselsforbudssone (km^2)	Arealbehov inkludert fiskeforbudssone (km^2)
90 m	312	18	25	61
120 m	219	9	13	32
140 m	184	6	10	27
157 m	147	5	7	20

Ved å legge de samme kriteriene til grunn for et lukket anlegg, vil en teoretisk kunne sammenligne arealbehovet for lukkede anlegg opp mot dagens sirkelmerder. For sammenligningen er det benyttet et flytende lukket anlegg med et totalt volum på 3000 m^3. I et lukket anlegg med styrt vannmiljø er det hevdet at man kan produsere atlantisk laks med en tetthet på 80 kg/m^3 (Chadwick et.al. 2010). Det er derfor gjort to beregninger av produksjonskapasitet for det lukkede anlegget. Et hvor dagens maksimale tetthetsbegrensning på 25 kg/m^3er lagt til grunn, og et med 80 kg/m^3 som beregningsgrunnlag. Sammenlignet med dagens åpne sirkelmerder får man følgende arealbehov (se Figur 18):



Figur 19
Teoretisk arealbehov for produksjon av 1 000 000 tonn laksefisk med ulike merdtyper

Figur 18 viser at produksjon i lukkede enheter med oppdrettsvolum på 3000 m^3 og en tetthetsbegrensning på 25kg/m^3 gir et stort teoretisk arealbehov. Arealbeslaget øker på bakgrunn av behovet for flere enheter for produksjon av den samme totale mengde laksefisk. Behovet for antallet enheter går betydelig ned dersom man øker maksimal tillatt fisketetthet eller tar i bruk ny teknologi som muliggjør større lukkede enheter. Ved en maksimal fisketetthet på 80 kg/m^3 vil en lukket enhet med på 3000 m^3 tilnærmet kunne sammenlignes med de tidligere brukte 90 meters sirkulære merdene i forhold til arealbehov. Driftsmessige utfordringer i forhold til en produksjon med 80 kg/m^3 er ikke hensynstatt i beregningene. Beregningene viser også at, dersom en klarer å utvikle større driftssikre lukkede enheter, med mulighet for fisketetthet på 80kg/m^3 vil ikke det teoretiske arealbehovet for produksjon i lukkede enheter være større enn ved produksjon i dagens åpne merder. Beregningene viser at den mest utslagsgivende faktoren i forhold til. arealbehov, er behovet for antall enheter. Ved å utnytte større enheter, i omkrets og volum, som muliggjør mer tonn per enhet, vil en utnytte de totale vannmassene bedre og det totale arealbehovet blir mindre. Sammenligner man merdstørrelser en dagens åpne systemer, kommer effekten av større enheter sett opp mot arealbehov godt fram. Ved overgang fra 90m sirkulære åpne oppdrettsmerder til 157m åpne oppdrettsmerder øker det teoretiske arealbehovet med tilnærmet 44 %, mens den teoretisk maksimale produksjonen øker med hele 608 %. Regnestykket er selvfølgelig influert av nottype og dybde.

13 Synspunkter fremkommet på workshop

På workshop den 20.06.11 ble synspunkter fra en intressegruppe samlet inn (se vedlegg 3). Disse har vi benyttet som et bakteppe sammen med våre vurderinger av vitenskapelig grunnlag for lukkede anlegg.

14 Vurdering

Nedenfor har vi oppsummert de momentene vi i denne innledende rapporten ser som de viktigste fordeler og største utfordringer med lukkede flytende oppdrettsanlegg.

14.1 Forslag til klassifisering

Det eksisterer en rekke innovative forslag til løsning for lukkede oppdrettsanlegg. Etter vår mening er det behov for en form for klassifisering av slike anleggstyper avhengig av hvordan anlegget er bygd opp og etter hvilke muligheter det er for å få til lukke anlegget for utslipp eller påvirkning til det ytre miljø. Tabell 12 oppsummerer dette forslaget.

Tabell 11

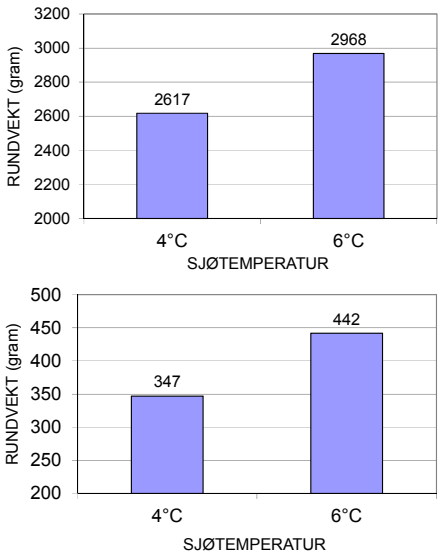
Kategori I	Kategori II	Kategori III	Kategori IV
Vegg eller duk (evnt. not) som avgrensing av fisk og omgivelser -	Som I med tillegg av;	Som II med tillegg av;	Som I, II, og III med tillegg av; Biologisk vannbehandling for minimalisering av vannforbruk, og fjerning av større mengder organisk materiale, nitrogen og fosfor.
Styrt inntak av vann	Dobbel rømmings-sikring	Fjerning av fiskepatogener fra inntak	Aktuelle systemer; • Resirkuleringssystemer for akvakultur (RAS) med slambehandling • Løsninger med bruk av organismer for å øke renseeffekten for organisk materiale og næringssalter (
Styrt avløp av vann	Fjerning av lakseluslarver fra avløp/innløp ved filtrering Filtrering av slam fra avløp		

De anleggstypene vi har sett på i denne utredningen befinner seg i hovedsak i kategori 1 (noen kategori 2). Det er bare RAS anlegg som p.t. teknisk har potensialet i seg til å kunne være i klasse 4. Man kan også tenke seg utviklingen av anlegg med nye sterkere notmaterialer (se figur 8 side 30), eller notløsninger for oppdrett i åpne merdanlegg som også ville kunne oppnå vesentlig bedre rømmingssikring i forhold dagens teknologi. For slike løsninger er det mer sannsynlig at det finnes nummeriske modeller for flytende konstruksjoner som vil kunne benyttes. En felles forutsetning for alle alternativ er at de må sertifiseres i hht NS -9415.

14.2 Mulige fordeler med lukkede anlegg i sjø

Det antas at oppdrett i et anlegg i sjø, som er basert på lukkede poser/kar hvor vannet tas opp fra > 25-100 m dyp, vil redusere forekomsten av lus på laks holdt i et slikt anlegg (f. eks. Torpe, 2011), Kopepodittstadiet av lakselus er positivt fototaksisk og søker mot overflaten i lyse (Heuch et al., 1995). Hvorvidt et vanninntak på dypere vann faktisk gir mindre forekomst av lus, kan imidlertid bare sikkert fastslås i et kontrollert forsøk gjennom en produksjonssyklus i lukkede anlegg med lusetellinger. Foreløpige resultater fra uttestinger av lukket anlegg med inntak på dypere vann, peker i retning av at luseproblemet kan reduseres.

En fordel med lukkede anlegg er at en oppnår et sterkere skille mellom miljøet innenfor anlegget og det ytre miljø. Dette er ikke bare en mulig fordel for det ytre miljø, men kan også være en fordel for den oppdrettede laksens velferd og ytelse. Mange husdyrproduksjoner går mot en større grad av kontroll på miljøet, og dette gir fordeler på ytelse og dyrevelferd (Jones et al., 2005). For eksempel kan oksygennivå i tradisjonelle nøter være sterkt hypoksisk (<30 %) i perioder med lav vanngjennomstrømming i anlegget (Oppedal et al., 2011). Dersom lukkede anlegg designes, dimensjoneres og driftes riktig, bør det være mulig å holde et mer stabilt og høyere (f.eks. > 85%, (Thorarensen and Farrell, 2011) oksygennivå enn i tradisjonelle nøter.



Figur 20

Beregnet individvekt av laks dersom en kan oppnå en økning på 2°C (fra 4°C til 6°C) i vanntemperatur, over 3 mnd. I det øverste eksempelet er det lagt til grunn en 1+ fisk på 2000 g/ind ved inngang til januar, og i det nederste eksempelet en 0+ fisk på 200 g i januar.

Videre bør lukkede anlegg kunne utnytte at temperaturen er mer stabil når vannet tas fra ca. 100 m dyp (Havforskningsinstituttets hydrografidatabase), og at en kan velge en høyere eller lavere vanntemperatur i forhold årstidsvariasjonene i overflatelagene. I dagens situasjon med tradisjonelle nøter er produksjonskostnadene generelt høyere helt nord og sør i landet, sammenlignet med Midt-Norge. Dette henger trolig sammen med en sub-optimal lav temperatur i nord om vinteren og en for høy temperatur om sommeren i sør. Dersom en oppnår en økning i vanntemperaturen i lukkede anlegg ved å ta inn vann fra 50-100 m dyp i vintermånedene, kan dette gi effekter på tilvekst (Fig. 19). Gitt normale vekstbetingelser ellers, kan en økning på 2°C (4°C til 6°C) for en 1+[17] fisk på 2000 g ved inngangen til januar, kunne bety ca. 350 g økt tilvekst målt i mars. For en 0+ fisk[18] på 200 g i januar, kan forskjellen bli på ca. 95 g. De økte produksjonskostnadene en muligens vil se i lukkede anlegg kan derfor bli redusert med økt tilvekst/kortere produksjonssyklus. Imidlertid kan effekten i vintermånedene snu under sommermånedene, dersom ikke et variabel dybdeinntak benyttes. En dynamisk simuleringsmodell for tilvekst, koblet til en database over hydrografi langs kysten, kan være et nyttig verktøy for å studere disse forholdene nærmere.

Et annet interessant spørsmål er om lukkede anlegg i sjø kan gi bedre integrering med settefiskleddet.

Det er tider av året hvor tradisjonelt smoltutsett i sjø er vanskelig siden lave vanntemperaturer kan gi fisken bl.a. ione- og osmoregulatoriske problemer. I settefisknæringen er resirkulering av vann på fremmarsj og mange nye anlegg bygges med slik teknologi. I RAS er vanntemperaturen ofte høy (10-14°C), noe som gir rask vekst og som blir sett på som en av fordelene med denne produksjonsformen. Rask vekst kan også gi utfordringer, spesielt for 1+ generasjonene, siden biomassen blir kan bli for stor for vannbehandlingen RAS-anlegget før utsett kan skje. Likevel en høyere sjøvannstemperatur i lukkede anlegg om vinteren, vil kunne

[17] Smolt som er produsert for smoltifisering på våren ca ett år etter klekking
[18] Smolt som er produsert for smoltifisering på høsten samme år som klekking

øke tidsrommet for smoltutsett, gi økt fleksibilitet og derfor bedre utnyttelse av morgendagens settefiskanlegg.

14.3 Utfordringer og forskningsoppgaver i lukkede anlegg

Design, dimensjonering og drift av lukkede anlegg vil kreve en økt kompetanse hos utstyrsleverandører og driftspersonell, f.eks. på vannkjemi, fysiologi, fôring, og styre- og alarmsystemer. Dagens settefiskanlegg på land, spesielt nylig bygde anlegg, har allerede et høyt teknologinivå. Det forventes derfor at kompetanse bygd opp dagens landbaserte anlegg vil kunne bidra som utviklingsdriver og kompetanseressurs for lukkede anlegg i sjø. På tross av dette er det en del områder som må betraktes som kunnskapshull. Dette kan være innen (1) teknologiske forhold eller (2) biologiske forhold.

14.3.1 Teknologiske forhold

Det eksisterer svært få havbrukskonstruksjoner med tunge nedsenkede komponenter. Kunnskapen om hvordan slike systemer vil respondere på eksterne sjøkrefter er begrenset. Man forventer en økning i hydrodynamiske krefter i lukkede systemer sammenlignet med åpne nettbaserte. Dersom i tillegg konstruksjonen er fleksibel vil den hydrodynamiske belastningen være kompleks. Å forstå mer av dynamisk bevegelse og internt belastnings stress vurderes som et prioritert kompetanse felt for lukkede fleksible anlegg i sjø. I tillegg til deformasjon og eksterne krefter, må miljøet inne i oppdrettsposen/karet bli oppretthold med tanke på vannflow og vannkvalitet. Ved deformasjon av lukket pose på grunn av eksterne sjøkrefter vil det være behov for ny kunnskap om hvordan deformasjonen endrer vannmiljøet og om hvordan deformasjon kan motvirkes ved for eksempel intelligent styring av vannvolumet.

Dersom man ønsker å etablere lukkede anlegg med redusert vannutskiftning for å øke produktivitet og mulighet for selvrensing, vil man få utfordringer med tanke på akkumulering av fiskens metabolitter i oppdrettsvannet. Fra landbasert produksjon i både RAS og gjennomstrømmingssystemer vet man at man da må etablere vannbehandling for bl.a. fjerning av suspendert stoff, CO_2 og nitrogenforbindelser (NH_4, NH_3, NO_2). Lukkede oppdrettsanlegg må kunne gi stabile miljøforhold for fisken. Det må opprettholdes massebalanse i anlegget, for alle parametre som virker inn på fiskens velferd, ytelse og påvirkning på det ytre miljø. Det vil si at hastigheten av tilførsel til anlegget (f.eks. av nitrogen i fôr) må være lik hastigheten av deponering i fisken pluss fjerning fra anlegget.

Dersom man skal oppnå rensing av partikkelutslipp fra oppdrett må systemer for oppsamling av spillfôr og feces fra oppdrettsposen/karet implementeres og etterbehandling i form av filtrering gjennom silduksystemer etableres. Erfaringer fra settefisksiden viser at dette vil medføre opptak av store mengder slam, som det kan være vanskelig å bli kvitt da anvendelsesområdet foreløpig er begrenset (Del Campo et al., 2010).

Det trengs ny kunnskap om konstruksjon og materialvalg for teknologien med lukket anlegg. Vi vurderer situasjonen slik at det foreløpig mangler vitenskapelige data på storskala utprøving av lukket merd konsepter. Dette gjelder både innenfor teknologi, økonomi og biologi. Mulighetene for å overvåke og styre miljøet for fisk, samt sikre systemet mot sammenbrudd og rømming er helt sentrale om man skal lykke med et nytt oppdrettskonsept med lukket merd, bedre kunnskap om dette området bør etableres. Lakselus er fortsatt en stor problemstilling i oppdrettsnæringen og det må verifiseres at det valgte konsept faktisk er i stand til å (A) redusere/eliminere inntak av lakseluslarver, (B) håndtere en lakselusoppblomstring med behandling. Vi vurderer det slik at det er av stor forvaltnings og industrimessig interesse i å dokumentere effekter av nytt teknologivalg for fiskens velferd, ytelse og kvalitet, herunder virkning av vannmiljø, ytre belastning og eventuelt nytt produksjonsregime. En konstruksjonsmessig utfordring ved inntak av vann fra dypere vannlag er tetthetsforskjellen mellom vannet i dypet og i overflatelaget. Dette ble man først gjort kjent med ved forskning på lukket anlegg på 80- og 90-tallet. Ny kunnskap om konsekvens, kontroll og styring av dette bør prioriteres. Et annet kompetanse behov som har høy relevans for produksjon av laksefisk er å tilegne ny kunnskap om handlingsrom og alternativer ved ulike sammenbrudd scenarios.

14.3.2 Biologiske forhold (Vannkvalitet, respirasjon og tetthet)

Ved intensivering av oppdrett, som lukkede anlegg i sjø og RAS er, vil en i tur og orden treffe på begrensende faktorer knyttet til vannkvalitet, f.eks. O_2, CO_2 og NH_3. De optimale nivå av disse forbindelsene for fisken er ikke konstante, men endres i forhold til faktorer i miljøet og produksjonen. Det vil si at f.eks. ammoniakk-toleranse kan bli påvirket av O_2-nivå, vannhastighet, fôrstyrke og livsstadium (Terjesen and Rosseland, 2009, Terjesen, 2008). Begrensende faktorer under produksjon i lukkede anlegg må bestemmes i et eksperimentelt miljø og med en fisk som er så lik opp til situasjonen i kommersiell drift som mulig. Dette er i liten grad gjort før; det meste av kunnskapen stammer fra forsøk i små kar med gjennomstrømming, ofte på fastet/sultet fisk (Wood, 2001). Med unntak av kunnskapen om bl.a. de negative konsekvenser av O_2-overmetning på laks (Kristensen et al., 2010), ammoniakktoleranse (Knoph, 1995), og effekter av ulike saliniteter fra parr til smolt i FT, relatert til bl.a. prestasjon i sjøfasen, vintersår og IPN (f. eks. Toften et al., 2011, Kristensen et al., 2011) er kunnskapen om vannkvalitetskrav for laks i hovedsak basert på livsstadier fra rogn til smolt i ferskvann (~50-150 g, Bjerknes et al., 2007, Stefansson et al., 2009). I lukkede anlegg må en kunne gi fisk opptil slaktestørrelse tilfredsstillende betingelser, og ny forskning er derfor avgjørende for å realisere en slik produksjon. Kravene til optimal vannkvalitet vil være styrende for flere sider ved dimensjonering, drift og produksjonskostnader, slik som nødvendig innløpskvalitet, flow og oppholdstid og mulig fisketetthet. Observert oksygenforbruk ($\dot{M}_{O2}$) har blitt rapportert å avvike fra $\dot{M}_{O2}$ beregnet fra temperatur og fiskevekt, trolig på grunn av variasjoner i fiskens aktivitet/svømmehastighet (Bergheim et al., 1993). Videre gir ulike modeller for $\dot{M}_{O2}$ opptil tre ganger forskjell i verdier utregnet for laks (gjennomgått av Thorarensen and Farrell, 2011), som kan føre til at dimensjonering av lukkede anlegg ikke blir av tilstrekkelig kvalitet. Vi vurderer kompetansegrunnlaget slik at ny kunnskap om optimal vannkvalitet og respirasjonsrater må forbedres for stor laks, spesielt ved høye veksthastigheter (TGC 3-5).

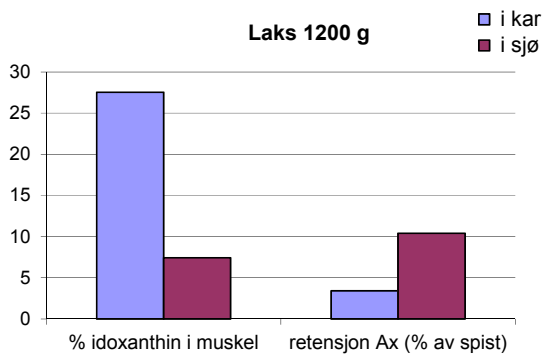
For å oppnå lønnsomhet i lukkede anlegg i sjø, vurderer vi det slik at fisketettheten må være vesentlig høyere enn dagens regelverk for tradisjonelle nøter (25 kg/m^3). En høy tetthet gir reduserte investeringskostnader pr kg fisk, men om dette skal gi effekt på den totale produksjonskostnaden forutsettes det at fiskens velferd og ytelse ikke blir skadelidende. Effekter av tetthet kan deles grovt inn i 1) effekter p.g.a. redusert vannkvalitet og fôrtildeling, og 2) økte atferdsinteraksjoner mellom individer ved høye tettheter. Det er store sprik i litteraturen på grenseverdier for fisketetthet i kar (Ellis et al., 2002, regnbueørret), og forholdsvis lite informasjon om stor Atlantisk laks i kar (se tidligere i rapporten). Dette vanskeliggjør arbeidet med å etablere en fisketetthet som ikke bør overskrides, og viser hvor viktig det er at forsøk som brukes for å gi tilrådninger om oppdrett blir gjort så nært opptil industrielle forhold som mulig, og ved høye veksthastigheter.

14.3.3 Fôr, slam og kvalitet av sluttproduktet

Egnede fôr- og fôringsstrategier må utvikles for lukkede anlegg i sjø. Jo større fysisk styrke en fôrpellet har jo mindre tap vil det bli i støv og fragmenter. En andel støv på 1 % av norsk fôrforbruk vil bety ca. 13 000 tonn fôr som kun er en kostnad og ikke realiseres i tilvekst hos fisken. For lukkede anlegg kommer i tillegg den faktoren at støv, fragmenter og pellet med lav vannstabilitet kan gi redusert vannkvalitet, gjennom økt TSS, N og oksygenforbruk fra nedbrytningen av partiklene. Små partikkelstørrelser kan også senke effektiviteten av mikrosiler og slamoppsamling. Slik sett kunne man tenke at harde, stabile, pellets burde benyttes. Imidlertid viser forsøk hos Nofima at for ørret på 1-1.5 kg gir harde pellets opptil 20 % reduksjon i fôropptak (Aas et al., 2011). Tilsynelatende fordøyelighet var derimot bedre hos fisken som ble fôret med en hard, stabil pellet. Det bør derfor utvikles fôrtyper for lukkede anlegg som er det beste kompromisset mellom behovet for en hard, stabil pellet, stabile fekalier, og behovet for å oppnå et tilfredsstillende fôrinntak og kravet til høy fordøyelighet av næringsstoffene. Fôret og fiskens evne til deponering av protein og fett er i stor grad styrende for utslippet av avfallsstoffer, og dermed vannkvalitet, vannets maksimale oppholdstid i oppdrettsenheten, nødvendig flow og dermed tilslutt kostnader. Høy evne til deponering av f.eks. protein gjelder i all akvakultur, men blir spesielt viktig i driftsformer hvor vannet resirkuleres eller avløp må renses.

Fôrets komposisjon og fiskens evne til utnyttelse har betydning for gjødsel- og derfor slammets komposisjon, mengde og nytteverdi, og må derfor tas med i vurderingen når en diskuterer bruksområder for slam og teknologiske løsninger for å samle opp slam fra lukkede anlegg.

Bruk av lukkede anlegg i hele eller deler av produksjonen må ikke gå utover kvaliteten av sluttproduktet. Norsk laks skal være blank og ha god pigmentering i filet, og det må den også være etter produksjon i lukkede anlegg. Lys styrer mange prosesser hos fisk og skinnet kan ta farge av omgivelsene og håndteringsstress (Erikson and Misimi, 2008). Det er lite tilgjengelig informasjon om ytre kvalitetsparametre hos laks holdt i lukkede anlegg og dette bør inkluderes i fremtidige uttestinger. En viktig indre kvalitetsparameter er filetfarge og en signifikant del av kostnadene til fôr går til pigmentingredienser (Wathne et al., 1998). Forsøk ved Nofima har vist at retensjonen av astaxanthin er høyere når fisken holdes i not enn når fisken går i kar (Fig. 20) (Bjerkeng et al., 2007; T. Ytrestøyl, upublisert). Temperatur og fiskestørrelse var sammenlignbare i de to situasjonene. Videre var konsentrasjonen av idoxanthin, en metabolitt fra nedbrytningen av astaxanthin, høyere i muskel av laks holdt i kar. I praksis kan disse resultatene bety at en annen fôrstrategi for pigmentering bør benyttes når laksen oppdrettes i kar. Hvorvidt dette gjelder for lukkede anlegg i sjø er ukjent, men forskjellene mellom kar og not viser at miljø og oppdrettsteknologi har betydning for indre kvalitetsparametre og at dette bør følges opp når nye driftsformer tas i bruk.



Figur 21
% idoxanthin av totale karotenoider og retensjon av astaxanthin i 1.2 kg laks holdt enten i kar på land eller i not i sjø (Bjerkeng et al., 2007; T. Ytrestøyl, upublisert).

Vi mener derfor at en økt forskningsinnsats på fôr og ernæring hos stor laks må skje samtidig med annen utvikling av lukkede sjøbaserte anlegg. Denne forskningen må fokusere på 1) utvikling av pellet med god fysisk kvalitet og vannstabilitet og 2) fôr som gir forbedret deponering av protein og fett, og stabile fekalier, og dermed lavere utslipp, og 3) videre forskning på hvilken betydning ernæring, miljø og teknologi har for ytre og indre kvalitetsparametre hos sluttproduktet.

14.4 Konsekvenser for arealbruk

Arealutnyttelsen i selve oppdrettsenheten i sjø er ekstremt avhengig av oppdrettsvolum tilgjengelig. Prisen på oppdrettsvolum tror vi vil bli en helt sentral parameter. Våre beregninger (se Kapitel 12. og figur 18) peker på en stor betydning av fisketetthet for areal behovet. Dersom man sammenligner tenkt scenario med produksjon av 1 million tonn laks og foretar følgende av tre tenkte paradigmeskifter;

A. Alle lokaliteter benytter 157m oppdrettsmerd med 35meter dybde not og fisketetthet på 25 kg /m^3
B. Alle lokaliteter benytter et lukket anlegg med 3000 m^3 oppdrettsvolum og fisketetthet på 25 kg /m^3
C. Alle anlegg benytter et lukket anlegg med 3000 m^3 oppdrettsvolum og fisketetthet på 80 kg /m^3

Areal belaget ved scenario A ligger i område 5 til 20 km^2. Vi finner da at arealbeslaget vil øke med omlag en faktor på 15 (69- 317 m^2) ved alternativ B) en faktor på 5 (22 – 99 km^2) i forhold tillatt økt fisketetthet i scenario C. Ut i fra dette konkluderer vi med at areal behovet i sjø vil øke vesentlig dersom en større del av oppdrettsnæringen skulle produseres i lukkede flytende anlegg. Behovet for antallet enheter vil også øke dramatisk og dette kan være en utfordring i forhold til risiko.

15 Forslag til oppfølging

Arbeidet har avdekket en rekke områder der man mangler informasjon og dokumentert funnskap innenfor feltet lukket anlegg. Prosjektgruppens konklusjoner på tiltak som anses nødvendig for utvikling av lukket anleggsteknologi følger nedenfor punktvis og ikke-prioritet rekkefølge;

11. Det må legges til rette for kunnskapsoppbygging innenfor en rekke felter (biologi, konstruksjon, styring, drift økonomi) når det gjelder flytende lukkede anlegg i sjø.

12. 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 atlantisk laks. Dette gjelder helt basale felt som vannforbruk, fisketetthet, vannkvalitetskriterier, og fôr og ernæring, under rask vekst. Vi konkluderer med at forskningsinnsatsen må styrkes på disse feltene.
13. Det må legges til rette for teknologisk forskning på kreftene som virker på flytende konstruksjoner, samt mulighetene for å styre anleggets respons til slike krefter. Vi trenger kunnskap som kan fremskaffe bedre modellverktøy for flytende fleksible konstruksjoner, samt på material tilpasning og produksjon på rigide konstruksjoner.
14. Ved utvikling av ulike anleggstyper og materialer anbefaler vi at det gjennomføres prosjekter på LCA (Life Cycle Assessment) analyser for å bestemme det økologiske avtrykket til de ulike løsningene. Det er særlig forhold som materialvalg, energiforbruk , logistikk og fôrforbruk og utslipp som vil være viktige faktorer.
15. Det bør samles bedre dokumentasjon av de økonomiske sidene ved etablering og drift av de ulike teknologier for lukket anlegg, herunder anleggstyper i sjø og på land. Det må særlig ses på mulighetene for å få ned investeringskostnadene pr m^3 oppdrettsvolum.
16. Vi anbefaler at det blir foretatt en konsekvensanalyse på virkning av ulike krav/forskrifter i forkant av eventuell innføring. Produsentenes handlingsrom i forhold til eventuelle nye reguleringer bør belyses.
17. Forskning fra forsøksanlegg/pilotproduksjoner i ulike konsepter av lukket teknologi må underlegges vitenskapelige kriterier med tanke på metodebeskrivelse, reproduserbarhet, utsagnskraft og fagfelle-vurdering. Dette kan peke i retning av at utvikling, design og storskala testing av fremtidige lukkede anleggstyper bør skje i åpent forpliktende samarbeid med de sentrale utstyrsprodusenter og noen få store tverrfaglige kompetansemiljø.
18. Det bør arbeides med å utvikle mer effektive fortøyningssystemer for anlegg i sjø for å gjøre både dagens åpne anleggstyper og nye lukkede anleggstyper mer arealeffektive og samtidig sikrere.
19. Det bør foretas nærmere beregninger av energiforbruk ved ulike anleggskonsepter for å skaffe bedre grunnlag for økonomiske vurderinger.
20. 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 (lus).

16 Takk til

SINTEF vil rette en takk til referansegruppen som har bestått av Cato Lyngøy (Marine Harvest), Aina Valland (FHL Havbruk), Geir Molvik (Cermaq ASA), Erlend Haugarvoll (Lingalaks AS), samt deltagerne på workshop på lukket anlegg den 20.juni 2011, Truls Hanssen (Mainstream), Erlend Haugarvold (Lingalaks), Jesper Økland (Lerøy Seafood), Marta Valdez (LO), Sverre Eriksen (LO), Kjell Maroni (FHF) og Aina Valland (FHL Havbruk), Tor Arne Giskegjerde, Ewos Innovation. Vi vil rette en takk til Bendik Fyhn Terjesen (Nofima, divisjon Akvakultur) for innspill til vurdering av hvilke muligheter og utfordringer man vil møte i lukkede anlegg både gjennom tekst bidrag og innlegg på workshop. I tillegg vil vi takke, Kjell-Arne Rørvik, Torbjørn Åsgård, Trine Ytrestøyl og Olai Einen (NOFIMA divisjon Akvakultur) for bidrag til rapporten. Vi takker også Eirik Biering fra Veterinærinstituttet for innspill og tekst under kapitel 7 og innlegg på workshop.

17 Referanser

AAS, T.S., TERJESEN, B.F., SIGHOLT, T., HILLESTAD, M., HOLM, J., REFSTIE, S., BAEVERFJORD, G., RØRVIK, K.A., SØRENSEN, M., OEHME, M., ÅSGÅRD, T., 2011. Nutritional responses in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions. Aquaculture Nutrition, 16, 657-670

AAS, T.S., GRISDALE-HELLAND, B., TERJESEN, B.F., HELLAND, S.J., 2006. Improved growth and nutrient utilisation in Atlantic salmon (Salmo salar) fed diets containing a bacterial protein meal. Aquaculture. 259, 365-376

ACKEFORS, H. & ENELL, M. 1994. THE RELEASE OF NUTRIENTS AND ORGANIC-MATTER FROM AQUACULTURE SYSTEMS IN NORDIC COUNTRIES. JOURNAL OF APPLIED ICHTHYOLOGY-ZEITSCHRIFT FUR ANGEWANDTE ICHTHYOLOGIE, 10, 225-241

ALABASTER J, SHURBEN D AND KNOWLES G 1979. Effect of dissolved-oxygen and salinity on the toxicity of ammonia to smolts of Atlantic salmon (Salmo salar L). JOURNAL OF FISH BIOLOGY, pp 705-712.

ANDREASSEN, O. 2010. Oppdrettsnæringens arealbeslag i kystsonen. *Programkonferansen Havbruk 2010.* Norges Fiskerihøyskole

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

ANON, 1994. Forskningsprogrammet Lukkede produksjonsanlegg på land og i sjø : sluttrapport. Norges Forskningråd. ISBN 8212002403.

AUSTRENG, E., STOREBAKKEN, T. & ASGARD, T. 1987. GROWTH-RATE ESTIMATES FOR CULTURED ATLANTIC SALMON AND RAINBOW-TROUT. Aquaculture, 60, 157-160.

AYER, N. & TYEDMERS, P. 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 17, 362-373.

BERG, A., DANIELSBERG, A., SELAND, A. & SIGHOLT, T. 1993. OXYGEN-DEMAND FOR POSTSMOLT ATLANTIC SALMON (SALMO-SALAR L).

BERGHEIM, A., BRAATEN, B., 2007. Modell for utslipp frå norske matfiskanlegg til sjø. Rapport nr 2007/180. Stavanger: IRIS.

BERGHEIM, A., ÅSGÅRD,T., 1996. Waste production from aquaculture. In: BAIRD, D. J., BEVERIDGE, M.C.M, KELLY L.A., AND MUIR J.F., (ed.) Aquaculture and Water Resource Management. Oxford,UK: Blackwell Science Ltd.

BERGHEIM, A., FORSBERG, O.I., SANNI, S., 1993. Biological basis for land-based farming of Atlantic salmon: oxygen consumption. in: Reinertsen, H., Dahle, L.A., Jørgensen, L., Tvinnerheim, K. (Eds.), Fish Farming Technology. Balkema, Rotterdam, pp. 289-295

BERGHEIM, A., GAUSEN, M., NÆSS, A., HØLLAND, P. M. KROGEDAL, P., AND CRAMPTON, V. 2006, A newly developed oxygen injection system for cage farms. AQUACULTURE ENGINEERING, 34, 40-46.

BISHOP, R. E. D. AND W. G. PRICE (1979). Hydroelasticity of ships. Cambridge, Cambridge University Press.

BJERKNES, V., FYLLINGEN, I., HOLTET, L., TEIEN, H.C., ROSSELAND, B.O., KROGLUND, F., 2003. Aluminium in acidic river water causes mortality of farmed Atlantic Salmon (Salmo salar L.) in Norwegian fjords. Marine Chemistry. 83, 169-174.10.1016/s0304-4203(03)00110-5

BJERKNES, V., LILTVED, H., ROSSELAND, B.O., ROSTEN, T., SKJELKVÅLE, B.L., STEFANSSON, S., ÅTLAND, Å., 2007. Vannkvalitet og smoltproduksjon. Juul forlag

BERNIER, N. J. & RANDALL, D. J. 1998. Carbon dioxide anaesthesia in rainbow trout: effects of hypercapnic level and stress on induction and recovery from anaesthetic treatment. Journal of Fish Biology, 52, 621-637.

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.

BORNØ, G., SVILAND, C. (eds) Fiskehelserapporten 2010. Veterinærinstituttet. ss35.

BRAUNER, C. J., SEIDELIN, M., MADSEN, S. S. & JENSEN, F. B. 2000. Effects of freshwater hyperoxia and hypercapnia and their influences on subsequent seawater transfer in Atlantic salmon (Salmo salar) smolts. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57, 2054-2064.

BRETT, J. R., GROVES, T.D.D. (ed.) 1979. Physiological energetics. In: Fish physiology VIII. Edited by W.S.Hroar, D.J. Randall and J.R. Brett, New York: Academic Press.

BRINKER, A. T., KOPPE, W., RÖSCH, R., 2005. Optimised effluent treatment by stabilised trout faeces. Aquaculture, 249, 125- 144.

BUSCHMANN, A., TROELL, M., KAUTSKY, N. & KAUTSKY, L. 1996. Integrated tank cultivation of salmonids and Gracilaria chilensis (Gracilariales, Rhodophyta). HYDROBIOLOGIA, 327, 75-82.

BRAATEN, B., LANGE, G., BERGHEIM, A., 2010. Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø. Klif - Klima- og forurensningsdirektoratet, Stavanger/Bergen, pp. 50.

BJERKENG, B., PEISKER, M., VON SCHWARTZENBERG, K., YTRESTØYL, T., ÅSGÅRD, T., 2007. Digestibility and muscle retention of astaxanthin in Atlantic salmon, Salmo salar, fed diets with the red yeast Phaffia rhodozyma in comparison with synthetic formulated astaxanthin. Aquaculture. 269, 476-489

BODVIN, T. AND Y. ULGENES (1994). Tilpasning, testing og demonstrasjon av oppsamlingssystemer for flytende, lukkede oppdrettsanlegg. SFT-prosjekt 93620, Statens forurensningstilsyn.

BOYD, C. E., 2000. Water quality – an introduction. Kluwer Academic Publishers, Norwell.

CRIPPS, S. J. & BERGHEIM, A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquacultural Engineering, 22, 33-56.

CHADWICK,M.P., BOUMY SAYAVONG G. J. P (EDS) (2010). Evaluation of Closed-containment Technologies for Saltwater Salmon Aquaculture - Appendices. NRC Research Press.

CHEN, S., LING, J., BLANCHETON, J.-P., 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. Aquacultural Engineering. 34, 179-197

CHRISTIE, M. (1987). "Flytende raceway – et nytt og bedre oppdrettssystem." Norsk fiskeoppdrett 5: 33 - 35.

CHRISTIANSEN, J. S., JOBLING, M., AND JØRGENSEN, E. 1990. Oksygen og vannbehøv. Nye reviderte tabeller. NORSK FISKEOPPDRETT. 15, 28-29.

COLT, J., AND ARMSTRONG, D. A. 1981. Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and molluscs. In Bioengineering Symposium on Fish Culture. Edited by L. J. Allen and E. C, Kinney. American Fisheries Society, Bethseda, MD. pp 34-47.

COLT, J. AND ORWICZ, K. 1991. Modelling production capacity of awuatic culture systems under freshwater conditions. AQUACULTURE ENGINEERING, 10, 1-29.

COLT, J. & WATTEN, B. 1988. APPLICATIONS OF PURE OXYGEN IN FISH CULTURE. Aquacultural Engineering, 7, 397-441.

COSTELLO, M. 2009a. The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. JOURNAL OF FISH DISEASES, 32, 115-118.

COSTELLO, M. 2009b. 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.

COSTELLO, M. 2009c. Progress in understanding the ecology of sea lice, copepod parasites of wild and farmed salmonids. INTEGRATIVE AND COMPARATIVE BIOLOGY, 49, E38-E38.

CRAMPTON, V., HØLLAND, P. M. BERGHEIM, A., GAUSEN, M., AND NÆSS, A. 2003. Oxygen effects on caged salmon. FISH FARMING INTERNATIONAL. 2003, 26-27.

DAVIDSON, J., & SUMMERFELT, S., (2005). Solids removal from a coldwater recirculating system—comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. Aquacultural Engineering 33 (2005) 47–61

DAS, S. AND K. F. CHEUNG (2009). "Coupled boundary element and finite element model for fluid-filled membrane in gravity waves." Engineering Analysis with Boundary Elements 33(6): 802-814.

DEL CAMPO, L.M., IBARRA, P., GUTIERREZ, X., TAKLE, H., 2010. Utilization of sludge from recirculation aquaculture systems. Nofima Marin, Ås, pp. 73, report 09/10.

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 assesment of closed system aquaculture. The David Suzuki Foundation and The Georgia Strait Alliance.

EINEN, O. 2001. Vekst og fôrutnyttelse.I: Fiskeernæring (Red.: R. Waagbø , M. Espe, K. Hamre og Ø. Lie), s. 205 – 217. Kystnæringen Forlag & Bokklubb as, Dreggen, Bergen.

ELLIS, T., NORTH, B., SCOTT, A., BROMAGE, N., PORTER, M., GADD, D., 2002. The relationship between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. J. Fish. Biol. 61, 493-531

EMPARANZA, E.J.M., 2009. Problems affecting nitrification in commercial RAS with fixed-bed biofilters for salmonids in Chile. Aquacultural Engineering. 41, 91-96

ERIKSON, U., MISIMI, E., 2008. Atlantic salmon skin and fillet color changes effected by perimortem handling stress, rigor mortis, and ice storage. Journal of Food Science. 73, 50-59

FREDHEIM, A. 2011. RE: Forskning for å unngå rømming - hvor står vi, og hvilke utfordringer har vi? Foredrag på RKA seminar 25.mai 2011.

FREDRIKSSON, D., TSUKROV, I. & HUDSON, P. 2008. Engineering investigation of design procedures for closed containment marine aquaculture systems. AQUACULTURAL ENGINEERING, 39, 91-102.

FISKERIDIREKTORATET 2006. Økonomiske Analyser Fiskeoppdrett. Lønnsomhetsundersøkelse for matfiskproduksjon, laks og ørret. År 2005. (fra www.fdir.no)

FISKERIDIREKTORATET 2009. Økonomiske Analyser Fiskeoppdrett. Lønnsomhetsundersøkelse for matfiskproduksjon, laks og ørret. År 2008. (fra www.fdir.no)

FIVELSTAD, S. & SMITH, M. J. 1991. THE OXYGEN-CONSUMPTION RATE OF ATLANTIC SALMON (SALMO-SALAR L) REARED IN A SINGLE PASS LANDBASED SEAWATER SYSTEM. Aquacultural Engineering, 10, 227-235.

FIVELSTAD, S., KALLEVIK, H., IVERSEN, H. M., MØRETRØ, T., VÅGE, K., AND BINDE, M. 1993. Sublethal effects of ammonia in soft water on Atlantic salmon smolts at a low temperature. AQUACULTURE INTERNATIONAL, 1, 157-169.

FIVELSTAD, S., AND BINDE, M. 1994. Effects of reduced waterflow (increased loading) in soft water on Altantic salmon smolts (Salmo salar L.) while maintaining oxygen at constant level by oxygenation of the inlet water. AQUACULTURE ENGINEERING, 13, 211-235.

FIVELSTAD, S., SCHWARTZ, J., AND STRØMSNES, H., 1995. Sublethal effects and safe levels of ammonia in seawater for Atlantic salmon postsmolts (Salmo salar L.) AQUATIC ENGINEERING, 14, 271-280.

FIVELSTAD, S., HAAVIK, H., LØVIK, G., AND OLSEN, A. B., 1998. Sublethal effects and safe levels of carbon dioxide for Atlantic salmon postsmolts (Salmo salar L.). AQUACULTURE, 160, 305-316.

FIVELSTAD, S., OLSEN, A. B., KLØFTEN, H., SKI, H., AND STEFANSSON, S. 1999. Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (Salmo salar L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater. AQUACULTURE, 178, 171-177

FIVELSTAD, S., WAAGBØ, R., STEFANSSON, S., AND OLSEN, A. B. 2007. Impacts of elevated water carbon dioxide partial pressure at two temperatures on Atlantic salmon (Salmo salar L.) parr growth and haematology. AQUACULTURE, 269, 241-249

FORBORD, S., HANDÅ, A., REITAN, K.I., SKJERMO, 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

FORSBERG, O. I. 1994. Modelling oxygen comsumption rates of postsmolt Atlantic salmon in commercial-scale land-based farms. AQUACULTURE INTERNATIONAL. 2, 180-196.

FORSBERG O.I. 1997. The impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smelt Atlantic salmon Salmo salar L. Aquaculture Research 28, 29-41.

FRAZER, L. (2009). "Sea-Cage Aquaculture, Sea Lice, and Declines of Wild Fish." CONSERVATION BIOLOGY 23(3): 599-607.

FRIDELL, F., GADAN, K., SUNDH, H., TARANGER, G. L., GLETTE, J., OLSEN, R. E., SUNDELL, K., AND EVENSEN, Ø. 2007. Effect of hyperoxygenation and low water flow on the primary stress response and susceptibility of Atlantic salmon Salmo salar L. to experimental challenge with IPN virus. AQUACULTURE, 270, 23-35.

GEBAUER, R., 1992. Matfiskanlegg. in: Gebauer, R., Eggen, G., Hansen, E., Eikebrokk, B. (Eds.), Oppdrettsteknologi. Vannkvalitet og vannbehandling i lukkede oppdrettsanlegg. Tapir Forlag, Trondheim, pp. 63-96

GROTTUM J.A. AND SIGHOLT T. 1998. A model for oxygen consumption of Atlantic salmon (Salmo salar) based on measurements of individual fish in a tunnel respirometer. Aquacultural Engineering 17, 241-251

GULLESTAD, P., BJØRGO, S., EITHUN, I., ERVIK, A., GUDDING, R., HANSEN, H., JOHANSEN, R., OSLAND, A.B., RØDSETH, M., RØSVIK, I.O., SANDERSEN, H.T., SKARRA, H., (2011). Effektiv og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen. Peter Gullestad, fagdirektør, Fiskeridirektoratet, leder, Rapport fra et ekspertutvalg oppnevnt av Fiskeri- og kystdepartementet: 190.

GUTIERREZ, A., KOLAREVIC, J., SÆTHER, B., BÆVERFJORD, G., TAKLE, H., MEDINA, H., TERJESEN, B., 2011. Effects of sub-lethal nitrite exposure at high chloride background during the parr stage of Atlantic salmon, In: Aquaculture Europe 2011 Proc., Rhodes, Greece, pp. 568-569.

HANDELAND, S.O., KRISTENSEN, T., ROSTEN, T., URKE, H., DAMSGÅRD, B., NOBLE, C., MIKKELSEN, H., TOFTEN, H., EVENSEN, T., ROSSELAND, B.O., SALBU, B., CHRISTISAN, H.C., STEFANSSON, S.O., 2008. Påvirker vannkvalitet og produksjonsintensitet risiko for utvikling av vintersår hos postsmolt; Resultater fra en storskala feltstudie. Fiskehelse. 10

HANSEN, T. (1992). Sluttrapport for DU-prosjekt MB 89697: Lukket merd, Havforskningsinstituttet.

HEUCH, P.A., PARSONS, A., BOXASPEN, K., 1995. Diel vertical migration: A possible host-finding mechanism in salmon louse (Lepeophtheirus salmonis) copepodids? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52, 681-689

HEUCH, P.A. & SCHRAM, T.A. (1999). Crustacea (Krepsdyr). I Fiskehelse og fiskesykdommer, Universitetsforlaget, ISBN 82-00-12718-4.

HILLESTAD, M., ÅSGÅRD, T., BERGE, G., 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. Aquaculture. 179, 81-94

HATFIELD CONSULTANTS (2002). Future Sea Closed Containment Units. Monitoring Report Draft - First Production Cycle.

HAWTHORNE, W. R. (1961). "The early development of the Dracone flexible barge." ARCHIVE: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1847-1982 (vols 1-196) 175: 52-83.

HOSFELD, C., HAMMER, J., HANDELAND, S., FIVELSTAD, S., STEFANSSON, S., 2009. Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquaculture. 294, 236-241

HUGGINS, D.L., 2003. Analysis of sediment transport modeling using computational fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceways. MS Thesis, University of California Davis, 265 pp.

HUSBY, A. (2006). Bruk av UV-lys for desinfeksjon av vann i oppdrettsnæringen. Norsk fiskeoppdrett nr 2 2006.

HUTCHINSON, W., JEFFREY, M., O'SULLIVAN,D.,CASEMENT,D., CLARKE, S. 2004. Recirculation Aquaculture systems - Minimum standards for design, construction and management. Kent Town: Inland Aquaculture Association of South Australia Inc.

IVERSEN, A., KOSMO, J.P., 2004. Kan vekstindeksene sammenlignes? (In Norwegian). Norsk Fiskeoppdrett, 62-64.

JENSEN, F., 2003. Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology. 135, 9-24.10.1016/s1095-6433(02)00323-9

JOBLING, M. 1994. Fish bioenergetics, London, Chapman and Hall

JONES, T.A., DONNELLY, C.A., STAMP DAWKINS, M., 2005. Environmental and management factors affecting the welfare of chickens on commercial farms in the United Kingdom and Denmark stocked at five densities. Poult Sci. 84, 1155-1165

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, S., SKAAR, A., (1993) Økonomisk analyse av flytende lukkede oppdrettsanlegg. Analyse av produksjons- og investeringskostnader ved oppdrett i flytende lukkede anlegg, sammen lignet med tradisjonelle sjøanlegg og landbaserte anlegg. Akva Instituttet AS. pp 1-25.

KIEFFER, J.D., ALSOP, D., WOOD, C.M., 1998. A respirometric analysis of fuel use during aerobic swimming at different temperatures in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). J Exp Biol. 201, 3123-3133

KJARTANSSON, H., FIVELSTAD, S., THOMASSEN, J.M., SMITH, M.J., 1988. Effects of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult Atlantic salmon (Salmo salar L.) reared in circular tanks. Aquaculture. 73, 261-274.10.1016/0044-8486(88)90060-9

KLEBERT P AND E. HØY (in prep.). Experimental Study on the Drag and Deformation of a Flexible Skirt-netcage System Structure. To be send to Aquacultural Engineering Journal

KNOPH, M.B., 1995. Toxicity of ammonia to Atlantic Salmon (Salmo salar L.). Department of Fisheries and Marine Biology. University of Bergen, Bergen.

KOSKELA, J., PIRHONEN, J. & JOBLING, M. 1997. Feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon exposed to different constant temperatures. Aquaculture International, 5, 351-360.

KRISTENSEN, T., ROSSELAND, B., KIESSLING, A., DJORDEVIC, B., MASSABAU, J.C., 2010. Lack of arterial pO2 downregulation in Atlantic salmon (Salmo salar L.) during long-term normoxia and hyperoxia. Fish Physiol Biochem. 36, 1087-1095

KRISTENSEN, T., HAUGEN, T., ROSTEN, T., FJELLHEIM, A., ÅTLAND, Å., ROSSELAND, B.O., 2011. Effects of production intensity and production strategies in commercial Atlantic salmon smolt (Salmo salar L.) production on subsequent performance in the early sea stage. Fish Physiol Biochem. In press

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. 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., 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.

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.

LIU, C., XIA, W. & PARK, J. 2007. A wind-driven reverse osmosis system for aquaculture wastewater reuse and nutrient recovery. DESALINATION, 202, 24-30.

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.

McKENZIE, D. J., SHINGLES, A. AND TAYLOR, E. W. 2003. Sublethal plasma ammonia accumulation and the exercise performance of salmonids. COMPARATIVE BIOCHEMICAL PHYSIOLOGY A. 135, 515-526.

MEADE, J. W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. PROGRESSIVE FISH CULTURIST, 47, 135-145.

MORAN, D., 2010. Carbon dioxide degassing in fresh and saline water. I: Degassing performance of a cascade column. Aquacultural Engineering. 43, 29-36

Montas, J.H., Prabhakar, G.V.S., Wheaton, F., 2000. CFD analysis of flow in aquaculture tanks. Proceedings of the 93rd Annual International Meeting of ASAE. Biological Resources Engineering Department. University of Maryland at College Park, 9–12 July. ASAE paper No 003111, pp. 1–24.

NORTH, B. P., TURNBULL, J. F., ELLIS, T., PORTER, M. J. MIGAUD, H., BRON, J., AND BROMAGE, N. R., 2006, The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). AQUACULTURE, 255, 466-479.

NORDGARDEN, U., OPPEDAL, F., TARANGER, G. L., HEMRE, G. I. & HANSEN, T. 2003. Seasonally changing metabolism in Atlantic salmon (Salmo salar L.) I - Growth and feed conversion ratio. Aquaculture Nutrition, 9, 287-293

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.

KARLSSON, A., ROSSELAND, B.O., THORARENSEN, H. & KIESSLING, A. 2011. Changes in arterial oxygen tension and physiological status in resting, unrestrained Arctic charr Salvelinus alpinus (L.) exposed to mild hypoxia and hyperoxia. - Journal of Fish Biology 78 962-966

KRISTENSEN, T., ROSSELAND, B. O., KIESSLING, A., DJORDEVIC, B. & MASSABAU, J. C. 2010. Lack of arterial PO(2) downregulation in Atlantic salmon (Salmo salar L.) during long-term normoxia and hyperoxia. Fish Physiology and Biochemistry, 36, 1087-1095.

KOSKELA, J., PIRHONEN, J. & JOBLING, M. 1997. Feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon exposed to different constant temperatures. Aquaculture International, 5, 351-360.

LIU, C., XIA, W. & PARK, J. 2007. A wind-driven reverse osmosis system for aquaculture wastewater reuse and nutrient recovery. DESALINATION, 202, 24-30.

LOSORDO, T. M. AND WESTERS, H., (1994). System carrying capacity and flow estimations. In: Timmons, M.B., Losordo, T.M. (Eds) Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 27.: 9-60.

LYGREN. B, HAMRE K AND WAAGBØ R 2000. Effect of induced hyperoxia on the antioxidant status of Atlantic salmon Salmo salar L. fed three different levels of dietary vitamin E. Aquac. Res., 401-407.

MONTAS, J.H., PRABHAKAR, G.V.S., WHEATON, F., (2000). CFD analysis of flow in aquaculture tanks. Proceedings of the 93rd AnnualInternational Meeting of ASAE. Biological Resources Engineering Department. University of Maryland at College Park, 9–12 July. ASAE paper No 003111, pp. 1–24.

OLAFSEN, T., SANDBERG, G.,M., HENRIKSEN, K.,BULL-BERG, H.,JOHANSEN, U., STOKKA, A., (2011). Betydningen av fiskeri- og havbruksnæringen for Norge i 2009. SINTEF.

OPPEDAL, F., DEMPSTER, T., STIEN, L., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. Aquaculture. 311, 1-18

PORTZ, D.E., WOODLEY, C.M. AND CECH, J.J.JR. 2006. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. Rev. Fish. Biol. Fisheries 16: 125-170.

PETERSEN, E.L., HARRIS, J.A. , WADHWA, L.C. (2000) CFD modelling pond dynamic processes. Aquaculture engineering 23, pp 61-93

PHADKE, A. C. AND K. F. CHEUNG (2003). "Nonlinear response of fluid-filled membrane in gravity waves." Journal of Engineering Mechanics 129(7): 739-750.

POWELL, D. AND PERRY, S. F. 1997. Respiratory and acid-base disturbances in rainbow trout blood during exposure to chloramines-T under hypoxia and hyperoxia. JOURNAL OF FISH BIOLOGY, 50, 418-428.

RANDALL, D. J., AND TSUI, T. K. N., 2002. Ammonia toxicity in fish. MARINE POLLUTION BULLETIN, 45, 17-23.

RASMUSSEN, M.R., (2002). Numerical modeling of hydrodynamics in aquaculture systems: a civil engineer perspective. Proceedings of the Fourth International Conference on Recirculating Aquaculture. Virginia Tech, pp. 152–162.

REINERTSEN, H., DAHLE, L.A., JØRGENSEN, L. & K. TVINNEREIM (red.). 1993. Fish Farming Technology. Proceedings of the first Conference on Fish Farming Technology, Trondheim, Norway, 9- 12 August 1993. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands. 482 pp.

REBITZER, G., EKVALL, T., FRISCHKNECHT, R., HUNKELER, D., NORRIS, G., RYDBERG, T., SCHMIDT, W. P., SUH, S., WEIDEMA, B. P. & PENNINGTON, D. W. 2004. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International, 30, 701-720.

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. 2000. Fighting high CO2 levels in hatcheries - with ejector based degasssing (In Norwegian). *Norsk Fiskeoppdrett,* 25**,** 68-71 : ill.

ROSTEN T 2009. Oxygen in water - what is favorable for the fish? (In Norwegian, English summary). VANN 44 nr 4, pp 367-374

RUDI, H., F. SOLAAS, ET AL. (1993). Floating fish farms with bag pens. International Conference on Fish Farming Technology. Reinertsen, Dahle, Jørgensen and K. Tvinnereim. Trondheim, Balkema: Sp. 317-323.

RUDI, H., J. V. AARSNES, ET AL. (1993). Modellforsøk med lukket, flytende merd. MARINTEK Rapport. Trondheim, MARINTEK.

RUSSO, R., AND THRUSTON, R. 1991. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes. In. Aquaculture and water quality. Edited by D.E, Brune and J. R. Tomasso. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. pp 58-89.

SANNI, S., FORSBERG, O. L. AND BERHEIM, A., 1993. A dynamic model for fish metabolite production and water quality in land-based fish farms. In. Fish Farming Technology: Proceedings of the First International Conference on Fish Farming Technology, Trondheim, Norway, 9-12 August 1993. Edited by H Reinertsen, L. A. Dahle, L. Jørgensen and K . Tvinnereim. Balkema, Rotterdam. pp 367-374.

SANNI, S., AND FORSBERG, O. L. 1996. Modelling pH and carbon dioxide in single-pass seawater aquaculture systems. AQUACULTURE ENGINEERING, 15, 91-110.

SARA, G., ZENONE, A. & TOMASELLO, A. 2009. Growth of Mytilus galloprovincialis (mollusca, bivalvia) close to fish farms: a case of integrated multi-trophic aquaculture within the Tyrrhenian Sea. Hydrobiologia, 636, 129-136.

SAUNDERS, R. L., HARMON, P.R. 1988. Extended daylength increases post-smolt growth Worl Aquac, 72-73.

SELVIK, J.R., TJOMSLAND, T., BORGVANG, S.A. & H.O. EGGESTAD. 2005. Tilførsler av næringssalter til Norges kystområder, beregnet med tilførselsmodellen TEOTIL2. Rapport NIVA, 5103-2005. 57 s.

SEYMOUR, E. A., 1990. Determination of optimal biological condition s for the growth of Atlantic salmon in landbased farms by pilot scale research. International Research Insittute of Stavanger, Arbeitsnotat. Rapp. RF-1990/243.

SCHREIER, H., MIRZOYAN, N., SAITO, K., 2010. Microbial diversity of biological filters in recirculating aquaculture systems. Current Opinion in Biotechnology. 21, 318-325

SHINGLES, A. McKENZIE, D. J. TAYLOR, E. W. MORETTI, A., BUTLER, P. J., AND CERADINI, S. 2001. Effects of sub-lethal ammonia exposure on swimming performance in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY, 204, 2699-2707.

SINDILARIU, P. D., BRINKER, A. & REITER, R. 2009. Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. Aquacultural Engineering, 41, 127-135.

SKAAR, A. & BODVIN, T. 1994. Brukerveileder flytende lukkede poser. Agderforskning.

SKAAR, A., KITTELSEN, A., REFSTIE, T., STEINSHYLLA, K. & BODVIN, T. 1994. Miljøanalyse og driftserfaring for lukket oppdrettsanlegg i sjø.

STECHEY, D. AND W. D. ROBERTSON (2010). An overview of closed containment systems and technologies.

STEFANSSON, S.O., IMSLAND, A.K., HANDELAND, S.O., 2009. Food-deprivation, compensatory growth and hydro-mineral balance in Atlantic salmon (Salmo salar) post-smolts in sea water. Aquaculture. 290, 243-249.10.1016/j.aquaculture.2009.02.024

SUMMERFELT, S. 2011. Containment systems for Biosecurity, Escapes, Alien species and other Environmental Factors. *AquaNor Forum.* Trondheim, Norway: The Conservation Fund.

SVOBODOVÁ, Z., MÁCHOVÁ, J., POLESZCZUK, G., HÒDA, J., HAMÁÂKOVÁ, J. & KROUPOVÁ, H. 2005. Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. *Acta Vet. Brno.,* 74**,** 129-137.

SØLSNES, E., HANSEN,. T., (1992) Lukket merd Sluttrapport for NFFR-Prosjektet 1401-701.205. Havforskningsinstituttet. Pp 1-12.

SØRENSEN, A. J. (2011). Marine Control Systems: Propulsion and Motion Control Systems of Ships and Ocean Structures. First Edition, UK-2011-76, Department of Marine Technology, the Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.

TARANGER, G.L., SVÅSAND, T, MADHUN, A.,S., BOXASPEN, K.K. (2011) Risikovurdering av Norsk Fiskeoppdrett. Pressekonferanse 13.01.2011 pp 1-24.

TSUKROV, I., O. EROSHKIN, ET AL. (2003). "Finite element modeling of net panels using a consistent net element." Ocean Engineering 30(2): 251-270.

TERJESEN, B.F., 2008. Nitrogen excretion. in: Finn, R., Kapoor, B. (Eds.), Fish Larval Physiology. Science Publishers., New York, pp. 263-302

TERJESEN, B.F., ULGENES, Y., FJÆRA, S.O., SUMMERFELT, S.T., BRUNSVIK, P., BAEVERFJORD, G., NERLAND, S., TAKLE, H., NORVIK, O.C., KITTELSEN, A. (2008). RAS research facility dimensioning and design: A special case compared to planning production systems. In Aquaculture Engineering Society Issues Forum, proceedings. p. 223-238. Roanoke, Virginia, 23rd-24th July, 2008.

TERJESEN, B.F., KOLAREVIC, J., MYDLAND, L., TAKLE, H., ULGENES, Y., SUMMERFELT, S., GOOD, C., BÆVERFJORD, G., REITEN, B., SELSET, R., NERLAND, S., KITTELSEN, A., BRUNSVIK, P., FJÆRA, S., IBIETA, P., GUTIERREZ, X., RUD, I., RUDI, K., ÅSGÅRD, T., 2010. Nofima Centre for Recirculation in Aquaculture – Technical aspects and fresh results. Norsk Fiskeoppdrett. 35, 38-43

TERJESEN, B.F., ROSSELAND, B.O., 2009. Produksjon og giftighet av ammoniakk hos fisk. Norsk Fiskeoppdrett. 34, 52-55

THORARENSEN, H., FARRELL, A., 2011. The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. Aquaculture. 312, 1-14

THORARENSEN, H., FARRELL, A., 2010. Comparative Analysis of the Biological Requirements for Salmonid Production at a Range of Densities in Closed-containment Systems. In: *Evaluation of Closed-*

containment Technologies for Saltwater Salmon Aquaculture. Eds by Chadwick, M.P.E, Parsons, J.G., Sayavong, B. 2010. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canadam, pp 39-56.

THURSTON, R.V., RUSSO, R.C., 1983. Acute toxicity of ammonia to rainbow trout. Transactions of the American Fisheries Society. 112, 696-704

TIMMONS, M. B. EBELING, J. M., WHEATON, F. W., SUMMERFELT, S. T. AND VINCI, B. J., 2001. Recirculating aquaculture systems. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, N. Y. NRAC Pub. No. 01-002.

TIMMONS, M.B., EBELING, J.M. 2007 Recirculating Aquaculture. NRAC Publications, No. 01-007. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, p.49.

TOFTEN, H., DAMSGÅRD, B., HANDELAND, S., KRISTENSEN, T., MIKKELSEN, H., ROSSELAND, B.O., SALBU, B., STEFANSSON, S.O., TEIEN, H.-C., 2011. Optimal smolt production and post smolt performance in the High North - Seawater intermixing, low temperatures and intensive rearing –FINAL REPORT - Norwegian Research Council Project 184997/S40 (2008-2011). Nofima, pp. 24

TORPE, L., 2011. Har trua på lukka anlegg. http://www.intrafish.no/norsk/nyheter/article288818.ece, IntraFish.

TROELL, M., CHOPIN, T., REID, G., ROBINSON, S. & SARA, G. 2011. Untitled. AQUACULTURE, 313, 171-172.

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., EROSHKIN, O., FREDRIKSSON, D., SWIFT, M. R. & CELIKKOL, B. 2003. Finite element modeling of net panels using a consistent net element. Ocean Engineering, 30, 251-270.

TURNBULL, J., BELL, A., ADAMS, C., BRON, J., AND HUNTINGFORD, D. 2005. Stocking density and welfare of

TVINNEREIM, K. 1990. Hydraulisk utforming og drift av lukkede oppdretts enheter for laksefisk. SINTEF NHL-rapport STF60 A90044.

TVINNEREIM, K. 1994. Hydraulisk utforming av oppdrettstanker. Brukerrapport. SINTEF NHL-rapport STF60 A94046.

TVINNEREIM, K. 1997. Lukkede oppdrettsanlegg for laksefisk og flatfisk. Teknologi, hydraulikk, drift og sikkerhet. Rapportnr STF22 A97326.

Veerapen, J.P., Brooks, M.J., Lowry, B.J., Couturier, M.F., 2002. Solids removal modeling in recirculating aquaculture systems. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Recirculating Aquaculture, Roanoke, VA, USA, July 18–21, 2002. Virginia Polytechnic Institute and State University, pp. 152–162, 491–498.

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.

Wathne, E., Bjerkeng, B., Storebakken, T., Vassvik, V., Odland, A., 1998. Pigmentation of Atlantic salmon (Salmo salar) fed astaxanthin in all meals or in alternating meals. Aquaculture. 159, 217-231

WEDEMEYER, G. A. 1996. Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman and Hall, New York

WEDEMEYER, G. A. 1997. Effect of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In. Fish stress and health in aquaculture. Edited by G. K. Iwama, A. D. Pickering, J. P. Sumpter, and C. B. Schreck. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Pp 35-72.

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.

WILSON, R. W., AND TAYLOR, E. W., 1992. Transbranchial ammonia gradients and acid-base responses to high external ammonia or rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) acclimated to different salinities. JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY, 166, 95-122.

WEIDER, O. (2010). Konseptutvikling Fisk i betong. Fisk i betong, Stavanger.

WOOD, C.M., 2001. Influence of feeding, exercise, and temperature on nitrogen metabolism and excretion. in: Wright, P.A., Anderson, P.M. (Eds.), Fish Physiology. Academic Press, London, New York, pp. 201-238

ZHAO, R. AND J. V. AARSNES (1998). "Numerical and experimental studies of a floating and liquid-filled membrane structure in waves." Ocean Engineering 25(9): 753-765.

ZHAO, R. AND M. S. TRIANTAFYLLOU (1994). Hydroelastic analyses of a long flexible tube in waves. International Conference on Hydroelasticity in Marine Technology, Trondheim, Norway.

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.

18 Vedlegg

18.1 Vedlegg 1 Volum pr enhet ved ulike størrelser på notposer

Tabell 12
Volum pr enhet ved ulike størrelser på notposer.

	Dybde pose				
Størrelse merde	20m	25m	30m	35m	40m
90m	12 851	16 063	19 276	22 489	25 701
120m	22 846	28 557	34 268	39 980	45 691
140m	31 095	38 869	46 643	54 417	62 191
157m	39 106	48 882	58 658	68 435	78 211

Tabell 13
Maksimal produksjon pr enhet i forhold til not.

	Dybde pose				
Størrelse merde	20m	25m	30m	35m	40m
90m	321	402	482	562	643
120m	571	714	857	999	1142
140m	777	972	1 166	1 360	1 555
157m	978	1 222	1 466	1 711	1 955

Tabell 14
Antall enheter og arealbehov for produksjon av 1 000 000 tonn laksefisk

Størrelse merde	Antall enheter for produksjon av 1 000 000 tonn	Teoretisk arealbehov (daa)
90	3 113	17 799
120	1 401	9 499
140	858	6 467
157	584	4 803

18.2 Vedlegg 2 Sykdomsstatus laksefisk i Norge

18.2.1 Virus

Det er pr 2010 hovedsakelig seks sykdommer med viral eller mulig viral årsak som er aktuelle i oppdrett av laksefisk i Norge (Bornø et al, 2010). Disse er: (1) Viral hemoragisk septikemi (VHS), (2) Infeksiøs lakseanemi (ILA), (3) Pankreassykdom (PD), (4) Infeksiøs pankreasnekrose (IPN), (5) Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og (6) Kardiomyopatisyndrom (CMS). En kort beskrivelse av sykdom og agens samt status i næringen er gjengitt i vedlegg 2.

18.2.1.1 Viral hemoragisk septikemi (VHS)

VHS-viruset er et RNA virus i familen *Rhabdoviridae*. Ved genotyping kan man dele VHS-viruset inn i fire grupper, hvorav tre så langt er funnet i Europa. VHS er en Liste 2 sykdom som først og fremst rammer regnbueørret. Akutte stadier kjennetegnes ved blødninger i hud, muskulatur og indre organer. Viruset har blitt isolert fra en lang rekke marine fiskearter (Skall et al. 2005). Fisken får anemi, utstående øyne og utspilt buk. Unormale svømmebevegelser som spiralsvømming og vridning (blinking) er vanlig. Diagnosen stilles ved påvisning av VHS-virus ved dyrking, PCR og immunhistokjemi sammenholdt med patologiske funn. Spredning fra fisk til fisk og via vannmassene er kjent (Skall et al. 2005), og utslakting av fisk med symptomer på et tidlig stadium er viktig for å bekjempe sykdommen. VHS er ikke en vanlig sykdom i norsk oppdrett, men i 2007 ble det påvist VHS på tre lokaliteter i Storfjorden i Møre og Romsdal, i 2008 på to lokaliteter i samme fjord og i 2009 på ett anlegg. I alle tilfeller var det regnbueørret som var smittet. Ingen tilfeller ble funnet i 2010.

18.2.1.2 Infeksiøs lakseanemi (ILA)

ILA forårsakes av et RNA-virus i gruppen orthmyxovirus som skader blodceller og celler i blodkarets vegg. Dette forårsaker anemi, blødninger og dødelighet av varierende omfang. ILA er en Liste 2 sykdom, og diagnostikken baserer seg på flere kriterier, der funn av typiske sykdomsforandringer blir sammenholdt med påvisning av ILA-virus ved hjelp av minst to metoder basert på ulike prinsipper. Direkte påvisning av ILA-virus i vev ved PCR og immunhistokjemi er den vanligste kombinasjonen. Tiltak mot ILA iverksettes etter en bekjempelsesplan som tilpasses EU's regelverk og anbefalinger fra OIE (Verdens Dyrehelseorganisasjon). Prinsippene er å fjerne all fisk fra smittede lokaliteter så hurtig som det lar seg gjøre. Horisontal smitte er hovedspredningsmåten, men vertikal smitte kan ikke utelukkes selv om det er antatt å ha mindre betydning (Vitenskapskomiteen for mattrygghet, VKM). Som et eksempel på bekjempelsesstrategi kan man se til Færøyene, der man til 2005 hadde en gjennominfisert populasjon av oppdrettsfisk. Sanering, brakklegging og vaksinering ble implementert med hell, og per i dag har man ennå ikke fått nye ILA-utbrudd. I norsk oppdrett ble det påvist utbrudd på sju ulike lokaliteter med laks i 2010 mot 10 i 2009. Utbruddene fordeler seg i Nord-Norge, med tre i Midt- og Sør-Troms, ett i Nord-Troms, ett i Finnmark og to i Nordland. Vestlandet har nå vært uten ILA-utbrudd i to år.

18.2.1.3 Pankreassykdom (PD)

PD er en meldepliktig sykdom på Liste 3, og kart over PD-utbrudd publiseres månedlig på www.vetinst.no. Sykdommen forårsakes av et salmonid alfavirus (SAV). Det er seks subtyper av viruset, og fram til i år da SAV 2 ble påvist på to lokaliteter, var SAV 3 den eneste typen funnet i Norge. SAV3 er endemisk på Vestlandet og forårsaker PD på både laks og regnbueørret i sjøvann. PD-diagnosen fastsettes ved histopatologiske forandringer og påvisning av PD-virus i samme fisk siden PD-virus også kan påvises hos friske smittebærere. I Norsk oppdrett ble det i 2010 registret PD utbrudd på 88 lokaliteter, alle i Møre og Romsdal sør for Hustadvika. Dette er økning fra 75 utbrudd i 2009. Rogaland ble rammet i 2010, men dette året ble det ikke registrert nye tilfeller nord for Hustadvika etter utslakting av fisk fra to lokaliteter på Smøla, en lokalitet i Sør-Trøndelag og en lokalitet i Troms. I 2011 har det vært ett utbrudd i Nord-Trøndelag. Transport av smolt har vært fremholdt som en mulig smittekilde, og horisontal spredning har sentral betydning. VKM har vurdert mulighetene for vertikal overføring under norske forhold som ubetydelige.

Næringa har sin egen handlingsplan mot PD . Effekten av vaksinering har lenge vært debattert, men nylig ble et større epidemiologisk arbeid presentert av Veterinærinstituttet som viser at vaksinasjon har effekt.

18.2.1.4 Infeksiøs pankreasnekrose (IPN)

IPN forårsakes av et RNA-virus i familien *Birnaviridae* og ble diagnostisert på 198 lokaliteter i 2010, hvorav fire oppdrettet regnbueøret og de resterende laks. Det synes som om antallet tilfeller har vært relativt konstant de senere årene, dog med en liten relativ nedgang i forhold til mengde slaktet laks (se figur 4). IPN har siden 1998 ikke vært en meldepliktig sykdom, og dette kan resultere i underrapportering. Norsk oppdrettsnæring lever derfor med IPN og man har kommet til at en bekjempelsesstrategi ikke er realistisk, blant annet fordi viruset finnes naturlig i en rekke marine organismer. IPN forårsaker mest problemer i sjøvannsfasen, bare 54 av utbruddene i 2010 fant sted i ferskvann. Fisk med påvist IPN i settefiskfasen synes å være mindre mottakelig for IPN i sjøfasen, og sykdommen kan resultere i både akutte og kroniske forløp med stor variasjon i total dødelighet. Flere fiskehelsetjenester rapporterte i 2010 at alvorlige IPN-utbrudd kunne etterfølges av HSMB-utbrudd. Diagnosen stilles på bakgrunn av nekroser i pankreas og positiv immunohistokjemi for IPN-virus i affisert vev. Sykdommen håndteres i dag ved vaksinering og opprettholdelse av gode miljøforhold i oppdrettsenhetene. Avlsselskapene har tatt i bruk genmarkører for IPN-resistens, og man forventer at dette kan resultere i fisk som er mer motstandsdyktig. Effekten av IPN-vaksinering er omdiskutert, men mesteparten av laksen blir likevel vaksinert med produkter som også inneholder en IPN-komponent.

18.2.1.5 Hjerte og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)

HSMB er assosiert med et nylig oppdaget RNA-virus (Piscint reovirus, PRV), men koblingen mellom virus og sykdom er fremdeles uklar. HSMB forårsaker betydelige sirkulasjonsforstyrrelser og gir patologiske forandringer i flere organer. Betennelse og degenerative forandringer i alle lag av hjertet og i skjelettmuskel (spesielt rød skjelettmuskel) er ofte de mest fremtredende funn. HSMB har utviklet seg til en utbredt sykdom i norsk laksenæring med 131 utbrudd i 2010. I enkelte regioner hadde over 90 % av lokalitetene påvist sykdommen. Fisk med HSMB tåler mindre håndtering, og dette kan være problematisk ved lusebehandling og andre driftsoperasjoner. PRV er et vanlig virus som påvises både på frisk oppdrettsfisk og hos villaks, og det er arbeid på gang for å utvikle en vaksine.

18.2.1.6 Kardiomyopatisyndrom (CMS)

CMS eller ”hjertesprekk” er en sykdom som har vært i kjent i mer enn 20 år i oppdrettsnæringen. Sykdommen gir betennelse i hjertet, og ved fremskreden sykdom kan stress utløse hjertesprekk som resulterer i øyeblikkelig død. CMS-syk fisk kan derfor ofte få problemer med operasjoner som lusebehandling og håndtering i forbindelse med slakting. Teori om årsakssammenhenger har vært mange, men i 2010 ble et nytt RNA-virus, Piscine myocarditis-virus (PMCV), påvist av to forskningsmiljøer (Veterinærinstituttet og Veterinærhøyskolen). I norsk oppdrettsnæring var det 53 utbrudd i 2010, tildels med stor dødelighet. Det er også påvist histopatologiske forandringer forenelig med CMS hos vill laks.

18.2.2 Bakterier

Det er pr 2010 hovedsakelig åtte bakteriesykdommer som er aktuelle i oppdrett av laksefisk i Norge (Bornø et al, 2010). Dette er (1) Vintersår, (2) Tenacibaklum , (3) Pseudomonas fluorecens, (4) Flavobacterium, (5) Yersiniose (6) Bakteriell nyresyke (BKD), (7) Piscirickettsiose og (8) Proliferativ gjellebetennelse (PGI). Karakteristika og status for disse er gjengitt nedenfor. Tidligere alvorlige bakterielle sykdommer som vibriose, kaldtvannsvibriose og furunkulose er i dag kontrollert ved vaksinasjon.

18.2.2.1 Vintersår

Bakterien *Moritella viscosa* regnes som en viktig årsaksfaktor til sykdommen, men i en del tilfeller isoleres også andre bakterier. Syk fisk får store hudsår på sidene av kroppen. Vintersår settes ofte i forbindelse med inntak av sjøvann fra litt dypere og kaldere vannlag, og sykdommen har gitt store problemer i landbasert produksjon av settefisk av laks. Infeksjon med *Moritella viscosa* er ikke meldepliktig, og det kan føre til underrapportering. I 2010 var det registrerte funn av *Moritella viscosa* på 55 lokaliteter, 47 med laks og 8 med regnbueørret. I 2009 var antallet 34. Ny forskning viser at bakteriestammene som gir sykdom hos regnbueørret er forskjellige fra de som gir sykdom på laks, og problemene synes å være alvorligst i noen områder på nordvestlandet samt i Troms og Finnmark.

18.2.2.2 Tenacibakulum sp.

I Norge er isolater av *Tenacibaculum sp.* blitt påvist i flere år i forbindelse med vintersår. Bakterien gir hudskader i hoderegion og på sidene og kan forekomme i blandingsinfeksjoner med *Moritella viscosa*. En fellesnevner for utbrudd er eksponering for lave sjøtemperaturer og /eller infeksjon i sår etter mekanisk påførte skader. Totalt registrerte Veterinærinstituttet *Tenacibaculum sp.* fra 19 sjølokaliteter med laks og fire sjølokaliteter med regnbueørret i 2010. Ikke alle funnene var forbundet med betydelig dødelighet og/eller sårutvikling.

18.2.2.3 Pseudomonas fluorecens

Pseudomonas fluorescens er en vanlig ferskvannbakterie som forbindes med dårlig vannkvalitet. Miljøforbedringer kan løse problemet, men det er også observasjoner som tyder på at bakterien kan være et primærproblem. Spesielt store tap er registrert i forbindelse med vaksinering og sjøsetting. I 2010 var det 11 registrerte utbrudd i settefiskanlegg og syv i sjøanlegg. Alle tilfellene i sjø var relatert til settefisk fra anlegg med problemer. Det har blitt rapportert gjellebetennelse og dødelighet opp til åtte uker etter sjøsetting, men det er ikke registrert smitte mellom smoltgrupper på samme sjølokalitet.

18.2.2.4 Flavobacterium psychrophilum

Bakterien er hovedsakelig et ferskvannsproblem, men kan også forekomme i brakkvann. *Flavobacterium psychrophilum* forårsaket store tap hos regnbueørret i settefiskanlegg i 2008. I 2009 var det påvisninger både i settefiskanlegg og i sjøanlegg. Sjøanleggene var lokalisert i en fjord med lav salinitet (4–14 ‰) i øvre vannlag (1 meter). I 2008 og 2009 ble det påvist enkelttilfeller av systemisk infeksjon hos laks, og i 2010 ble det påvist infeksjon hos laks i tre kommersielle settefiskanlegg. I to av disse var infeksjonen systemisk og knyttet til økt dødelighet. Kliniske funn hos yngel er ofte spiralsvømming, sviming og nedsatt appetitt. Hos større fisk kan man finne blodfylte byller, åpne sår, finneråte og betennelse i milt. Infeksjonen kan behandles med antibiotika og forbedring av driftsrutiner. Det er utviklet og godkjent en autogen vaksine som brukes på regnbueørret som settes ut i fjordsystemer med problemer, annen kommersiell vaksine finnes ikke. VKM har konkludert med at vertikal overføring forekommer, og at stamfisk er en mulig smittekilde for å få overført bakterien både vertikalt og horisontalt.

18.2.2.5 Yersiniose

Yersinose skyldes infeksjoner med bakterien *Yersina ruckeri* og kan gi økt dødelig hos laks og ørret i settefiskfasen også som tap rett etter utsett til sjø. I norsk oppdrett ble det i 2010 påvist yersiniose på 12 matfisklokaliteter, tre færre enn i 2009. Bakterieisolater fra ti lokaliteter ble identifisert som serotype O1, mens serotype O2 ble identifisert på to lokaliteter. Sykdommen kan behandles medikamentelt med oxolinsyre.

18.2.2.6 Bakteriell nyresyke (BKD)

Ingen BKD-tilfeller ble påvist i 2010, og sykdommen synes under kontroll grunnet gode rutiner for stamfiskkontroll. BKD smitter både vertikalt og horisontalt. Tilsynelatende frisk villfisk kan være smittebærere, og man antar derfor at det alltid foreligger en liten risiko for horisontal smitte fra villfisk til oppdrettsfisk. All villfanget stamfisk som brukes til kultivering skal testes for BKD.

18.2.2.7 Piscirickettsiose

Sykdommen forårsakes av bakterien *Piscirickettsia salmonis* som i 2010 var et av de store sykdomsproblemene i Chilensk oppdrett av laksefisk. I Norge var det kun to påvisninger i 2010. De norske isolatene av bakterien synes imidlertid å gi mye lavere dødelighet enn de chilenske.

18.2.2.8 Proliferativ gjellebetennelse (PGI)

PGI er en tilstand som er beskrevet i marint oppdrett av laks i Norge siden 80-tallet. Sykdommen antas å ha en multifaktoriell årsakssammenheng og er blant annet assosiert med en chlamydialiknende bakterie *Candidatus* Pisichlamydia salmonis og en mikrosporidie *Dezmozoon lepeohtherii.* Flest tilfeller forekommer om høsten på smolt som er satt i sjøen samme vår. Sykdomsbilde er preget av sterk gjelleskade med kraftig fortykkelse, blødninger, vevsdød og betennelse med epiteliosyster i gjellevevet. Tapene på grunn av gjelleproblemer er betydelige, både direkte i form av økt dødelighet og indirekte som følge av nedsatt vekst mm.

18.2.2.9 Parvicapsulose

I 2010 fikk 40 lokaliteter påvist Parvicapsulose. Sykdommen er forårsaket av en myxosporidie, *Parvicapsula pseudobranchicola*, som har laksefisk som mellomvert og antakelig en hittil uidentifisert børstemark som hovedvert. Det har blitt påvist parvicapsulose i sjø på både vår- og høstutsatt laks, og problemene har vært størst i de nordligste fylkene hvor de økonomiske tapene i fjor var betydelige. Parasitten er påvist i vill laks, røye og sjøørret over hele landet.

18.2.3 Øvrige parsittsykdommer

18.2.3.1 Costia

Costia skyldes parasitten *Ichthyobodo sp.* som kan infisere hud og gjeller både i ferskvann og sjøvann. Tilstanden er sannsynligvis underrapportert, da fiskehelsetjenestene ofte stiller diagnosen selv og iverksetter behandling umiddelbart. Det er tradisjonelt blitt behandlet mot parasitten med formalinbad.

18.2.3.2 Bendelmark

Ikke ansett som noe problem i dagens fiskeoppdrett, og kun ett tilfelle med behandling er registret i 2010. Bendelmark er et svært vanlig funn på villfanget stamfisk.

18.2.3.3 Desmozoon lepeophtherii (synonym *Paranucleospora theridion*)

Desmozoon lepeophtherii er en mikrosporidie (encellede parasitter) som har lakselus som hovedvert og atlantisk laks som mellomvert. Parasitten er også funnet i skottelus (*Caligus elongatus*) og i regnbueørret. Det er fortsatt uklart hvilken rolle denne parasitten har for utvikling av sykdom hos laks. Veterinærinstituttet påviste *D. lepeoptherii* på 14 forskjellige lokaliteter i 2010 fra Agder til Nordland med hoveddelen av påvisningene om høsten. Det er flere miljø som jobber med forekomsten av denne parasitten slik at antallet reelle påvisninger sannsynligvis er høyere.

18.3 Vedlegg 3 Innspill fra Workshop 20.06.11

På workshop den 20.06.11 ble følgende synspunkter diskutert; (1) biologiske forutsetninger for etablering av lukkede anlegg (innledning Trond Rosten, SINTEF), (2) Oversikt over aktuelle teknologier for flytende lukkede anlegg (innledning Yngve Ulgenes SINTEF), (3) arealbetraktninger ved ulike teknologier (innledning Kristian Henriksen SINTEF), (4) Kan lukkede anlegg løse sykdomsproblemene i oppdrett (innledning Eirik Biering VI), (5) Er lukkede anlegg rømningssikre (Innledning Østen Jensen, SINTEF), (6) Hvilke nye muligheter oppstår i "lukkede" anlegg, og hvilke utfordringer vil man møte?" (innleder Bendik Fyhn Terjesen, NOFIMA). Nedenfor gjengis de viktigste innspillene fra workshop-deltagerne. Vi gjør oppmerksom på at disse innspillene ikke må oppfattes som vitenskapelige sannheter, da de er utdrag fra en diskusjon, men de peker på områder der produsenter og brukere av lukkede anlegg må rette oppmerksomheten. Vi har derimot gruppert synspunktene inn bolker på tema.

1. Systematikk
    a. SINTEF foreslår inndeling av lukkede anlegg inn i tre nivå avhengig av hva man skal lukke mot (se vurdering kapitel 13.2 s 43). Forslag til inndelingen ble godt mottatt.
2. Arealbetraktninger
    a. Viktig at arealbehovet gitt ulike løsninger for oppdrett blir belyst. Arealbehov ses opp i mot definisjon i iKyst prosjektet.
    b. Forventer å kunne ta i bruk nye areal, f.eks mer skjermede lokaliteter ikke egnet for åpent merdoppdrett.
    c. Områder som har ferskvannkilde, men mangler landareal kan kanskje tas i bruk i forbindelse med settefiskproduksjon i lukket flytende anlegg.
3. Teknologi
    a. Å flytte (pumpe) sjøvann når du ligger i havoverflaten er meget rimelig. Det er dog store mengder vann som skal pumpes for at et lukket anlegget skal kunne sammenlignes med et åpnet flytende merdanlegg. Som et eksempel vil vannutskiftningen i en 160 meters merd med 40 dyp not i 0,1 m/s strøm være tilnærmet 200 m^3 /sek. Dette tilsvarer 12 liter pr kg fisk pr minutt, dersom det står 1000 tonn i merden. Dette er 40-60 ganger høyere vannutskiftning enn et intensivt landbasert oppdrettsanlegg for smolt.
    b. Viktig å avdekke hvilke påkjenninger et lukket anlegg i sjø blir utsatt for. Vil en dukbasert løsning tåle påkjenningene ved dagens mest eksponerte lokaliteter, eller er denne anleggstypen bedre egnet for mindre eksponerte lokaliteter.
    c. Det er ingen vitenskapelige eller praktiske erfaringer som så langt sier at lukkede anlegg er 100 % rømningssikre. Eksempel vis foregår det rømming også fra settefiskanlegg.
    d. Hvordan er energibehovet ved lukkede anlegg?
4. Biologiske betraktninger: ytelse og velferd i lukkede anlegg
    a. God dimensjonering og drift av lukkede anlegg kan gi et mer stabilit miljø og mulighet for optimalisert vanntemperatur for tilvekst og fôrutnyttelse, men dette må dokumenteres
    b. Lukkede anlegg i sjø kan gi mulighet for bedre integrering med settefiskleddet
    c. Kunnskapen om fisketetthet, vannforbruk og krav til vannkvalitet for stor laks under rask vekst i lukkede anlegg må forbedres
    d. Det er nødvendig med videre utvikling av fôr som gir høy deponering i fisken, utvikling av pellet som gir lite brekkasje men høyt fôrinntak og fordøyelighet. Dette kan bidra til redusert vannforbruk og dermed lette dimensjonering og drift av lukkede anlegg
    e. Hvordan innvirkning har lukkede anlegg på fiskevelferden?

5. Hvilken rolle vil landbaserte anlegg / lukkede flytende anlegg kunne ha
    a. Produsere en større smolt først og fremst, ikke hele syklus på land, selv om det finnes konsepter på dette i dag.
    b. Settefiskbransjen kan være en viktig kompetanseressurs innen intensiv produksjon som kan dras nytte av ved bruk av lukkede anlegg.
    c. Viktig å styre smoltstørrelser for bedre å kunne utnytte MTB reguleringen.
    d. Korte produksjonstid i åpne anlegg i sjø ved at det produseres 1 kg settefisk.
6. Arbeidsmarked effekter
    a. Lukkede anlegg vil stille mer krav til kompetanse, også annen type kompetanse enn de har pr i dag. Det vil trolig bli behov flere arbeidsplasser på kort sikt, selv uten produksjonsøkning.
    b. Det vil kunne bli behov for samarbeid med utdannelsessituasjoner som tilbyr fagarbeider utdanning.
    c. Det kan bli ringvirkninger av økte kompetansekrav
    d. Dersom man lykkes med utvikling og bruk av lukket teknologi, vil man kunne ta i bruk mer areal (annen type areal) for oppdrett og dermed oppnå videre vekst i produksjon og sysselsetting.
7. Fiskehelse og smittebeskyttelse
    a. Det viktigste er å få oppnå lukking i forhold til lakselus og rømming.
    b. Hvordan kan man kontrollere og håndtere sykdom i et lukket anlegg.
    c. Smitte og luselarver kan også forekomme i dypere vannlag. Ingen 100 % garanti.
    d. Hvordan avluse i et lukket anlegg? Her er det både muligheter og utfordringer som vil avdekke seg.
    e. Hvordan var egentlig lusesituasjonen i 2010 og våren 2011? Blir det feil å si at lakselus er et problem for hoveddelen av norsk oppdrettsnæring?
    f. Man må være oppmerksom på at UV desinfisering av vann med høyt partikkelinnhold er svært vanskelig og usikker med tanke på virkningsgrad, da patogener kan ”gjemme seg i/bak” partiklene og unngå UV strålene.
8. Produktkvalitet
    a. Vi må være oppmerksom på at innfarging i filet hos laks produsert i lukkede anlegg kan bli dårligere. Dette må kompenseres ved f.eks. å øke pigmentinnholdet i fôret.
9. Slamproblematikk
    a. Det vil være store utfordringer med slamoppsamling fra lukkede anlegg som bruker mye vann. Konsentrasjonene av partikler blir for lave. Det er også urealistisk å kunne behandle alt utgående vann.
    b. Slamproblematikken må adresseres da ca. 30 % av dagens fôr er ufordøyelig, hard pellet gir kun 80 % utnyttelse. Kunnskapen om hvordan slammet blir influert av fôrkomposisjon og fordøyelighet må forbedres.
10. Groe
    a. Hvordan vil ei not gro inn i en pose? Erfaringer fra rigide anlegg er at dette kanskje ikke er noe problem, da groen lett lar seg fjerne.
11. Næringssalter
    a. Man bør påpeke hva som er et problem og hva som ikke er et problem, f.eks rundt utslipp av næringssalter.

b. Å håndtere næringssaltutslipp er sekundært for lukkede anlegg. Det viktigste er å få oppnå lukking i forhold til lakselus og rømming.
c. Vi må se på næringssalter som en ressurs som muliggjør multitrofisk oppdrett. Ved et punktutslipp kan man kanskje i større grad utnytte næringssaltene?

12. Karbondioksyd
    a. Lufting av sjøvann er aktuell for å fjerne CO_2 fra oppdrettsvannet i lukkede anlegg. Dette vil generere en kraftig skumdannelse avhengig av mengde organisk partikler i vannet. Skummet må enten dempes ved skumdempende midler eller fjernes for videre behandling. Det antas at skummet potensielt vil kunne inneholde fiskepatogener.
    b. Ved lufting av vann er motstrømmsprinsipp luft og vann effektivt

SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no