

# Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd – Del B. Bruk av operative velferdsindikatorer for ulike oppdretts- og produksjonssystem

Jelena Kolarevic<sup>1\*</sup>, Lars H. Stien<sup>2\*</sup>, Åsa M. Espmark<sup>1</sup>, David Izquierdo-Gomez<sup>1</sup>, Bjørn-Steinar Sæther<sup>1</sup>, Jonatan Nilsson<sup>2</sup>, Frode Oppedal<sup>2</sup>, Daniel W. Wright<sup>2</sup>, Kristoffer Vale Nielsen<sup>3</sup>, Kristine Gismervik<sup>3</sup>, Martin H. Iversen<sup>4</sup> og Chris Noble<sup>1</sup>

\* Felles førsteforfatterskap

1. Nofima, Postboks 6122 Langnes, N-9291 Tromsø, Norge
2. Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, N-5817 Bergen, Norge
3. Veterinærinstituttet, Postboks 750 Sentrum, N-0106 Oslo, Norge
4. Nord Universitet, Fakultet for biovitenskap og akvakultur, 8049 Bodø, Norge



Oversettelse av Hege Iversen Haugmo

## Innholdsfortegnelse

1	Oppdrettsbaserte gjennomstrømmingssystem	139
1.1	Lakseproduksjon i gjennomstrømmingssystemer på land	140
1.2	Velferdsutfordringer	140
1.3	Operative velferdsindikatorer	142
1.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer	142
1.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer	146
1.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer	147
1.7	Vurdering av velferd. Scenario: hyperoksi hos lakseparr	149
2	Resirkuleringssystem for oppdrett av fisk (RAS)	150
2.1	Lakseproduksjon i landbaserte RAS	151
2.2	Utfordringer for fiskens velferd	152
2.3	Operative velferdsindikatorer	153
2.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer	153
2.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer	159
2.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer	160
2.7	Vurdering av velferd. Scenario: Produksjon av parr i høy tetthet og temperatur i RAS-system med ferskvann	161
3	Sjømerder	163
3.1	Oppdrett av laks i merd	164
3.2	Velferdsutfordringer	164
3.3	Operative velferdsindikatorer	167
3.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer	167
3.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer	170
3.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer	173
3.7	Vurdering av velferd. Scenario: Periode med høy dødelighet og sår	174
4	Nedsenkede sjømerder	176
4.1	Produksjon av laks i nedsenkede merder	177
4.2	Velferdsutfordringer	177
4.3	Operative velferdsindikatorer	177
4.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer	178
4.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer	178
4.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer	179
4.7	Vurdering av velferd. Scenario: Langvarig nedsenkning uten tilgang til luft	179
5	Snorkelmerd	181
5.1	Oppdrett av fisk i snorkelmerder	182

5.2	Velferdsutfordringer.....	182
5.3	Operative velferdsindikatorer .....	183
5.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	184
5.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	184
5.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	184
5.7	Vurdering av velferd scenario .....	185
6	Semilukkede anlegg (SLA).....	186
6.1	Oppdrett av fisk i semilukkede anlegg. ....	187
6.2	Velferdsutfordringer.....	187
6.3	Operative velferdsindikatorer .....	189
6.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	189
6.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	191
6.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	192
6.7	Vurdering av velferd. Scenario: Massiv forekomst av maneter .....	192
7	Luseskjørt .....	194
7.1	Oppdrett av fisk i merder med luseskjørt .....	195
7.2	Velferdsutfordringer.....	195
7.3	Operative velferdsindikatorer .....	195
7.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	196
7.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	196
7.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	196
8	Morfologiske skårssystem for vurdering av fiskevelferd i ulike oppdrettssystemer .....	197
9	Sammendrag som viser hvor operative velferdsindikatorer og laboratorium baserte velferdsindikatorer er egnet for ulike oppdrettssystemer.....	202
10	Referanser .....	203

# 1 Oppdrettsbaserte gjennomstrømmingsystem



## 1.1 Lakseproduksjon i gjennomstrømningssystemer på land

I dette kapitlet vil vi ta for oss hvilke operative velferdsindikatorer (OVI'er) som passer til formålet for landbaserte intensive gjennomstrømningssystemer (GS). I tradisjonelle GS-systemer, passerer vann gjennom anlegget bare en gang og føres deretter ut gjennom avløpet. Strømmen av vann gjennom oppdrettssystemet tilfører oksygen til fisken og fjerner oppløst og suspendert avfall fra systemet. Ytterligere oksygenering av vannet blir ofte brukt. Vannet blir hentet fra elv, innsjø eller grunnvannsbrønner, og sirkuleres gjennom anlegget og kan i noen tilfeller behandles før det slippes tilbake til vannmiljøet. Alt vann i anlegget fornyes minst en gang per dag ved bruk av gjennomstrømningssystemer generelt [1]. Hoveddelen av atlantisk laks ved ulike livsstadier (fra egg til postsmolt) blir produsert i GS-systemer på land

## 1.2 Velferdsutfordringer

Noen av de potensielle utfordringene for fiskevelferd i GS-systemer er relatert til biosikkerhet, vanntilførsel, svingninger i miljøvariabler og ulike oppdrettsrutiner.

### Miljø

- **Vanntilførselen og kvalitet på inntaksvann** i GS-systemer bestemmer biomasse/tettheten som kan produseres under god vannkvalitet og velferd. Den minimale anbefalte vannutvekslingshastigheten er blitt foreslått til 10 L/m<sup>3</sup> karvolum/minutt [2]. Kvaliteten på inntaksvannet (temperatur, pH, metallinnhold, partikkelinnhold etc.) kan endres med sesong, noe som kan påvirke fiskens velferd. Det er derfor nødvendig å dokumentere og følge endringer i inntaksvannet over tid for å forhindre potensiell negativ effekt på fiskehelse og velferd.
- **Mangelfull oksygenering.** Oksygen er en av miljøindikatorerne som kan begrense produksjonen av atlantisk laks i GS-systemer. Dette skyldes hovedsakelig det høye oksygenbehovet og forbruket hos laks, forholdsvis lavt oksygenløselighet i vann, og begrenser tilførsel av oppløst oksygen i vannet [2]. I alle moderne oppdrettsanlegg tilføres oksygen for å opprettholde en høy biomasseproduksjon. Tilsetningen av oksygen bør følge økningen i biomassen, og unntak fra denne regelen kan skape hypoksiske forhold som igjen kan påvirke laksens vekst og velferd. På den annen side kan en overdreven bruk av oksygentilsetning skape hyperoksiske betingelser (> 100% O<sub>2</sub> metning). I GS-systemer hvor vannmengden kan være lav, og hvor metabolitter kan samle seg (for eksempel CO<sub>2</sub> og TAN), kan hyperoksiske forhold føre til redusert ventilasjonsrate og respiratorisk acidose. Rask reduksjon av O<sub>2</sub>-metning kan føre til metabolsk alkalose og raske endringer i blod-pH. Potensiell dødelighet kan forekomme etter svikt i oksygentilførselen, ved overføring av fisk fra anlegget ved ren oksygentilførsel (100 % O<sub>2</sub>), eller etter 12-24 timers transport under høy-konsentrasjon av oppløst oksygen [3].
- **CO<sub>2</sub>.** Opphopning av oppløste CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i GS-systemer er hovedsakelig et resultat av fiskens metabolisme i karene [4]. Høye konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> kan ha en negativ virkning på fiskeproduksjon, helse og velferd, men den eksakte effekten kan være avhengig av de spesifikke betingelsene i GS-systemet [5]. For norsk produksjon av smolt er den lovgivende grense 15 mg CO<sub>2</sub>/L. For mange landbaserte GS-systemer vil det å opprettholde en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon innenfor denne lovgivende grensen være en utfordring. En undersøkelse viste at av 96 vannkilder som ble benyttet i norsk smoltproduksjon, så hadde 30% av anleggene en gjennomsnittlig CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner over den anbefalte verdien [6]. Problemet er spesielt relatert til de systemer hvor vannlufting erstattes med injeksjon av rent oksygen i inntaksvannet. Dette er en mye mer effektiv måte å opprettholde de optimale O<sub>2</sub>-nivå i karene



på, og gjør det mulig med en intensiv produksjon. Mangelen på vannutgassing i tillegg til tilført CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i inntaksvann (1-2,5 mg/L; [7]) og lav vannutvekslingshastighet, vil føre til en opphopning av CO<sub>2</sub> i produksjonsvannet. I bløtt vann med lav alkalitet, kan akkumuleringen av CO<sub>2</sub> fører til en rask reduksjon av vannets pH-verdi. Dette er noe som øker risikoen for metalltoksisitet, eksempelvis aluminiumtoksisitet. Dette vil igjen føre til en reduksjon i den oksygenbærende kapasiteten i blodet og redusere vekst. Teknologiske installasjoner av forskjellige CO<sub>2</sub>-stripeenheter i GS-systemene, er et effektivt velferdstiltak for å motvirke faren for høyt CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub>-strippingssystemer kan være kostbare, men denne type investeringer kan lønne seg på lengre sikt da den kan forbedre fiskens ytelse og produksjonseffektivitet sammenliknet med CO<sub>2</sub> belastede systemer [5].

- **Vannhastigheten** i oppdrettskar for yngelproduksjon bestemmes i hovedsak ut fra hvor mye vann som er tilgjengelig, oksygenbehov og behov for selvrensing i karene. Begrenset tilgang på vann kan derfor gjøre det vanskelig å oppfylle fiskens biologiske krav til vannhastighet. Tilpasning av vannhastigheten er imidlertid viktig for å gi fisken optimale svømmeforhold og trening, selv om dette ofte ikke blir tatt nok hensyn til ved drift av gjennomstrømningssystemer.
- **Metaller**, spesielt aluminium og jern, har vært kjent for å forårsake kroniske eller episodisk toksisitetsproblemer. En kombinasjon av lav pH og aluminium er svært skadelig for smoltifiserende laks. Subletal eksponeringer for dette metallet kan føre til økt mottagelighet for lakselusinfeksjoner hos laks [6]. Giftigheten av jern er avhengig av oksidasjon av Fe (II) til Fe (III) som blir påvirket av temperatur, pH og ionestyrke [9]. Begge metallene kan være giftige når jernholdig vann blir blandet med sjøvann [2]. Det er tre metoder som brukes for å behandle potensiell aluminiums toksisitet: i) begrenset tilsetning av sjøvann, ii) tilsetning av silikat eller iii) en kombinasjon av begge. For jern kan oksidasjon med oksygen eller ozon etterfulgt av en lengre oppholdstid, være en anvendelig behandlingsmetode [6].

### Biosikkerhet

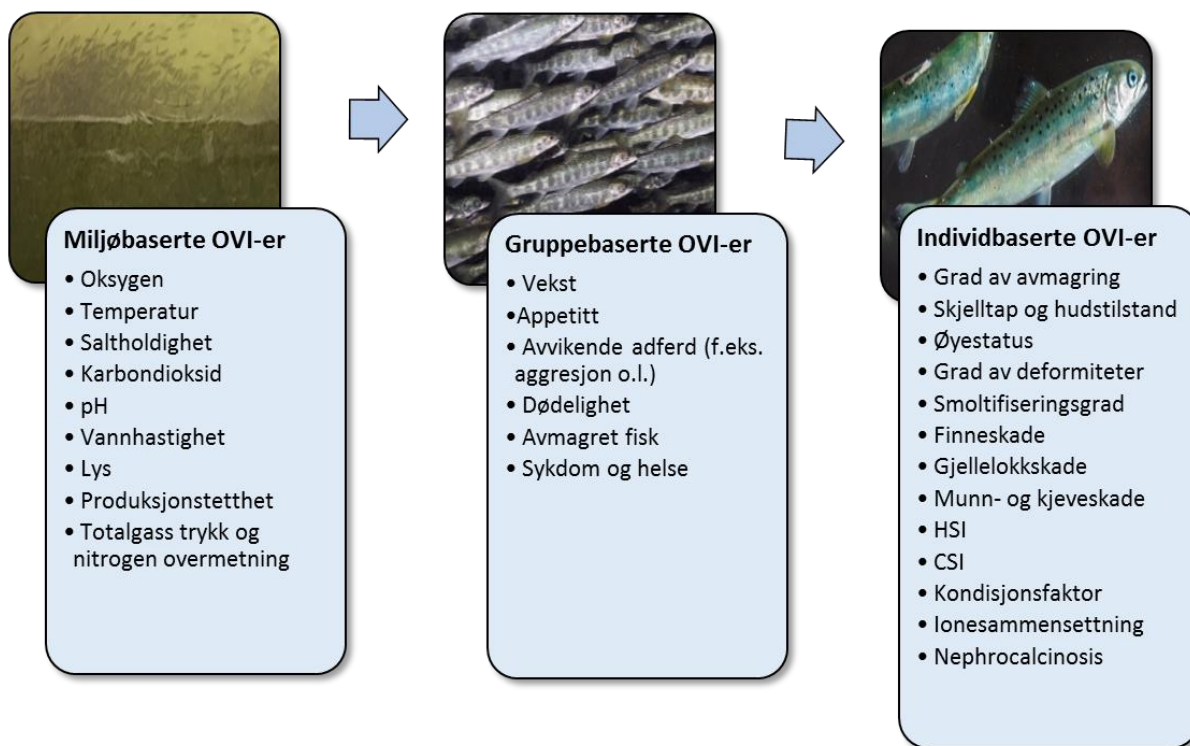
- **Mangel på biosikkerhet.** GS-systemer er åpne systemer med store mengder vann som føres gjennom karene daglig. Og selv om inntaksvannet behandles til en viss grad med UV og filtre, er ikke dette nok til å hindre inntreden av patogener eller svingninger i vannkvaliteten som kan være skadelig for fisken. GS-systemer er sårbare og kan bli påvirket av endringer i omgivelsene. Dette krever tett oppfølging av systemene og en bør øke overvåkingen, særlig i perioder med endringene i miljøet ved vår- og høstflommer.
- **Sykdomsframkallende organismer** kan bli innført med det biologiske materialet (egg, fisk) og med inntaksvann. Gode sanitære forhold i oppdrettsanlegget, og optimale håndteringsrutiner er viktig som forebyggende tiltak i GS-systemer.

### Håndteringsrutiner

- **Overvåking av miljøet** på daglig basis kan gi nødvendig innsikt og kunnskap om miljøparametere som kan ha negativ effekt på laks sin velferd. De viktigste miljøparametere som overvåkes er oksygen og temperatur, mens periodiske målinger av saltholdighet og pH anbefales.
- **Håndtering** i GS-systemer inkluderer trenging, pumping, sortering, vaksinerings og håndtering i forbindelse med transport. Prosedyrene for behandling kan føre til stress, mekaniske skader og større mottakelighet for infeksjoner. Dødelighet kan forekomme etter vaksinasjon. For mer informasjon om effekt av behandling på velferd se del C av denne håndboken.

### 1.3 Operative velferdsindikatorer

Det finnes tre hovedgrupper av operative velferdsindikatorer som kan benyttes i GS system: miljøbaserte, gruppebaserte og individbaserte OVI'er. De OVI'ene som er omtalt nedenfor refererer til atlantisk laks parr/smolt og postsmolt (figur 1.3-1).



**Figur 1.3-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for GS-systemer. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner, mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. Bilder og illustrasjon Jelena Kolarevic, Frank Gregersen og Terje Aamodt

### 1.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Tabell 1.4-1 angir Mattilsynets anbefalte nivåer av viktige vannkvalitetsparametere, mens relevante livsstadier for miljøbaserte OVI'er er gitt i tabell 1.4-2.

**Tabell 1.4-1.** Anbefalt nivåer av viktige vannkvalitetsparametere gitt av Mattilsynet [10].

Vannkvalitetsparameter	Grenseverdier
pH (inntak)	6.2 – 6.8
Oppløst oksygen (O <sub>2</sub> )	Max. 100 % metning i kar og 80% i utløpet
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	< 15 mg/L
Total ammonium nitrogen (TAN = NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NH <sub>3</sub> )	< 2 mg/L (ved pH 6.8, temperatur 12°C)
Nitritt	< 0.1 mg/L (ferskvann)
Total organisk karbon (TOC)	< 10 mg/L
Aluminium	< 5 µg L <sup>-1</sup> (labil) og < 20 µg/g gjellevev

**Temperatur.** Den optimale temperaturen for laks varierer med ulike stadier. Eksempelvis kan øvre kritiske temperaturområde være mellom 20-34°C [11], og den nedre kritiske temperaturen være rundt -0.7°C [12]. Den optimale temperatur for egg er 4-8°C [13], for parr er 12-14°C, mens post-smolt fisk foretrekker temperaturer rundt 17°C [14]. Temperaturer mellom 12-13°C kan bidra til å bevare god velferd, helse, og muligens redusere forekomsten av kjønnsmodning hos lakseyngel og postsmolt [15,16]. Hypertermiske forhold, spesielt i de første stadiene av laksen sitt liv kan føre til ryggdeformiteter. I en studie gjort av Ytteborg et al. [17], ble det dokumentert høy grad av ryggdeformitet i fisk som ble klekket ved 10°C, og eksponert for 16°C i løpet av startfôring. Dette til sammenligning med fisk som ble klekket ved 6°C, og startfôret ved 10°C. Tilsvarende viste en studie av Bæverfjord [18] at yngel oppdrettet på 18°C opplevde en stagnasjon i vekst.

**Oksygen** er den viktigste miljøparameteren som kan begrense produksjon i GS-systemer. Oksygenbehovet variere mellom ulike livsstadier og er avhengig av forskjellige forhold, som temperatur og saltholdighet. De viktigste faktorene som avgjør oksygenforbruk er kroppstørrelse, temperatur, trykk, aktivitet (svømming, fôring) og livsstadium. Optimal oksygenmetning for atlantisk laks er 100% metning, tolererbar metning ligger rundt 60%, mens 50% metning er en begrensende faktor og metningene  $\leq 40\%$  er uakseptable [2]. Data tyder også på at minimum 85%, og muligens opp til 120% metning, er nødvendig for å opprettholde maksimal vekst av atlantisk laks [19]. For egg, gir oksygenmetning over 66% ved en temperatur  $>12.5^{\circ}\text{C}$  og hastighet på 100 cm/h, en god overlevelse [20]. For parr er minimum  $\text{O}_2$  metning for å opprettholde aerob metabolisme 39% ved  $12.5^{\circ}\text{C}$ , og tilsvarende for postsmolt ved 7 og  $19^{\circ}\text{C}$  er den minimale metningen henholdsvis 24% og 40% (se del B, seksjon 4.1.3). Både hypoksi [21] og hyperoksi [22,23] kan forårsake alvorlige velferdsproblemer hos laks.

- I de fleste tilfeller hvor oksygen doseres inn automatisk i inntaksvannet for å opprettholde oksygenmetning  $> 80\%$  (optimale velferdsbetingelser) [24], kan metningen ved inntaket til tanken ofte være godt over 100%.
- I oppdrettsenheter hvor man benytter DO-målere (målere for å måle oppløst oksygen) med elektroniske sonder for å opprettholde oksygenmetning på ønsket nivå, er det meget viktig at de blir regelmessig rengjort og kalibrert.

**Saltholdighet** er spesifikk for ulike livsstadier, hvor yngel og parr blir produsert i ferskvann, og smolt og postsmolt i sjøvann eller brakkvann. For yngel og parr anbefaler man en saltholdighet mellom 0-10 ‰ [25]. Smolt viser preferanse for haloklin ( $< 20\%$  i topplaget av vannsøylen og  $> 30\%$  under [26]), og kan dra nytte av tilgang til brakkvann (28‰; [27]). Særlig gjelder dette når vanntemperaturen er lav ( $4^{\circ}\text{C}$ ). Postsmolt foretrekker 33-34 ‰ [24], mens stamfisk bør ha vann med en saltholdighet lavere enn 10 ‰.

**Vannhastigheten** i kar er påvirket av vannstrømmen (HRT) og konstruksjon av innløp og utløp, og nærværet av fisk i karene. Trening kan ha positiv effekt på velferden, men for høy eller for lav hastighet kan også ha negativ effekt på helse og ytelse til fisk. En hastighet på 100 cm/h er blitt foreslått for god overlevelse i egg i klekkebakker [20]. Det har vist seg at svømmehastighet på 1,2-1,5 kroppslengder (BL)/sekund, er gunstig for atlantisk laks [10]. Maksimal kontinuerlig hastighet for parr med kroppslengde mellom 7-13cm ved temperaturer mellom  $12,5$  og  $19^{\circ}\text{C}$ , er mellom 6-10 BL/sek. Tilsvarende er absolutt vedvarende svømmehastighet hos laksesmolt fra 12 til 18 cm i temperaturområdet  $13-17,5^{\circ}\text{C}$ , mellom 50 til 113 cm/sek. For postsmolt kan velferden bli negativt påvirket ved vedvarende hastigheter på 1,5 BL/sek. Store endringer i vannhastigheten kan ha negativ virkning på fisken. For høy hastighet kan være en utfordring for laks, noe som resulterer i redusert overlevelse etter eksponering for patogener [28].



**pH** kan være problematisk for landbaserte GS-anlegg i Norge, når pH i inntaksvannet er under 6. Slike forhold kan være meget skadelig for laks på grunn av økt toksisitet av metaller, spesielt aluminium i et surt miljø. Kontroll av pH kan sikres ved tilsetning av enten sjøvann, kalk eller silikat [2]. Imidlertid kan tilsetningen av sjøvann true biosikkerheten innenfor systemet, og behandling av sjøvann med filtre og UV er derfor viktig. I tillegg er det sesongmessige svingninger i pH og metallkonsentrasjoner i inntaksvannet, og doseringen av kjemikalier bør derfor justeres tilsvarende. Regelmessige pH-målinger og historiske data ville kunne tillate god styring av doseringssystemet. I tillegg vil bløtt vann med lav alkalitet skape raske endringer i pH, og dermed ha negativ effekt på velferden til laks. pH synker også som et resultat av økt CO<sub>2</sub>-akkumulering i produksjonsenhetene. Dermed er det viktig med passende vannutveksling for å opprettholde et lavt nivå av CO<sub>2</sub> i vannet. For atlantisk laks er den optimale pH mellom 6,5-6,7, mens pH ved 5 er begrensende, og pH under 5 ikke er akseptabelt [2].

**Tabell 1.4-2.** Miljøbasert operative velferdsindikatorer som er egnet for bruk i GS oppdrettssystemer

OVI	Relevant livsstadium
Temperatur	Spesielt kritisk i startfôringsfase
Oksygen	Egg, yngel, parr og smolt
Vannhastighet	Egg, yngel, parr og smolt
pH	Yngel, parr og smolt
CO <sub>2</sub>	Yngel, parr og smolt
Produksjonstetthet	Parr og smolt

**Karbondioksid** er et spesielt problem i ferskvannsproduksjonen av laks i GS-systemer. Dets løselighet øker proporsjonalt med temperatur og saltholdighet, og laks sin følsomhet for CO<sub>2</sub> varierer med ulike livsstadier [29]. Det finnes bevis på at giftigheten av CO<sub>2</sub> øker når O<sub>2</sub>-metningen er lav, også ved lav temperatur og pH [19]. De negative effektene av CO<sub>2</sub> på laks er oppsummert i del A, avsnitt 4.1.4. Det er noen indikasjoner på at parr er mer tolerante overfor CO<sub>2</sub> sammenliknet med smolt [29], men generelt er konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> under 15 mg/L anbefalt for bruk i akvakultur produksjonssystemer for atlantisk laks.

**Gasser i vann – total gasstrykk og nitrogen overmetning.** Overmetning skjer når partialtrykket av en eller flere av gassene oppløst i vannet blir større enn atmosfæretrykket. Plutselige økninger i temperatur (innblanding av vann med ulike temperaturer i kar), brå endringer i trykk (væromslag og isgang ved råvannskilden) eller overdreven oksygenering er alle typiske årsaker til overmetning av gass i gjennomstrømmingsystemer. Total gasstrykk i vann brukes ikke bare til å bestemme det totale trykket i vann, men brukes også til å bestemme mengde og metningsgraden (%) av oppløst nitrogengass i vann. Hvis metningen av nitrogen overskrider 100 % kan fisk utvikle gassblæresyke. Eksternt tegn på overmetning av gass begynner å oppstå etter flere timer med eksponering for gass-overmettet vann. Typiske eksterne tegn er bobler som vises på finnene, halen, gjellelokkene og hodet. Alvorlighetsgraden av symptomene er nært knyttet til prosent overmetning, O<sub>2</sub>: N<sub>2</sub> forhold og eksponeringstid. Det synes til at yngel er mer utsatt enn voksne fisk. Hos laksearter som atlantisk laks og regnbueørret har det blitt observert negative effekter på fisken ved nitrogenovermetninger over 102 %, og de anbefales en grense under 100,5 % N<sub>2</sub>. Tilsvarende N<sub>2</sub> metningen i intensive produksjonssystemer burde ligge under 110 %. Siden det foreligger lite data og mye usikkerhet rundt laks sin toleranse til nitrogengassovermetning anbefaler en at man bruker ovennevnte grenseverdier som retningslinjer, og ikke som absolutte grenser til mer kunnskap foreligger. På grunn av risikoen for nitrogenovermetning øker ved innblanding av sjøvann i ferskvann, samt i vår løsning og under kraftige væromslag bør total gasstrykk overvåkes jevnlig.

Kunnskapsmangel: Det er mye usikkerhet om øvre toleransegrense angående nitrogenovermetning hos laks, og mer kunnskap behøves (se boks: Kunnskapsmangel; oppført etter kapittel 4.1.4. Karbondioksid. Del A av håndboken)

**Tetthet** er ikke spesifisert for landbasert produksjon og i gjennomstrømningssystemer, og vil være styrt av valgt oksygeneringsteknologi, fjerning av CO<sub>2</sub>, vannstrømmen og størrelsen på fisken. Effekten av forskjellige tettheter er oppsummert i del A, kapittel 4.2.4. Nyere resultater viser at det er mulig å produsere postsmolt i tettheter opp til 75 kg/m<sup>3</sup>, uten at det går utover ytelsen og velferden [30].

**Lys.** Optimal lyskvalitet (intensitet og bølgelengde) for optimal ytelse og velferd av atlantisk laks i GS-systemer, er fortsatt uklart. En studie av Handeland et al. [31] viste at en minimum lysintensitet på 43 lx er nødvendig for å sikre optimal smoltkvalitet, utvikling, velferd og vekst av atlantisk laks. Utilstrekkelige lysforhold kan føre til ikke-synkron smoltifisering og dårlig smoltkvalitet. I mange tilfeller omfatter produksjonen av smolt bruk av foto-manipulasjon for igangsetting av smoltifiseringen, og i den store sammenhengen bør dype kar på land og plasseringen av lys vurderes nøye for optimal belysning av karene.

Kunnskapsmangel: De optimale lysforhold (både lysintensitet og lyskvalitet) i landbaserte systemer er ukjent. I tillegg er lysforhold under smoltifisering i store og dype kommersielle oppdrettskar ikke godt dokumentert.

#### Hvordan måle vannkvaliteten (VK) i GS:

- Kontinuerlige målinger ved anvendelse av på-stedet-sensorer eller ved punktmålinger ved bruk av håndholdte instrumenter, laboratoriestyr og godkjente måleenheter fra laboratorier.
- Måles på det samme tidspunkt i forhold til lys og fôring.
- Ved samme sted hver gang.
- Korrekt prøvetakingsprosedyre er viktig.
- Følge prosedyrer fra de akkrediterte laboratoriene.
- Noter trender, og bruk disse aktivt i tolkning av situasjonene.
- Riktig vedlikehold av utstyr. Særlig viktig gjelder dette vedlikehold av på-stedet-sensorer, som er utsatt for biologisk forurensning!
- Identifisere hvilke nitrogenforbindelser som blir målt ved hver metode (TAN, NO<sub>2</sub>-N eller NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N eller NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>-N eller NH<sub>3</sub>).



## 1.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Appetitt og fôringsadferd.** Tap i appetitt i GS-systemer kan kvalitativt og kvantitativt vurderes ved hjelp av visuell overvåking av fôringsadferden hos fisken dette gjelder. Eksempelvis kan dårlig respons på fôr, eller til og med avvising av fôr-pellets når fiskene er tilbudt dette, undersøkes. Dette kan også kvantifiseres med overvåking av fôrspill [32]. Dette bør overvåkes kontinuerlig. En tidlig påvisning av avtagende appetitt kan forhindre andre konsekvenser som er mer alvorlig. Imidlertid kan avvising av pellets og lav appetitt også bety at fisken er mett (eller overfôret) eller blir matet på et tidspunkt da de ikke ønsker å spise. Dette er faktorer som må inkluderes ved bruk av appetitt som en OVI. Appetitten varierer også ved ulike livsstadier hos laks.

**Dødeligheten** må registreres daglig. Effektive systemer for innsamling av død fisk på karnivå er en forutsetning for overvåking av fiskens helsetilstand i akvakultur. Økning i karstørrelse og manglende mulighet til å visuelt observere bunnen av karene, kan være utfordrende for å daglig kunne registrere død fisk på en korrekt måte. Hvis det er mulig å påvise årsaken til dødelighet bør dette anmerkes, og ofte bør død fisk bevares for videre analyse og kontroll av fiskehelsepersonell.

**Vekst** kan påvirkes av flere faktorer, som for eksempel ernæring, sykdom, sosial interaksjon [33], vannkvalitet og kronisk stress [34]. Vekst kan bli kvantifisert via spesifikk veksthastighet (SGR) og/eller termisk vekstkoefisient (TGC). Ved bruk av veksthastighet som en OVI må man ta gode og representative prøver av populasjonen i en produksjonsenhet. Fiskens vekstrate vil variere med belastningen den utsettes for: årstid, livsstadium, oppdrettssystem, diett med flere faktorer. Det kan derfor være bedre å bruke kortvarige forandringer i veksthastighet som en OVI i et bestemt kar eller system. På denne måten kan brå forandringer i vekst brukes som et tidlig varslingsystem for potensielle problemer. Dette gjelder særlig når oppdretteren benytter seg av en robust vekstovervåkningspraksis.

**Atferd.** Avvik i atferd kan være et tidlig varsel på suboptimale oppdrettsbetingelser [35]. Derfor er det viktig å vite hva som er optimal og normal atferd slik at eventuelle avvik lett kan oppdages. Atferd er en generell indikator og avvik kan være forårsaket av mange forskjellige faktorer. Endret svømmeatferd kan forekomme på grunn av suboptimal vannhastighet [36], vannkvalitet [26] eller andre stressfaktorer. Dessuten kan belastning forårsake luftsnapping i overflaten. Aggresjon kan være et problem hos lakseparr [37] og kan kvalitativt eller kvantitativt overvåkes via visuelle observasjoner av fisken. En bedre, mindre arbeidskrevende tilnærming for overvåking av aggresjon er å registrere antall fisk med ryggfinneskade, da det er en klar sammenheng mellom biting og ryggfinneskade hos lakseparr [38]. Brå endringer i antall fisk med gråe fortykkede ryggfinner kan lett diagnostiseres med øyet når man observerer fisk i GS-systemer, og kan dermed brukes som en tidlig advarsel for velferdsproblemer. Endringer i graden av ryggfinneskader, er sannsynligvis relatert til feil fôringsregimer eller underfôring [38,39,40], men også andre faktorer som håndtering kan ha betydning.

**Sykdom/helsestatus.** OVI og laboratorie baserte velferdsindikatorer (LABVI) følges jevnlig av fiskehelsepersonell for å fastslå utbredelsen av visse tilstander i populasjonen, som dødelighet eller sykdom. De endelige diagnosemetodene innebærer ofte vevsprøver, og analyser på spesialiserte laboratorier, og klassifiseres derfor som LABVI. Men noen av de ytre tegnene på sykdom kan også bli diagnostisert på merdkanten av erfarent personell, og kan føre til raskere respons på potensielle sykdomsutbrudd. Oversikten over sykdommer karakteristiske for både ferskvanns- og sjøvannsstadier av atlantisk laks, er gitt i kapittel 3.1.4 i del A av denne håndboken.

**Tabell 1.5-1.** Gruppebaserte operative velferdsindikatorer som er egnet for bruk i GS-systemer.

OVI	Relevante livsstadier
Appetitt og fôringsatferd	Yngel, parr og smolt
Vekst	Yngel, parr og smolt
Atferd (svømmeatferd og aggresjon)	Yngel, parr og smolt

## 1.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

Individbaserte OVI'er og deres relevans for ulike livsstadier er angitt i figur 1.3-1.

**Morfologiske velferdsindikatorer** for laksesmolt og postsmolt kan også bli undersøkt i GS-systemer uten behov for avlivning av fisken. Det anbefales at et man benytter et antall OVI'er som følges gjennom hele produksjonssyklusen i GS-systemer. OVI'er kan være faktorer som finne-, hud-, øye-, og gjellelokkstatus, og i tillegg kan kondisjonsfaktor, ryggdeformiteter og munn- og kjeveskader forekomme.

**Grad av avmagring** er relevant for senere deler av fersk- og sjøvannsproduksjonen. «Taperfisk» er fisk med hemmet vekst som mest sannsynlig er døende, og bør fjernes under sortering eller ved en hvilken som helst annen håndteringsprosedyre i løpet av ferskvannsfasen. Slike «taperfisk» er lett å gjenkjenne på grunn av deres ytre utseende (tynn med meget lav kondisjonsfaktor) og spesiell oppførsel (svømmer isolert ved overflaten).

**Skjelltap og hudstatus** innebærer observasjon av hudfarge, skjelltap og tilstedeværelsen, alvorlighetsgraden og frekvensen av sår i et representativt antall fisk i en oppdrettspopulasjon.

**Øyestatus.** Øynene er svært sårbare for mekaniske håndtering, som kan føre til blødninger eller uttørking under håndtering. Utstående øyne er ofte et spesifikt tegn på sykdom. Mens katarakt eller tap av gjennomsiktighet i øyelinsen kan være forårsaket av flere faktorer, og er mer hyppig i de senere livsfasene hos smolt og postsmolt. Oversikt over typer øyeskade og effekter på fiskevelferd er gitt i kapittel 3.2.11 i del A av håndboka.

**Munn- og kjeveskader** kan oppstå i forbindelse med håndteringsoperasjoner (trenging, pumping, bruk av håv; se del C for mer informasjon), eller som et resultat av kontakt mellom laks og karvegger.

**Ryggradsdeformiteter.** Ryggradsdeformiteter kan være forårsaket av underernæring [41] og temperatur [17]. Se Fjelldal et al. [42] for nærmere detaljer og kapittel 3.2.9 i del A av håndboken.

**Gjellelokkskader** omfatter forkorting, manglende gjellelokk, vridde gjellelokk og «myke» gjellelokk. Det fenomenet er spesielt knyttet til tidlige livsstadier i ferskvannsfasen, og kan være forårsaket av suboptimale oppdrettsforhold, ernæring og forurensning.

**Finneskade.** Effektene av finneskader på fiskens velferd er både avhengig av type finneskade og fiskens livsfase. Risikoen kan variere i ulike livsfaser hos laks. For eksempel hos parr kan tapet av brystfinner redusere evnen til å holde seg i ønsket posisjon [43]. Det er en klar sammenheng mellom aggresjon og ryggfinneskader hos parr [38]. Hos smolt og postsmolt kan ferske finneskader medføre at fisken utsettes for osmoregulatoriske problemer [44].

Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyebledninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggraddeformiteter, ix) overkjeve misdannelser, x) nedrekjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og heledete finneskader, xiii) katarakter og xiv) Speilberg skår for indre sammenvoksinger etter vaksinerings av atlantisk laks, er vedlagt i slutten av dette dokumentet.

**Grad av smoltifisering** eller tilpasning til sjøvann må evalueres før overføring til sjø ved å måle plasmakonsentrasjonen av Cl<sup>-</sup> (111-135 mmol/L i ferskvann, og øke til 130-160 mmol/L i postsmolt), kondisjonsfaktoren (avtar under smoltifisering), morfologiske indikatorer (sølvfarging, parr-merker og mørke finnekantene(smoltindeks)), natrium-kalium-ATPase (NKA; Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup> ATPase) aktivitet/genuttrykk (økning i fisken, og ved tilnærmet 10 µmol ADP/mg prot\* t, er fisken smoltifisert). Smolt har en tendens til å svømme høyere i vannsøylen enn parr, og små prøvepartier av individer tatt fra den øvre delen av karet kan bidra til å overvurdere graden av smoltifisering i en oppdrettsenhet. Morfologiske endringer knyttet til smoltifisering kan vurderes ifølge ulike eksisterende skåreskjema, f.eks. [https://www.pharmaq-analytiq.com/sfiles/75/1/file/v6\\_prosedyre\\_010601\\_vurdering\\_av\\_smoltindeks.pdf](https://www.pharmaq-analytiq.com/sfiles/75/1/file/v6_prosedyre_010601_vurdering_av_smoltindeks.pdf).

**Kroppsindeks** er relasjonen mellom ulike organstørrelser i forhold til kroppsstørrelse, og kan være en indikasjon på velferd. Hyppigst målte indekser er hepato-somatisk indeks (HSI) eller forholdet mellom lever og kroppsstørrelse, og kardio-somatisk indeks (CSI) eller også kalt forholdet mellom hjerte og kroppsstørrelse.

**Kondisjonsfaktor** (KF) gir et bilde på fisk sin ernæringsstatus, og beregnes som 100 x kroppsvekt (g) x kroppslengde (cm)<sup>-3</sup>. KF for parr bør være mellom 1,0 til 1,3, og en kondisjonsfaktor under 0,9 indikerer avmagring. Kondisjonsfaktoren avtar under smoltifisering og er rundt 1 hos smolt. Etter smoltstadiet øker dette med den økende fiskestørrelsen i sjøen.

**Nefrokalsinose** er en patologisk tilstand relatert til høye konsentrasjoner av oppløst CO<sub>2</sub> [45], som innebærer dannelse av store mineralkalsiumavleiringer i nyrevevet, synlige for det blotte øyet. Denne tilstanden kan være livsstadiumsavhengig, da det ble vist at parr som ble eksponert for CO<sub>2</sub> > 30 mg/L i 47 dager ikke viste noen tegn på nefrokalsinose [29]. Et skåreskjema for å dokumentere nefrokalsinose blir for tiden validert. Morfologien til nyrene må undersøkes i de tilfellene hvor laks er kronisk eksponert for høye konsentrasjoner (> 15 mg/L) av oppløst CO<sub>2</sub> ved kommersiell produksjon.

**Laktat** øker med anaerob muskelaktivitet og bør holde seg under 6 mmol/L [46]. Dette måles lett med håndholdt apparat, men prøvene bør tas omtrent én time etter muskelaktivitet (f.eks. ved håndtering).

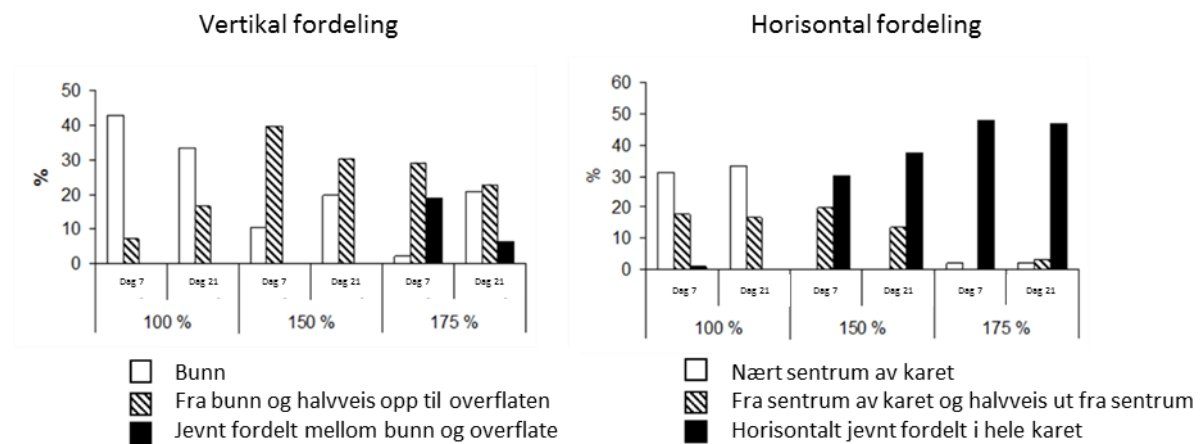
**Tabell 1.6-1.** Individuelle operative velferdsindikatorer som passer for bruk i GS system.

OVI	Relevante livsstadier
Finne-, hud-, øye, munn- og gjellelokkskade	Parr og smolt
Smoltindeks	Smolt
Ryggraddeformiteter	Yngel, parr og smolt
Laktat	Parr og smolt



## 1.7 Vurdering av velferd. Scenario: hyperoksi hos lakseparr

I en undersøkelse ble lakseparr utsatt for normoksiske (100% O<sub>2</sub> metning) og hyperoksiske (150% og 175% O<sub>2</sub> metning) vannforhold i løpet av 25 dager. Tilførsel av oksygen til innløpsvannet er noen ganger nødvendig for å kompensere for oksygenmangel på grunn av redusert vanntilførsel og økt fisketetthet. Oksygenering kan også være nødvendig i løpet av fisketransport. Lakseparren som ble eksponert for 150% og 175% super-oksygenert vann produserte høye nivåer av karbondioksyd sammen med den påfølgende senkningen av vannets pH-verdi, sammenlignet med kontrollfiskene som ble eksponert for 100% O<sub>2</sub> [22]. På syvende dagen av eksponering viste den hyperoksiske fisken større individuell variasjon i svømmeaktivitet sammenlignet med kontrollfiskene (figur 1.7-1). Den individuelle variasjonen i aktivitet, haleslagfrekvensen og spredning i karene hos den «superoksygenerte» fisken ble redusert fra den 7. til den 21. dagen av eksponeringen. De atferdsmessige virkninger av hyperoksi medførte endret spiseatferd med etterfølgende redusert kroppsvekt, og endringer i hematologiske parametere fra dag 21 av eksponering. Plasma-klorid ble redusert i tillegg, og hemoglobin avtok med økende oksygenmetning. Plasmakortisol økte bare i den gruppa som var 150% oksygenert, på dag 21 [22].



**Figur 1.7-1.** Lakseparr adferd under eksponering for hyperoksi etter 7 og 21 dager.

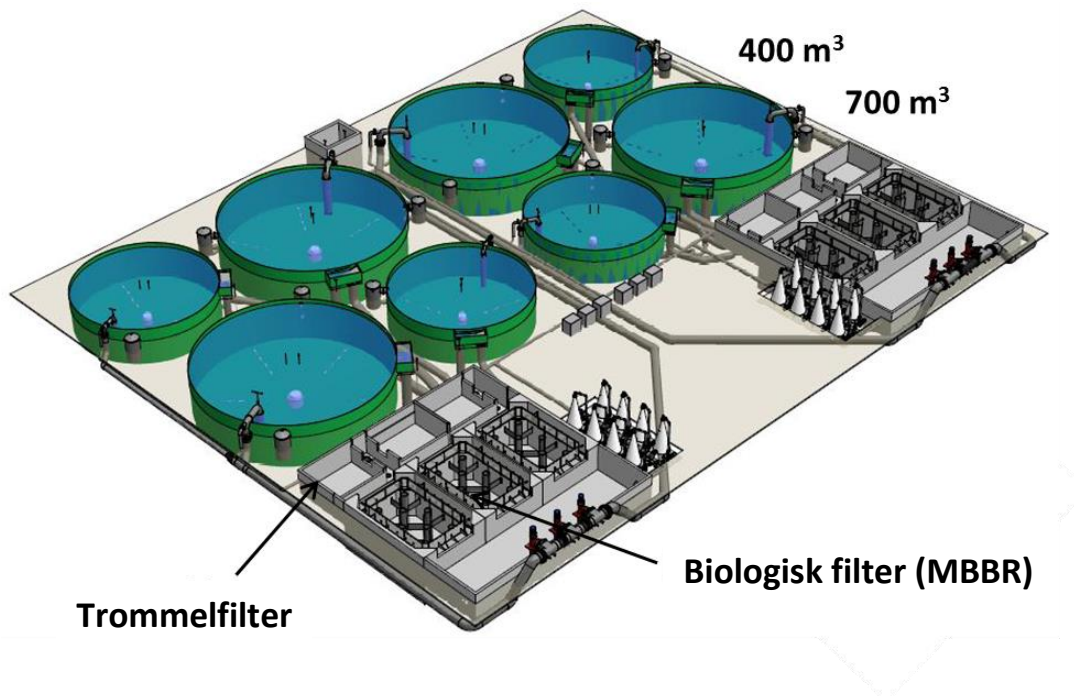
## 2 Resirkuleringsystem for oppdrett av fisk (RAS)



## 2.1 Lakseproduksjon i landbaserte RAS

Resirkuleringsystemer for oppdrett av fisk (RAS) er systemer der vann delvis brukes om igjen etter behandlingen, og hvor avfallsprodukter (fôrrester, feces o.l.) blir fjernet fra det gjenbrukete (resirkulerte) vannet [47]. Vannbehandling i RAS består hovedsakelig av mekaniske filtre for fjerning av partikler. Et biologisk filter brukes for nitrifikasjon av potensielt giftig ammoniakk og nitritt-nitrogen til nitrat-nitrogen, karbondioksidstripping og oksygenering av vann, før vannet returneres tilbake til fiskekarene (figur 2.1- 1). I tillegg kan man benytte ulike systemer for ozondesinfisering, automatisk pH-regulering, varmeveksling og denitrifikasjon for å øke effektiviteten til systemet. RAS gir flere fordeler som appellerer både til havbruksnæringen og samfunnet generelt [48]. I motsetning til de mer tradisjonelle gjennomstrømningssystemene med et høyt forbruk av vann, gjør resirkuleringen av vann det mulig for en 100-ganger eller større reduksjon i vannbehovet [49]. I tillegg kan RAS gi mer stabile og kontrollerbare miljøbetingelser for oppdrett, bedre sykdomshåndtering [50], forbedret biosikkerhet [51], reduksjon i karbonavtrykk relatert til fisketransport og reduksjon i forurensende utslipp til miljøet [47].

På den andre siden har denne teknologien en rekke utfordringer, for eksempel mer kompleks kontroll, økte investeringer, driftskostnader og behov for mer fagutdannet personell [52]. I tillegg, på grunn av de høye investeringskostnadene ved slike systemer sammenlignet med tradisjonelle åpne GS-systemer, forutsettes høyere produksjonsintensitet for å kunne dekke de økte kostnadene [53]. Dette kan medføre bruk av høyere fisketettheter, vanntemperaturer og O<sub>2</sub>-konsentrasjoner i inntaksvannet, som igjen kan føre til forringelse av vannkvaliteten [19]. Dette kan også ha negativ innvirkning på fiskens velferd. I Norge ble RAS primært brukt til smoltproduksjon fram til 2011. Etter dette ble det tillatt med postsmolt opp til 1 kg i størrelse i landbaserte anlegg, uten **restriksjoner på produksjonsvolum**.



**Figur 2.1-1.** Skjematisk oversikt over Grieg Seafood kommersielle RAS anlegg på Adamselv med bevegelige biofilter (mbbs), trommelfiltre, oksygenering og to karstørrelser, 400 og 700 m<sup>3</sup> (Tegning: Frode Mathisen).

## 2.2 utfordringer for fiskens velferd

### Miljø

- Utilstrekkelig design og dimensjonering av RAS, samt utilstrekkelige prosedyrer medfører høy risiko for forringet fiskevelferd. Dette fordi vannkvaliteten kan bli veldig dårlig [10]
- Realistiske produksjonsplaner må brukes, og det må tas hensyn til de maksimale fôrbelastningene som systemet ble utformet for. Dette må gjøres for å sikre optimale forhold både for fisk og bakteriemiljøet i biofiltrene.
- Overvåkingen av biofilterets aktivitet er viktig, da enhver forstyrrelser i nitrifikasjonsprosessen kan føre til økning i konsentrasjonen av potensielt toksiske nitrogenforbindelser (ammonium og nitritt-nitrogen).
- Selv om bruk av RAS gir mulighet for kontrollert produksjon, kan en langvarig kronisk eksponering for suboptimal vannkvalitet har subkliniske og kliniske effekter på laks og gjøre den mer utsatt for sykdommer [10].
- Akkumulering av tungmetaller kan også forekomme i RAS med lav vannutvekslingshastighet og subkliniske konsentrasjoner av kobber (0,056 mg/L) som er forbundet med økt dødelighet [54].
- Tilstrekkelig overvåking av RAS-miljø, godt etablerte driftsrutiner, alarmsystemer og back-up systemer er viktige forebyggende tiltak i tilfelle en krisesituasjon. Godt trent personale kan forebygge og redusere potensielt negative effekter på fiskevelferden.

### Biosikkerhet

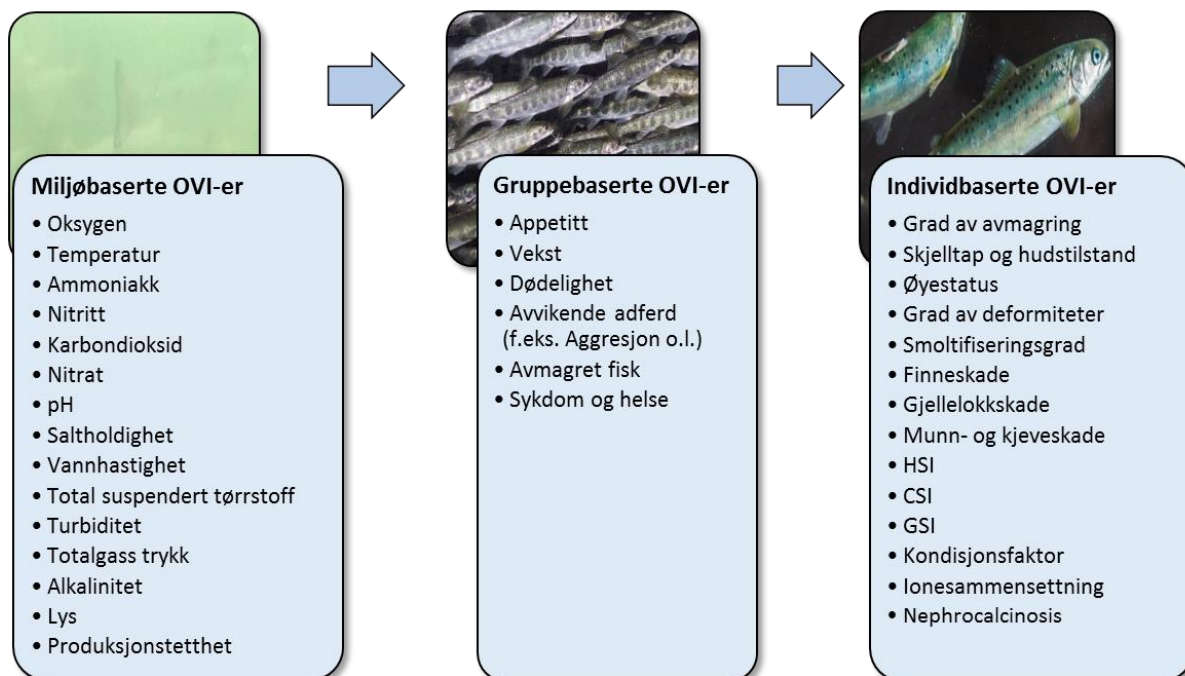
- God biosikkerhet er en forutsetning for vellykket drift av RAS [10].
- Kilden for sykdom er biologisk materiale (egg og fisk) og resikulert vann.
- Utryddelse av introduserte sykdommer er vanskeligere i RAS på grunn av negative effekter behandlingen kan ha på biofilter, og dets funksjon [10].
- Segregering av forskjellige livsstadier, og desinfeksjon av produksjonssystemet mellom generasjonene er avgjørende for fiskehelsen [10].
- Noen av patogenene som er blitt identifisert i RAS er parasitten *Ichtyobodo sp.* (Costia), sopp, *Yersinia* og infeksjons pankreasnekrose (IPN) [10].

### Oppdrettsprosedyrer

- Håndtering av oppdrettsfisk er antatt å være den operasjonen som påfører fisken mest stress.
- Håndtering i RAS inkluderer trenging, pumping, sortering, vaksinerings og håndtering i forhold til transport.
- Akutt dødelighet har blitt observert i en periode på en uke etter vaksinasjon av RAS-fisken [55], og denne dødeligheten ble tilskrevet økt stress forårsaket av håndtering.
- Ulik grad av reaksjon på håndtering kan være avhengig av fiskestørrelsen, noe som ble påvist på postsmolt [56]. Det viste seg at 450 g postsmolt var mer følsom for håndtering og overføring til sjøvann sammenlignet med 250 g og 800 g postsmolt.
- Håndtering av stor fisk må planlegges nøye og sedasjon og produkter som inneholder PVP og EDTA bør brukes hvis håving er en del av prosedyren [16].
- For mer informasjon om effekt av håndtering på velferd, se del C av håndboken.

## 2.3 Operative velferdsindikatorer

Det finnes tre hovedgrupper av operative velferdsindikatorer som kan benyttes i RAS: miljøbaserte, gruppebaserte og individbaserte OVI'er. De OVI'ene som er omtalt nedenfor refererer til atlantisk laks parr/smolt og postsmolt (figur 2.3-1).



**Figur 2.3-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for RAS. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner, mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. Bilder og illustrasjon Jelena Kolarevic, Frank Gregersen og Terje Aamodt

## 2.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Vannkvaliteten i RAS er forskjellig fra vannkvaliteten i tradisjonelle GS-systemer (tabell 2.4-1). I dette kapitlet vil de viktigste vannkvalitetsparametrene for overvåking av RAS og miljøbaserte OVI-bli gjennomgått.

**Oksygen** er den mest kritiske og viktigste vannkvalitetsparameteren som krever kontinuerlig overvåking i intensive produksjonssystemer, og er en begrensende faktor for økt produksjon i slike systemer [57]. Oksygenbehovet kan variere mellom livsstadier, og er avhengig av forskjellige forhold eksempelvis slik som temperatur og saltholdighet. Optimal oksygenmetning for atlantisk laks er 100% metning, tolererbar metning ligger rundt 60%, mens 50% metning er en begrensende faktor og metningene  $\leq 40\%$  er uakseptable [2]. Data tyder også på at minimum 85% og muligens opp til 120% metning er nødvendig for å opprettholde maksimal vekst hos atlantisk laks [19]. For egg, gir oksygenmetning over 66% ved en temperatur  $>12.5^{\circ}\text{C}$  og hastighet på 100 cm/h en god overlevelse [20]. For parr er minimum  $\text{O}_2$  metning for å opprettholde aerob metabolisme 39% ved  $12.5^{\circ}\text{C}$ , og tilsvarende for postsmolt ved 7 og  $19^{\circ}\text{C}$  er den minimale metningen henholdsvis 24% og 40% (se del B, seksjon 4.1.3). Både hypoksi [21] og hyperoksi [22,23], kan forårsake alvorlige velferdsproblemer hos laks.



**Tabell 2.4-1.** Forskjellen i vannkvaliteten mellom ferskvannsresirkuleringssystem (RAS) og gjennomstrømningssystem (GS) under produksjon av atlantisk laksesmolt [58]. Vannkvalitetsparametere er presentert som middelerverdier  $\pm$  SD ( $n = 4$  kar for hvert produksjonssystem).

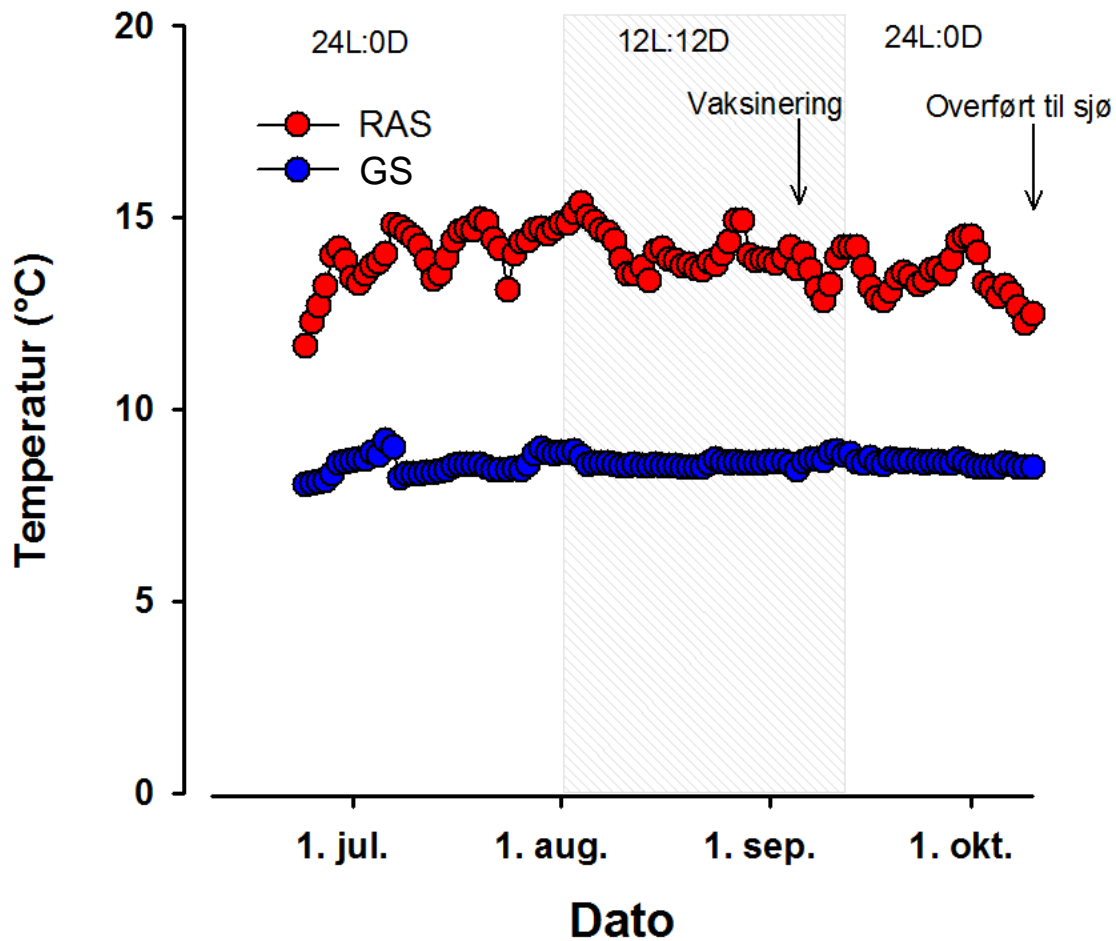
Vannkvalitetsparameter	Produksjonssystem	
	GS	RAS
pH	6,68 $\pm$ 1,16	7,28 $\pm$ 0,12
$\Delta H^+$ ( $\mu\text{mol/L}$ )	0,15 $\pm$ 0,09	0,04 $\pm$ 0,02
Alkalinitet (mg/L)	17,0 $\pm$ 1,7	48,0 $\pm$ 6,6
CO <sub>2</sub> (mg/L)	4,8 $\pm$ 1,3	4,6 $\pm$ 1,2
TSS (mg/L)	0,7 $\pm$ 0,3	3,4 $\pm$ 1,2
Turbiditet (NTU)	0,42 $\pm$ 0,18	1,38 $\pm$ 0,43
TAN (mg/L)	0,2 $\pm$ 0,0	0,3 $\pm$ 0,1
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0,01 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,04
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0,46 $\pm$ 0,04	22,73 $\pm$ 3,43

- Lufting i vann som den eneste kilden for oppløst oksygen, er ikke nok til å opprettholde de produksjonstetthetene som benyttes i RAS, og derfor benytter man oksygeneringssystemer med ren oksygen.
- I de fleste tilfeller tilsettes oksygenet automatisk i karene for å opprettholde oksygenmetning > 80%. Imidlertid kan metning ved inntaket i karet ofte være godt over 100%. Men effekten av hyperoksiske forhold i RAS er ikke er godt dokumentert.
- På steder hvor DO-regulatorer med elektroniske sonder brukes for å opprettholde oksygenmetning på ønsket nivå, er det meget viktig at målerne blir regelmessig rengjort og kalibrert! Systemer for «nødoksygenering» i karene er viktig, og bør sjekkes ukentlig eller månedlig.

**Vanntemperaturen** i RAS som ligger inne i isolerte bygninger kan være over 5°C høyere enn temperaturen i råvannet (figur 2.4-1; [58]). Dette er på grunn av den varmen som frigjøres gjennom fiskensmetabolisme, bakteriell aktivitet i biofilter og varme fra friksjonen i pumper og rør [59].

Bruk av den tilgjengelige temperaturgevinsten i RAS kan være fristende for å fremme raskere vekst og avkastning. Imidlertid kan høyere temperaturer i intensiv produksjon ha negativ innvirkning på fiskens sin velferd (se avsnitt 2.7), og kan medføre tidlig kjønnsmodning

- Det er en økt risiko for ryggradsdeformiteter i ferskvann ved temperaturer over 12°C [60]. Høye temperaturer i intensive RAS kan ofte være et problem, spesielt i sommermånedene og man kan justere mengden av det kjøligere råvannet inn i systemet for å regulere temperaturen i systemet [59].
- Forskning viser at temperaturer mellom 12-13°C i RAS kan bidra til å bevare god velferd, helse, og muligens redusere forekomsten av kjønnsmodning i atlantisk laks [28,56].



**Figur 2.4-1** Eksempel på en temperaturprofil i RAS sammenlignet med et GS-system, hvor RAS-råvann kommer fra den samme kilden som det brukte vannet i GS-systemet. Ingen ekstra oppvarming av RAS-vann ble gjort [58].

**Total ammonium-nitrogen (TAN)/ikke-ionisert ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ).** Uionisert ammoniakk er det viktigste nitrogenholdige avfallsproduktet fra laksefisk, og det er giftig. Det skiller ut gjennom gjellene til det omgivende vannet, hvor det bindes til et proton og danner ammonium ion ( $\text{NH}_4^+$ ), eller det forekommer i en ionisert form som er mindre toksisk. Enhver opphopning av  $\text{NH}_3$  i det omgivende vannet vil øke partialtrykket for  $\text{NH}_3$  og dermed medføre reduksjon i diffusjonsraten av  $\text{NH}_3$  over gjellene og føre til opphopning av  $\text{NH}_3$  i plasmaet til fisken.

- I vann foreligger total ammoniakk som summen av  $\text{NH}_3$  og  $\text{NH}_4^+$ -former, hvor likevekten mellom dem varierer med pH, temperatur og saltholdighet. I riktig utformet RAS hvor fôrbelastningen stemmer nøyaktig overens med bæreevne i systemet, og hvor systemet drives ved en pH verdi, tillater temperatur og saltholdighet som fremmer optimal nitrifikasjon og dannelse av  $\text{NH}_4^+$  og hydrauliske retensjonstider i karene fjerning av metabolitter, ammoniakk bør holdes ved ønsket lave konsentrasjoner.
- Hvis disse betingelsene ikke er oppfylt, kan laks i RAS bli utsatt for akutt ammoniakkforgiftning, noe som kan føre til reduksjon i appetitt, redusert svømmekapasitet, økt pustefrekvens, uberegnelige og raske svømmebevegelser, hoste, kramper, tap av likevekt og dødelighet [19]. I tillegg kan perioder med kronisk ammoniakk-eksponering også forekomme, noe som fører til økt metabolisme, redusert vekst, sykdomsresistens og kjønnsmodning [19].

- Atlantisk laks har evne til å tilpasse seg stabilt kronisk høye nivåer av ammoniakk uten langvarig negativ effekt på ytelse og velferd [61]. Imidlertid kan plutselige og hyppige endringer i ammoniakk-konsentrasjonen være mer problematisk.
- RAS for laksesmoltproduksjon er konstruert for å opprettholde TAN-konsentrasjoner på < 2 mg/L (ved 12°C og pH mellom 6,8-7,2), noe som gir mellom 3-7 µg/L av NH<sub>3</sub>-N. Disse grensene er anbefalt av Mattilsynet for kommersiell produksjon av laksefisk og er utledet fra eksperimenter utført under forskjellige forhold som ikke nødvendigvis fokuserer på intensiv produksjon av fisk i oppdrett [10]. De maksimalt anbefalte nivåene av NH<sub>3</sub>-N for laksefisk i oppdrett ligger området fra 0,012 til 0,030 mg/L NH<sub>3</sub>-N [19].

Kunnskapsmangel: Alle studier har hittil blitt gjort i GS-systemer, og det er behov for å verifisere optimale nivåer av NH<sub>3</sub>-N i RAS-miljøer.

**Nitritt** kan være potensielt giftig for atlantisk laks i ferskvann, da nitritt har en høy affinitet til gjelleklorid i opptaksmekanismene. I vannet kan nitritt bindes til klorid-bikarbonat (Cl<sup>-</sup>/ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) gjelletransportørene og utkonkurrere kloridionene [62]. Dette kan føre til kloridunderskudd, påvirke gasstransport, ioneregulering, det kardiovaskulære-, endokrine- og ekskresjonssystemet. I tillegg kan det forårsake dannelse av methemoglobin, og gi redusert blodoksygentransport [62,63]. Tilsetning av klorid til ferskvann kan beskytte mot skadelige virkninger av nitrittoksisitet. Nitritt er derfor mindre toksisk i sjøvann hvor Cl<sup>-</sup> konsentrasjonen naturligvis er høy. Det er foreslått at et 108: 1 Cl<sup>-</sup>: NO<sub>2</sub>-N-forhold bør benyttes, for å beskytte atlantisk lakseyngel [64].

Kunnskapsmangel: Foreløpige retningslinjer for bruk av Cl<sup>-</sup> i forhold til NO<sub>2</sub>-konsentrasjoner er enda ikke spesifisert av det Norske Mattilsynet

**Nitrat** er et sluttproduktet av nitrifikasjonsprosessen i biofilteret. Det anses å være ufarlig, men det anbefales å holde konsentrasjonen under 100 mg/L i RAS [59]. Nitrat styres i systemet ved daglige vannutvekslinger, men i tilfeller med lav utvekslingsrate eller lang oppholdstid, er denitrifikasjon nødvendig for å forhindre akkumulering av nitrat i systemet. I Norge kjøres flertallet av de kommersielle resirkuleringsystemene ikke med 100% resirkulering (null vannutskiftning), og nitrat elimineres fra systemet ved innførsel av nytt vann i systemet.

**Karbondioksid** er, etter oksygen, den viktigste og mest begrensende vannkvalitetsparameter for intensiv produksjon i RAS, da det kan hople seg opp i produksjonsvannet og ha negativ innvirkning på fiskens ytelse og velferd. I RAS er CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i vann kontrollert ved tilsetning av sterke baser, som ikke inneholder karbon (for eksempel lut (NaOH)) eller baser som inneholder karbon (f.eks NaHCO<sub>3</sub>) [57]. Tilsetning av baser kan resultere i manglende fjerning av oppløst uorganisk karbon fra vann, men det holder pH i et område hvor mesteparten av CO<sub>2</sub> i vann er i form av HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Aktiv fjerning av CO<sub>2</sub> via gassutveksling må være en del av vannbehandlingsprosessen i RAS. Den optimale CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner for yngel og postsmolt i RAS er fortsatt ukjent.

Kunnskapsmangel: Alle studier har hittil blitt gjort i FT-systemer, og det er behov for å verifisere optimale nivåer av CO<sub>2</sub> i RAS-miljøer.

**pH** i RAS må reguleres for å ta hensyn til nitrifikasjonsprosessen i biofilter som medfører forsuring av produksjonsvannet. I tillegg påvirker pH oppløselighet, likevektsreaksjonen, toksisitet av metaller, og må holdes på et optimalt nivå. En vanlig måte å regulere pH-verdien er ved dosering av kalk eller natriumhydroksyd til systemet ved hjelp av et automatisk doseringssystem, som styres via et pH-meter som er tilknyttet en doseringspumpe [59]. Anbefalt pH i innløpet er i henhold til Mattilsynet mellom 6,2 og 6,8. Imidlertid er dette under optimal pH (7.0 til 9.0) som er nødvendige for optimal nitrifikasjon

[57]. Det anbefales å holde pH ved den nedre optimale grensen pga de nitrifiserende bakteriene, for å minimere ammoniakkstresset som oppdrettslaks utsettes for. I tillegg vil raske endringer i pH på mer enn 0,5 til 1,0 enheter påvirke biofilteret, og filteret vil trenge tid til å tilpasse seg de nye betingelsene. Dette kan påvirke vannkvaliteten i systemet [57].

**Turbiditet** er et mål på vannklarhet. Økt turbiditet i RAS i forhold til GS -systemet er veldig karakteristisk, spesielt hvis ozonrensing blir ikke brukt. Økt turbiditet hindrer observasjon av fisk i karene og kan potensielt ha effekt på appetitt. Turbiditet kan også påvirke vannkvaliteten, da vann med høy turbiditet har mindre oppløst oksygen.

Kunnskapsmangel: Den optimale turbiditet nivåene hos lakseparr, -smolt og -postsmolt er ikke blitt kartlagt.

**Totalt suspendert tørrstoffkonsentrasjon (TSS)**, er definert som massen av partikler av både organiske og uorganiske opphav over 1 µm i diameter i et kjent volum av vann [57]. Suspendert tørrstoff bidrar til økt oksygenforbruk i kar med biologisk forurensning og slamavsetninger. Fint suspenderte tørrstoffer kan ha negativ virkning på generell gjellehelse og -funksjon, i og med at det påvirker oksygenopptaket. Dette kan gi grobunn for vekst av patogener [57]. Akseptable TSS konsentrasjoner er ikke blitt definert for RAS [57]. Imidlertid er det blitt fastslått at TSS i RAS bør holdes under 15 mg/L [19]. Det finnes noen eksperimentelle bevis på at mikrofilm og kolloider (små partikler) kan være negativt for postsmolts velferd, helse og ytelse i RAS [65].

Kunnskapsmangel: Den optimale TSS nivået hos lakseparr, -smolt og -postsmolt er ikke blitt spesifisert.

**Alkaliteten** i råvann er generelt lav i Norge er lav og mye bruk av råvann kan vaske ut tilsatt base i RAS og dermed øke de operative kostnader ved å opprettholde nødvendig alkalitet og pH for optimal nitrifikasjon [66]. **Anbefalt alkalitet for produksjon av atlantisk laksesmolt i RAS er rundt 70 mg/L [66].**

**Saltholdighet** påvirker direkte en rekke andre vannkvalitetsparametere (ammoniakk, oppløst oksygen etc.) så vel som effektiviteten av vannbehandlingen i RAS, for eksempel nitrifikasjon [67,68]. I tillegg avtar CO<sub>2</sub>-fjerningseffektiviteten med økt saltinnhold [69]. Saltholdighet er spesielt viktig i produksjonen av postsmolt for å hindre desmoltifisering og for å gjøre laksen klar for overføring til sjøvann. Ytrestøyl [70] viste at ved bruk av en saltholdighet på 12 ‰ for produksjon av postsmolt i RAS sammenlignet med 22 og 32 ‰, så gav det både bedre vannkvalitet, bedre vekst, FCR, overlevelse, hudhelse og rød farge i fileten.

**Vannhastigheten** i kar er påvirket av oppholdstiden (HRT) og konstruksjonen av innløp og utløp samt av fisk i karene. Det har vist seg at svømmehastighet på 1,2-1,5 kroppslengder (BL)/sek, er gunstig for atlantisk laks [10]. I RAS gir 1-1,5 BL/sek god effekt på fisken sin kondisjon, og har god effekt på vekst hos smolt og postsmolt [28,70]. Store endringer i vannhastigheten kan ha negative effekter for fisken, og for høy hastighet kan være en utfordring for laks. Dette er noe som kan resultere i redusert overlevelse etter sykdomsutbrudd [28].

**Tetthet av fisk** i RAS må bestemmes ut fra systemdesign, maksimal daglig fôringsbelastning og effektiv vannbehandling for å oppnå optimale vekstbetingelser og velferd. For parr i RAS med optimal vannkvalitet bør tettheten holdes under 100 kg/m<sup>3</sup>, spesielt hvis høyere temperaturer (> 13°C) blir brukt [28]. For laksepostsmolt i RAS har det derimot vist seg at tettheter på over 80 kg/m<sup>3</sup> i

kombinasjon med høye CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner (mellom 20 og 30 mg/L), forårsaker negative effekter på vekst, fysiologiske og morfologiske velferdsindikatorer [71].

**Belysning** i RAS kan variere mellom systemer hvor biomasse, fôrbelastning, partikkelfjerning, karstørrelse, karform og bruk av ozon er forskjellige. Optimale lysforhold (intensitet og bølgelengde) for optimal ytelse og velferd hos laksesmolt og postsmolt i RAS er ukjent. Utilstrekkelige lysforhold kan påvirke næringsopptaket og føre til aggresjon. Bruk av store oppdrettskar (opptil 1000 m<sup>3</sup> i nybygde RAS) med høy fisketetthet under smoltifisering kan føre til ikke-synkron smoltifisering og dårlig kvalitet på smolten. Kontinuerlig lys i kombinasjon med høye vanntemperaturer kan også forårsake økte problemer med kjønnsmodning.

Kunnskapsmangel: De optimale lysforhold (både lysintensitet og lys kvalitet) for postsmolt i RAS er ukjent. I tillegg er lysforhold under smoltifisering i store kommersielle oppdrettskar dårlig dokumentert.

**Fôrbelastning** er nært knyttet til produksjonskapasiteten til RAS da den påvirker vannkvaliteten i systemet [10,57]. Det anbefales å holde dag-til-dag variasjonen i fôrbelastningen forholdsvis konstant, selv under 10-15% kan kortvarige variasjoner i utfôringen påvirke biofilterets rensende evne [10,72]. Dette medfører risiko for økte nitritt konsentrasjoner.

**Total gasstrykk (TGP)** bør ikke være høyere enn 100% i henhold til Mattilsynet. Men spesielt i RAS med bevegelige biofiltre, så kan TGP nå opptil 105% på grunn av dybden av luftinjeksjonen. Overmetning skjer når partialtrykket av en eller flere av gassene oppløst i vannet blir større enn atmosfæretrykket. Eksternt tegn på overmetning av gass begynner å oppstå etter flere timer med eksponering for gass-overmettet vann. Alvorlighetsgraden av symptomene er nært knyttet til prosent overmetning, O<sub>2</sub>: N<sub>2</sub> forhold og eksponeringstid. Typiske eksterne tegn er bobler som vises på finnene, halen, gjellelokkene og hodet. På grunn av risikoen for nitrogenovermetning øker ved innblanding av sjøvann i ferskvann, samt i vår løsning og under kraftige væromslag bør total gasstrykk overvåkes jevnlig.

Kunnskapsmangel: Effekten av TGP på 100% kontra 104-106% og hvordan det påvirker ytelse og velferd hos laks i RAS er foreløpig ukjent (se også boks: Kunnskapsmangel; oppført etter kapittel 4.1.4. Karbondioksid. Del A av håndboken)

**Ozon** er brukt i RAS som desinfeksjon eller som et vannforbedringstiltak som øker fellingen av fine partikler. Dette reduserer nivået av TSS, oppløst organisk karbon, nitritt, tungmetaller og forbedrer turbiditet i produksjonsvannet [73]. Det tillater også drift av systemer med lavere utvekslingsrate. Imidlertid kan ozon, som er et sterkt oksidasjonsmiddel, føre til oksidativt stress via dannelsen av reaktive oksygenforbindelser, og det er derfor en helseisiko for både mennesker og fisk [10]. Tegnene på eksponering til toksiske nivåer av ozon er endringer i fiskens adferd. Den "gisper" etter luft og samler seg nær overflaten og viser avvikende svømmeferd, og appetitten reduseres. Til slutt vil fisken miste likevekt og bli blek [10]. Den høye risikoen ved langvarig bruk av ozon kan være grunnen til at det ikke er mye brukt i oppdrett.



### Hvordan måle vannkvaliteten (VK) i RAS:

- Kontinuerlige målinger ved anvendelse av på-stedet-prober eller ved punktmålinger som ved bruk av håndholdte instrumenter, laboratorieutstyr og godkjente måle-sett fra laboratorier.
- Måles ved samme tidspunkt i forhold til lys og føring i RAS.
- Måles ved samme sted i RAS hver gang.
- Korrekt prøvetakingsprosedyre er viktig.
- Følge prosedyrer fra de akkrediterte laboratoriene.
- Notere trender og bruke disse aktivt i tolkning av situasjonene.
- Riktig vedlikehold av utstyr er viktig. Særlig gjelder dette vedlikehold av på-stedet-prober som er utsatt for biologisk forurensning!
- Identifisere hvilke nitrogenforbindelser som blir målt ved hver metode (TAN, NO<sub>2</sub>-N eller NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N eller NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>-N eller NH<sub>3</sub>).
- Måle og holde kontroll på biofilteret sin nitrifikasjonseffektivitet.
- I store kar skal en kontrollere at VK er ensartet ved å måle VK på ulike steder i karet.
- Forstå hva VK endringer betyr for fisken.



## 2.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Appetitt** i RAS-system må overvåkes nøye. Redusert appetitt medfører økt fôrspill som kan påvirke nitrifikasjonsprosessen negativt i biofilteret. Økningen av organisk materiale i systemet vil fremme veksten av heterotrofe bakterier og slik sett øke slamdannelse. Montering av virvelseparatorer på siden av hvert kar kan bidra til å overvåke appetitten, og bidra til bedre regulering av fôrbelastningen i systemet. Visuell observasjon av spiseatferd eller fôrspill på bunnen av karene i RAS kan noen ganger være vanskelig hvis vannet er grumset. Måling av daglig fôroptak i RAS er viktig for å optimalisere føringen i systemet.

**Veksten** kan påvirkes av flere faktorer, som appetitt, næringsinnholdet i fôr, sykdommer, sosial interaksjon, vannkvalitet og stress [33,74,75,76]. Bruk av vekst som OVI avhenger av et godt representativt uttak av fisk. Vekst kan uttrykkes som i) vektøkning, ii) relativ eller prosentvis vektøkning, iii) spesifikk vekstrate (SGR) eller iv) termal vekst koeffisient (TGC). Vekst er en prestasjonsindikator av betydning (NPI), og blir jevnlig overvåket på anleggene. Endringer i vekstraten kan brukes som et tidlig varslingsystem for potensielle problemer. Vekst hos parr/smolt i RAS-systemer, er vel så god som veksten i GS-systemer hvis man sørger for optimale vannstrømnings- og hastighetsbetingelser [55].

**Atferd** i RAS kan være utfordrende å overvåke manuelt eller via kamerateknologi, spesielt når laksen blir produsert i store oppdrettskar hvor grumset vann reduserer sikten. Bruk av ny teknologi, som akustisk telemetri kan gjøre det mulig for nåtidsovervåkning av laksenes svømmeaktivitet i RAS [48]. Dagens passive observasjonsmetoder kan ofte bli isolert til atferden i overflatearealet, mens det er vanskelig å overvåke fisken som oppholder seg nær bunnen av store kommersielle kar (på opp til 1000 m<sup>3</sup>). Bruken av ozon ville forbedre sikten i systemet, men i intensive oppdrettsenheter ville det fortsatt være utfordrende å overvåke hele laksebestanden i tankene.

## 2.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Morfologiske velferdsindikatorer** for laksesmolt og -postsmolt kan også bli undersøkt i RAS uten avlivning. Det anbefales at et antall velferdsindikatorer følges gjennom hele produksjonssyklusen i RAS, slik som finne-, hud-, øye-, gjellelokkstatus, kondisjonsfaktor, rygggraddeformiteter og munn- og kjeveskader.

**Grad av avmagring** er relevant for deler av fersk- og sjøvannsproduksjonen. «Taper» er fisk med hemmet vekst som mest sannsynlig er døende, og bør fjernes under sortering eller ved en hvilken som helst annen håndteringsprosedyre i løpet av ferskvannsfasen. Slike «taper» fisk er lett gjenkjennelige på grunn av deres ytre utseende (tynne med veldig lav kondisjonsfaktor) og spesifikk oppførsel (svømmer isolert ved overflaten), og bør dermed tas ut av produksjon.

**Skjelltap og hudstatus** innebærer observasjon av hudfarge, skjelltap og tilstedeværelsen av skjell. Videre bør en observere alvorlighetsgraden og frekvensen av sår i et representativt antall fisk i en oppdrettspopulasjon.

**Øyestatus.** Øynene er svært sårbare for mekanisk skade, som kan føre til blødninger eller uttørking under håndtering. Utstående øyner er ofte et uspesifikt tegn på sykdom, mens katarakt eller tap av gjennomsiktighet i øyelinsen kan være forårsaket av flere faktorer. Dette er mer hyppig ved de senere livsfasene hos smolt og postsmolt. Oversikt over øyeskade typer og effekter på fiskevelferd er gitt i kapittel 3.2.11 i del A av håndboka.

**Rygggraddeformiteter.** Rygggraddeformiteter kan være forårsaket av underernæring [41] og temperatur [17]. Se Fjelldal et al. [42] for nærmere detaljer og kapittel 3.2.9 i del A av håndboken.

**Munn- og kjeveskader** kan oppstå i forbindelse med håndteringsprosedyrer (trenging, pumping, håving; se del C for mer informasjon), eller som et resultat av kontakt mellom laks og karvegger.

**Gjellelokkskader** omfatter forkorting, manglende gjellelokk, vridde gjellelokk og «myke» gjellelokk. Det fenomenet er spesielt knyttet til tidlige livsstadier i ferskvannsfasen, og kan være forårsaket av suboptimale oppdrettsforhold, ernæring og forurensning. Bleking av gjeller og generell gjellestatus bør overvåkes i forhold til turbiditet og TSS endringer.

**Finneskade.** Effektene av finneskader på velferden er både finne- og livsfase spesifikk. Risikoen kan variere avhengig av livsfasen hos laks. For eksempel hos parr kan tapet av brystfinner redusere evnen til å holde seg i ønsket posisjon [43]. Det er en klar sammenheng mellom aggresjon og ryggfineskader hos parr [38]. Hos smolt og postsmolt kan ferske finneskader medføre at fisken utsettes for osmoregulatoriske problemer [44].

**Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) rygggraddeformiteter, ix) overkjeve misdannelser, x) nedrekjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og helbredete**

finneskader, xiii) katarakter og xiv) Speilberg skår for indre sammenvoksinger etter vaksinerings av atlantisk laks, er vedlagt i slutten av dette dokumentet.

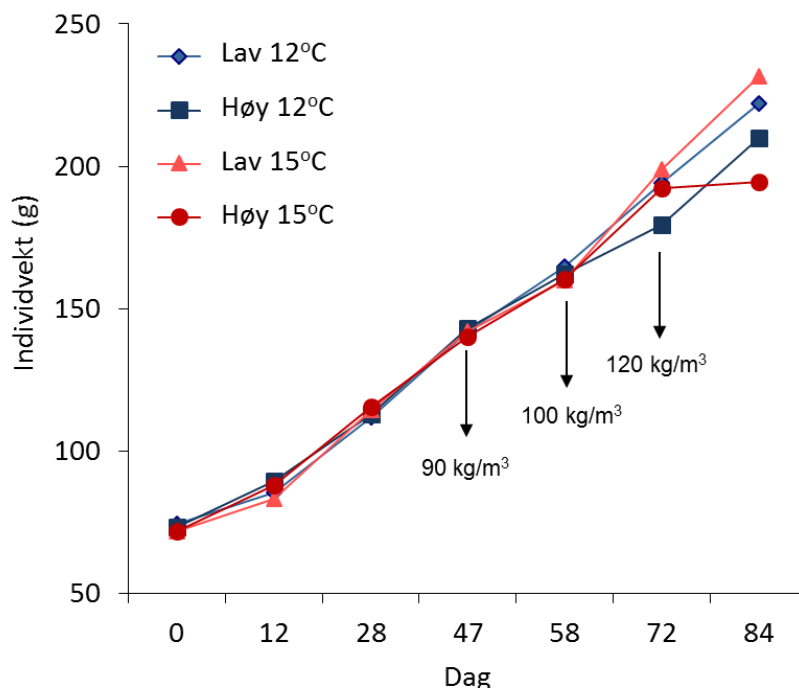
**Kroppsindekser** er relasjonen mellom ulike organ størrelser i forhold til kroppsstørrelse, og kan være en indikasjon på velferd. Hyppigst målte indekser er den hepato-somatiske indeksen (HSI) eller forholdet mellom lever og kroppsstørrelse, og den kardio-somatiske indeksen (CSI) eller forholdet mellom hjerte og kroppsstørrelse.

**Kondisjonsfaktor** (KF) gir et bilde på fisk sin ernæringsstatus, og beregnes som  $100 \times \text{kroppsvekt (g)} \times \text{kroppslengde (cm)}^{-3}$ . KF for parr bør være mellom 1,0 til 1,3, og en kondisjonsfaktor under 0,9 indikerer avmagring. Kondisjonsfaktor avtar under smoltifisering og er rundt 1 hos smolt. Etter smoltstadiet øker den med økende fiskestørrelse i sjøen.

**Nefrokalsinose** er en patologisk tilstand relatert til høye konsentrasjoner av oppløst  $\text{CO}_2$  [45], som innebærer dannelse av store minerkalsiumavleiringer i nyrevevet og er synlige for det blotte øyet. Denne tilstanden kan være livsstadiums avhengig, da det ble vist at parr som ble eksponert for  $\text{CO}_2 > 30 \text{ mg/L}$  i 47 dager ikke viste noen tegn på nefrokalsinose [29]. Et skåreskjema for å dokumentere nefrokalsinose blir for tiden validert, og morfologien til nyrene må undersøkes i de tilfeller når laks blir kronisk eksponert for høye konsentrasjoner ( $> 15 \text{ mg/L}$ ) av oppløst  $\text{CO}_2$ , ved kommersiell produksjon.

## 2.7 Vurdering av velferd. Scenario: Produksjon av parr i høy tetthet og temperatur i RAS-system med ferskvann

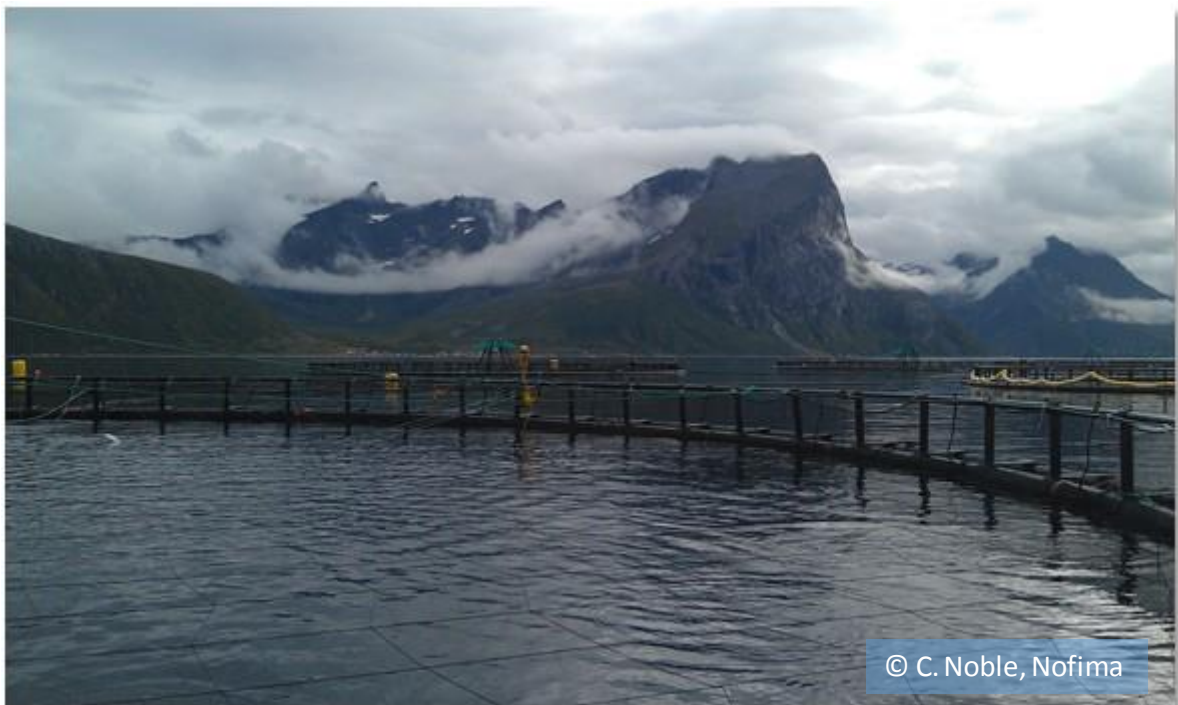
I dette scenariet ble store lakseparr ( $\sim 80 \text{ g}$ ) satt i RAS kar ved 30 og 60  $\text{kg/m}^3$ , og ved to forskjellige temperaturer på henholdsvis 13 og 15°C. Hensikten var å øke tettheten gjennom fisken sin egen vekst ved to forskjellige temperaturer, og ved å overvåke og stabilisere vannkvaliteten og eventuelt avslutte eksperimentet ved tegn til negative effekter. Alle gruppene viste en tilsvarende individuell vekst utvikling inntil gruppen med høy tetthet nådde 100  $\text{kg/m}^3$ . Da begynte de første tegnene på redusert vekst å bli observert (figur 2.7-1). I det tettheten nådde 120  $\text{kg/m}^3$  i gruppen som ble holdt ved 15°C, så stoppet fôrinntaket helt opp og endringer i atferden ble observert. Fisken svømte urolig ved



**Figur 2.7-1.** Individuell vekt av atlantisk lakseparr produsert i RAS ved to temperaturer (13 og 15°C) og start tettheter på 30 og 60  $\text{kg/m}^3$  over tid. Tettheten av grupper med høy tetthet er angitt i diagrammet fra 90 til 120  $\text{kg/m}^3$  [28].

overflaten med finnen stikkende opp fra overflaten. Denne atferden var først periodisk for deretter å øke til å bli mer eller mindre kontinuerlig. Endringen i oppførselen ble gradvis etterfulgt av massiv dødelighet (økning i den kumulative dødelighet fra 1 til 8%) som oppsto 4-5 dager etter at de første tegn på sammenbrudd i oppdrettsenheten [15]. Bortsett fra noe høyere CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (~ 16 mg/L) i de aktuelle karene ble vannkvaliteten holdt innenfor optimalt område, og var ikke en begrensende faktor. Finne- og øyeskader var signifikant mer utbredt i de berørte gruppene sammenlignet med andre gruppene. Molekylære stressmarkører var indikativ for en stressrespons og gjellereguleringen ble kompromittert. I tillegg hadde parr som ble produsert ved høye tettheter og temperaturer, en signifikant større lever og økt hjertestørrelse. Dette var sannsynligvis årsaken til dødelighet da akutt stress kan medføre sirkulasjonssvikt [28].

### 3 Sjømerder



© C. Noble, Nofima



### 3.1 Oppdrett av laks i merd

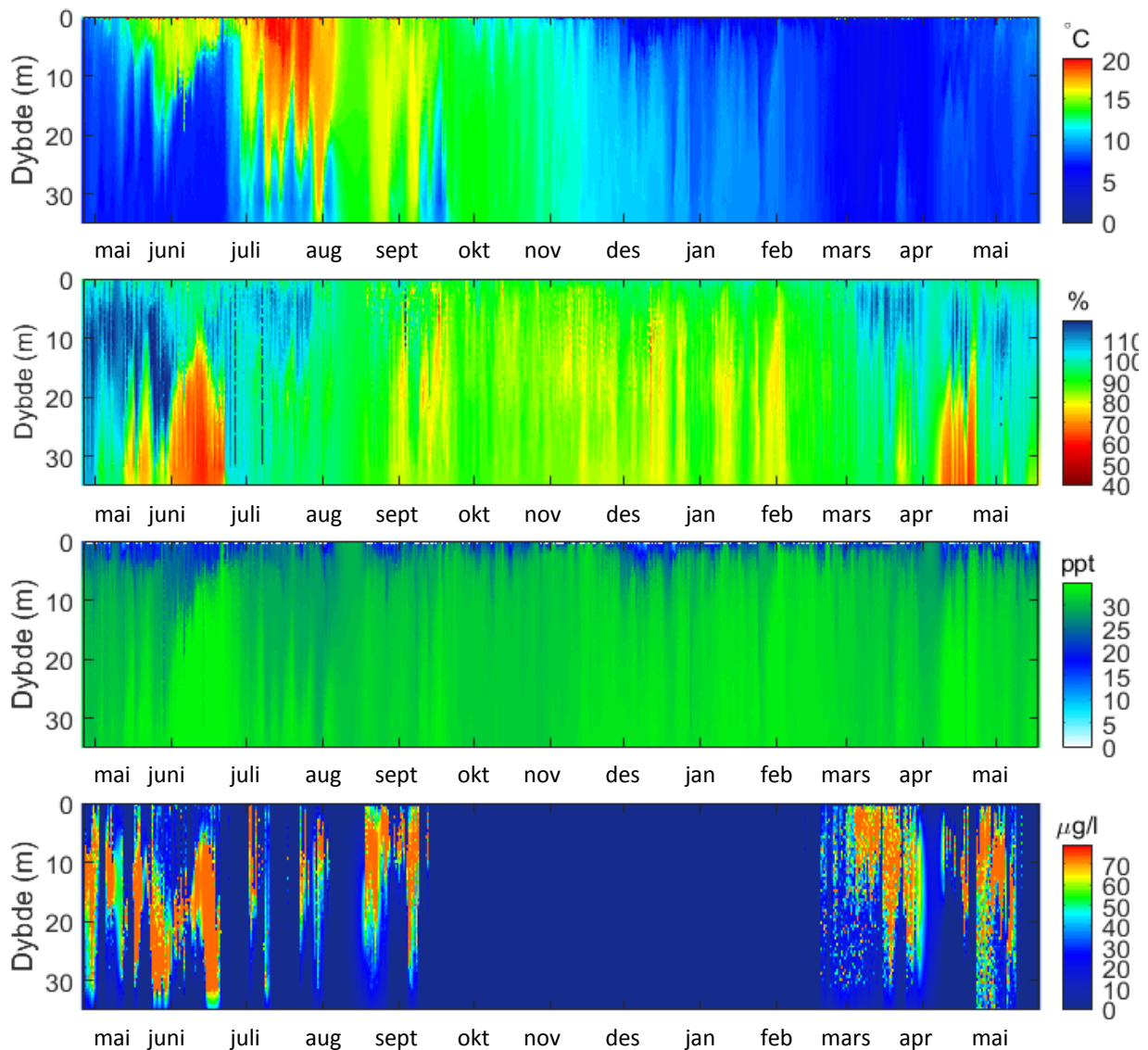
Å produsere laks og ørret i sjømerder har vært en stor suksess, både når det gjelder produksjon og lønnsomhet. Hvert år blir det høstet mer enn 1.2 millioner tonn, eller 250 millioner oppdrettslaks og ørret, fra norske oppdrettsanlegg [77]. Dette utgjør en verdi på mer enn 40 milliarder kroner. Lignende produksjonsteknikker brukes også i Tasmania, Chile, USA, Canada, Irland, Skottland, Færøyene og Island. En åpenbar fordel med oppdrett av fisk i merd er at havstrømmer naturlig transporterer vann inn og ut av merdene. Dette sikrer tilførsel av nytt oksygenrikt vann, gir fisken et naturlig vannmiljø og på veien ut tar vannstrømmen med seg overskudds fôrpertikler og avføring fra fisken. En typisk norsk merd er 40 - 50 m i diameter og har en 10 til 50 m dyp not (16,000 til 130,000 m<sup>3</sup>). Sammenlignet med fiskeoppdrett i kar på land med høye tettheter og et forholdsvis stabilt vannmiljø, opplever laks og ørret i merder en relativ høy grad av bevegelsesfrihet og de kan bevege seg opp og ned i noten for å finne foretrukket vannmiljø [26]. Et av de største problemene med produksjon i merd er at oppdretterne har liten mulighet til å påvirke forholdene når vannkvaliteten er suboptimal, og det er ofte vanskelig å behandle fisken når de viser klare tegn på sykdom og redusert velferd. Men ved å ha en klar oversikt over velferdstilstanden i merdene kan oppdretteren ta veloverveide beslutninger om bruk av tiltak mot lus (som luseskjørt), om fisken kan håndteres, hvilke avlusingsmetode som bør foretrekkes, om slakting av fisken bør utsettes eller fremskyndes, og om inntak av mer fisk på lokaliteten er forsvarlig. Poenget med den sistnevnte er at dersom den eksisterende fisken på lokaliteten viser tegn på dårlig velferd og risiko for sykdom, kan det å bringe ytterligere fisk til lokaliteten medfører fare også for den nye fisken.

### 3.2 Velferdsutfordringer

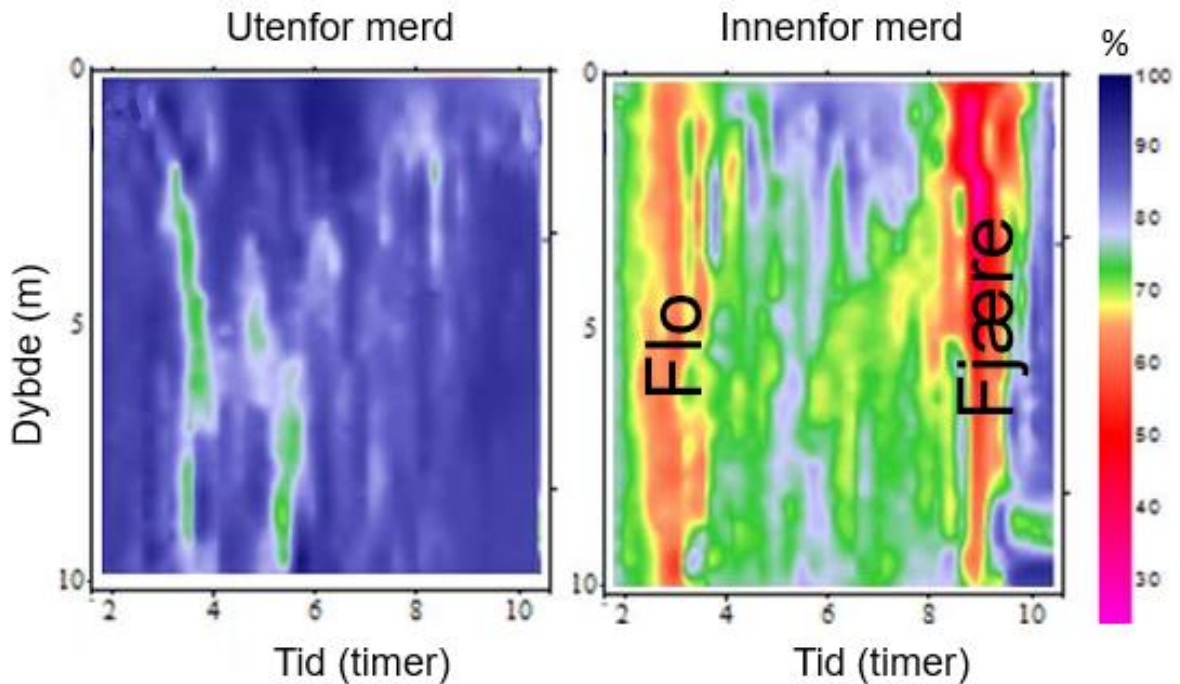
**Utfordringer i vannmiljøet:** Smolt blir vanligvis transportert til merder i brønnbåter, og satt ut gjennom rør inn i merdene. Her må de mestre helt nye omgivelser og utfordringer, og de første ukene etter overføring er ofte forbundet med økt dødelighet [78]. Spesielt gjelder dette hvis fisken blir smittet med sykdom, har gjennomgått en «hard transport» [79], eller om deler av populasjonen er ufullstendig smoltifisert og får problemer med å tolerere sjøvann. Avhengig av hvor i Norge oppdrettsanlegget ligger, hvis det er en i en fjord, ved kysten eller eksponert ut mot havet, så kan laksen bli utsatt for helt forskjellige utfordringer. For eksempel lange perioder med veldig kaldt vann i nord og perioder med for varmt vann i sør. Den kontinuerlige tilførselen av nytt vann betyr også at laksen opplever sesongmessige endringer, forandringer som følge av tidevannsstrømmer, ferskvann avrenninger, stormer, oppstrømning av dypvann og oppblomstringer av plante- eller zooplankton (figur 3.2-1). Merder som ligger i fjorder kan ha sterk vertikal lagdeling av vannkvalitet og vesentlige endringer som følge av tidevannsstrømmer flere ganger daglig. Sterkt hypoksiske betingelser (ned til 30 % oksygenmetning) kan forekomme i opptil en time ved høy- eller lavvann når vannmassene står stille (figur 3.2-2). Oppdrettsanlegg i kystnære områder har typisk relativt homogen vannkvalitet, men er ofte gjenstand for en sterkere og mer varierende havstrøm. I tillegg kan vinddrevet oppstrømning av kaldt dypvann med lav oksygenmetning forekomme. Oppstrømning kan også forekomme i fjorder, f.eks så kan tilstrømningen av kaldt vann om vinteren føre til at dypt vann begynner å stige opp, og under stormer kan sterk vind presse overflatevannet mot land, og forårsake at det dype vannet stiger opp bakenifra. I dype fjorder med en grunn terskel og dårlig vannutskiftning, kan dypt vann inneholde giftig hydrogensulfid (lukter som råtne egg).

**Skadelige organismer:** Plante- og dyreplankton kan forårsake perioder med svingninger i turbiditet og oksygen. Selv om planteplankton produserer oksygen om dagen, blir de om natten storforbrukere av oksygen og kan, som dyreplankton, føre til betydelig reduksjon i oksygen (figur 3.2-1). Alger og zooplankton kan gjøre direkte skade på gjellene til fisken [80], og tilførselen av nytt vann inn i merdene

kan bringe inn andre patogener som virus, bakterier, parasitter eller maneter. Selv om laks normalt er i stand til å unngå maneter, så har de potensiale til å skade gjellene til laksen, og svermer av maneter kan overvelde anlegget og resultere i høy dødelighet [81]. Foruten bakterier og virus, er den parasittiske lakselusa den største velferdsutfordring for oppdrettslaks i dag. Ikke bare ved at lus i store mengder kan skade fisken direkte, men særlig ved at hyppige avlusningsoperasjoner stresser fisken og ved at hver enkelt operasjon innebærer risiko for at store mengder fisk kan bli skadet eller drept [78]. En annen parasitt som har blitt til et stort problem i Norge de siste årene er de protozoen *Neoparamoeba perurans*, som forårsaker amøbisk gjellesykdom (AGD).



**Figur 3.2-1.** Temperatur (°C), oksygenmetning (%), saltholdighet (‰) og fluoresens (µg/L) målt i en fjord i Vest Norge. Legg merke til de to forekomstene av oppstrømning, en i juni og en i april-mai. Dette skaper plutselige og langvarig dårlige oksygenforhold under 10 m. Legg også merke til at høye konsentrasjoner av planteplankton (målt som fluoresens) i deler av året med lange dager og mye lys er netto produsenter av oksygen og fører til overmetning, mens de i september er netto forbrukere av oksygen og fører til redusert oksygenmetning (data: Kjetil Frafjord- Ewos Innovation).



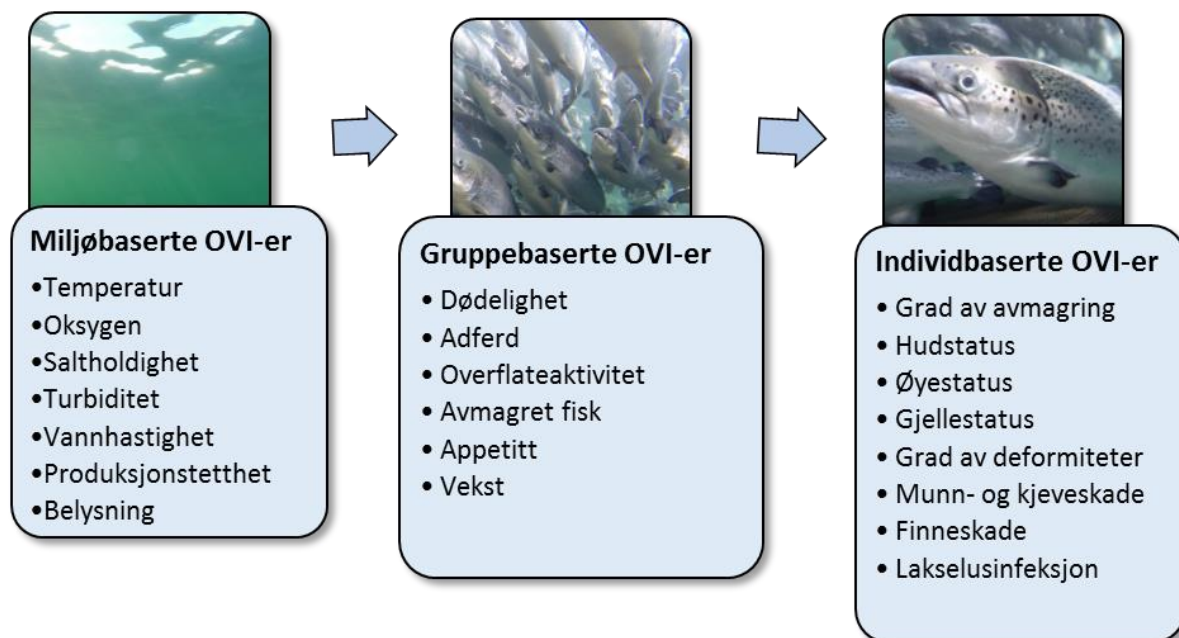
**Figur 3.2-2.** Eksempel på hypoksiske tilstander inne i en merd i perioden mellom flo og fjære («når den snur») når det er nesten strømsstille. Illustrasjon tilpasset fra [82].

**Farlig miljø:** Oppdrett i et naturlig miljø gjør laksen sårbar for rovdyr som sel, fugler og større villfisk. I tilfelle av sterke strømmer og utilstrekkelig vekting av nettet, kan nettet bli deformert, noe som vil medføre redusert nettvolum og at det kan oppstå lommer hvor fisken kan bli fanget og skadet.

**Stressende håndteringsoperasjoner:** Fisken kan også bli skadet og påført stress under håndteringsprosedyrer som rengjøring av nøter, skiftning av nøter, trenging, sortering, telling av lus og avlusningsoperasjoner. Sår fra håndtering kan fort bli alvorlige velferdsproblemer, både ved at de kan bli vektor for sykdom og ved at lus eller kalde vannforhold kan hindre sårene fra å lege, og dermed skape et langsiktig velferdsproblem [83]. Se del C for mer informasjon om fiskevelferd i forhold til håndtering.

### 3.3 Operative velferdsindikatorer

Det finnes tre hovedgrupper av operative velferdsindikatorer som kan benyttes i sjømerder: miljøbaserte, gruppebaserte og individbaserte OVI'er. De OVI'ene omtalt nedenfor refererer til atlantisk laks parr/smolt og postsmolt (figur 3.3-1).



**Figur 3.3-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for sjømerder. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner, mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. Bilder og illustrasjon Lars H. Stien.

### 3.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Temperatur** er en viktig miljøfaktor som påvirker den vertikale fordelingen av laks i merder [26]. Gitt et valg vil laks oppsøke temperaturer rundt 17°C, og aktivt å unngå temperaturer høyere enn 18°C og under 12°C [14,84]. Den optimale temperaturen for laks i form av vekst, er antatt å være omkring 14°C. Temperaturer utenfor det foretrukne området vil gi betydelig reduksjon i vekst [85], men laks kan tilpasse seg temperaturer fra 0 til 23°C, forutsatt at oksygennivået er tilstrekkelig høyt og at det er en gradvis overgang i temperatur [86]. Både høye og lave temperaturer er imidlertid forbundet med høyere risiko for sykdomsutbrudd, og forlenget sårhelings tid [83,87].

**Oksygennivået** i en merd er avhengig av metningsnivået i det omgivende sjøvannet, hvor fort vannstrømmen tilfører merden nytt sjøvann, og hvor mye oksygen fisken eller plankton inne i merden forbruker. Laks øker sin metabolske aktivitet med økende temperatur og trenger derfor mer oksygen ved høye enn ved lave temperaturer (tabell 3.4-1). Den laveste oksygenmetning som ikke påvirker appetitt ved 7, 11, 15 og 19°C er henholdsvis 42, 53, 66 og 76% (Tabell 3.4-1). Selv korte perioder med hypoksiske betingelser, for eksempel periodene med maksimum høy- og lavvann når tidevannsstrømmen snur, kan føre til fysiologisk stress. Stress kan medføre redusert appetitt, svekket osmoregulering, hudlesjoner og dødelighet [24]. Ved å ta i bruk en restriktiv tilnærming foreslo Stien et al., [24], at oksygennivået bør være over 80% i merder for å gi optimale oppdrettsforhold.

Temperatur (°C)	DO <sub>maxFI</sub>	LOS
7	42%	24%
11	53%	33%
15	66%	34%
19	76%	40%

**Tabell 3.4-1.** Nedre grense for oksygenmetning med maksimalt fôrinntak ( $DO_{maxFI}$ ) og begrensende oksygenmetning (LOS) for atlantisk postsmolt på 300-500 g [88].

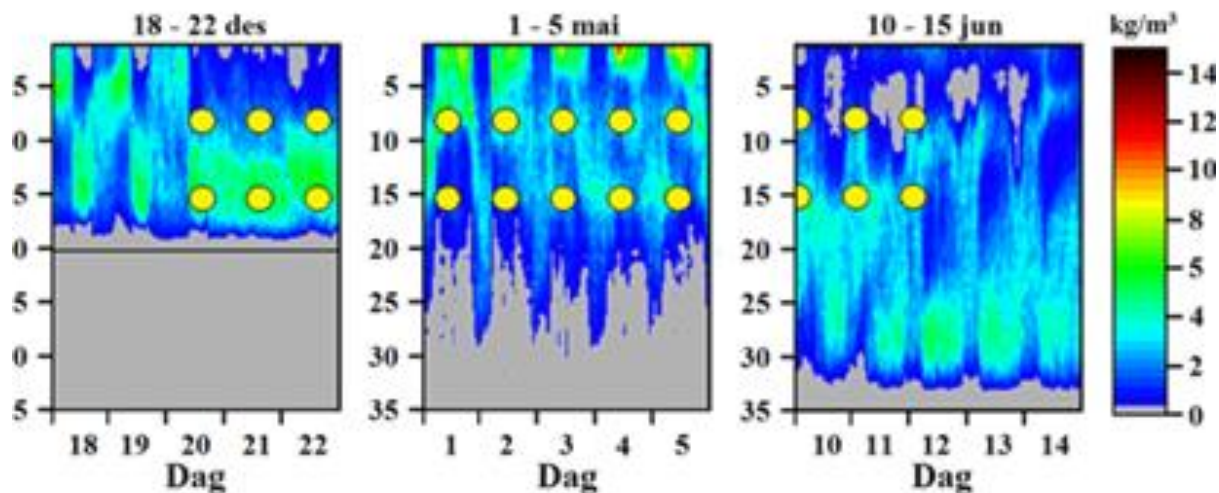
**Saltholdighet** i norske farvann ligger normalt på rundt 33 ‰, men merder som befinner seg i fjorder kan påvirkes av ferskvannsavrenning og få en tydelig lagdeling av vannmassene (haloklin). Lagdelinga består av et lag med et brakkvann av varierende tykkelse og saltholdighet på toppen, og vann med normal saltholdighet under (se figur 3.2-1). Postsmoltlaks synes å bli lite påvirket av saltholdighet [14,84,89], med mindre skader på huden og sykdom svekker deres osmoregulatoriske-evner [90,91]. Fisk som nylig har blitt satt ut i sjøen foretrekker haloklin og brakkvann. Brakkvann gir også fisken mulighet til å behandle seg selv mot AGD [92] og unngå lakselus [93].

**Turbiditet** og fluorosens er lite brukte velferdsindikatorer, men de kan gi en indikasjon på tilstedeværelsen av plankton og derved risiko for plutselige endringer i oksygenmetning (figur 3.2-1). Store mengder av partikler i vannet kan også skade gjellene og gjøre dem sårbare for infeksjon. I tillegg er noen alger og dyreplankton direkte skadelige for fiskene [80]. Høy turbiditet kan også hindre oppdretteren i å observere fisken og vurdere fisken sin appetitt. Dette kan øke risikoen for feil fôring og redusere oppdretteren sin reaksjonstid i forhold til plutselige forandringer i atferden hos fisken som kan indikere et begynnende velferdsproblem.

**Vannstrømhastighet** er først og fremst en indirekte OVI ved at vannstrømmen gjennom en merd gir nytt oksygen som brukes av fisken og spyles ut metabolitter og suspenderte faste stoffer slik som avføring og overskuddsfôr [94]. Imidlertid kan høy strømhastighet påvirke fisken sin evne til å opprettholde sin posisjon i stimen, og i ekstreme tilfeller medføre at fisk blir utmattet. Hvor lenge laks er i stand til å opprettholde høy svømmehastighet avhenger først og fremst av deres generelle kondisjon, vanntemperatur og størrelse. Vedvarende svømmehastighet av laksepostsmolt er omtrent 2 kroppslengder/s [95], men ytelsen kan bli negativt påvirket allerede ved 1,5 kroppslengder/s [96,97].

**Produksjonstettheten** i merd er mer et styringsverktøy for optimal produksjon i forhold til tillat biomasse enn en OVI i merdoppdrett. Det er liten tvil om at både for høy og for lav tetthet svekker fiskevelferd [98], men hva som er optimal tetthet er avhengig av en rekke variabler, inkludert livsstadium, vannkvalitet, strømhastighet, fôrtilgang, fôrregime, oppdrettssystem, oppdrettsrutiner og -praksiser [99]. Men produksjonstettheter under 25 kg/m<sup>3</sup> antas å ikke påvirke fisken sin velferd (gjennomgått i [24]). Tettheten i merder er derfor først og fremst en indirekte velferdsindikator i det en økt biomasse i en merd øker risikoen for hypoksi i perioder med høy temperatur og lav vannutskifting. Dermed kan visse operasjoner som for eksempel avlusning bli mer belastende og få mer langvarig effekt. Siden det gjennomstrømmende vannet må passere mer fisk i en stor merd med en gitt fisketetthet enn i en liten merd med samme tetthet så må en særlig i store merder være oppmerksom at det kan være reduserte oksygenforhold i «bakdelen» av merden.





**Figur 3.4-1.** Ekkolodd viser den vertikale posisjonen av laks i en merd ved tre forskjellige tidspunkter [26]. De gule sirklene indikerer posisjonen av lys. I den første perioden er det foretrukne vannmiljøet i dypet, men før lysene blir slått på må laksen gå til overflaten i løpet av natten for å få nok lys til å opprettholde stimeatferden. I den andre perioden er det foretrukne vannmiljøet i nærheten av overflaten, men om natten går fisken ned til det kaldere vannet nedenfor der lyset er plassert. I den tredje perioden er den foretrukne vannkvaliteten i dypet, men laksen oppholder seg på grunnere nivå så lenge lysene er til stede. Når lysene blir fjernet, er temperaturen den viktigste miljødriveren og laksen svømmer dypere.

**Belysning:** Lysforhold i en merd varierer med dybde, tid på dagen, vær og årstid. Laks stimer typisk hurtig rundt og rundt om dagen [26]. I skumringen reduseres svømmehastigheten og stimen stiger mot overflaten som en respons på det avtagende naturlige lyset, før stimen tilslutt oppløser seg når lysnivået har falt til et minimum [26]. Laks har en tendens til å unngå sterkt overflatedagslys, men søker overflatelyst og undervannslamper om natten (fig. 3.4-1). Belysning i merdene om natten stimulerer laksen til å opprettholde dagtidssvømmehastighet og -stimatferd, men ved bruk av bare overflatelyst kan dette føre til at de samles med svært høye tettheter nær overflaten [100]. Ved bruk av undervannslust i dypet (for eksempel 15 m) så vil dette tillate laksen å spre seg både over og under lysene, og dermed bidra til å forbedre velferden i merdene [24]. Bruk av høyintensitets lys fra midtvinters og 4-6 måneder fremover i tid, kan redusere forekomsten av kjønnsmodning. Mens bruk av lys med høy intensitet i løpet av høsten har en motsatt virkning og kan dermed indusere kjønnsmodning [101].

### Hvordan måle vannkvalitet i merder

- Hensikten med å måle vannkvalitet i merd er:
  - Få vite hvilken vannkvalitet fisken faktisk opplever
  - Få en helhetlig beskrivelse av vannmiljøetDet er derfor viktig å måle i det dypet der fisken står, og måle fra topp til bunn i merden. Det siste er avgjørende for å kunne gi en korrekt tolkning av fiskens vertikale vandring i merden.
- Temperatur og saltholdighet påvirkes ikke av fisken inne i merden, og kan derfor bli målt på utsiden av anlegget. Dette kan enten gjøres ved hjelp av en CTD som profilerer hele dybdespekteret av merden, eller via flere sensorer på ulike dyp.
- Oksygen og turbiditet kan variere betydelig innenfor og utenfor en merd. Disse parameterne må derfor måles inne i merden, og hvis ikke dette er mulig, må oksygen måles umiddelbart nedstrøms fra merden. Siden retningen på strømmen ofte svinger, krever dette enten at man beveger følerne rundt eller ved å ha følere på flere horisontale posisjoner. En fornuftig «god nok» løsning kan være å måle i sentrum av merden, og for den aktuelle dybdeprofilen i merden. Så vidt en har fått rede på, finnes det ingen anbefalinger om hvordan best mulig måle vannkvaliteten i eksisterende og nye storskala produksjonssystemer.
- En manuell måling av turbiditeten kan gjøres ved hjelp av en Secchi-skive. Det er en vanlig hvit, rund skive 30 cm (12 tommer), som er montert på en stang eller tråd og som deretter senkes langsomt ned i vannet. Den dybden hvor skiven ikke lenger er synlig kan brukes som et mål på gjennomsiktigheten av vannet.

## 3.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

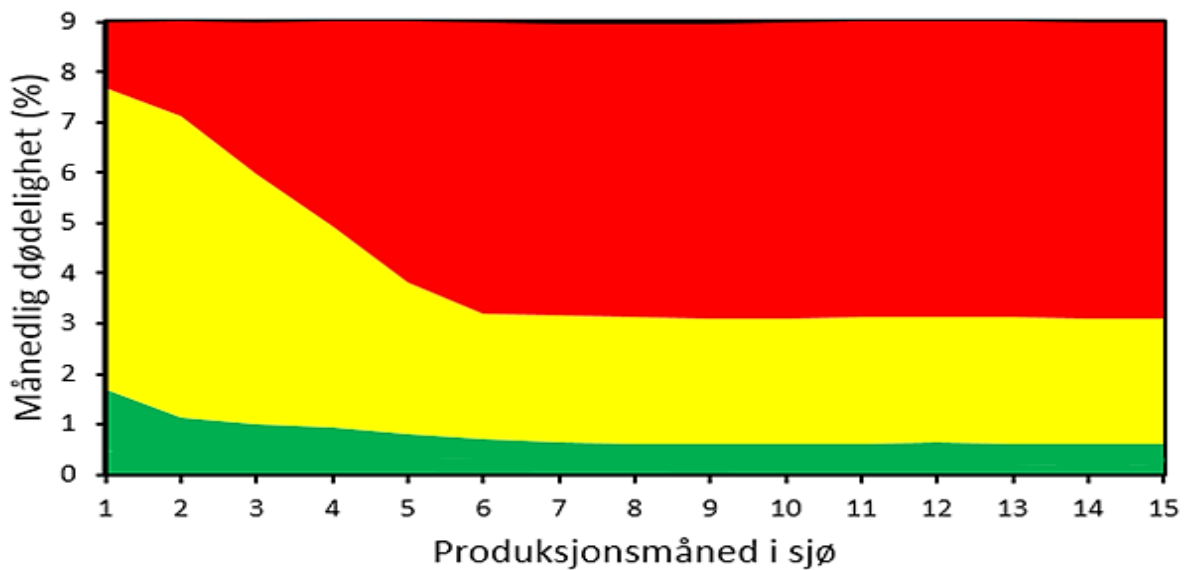
**Dødelighet** er den mest brukte gruppebaserte velferdsindikatoren for fiskevelferd i oppdrettsmerder. Alle oppdrettere er pålagt å samle inn død fisk fra merdene daglig og rapportere antall døde fisk en gang pr. måned til Fiskeridirektoratet sin database. Dødelighetstallene kan brukes til å fortløpende sammenligne dødeligheten i egen merd mot hva som er «normalt», og for å identifisere problemer og velferdstrusler som har oppstått [79,102,103]. Basert på dødelighetstall rapportert til Fiskeridirektoratet har man utviklet dødelighetskurver, (figur 3.5-1). Median dødelighet etter 15 måneder for industrien er 9%, og viser at de fleste produksjoner hovedsakelig ligger i det grønne området gjennom hele produksjonen. Når dødeligheten er høyere enn forventet (gul- eller rød sone), spesielt for lengre perioder, tyder dette på at noe er galt med produksjonen og oppdretteren bør undersøke mulige årsaker til dette.

### Atferd hos laks i merd.

- Nylig overført laksesmolt viser en tydelig preferanse rundt området for lagdeling mellom brakkvann og normalt sjøvann (haloklinen), uavhengig av temperatur, i de første 2 måneder i sjøen [26].
- Etter de første 2-3 måneder, begynner det å fremtre en døgnrytme i svømmedybden som styres av naturlige endringer i lysintensitet; fisken svømmer relativt dypt i løpet av dagen, og nær overflaten om natten.
- Nedsenkede lys i merdene kan forstyrre denne migrasjonen, og tillater laksen å stime nede i dypet gjennom natten.
- Betydningen og effekten av suboptimal oksygenmetning på atferden til atlantisk laks i merder er i stor grad ukjent.
- På lokaliteter med stratifisert vannmiljø, hvor temperaturen og andre miljømessige variabler viser høy romlig og tidsmessig variasjon, er temperatur den dominerende miljøfaktoren for fisketetthet og svømmedybde.
- Under kommersielle forhold er det kumulative interaksjoner mellom alle individene som føre til den karakteristiske sirkulære stiming til laksen [26]. Denne stiming bryter opp under fôring når fisken svømmer mot maten (fôrpellet) som normalt blir fordelt i et sentralisert foringsområde. Deretter beveger fisken seg tilbake mot periferien etter hvert som sulten avtar [104]. Selve fôringsatferden er svært avhengig av fôrregime. Studier [105,106] har vist at fôrrespons, svømmehastighet og svingradius for å fange en pellet, blir påvirket når postsmolt ble appetittfôret eller gitt en fast rasjon (og underfôrt som en konsekvens av fast rasjon). Svømmehastighet og snuvinkel var høyere under fast rasjon ved fôring; mens ingen forskjeller i svømmehastighet eller snuvinkel ble observert før, under eller etter appetittfôring. Dette er noe som betyr at svømmehastighet er en mulig OVI for å måle økt konkurranse i forhold til en matressurs.
- Hvis fisken stiger til overflaten i timen før start av fôring, kan dette tolkes som en forutseende appetitt atferd i forbindelse med foringstid [107]. Forutseende fôringsatferd kan læres og utløses via utilsiktede signaler som bråk forårsaket av fôringsystemet eller personalet.

**Avmagrede fisk nær overflaten** isolerer seg selv fra stimen og befinner seg ofte i den perifere delen av merden. Slik fisk assosieres ofte med sykdom og er vanligvis døende. Disse fiskene kan oppleve lav velferd i lang tid før de dør, og de kan også være en vektor for overføring av sykdommer til resten av bestanden i merden [24]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig. Forekomsten av døende eller avmagrede fisk bør overvåkes [24], og enhver forandring i frekvensen av avmagrede fisk bør reageres på så tidlig mulig. Dette kan benyttes som en tidlig OVI som varsling om redusert velferd.

### Velferdsindikator: Dødelighet



**Figur 3.5-1.** Standard dødelighetskurve for de første 15 måneder etter sjø utsett [78], er basert på data som rapporteres av den norske lakseindustrien fra 2009 til 2015 til Fiskeridirektoratet (på månedlig basis). 75% av alle observasjonene er i det grønne området og kan kategoriseres som "normale", mens 5% av observasjonene er i det røde området og er kategorisert som «unormale», dvs. med økt dødelighet.

**Avvikende atferd** Avvik fra forventet atferd er et etablert tegn på sykdom og dårlig velferd hos dyr. Utmagrede fisk på overflaten er et eksempel på dette, men endringene i adferd kan også være mer subtile og involvere hele populasjonen. Det er derfor viktig for oppdrettere å overvåke atferd og bli kjent med hva som er normal atferd for sine populasjoner i forhold til størrelse, miljøforhold og årstid.

**Appetitt** eller en fisk sin tilbøyelighet eller vilje til å spise [24,108], er en robust, passiv OVI for merder. Dette kan være et tidlig varsel-signal på potensielle problemer for velferden [75]. Blant en rekke faktorer, kan appetitt undertrykkes ved i) overføring til sjøvann [109,110], ii) dårlig vannkvalitet og miljøbetingelser [111], iii) oppdrettsrutiner [112] og iv) etter utbrudd av en infeksjon eller sykdom [113]. Det er velkjent at appetitten hos laks i merder kan variere mye innenfor og mellom dager. Denne variasjonen, i tillegg til det store antall faktorer som kan påvirke appetitt og spisemønster, kan gjøre det vanskelig (og uønsket) å anbefale spesifikke daglige fôringsmengder. Mange oppdrettere overvåker appetitten og fôringsadferden ved bruk av mobile undervannskameraer (ved hjelp av kombinerte indikatorer for fiskens atferd og tilstedeværelse av ufordøyde pellets), som indikatorer på appetitt og metthetsgrad. Dette suppleres også med kjennskap til fôringsdata fra foregående dag (er), og på grunnlag av data om vannmiljøet (oksygen, temperatur m.m.) og vanntilstand (strømhastighet - om dette er tilgjengelig).

**Vekst** kan være dårlig eller varierende, men selv om man i korte perioder kan hå dårlig vekst under «normalt», så vil dette variere fra lokalitet til lokalitet og brukes som en OVI [75]. Kvaliteten på vekst som OVI, er imidlertid avhengig av robuste og jevnlig veinging eller biomasse anslag.

#### Hvordan måle laks sin atferd i merdene:

- Det er mulig å få en god oversikt over fisken sin atferd ved hjelp av mobile undervannskameraer. Det er en rekke undersøkelser som knytter for eksempel svømmehastighet og endringer i svømmehastigheten til vertikal temperatur fordeling eller forskjeller i føringregime hos postsmolt i merdanlegg [26,105,106]. Svømmehastighet kan også endres i løpet av et måltid i forhold til appetitt og metthetsgrad. Videre kan brå endringer i svømmehastigheten være en respons på rovdyr rundt anlegget eller indikasjon på ugunstige vannforhold [114]. Derfor, selv om kvalitative endringer i fiskens atferd kan være en god OVI, trengs det ytterligere «detektivarbeid» for å stadfeste årsaken til denne endringen.
- Manuell kvantifisering av endringer i fisken sin atferd i merd er arbeidskrevende, og man bør dra nytte av den teknologiske utviklingen for å fremskynde denne prosessen og gjøre dataene lettere og raskere tilgjengelig for oppdretteren. Pinkiewicz et al., [115] har utviklet et system for kvantifisering av svømmehastighet av postsmolt i merdene, men dette systemet er ikke lett tilgjengelig. Andre teknologiske utviklinger i framtiden kan gjøre kvantifisert atferdsanalyse til en robust OVI for oppdretteren.
- Ekkoloddsystemer, som gir oppdretter et overblikk over den vertikale fordelingen av fisk i en merd, kan gi noen fordeler til oppdretter ved å generere langtidsdata på vertikal fiskefordeling og avvik fra forventet atferd som en OVI. Imidlertid er det å generere kvantitative data fra disse systemer på en brukervennlig måte arbeidskrevende. De gir i tillegg en forholdsvis begrenset oversikt over atferden og kan dermed være av en begrenset verdi i store produksjonssystemer

### 3.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

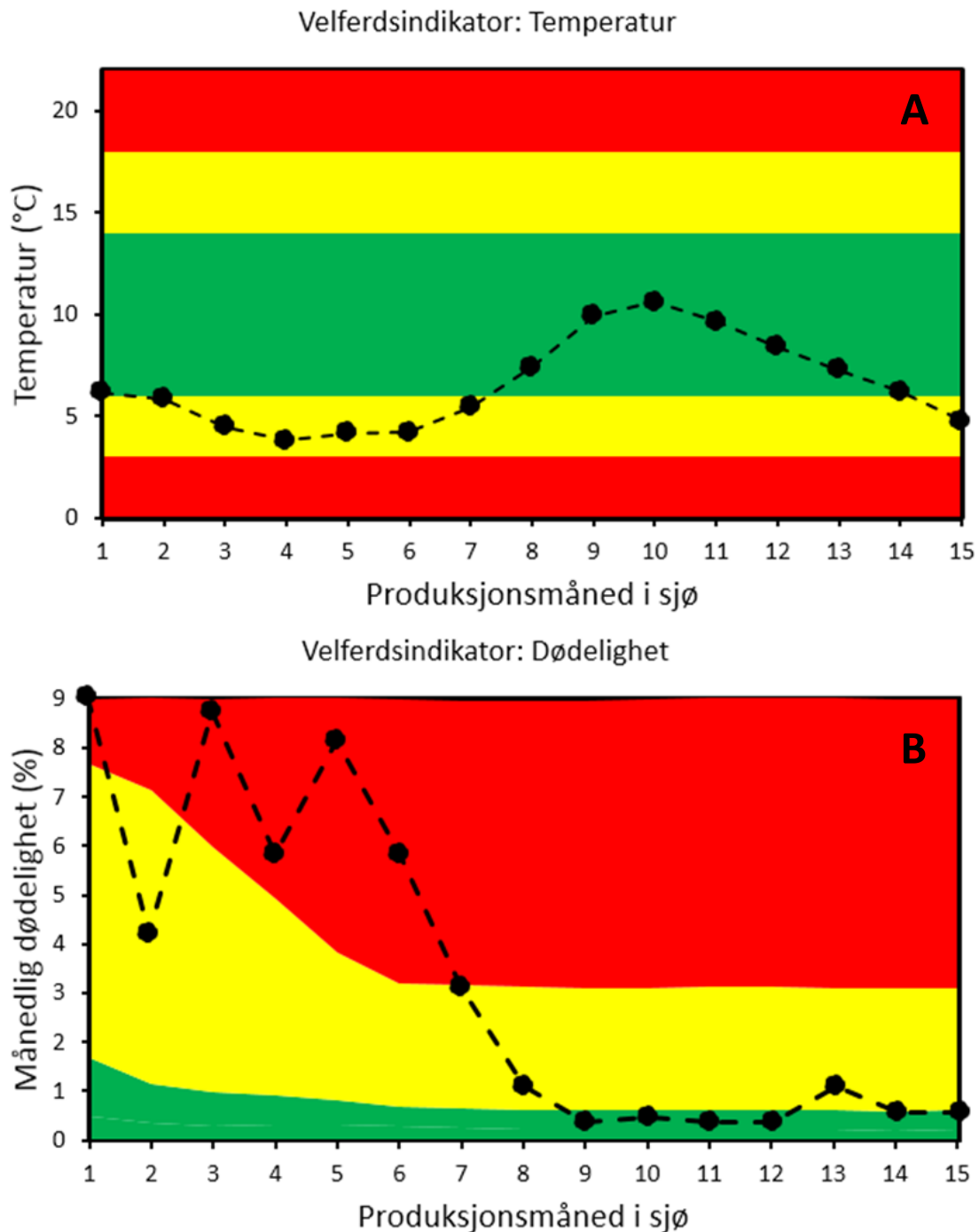
**Morfologiske OVI-er** beskriver velferden til enkeltstående fisk. Oppdrettere må telle lus i sine merder minst hver 7. dag når temperaturen er lik eller større enn 4°C, eller i det minste hver 14. dag ved temperaturer under 4°C [116; (NB: Oppdatert versjon av forskriften forventes i løpet av 2017)]. Lusetelling innebærer prøvetak av 10 fisk pr. merd i løpet av vinteren og våren (1. juni - 31. januar) eller 20 fisk i løpet av sommeren og høsten (1. februar - 31. mai). Hver fisk må sederes før fisken nøye telles for lus og klassifiseres i ulike livsstadier. Dersom anlegget har 3 eller færre merder, må alle merdene telles, og ved flere merder enn 3 må halvparten av merdene undersøkes hver gang, og på en slik måte at alle merdene telles etter 2 undersøkelsesperioder. Forskriftene krever også at fisken skal bli fanget opp av ei fiskenot eller liknede aller ved andre metoder som medfører et så representativt prøvetak av populasjonen som mulig. Lusetelling åpner derved muligheten for ikke bare å telle lus, men for å også registrere OVI'er basert på utseendet til fisken som undersøkes for lus.

**Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyebledninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggraddeformiteter, ix) overkjevne misdannelser, x) nedrekjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og helbredete finneskader, xiii) katarakter og xiv) Speilberg skår for indre sammenvoksinger etter vaksinerings av atlantisk laks, er vedlagt i slutten av dette dokumentet.**



### 3.7 Vurdering av velferd. Scenario: Periode med høy dødelighet og sår

I dette eksempelet startet fisken med en 6-måneders periode med svært høy dødelighet, etterfulgt av god velferdsperiode før slakt. Fisken hadde en gjennomsnittlig vekt på 100 g idet de ble overført til sjøen i november. Den forhøyede dødeligheten den første måneden etter utsett ble forklart med dårlig smoltifisering og dødeligheten sank betraktelig måneden etter, men var fortsatt langt oppe i gul sone (figur 3.7-1). Dette viste at det fortsatt var behov for ekstra årvåkenhet. I januar (den tredje måneden)



**Figur 3.7-1.** Temperatur- (A) og dødelighetsutvikling (B) fra 1. måned i sjø til måned 15 av produksjonen. Produksjonsmåned 1 er november, produksjonsmåned 2 desember samme år osv. Fargekodingen indikerer status for de respektive velferdsindikatorene.

viste deler av populasjonen tegn til utvikling av vintersår og tenacibaculosis, og dødeligheten økte igjen inn i rød sone. Denne situasjonen varte i fire måneder inntil i mai (produksjonsmåned 7) da dødeligheten var tilbake i gul sone. Fra juni var dødeligheten ned mot eller i grønn sone og fisken hadde ingen ytre tegn på redusert velferd bortsett fra noe finneslitasje. I sin andre vinter ble fisken derfor vurdert til å ha god velferd og den utviklet ikke vintersår. Akkumulert dødelighet etter 15 måneder i dette scenarioet, var 40%, langt over det som er vanlig i norsk havbruk.

Scenarioet viser et typisk fiskevelferdsdilemma: I den tredje måneden hadde oppdretteren klare indikasjoner på et økende velferdsproblem, og visste at lav vanntemperatur sannsynligvis ville redusere sårheling i månedene fremover. Oppdretteren gjorde sitt beste for å få fisken til å overleve, og tilstanden bedret seg etter hvert med økende vanntemperaturer i løpet av våren. Fisken presterte godt de siste 12 månedene til de ble slaktet etter 20 måneder av produksjonen. Basert på høy akkumulert dødelighet ble det vurdert å stanse produksjonen i produksjonsmåned 7. Men dette ville medført slakting av fisk i en periode hvor velferdssituasjonen var under sterk bedring og det ble besluttet å fortsette. Men mange vil hevde at denne fisken burde ha blitt avlivet i måned 3, for å unngå unødvendige lidelser hos fisken.

## 4 Nedsenkede sjømerder



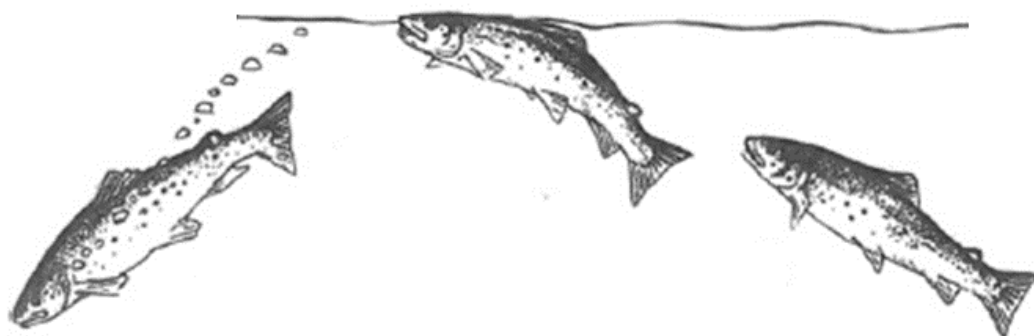
*Foto: Frode Oppedal*

## 4.1 Produksjon av laks i nedsenkede merder

Oppdrett av laksefisk i nedsenkede merder kan være en måte for næringen å unngå problemer relaterte til overflaten som lakselus, og å få nye lokaliteter tilgjengelig der vær og vind til nå har hatt for stor påvirkning på både fisk og drift av anleggene. En nedsenket merd er i sin enkleste form en standard merd med et tak sydd inn i nettet for å holde laksen under en gitt dybde. De fleste utfordringer og OVI'er for sjømerder som er beskrevet i kapittel 3, omfatter derfor også nedsenkbare merder.

## 4.2 Velferdsutfordringer

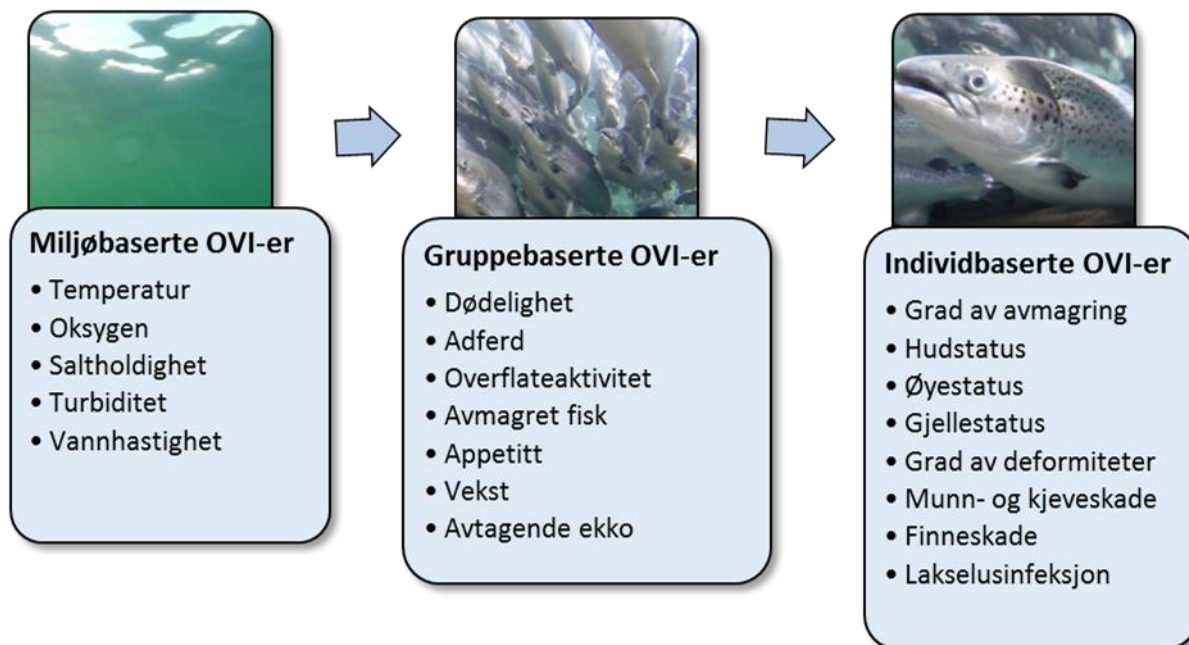
Oppdrett i nedsenkede merder bidrar til ytterligere velferdsutfordringer i forhold til standard merder, særlig for laksefisker som har en fysostom svømmeblære og må gå til overflaten for å svelge luft for å fylle svømmeblæren og opprettholde oppdrift i dypet [117] (figur 4.2- 1). Typiske tegn på tom svømmeblære hos neddykket laks omfatter skråstilt posisjon med «hale ned og hode opp»-svømming, utmattede fisk og nedsatt appetitt [118,119,120]. Produsenter av nedsenkede merder for laksefisk prøver å løse dette ved å tilby noe form for luftlomme i den nedsenkende merden som laksen kan få tilgang til. Et annet alternativ er å løfte merdene til overflaten med jevne mellomrom for å la laksen fylle svømmeblæren en kort periode før neste neddykking.



**Figur 4.2-1.** Fylling av svømmeblæren hos laksefisk. Fisken svømmer til overflaten og svelger luft som fyller svømmeblæren. Illustrasjon av Stein Mortensen (HI).

## 4.3 Operative velferdsindikatorer

OVI'er for nedsenkbare merder er tilsvarende som for vanlige overflatemerder, men på grunn av at laksen er begrenset til å være dypet, vil indikatorer som tomme svømmeblærer, redusert ekkostyrke, økt svømmehastighet, skråstilt posisjon og overflate aktivitet etter løfting mot overflaten, være ekstra gruppertbaserte OVI'er som må følges nøye (figur 4.3-1). Ettersom laks i nedsenkede merder har begrenset med mulighet til å optimalisere sin svømmedybde i henhold til vannmiljøet og lysforhold, kan man risikere at noen av signalene for avvikende atferd forsvinner. Dermed vil miljøbasert OVI'er bli enda viktigere. Langvarig nattsenkning kan ha skadelige effekter på laks som tap av appetitt, redusert vekst, økt grad av ryggdeformiteter og finneslitasje [121].



Figur 4.3-1. Oversikt over OVI'er som er egnet for nedsenkede sjømerder. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet. Gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner. Mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. Bilder og illustrasjon Lars H. Stien.

#### 4.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

De samme miljøbaserte OVI'er som benyttes for overflate merder kan også benyttes på nedsenkede merder.

#### 4.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

De gruppebaserte OVI'ene for overflatemerder kan også anvendes for nedsenkbare merder, men med mindre vekt på unormal atferd og mer oppmerksomhet mot tap av appetitt, redusert veksthastighet og med spesiell oppmerksomhet i forhold til unormal skråstilt svømmeposisjon, redusert ekkostyrke, overflateaktivitet ved heving og økt svømmehastighet.

**Skråstilt posisjon** i løpet av natten når fisken roer seg ned i mørket, er et typisk tegn på tom svømmeblære. «Hale ned og hode opp»-svømming belaster musklene i hale området til en slik grad at ryggvirvlene over tid blir komprimert, og kan i det lange løp forårsake deformiteter [121].

**Redusert ekkostyrke** betyr at det er mindre ekko som reflekteres fra laks. Dette kan enten være på grunn av mindre fisk som svømmer på innsiden av ekkostrålen, fisk som svømmer lengre fra svingeren, fisk som svømmer på skrå eller at laksen har mindre luft i svømmeblærene. Laks med tom svømmeblære gir nesten ikke utslag på ekko i forhold til fisk med fylt blære [121].

**Overflateaktiviteten** er vanligvis meget høy hos laks etter å ha blitt holdt i nedsenkede merder uten at de har vært i stand til å fylle svømmeblæren ordentlig [122].

**Økt svømmehastighet** er en vanlig reaksjon for å kompensere for tap av oppdrift på grunn av manglende luft i svømmeblæren [121].



## 4.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

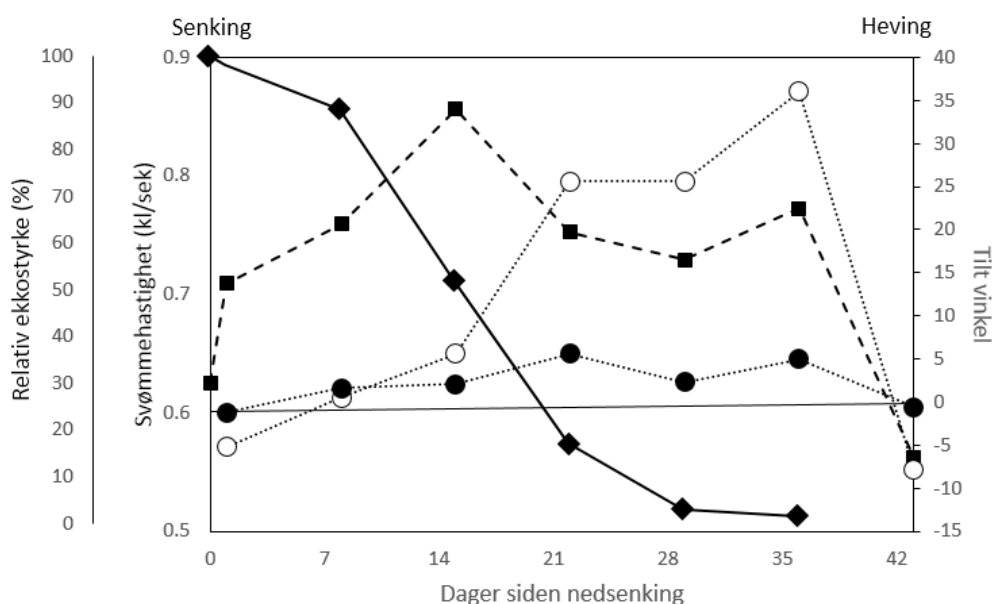
De individbaserte OVI'er for overflatemerder kan også anvendes for nedsenkbare merder, med spesiell oppmerksomhet på ryggdeformitet, snutesår og finneslitasje

Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggraddeformiteter, ix) overkjeve misdannelser, x) nedre kjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og helbredete finneskader, xiii) katarakter og xiv) Speilberg skår for indre sammenvoksinger etter vaksinerings av atlantisk laks, er vedlagt i slutten av dette dokumentet.

## 4.7 Vurdering av velferd. Scenario: Langvarig nedsenkning uten tilgang til luft

### Scenario nr. 1: Nedsenket merd uten tilgang til luft

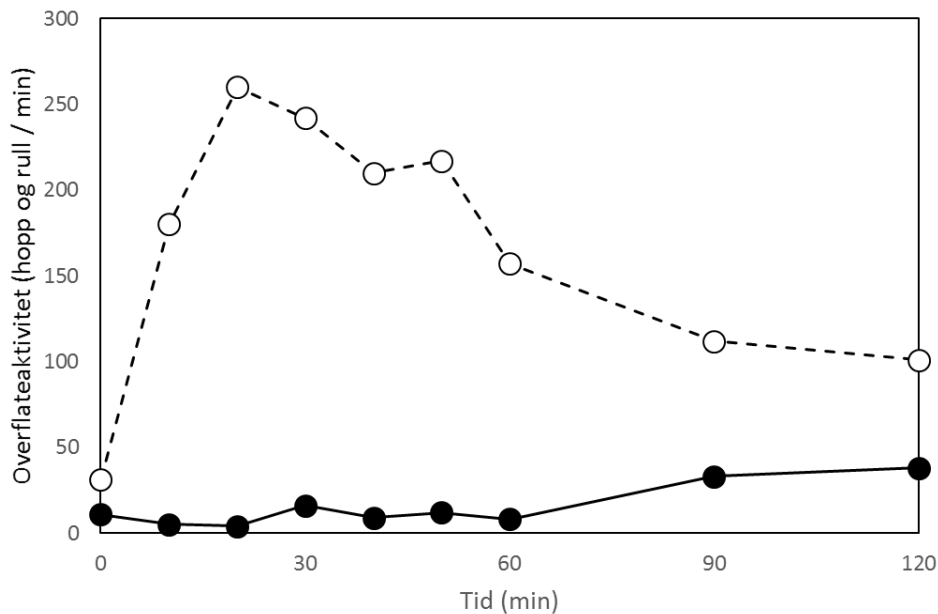
I dette forsøket ble fisken senket i seks uker før buret ble løftet opp og laksen igjen fikk adgang til overflaten [121]. Den første umiddelbare reaksjon etter nedsenkning var at fisken begynte å svømme raskere (figur 4.7-1). Dette kan antagelig forklares med at fisken måtte opprettholde oppdrift ved en dypere dybde enn svømmeblæren var fylt for. Etter en uke viste fisken også klare tegn på skråstilt svømming (figur 4.7-1) og etter tre uker ble den skråstilte posisjonen svært tydelig om natten (mer enn 15° skråstiltvinkel) og lett å få øye på ved hjelp av IR-kameraene. Samtidig avtok styrken av ekkosignalet med mer enn 80% i forhold til oppstart av forsøket (figur 4.7-1). Etter heving av merden ble fisken samlet og målinger viste redusert vekst, økt grad av finneslitasje og mer snuteskade i forhold til fisk samlet fra standard merder brukt som kontroll. Alt i alt viste de OVI'ene som ble brukt i dette forsøket at fisken hadde tom svømmeblære fra uke 3 og etterfølgende redusert velferd.



**Figur 4.7-1.** Utvikling av tre viktige operative OVI'er etter neddykking uten adgang til luft, og for deretter å løftes opp igjen til overflaten etter seks uker (dag 42), tilpasset fra [121]. Relativ ekkostyrke (%) sammenlignet med før neddykkingen (heltrukket linje med fylte diamantsymbol), svømmehastighet (BL/s) i løpet av dagen (stiplet linje med fylte kvadratsymboler) og skråstilt posisjon i løpet av dagen (punkt linje med fylt punktsymboler) og natt (punkt linje med åpne punktsymboler).

### Scenario nr. 2: Nedsenkning med tilgang til luft.

Dette scenariet (upubliserte data) viser overflateaktivitet (antall rull og hopp) de første to timene etter løfting av to nedsenkede merder med luftlommer. I den første merden hadde fisken brukt luftlommen til å fylle svømmeblæren og opprettholdt styrken på ekkosignalet gjennom hele forsøket. I den andre merden var ekkosignalet blitt redusert med 40%, noe som indikerte at fisken i denne gruppen ikke hadde benyttet seg tilstrekkelig av luftlommen i sin merd. Ved å sammenligne overflateaktiviteten til de to merdene etter heving (Figur 4.7-2), er det klart at overflateaktivitet fungerer som en god OVI for hvor godt fisken har vært i stand til å opprettholde svømmeblærefyllingen sin.



**Figur 4.7-2.** Overflateaktivitet ved retur til overflaten etter tre ukers neddykking. I det første tilfellet (fylte sirkler med heltrukket linje) har laksen benyttet luftlommen til å fylle svømmeblæren, mens i den andre merden har dette bare vært delvis vellykket og laksen har en sterk trang til å fylle svømmeblæren etter heving (åpne sirkler med stiplet linje).

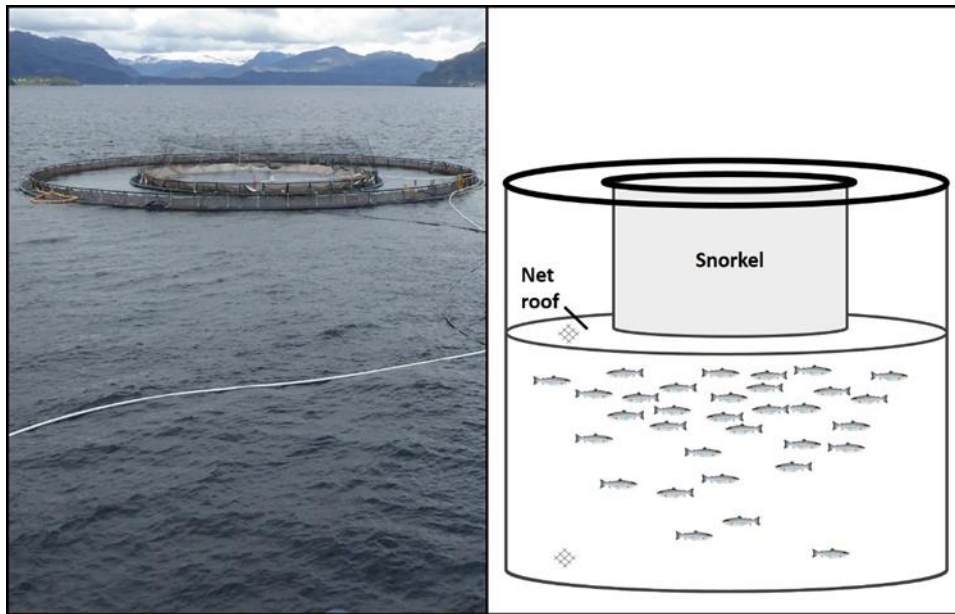
## 5 Snorkelmerd



*Foto: Jan Erik Fosseidengen*

## 5.1 Oppdrett av fisk i snorkelmerder

Snorkelmerd, eller Tubenot™, er en standard merd med et nett-tak som holder laksen dypt i vannsøylen, samtidig som de har tilgang til overflaten via et lukket luse-tett presenningsrør (snorkel) (figur 5.1-1). En snorkelmerd er i prinsippet en nedsenket merd, men hvor luftlommen er erstattet med et presenningsrør som fisken kan svømme opp for å svelge luft inn i svømmeblæren og dermed opprettholde likevekt i dypet. Alle velferdsindikatorerne som omtales for neddykkede sjømerder beskrevet i kapittel 4 er derfor også relevante for snorkelmerder.

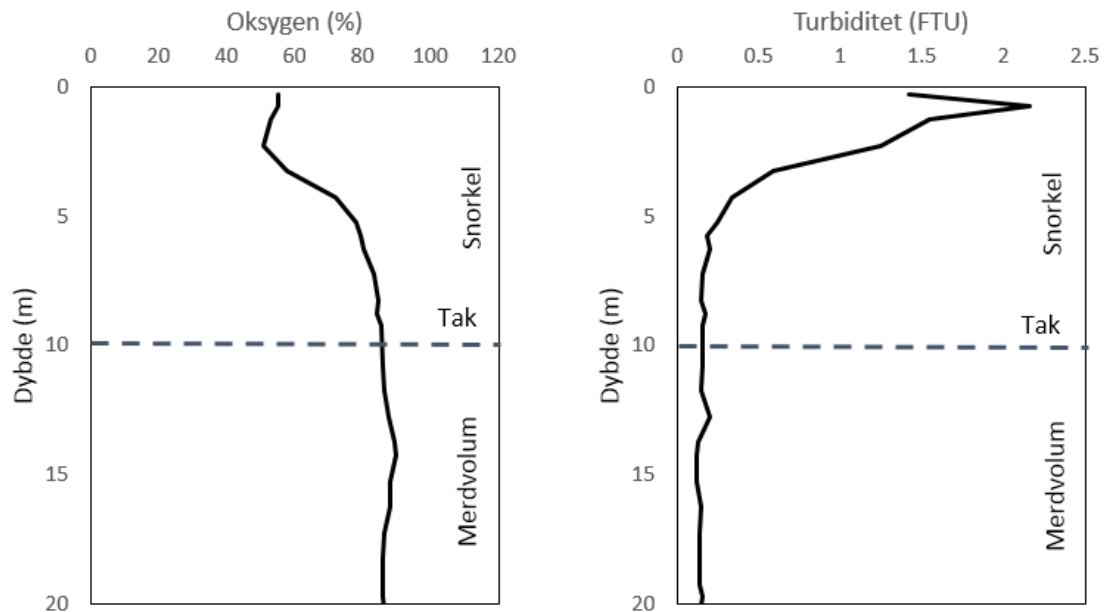


**Figur 5.1-1.** Bilde (venstre) og tegning (til høyre) viser snorkelmerd i kommersiell skala. Hensikten med snorkelmerder er å hindre laks i komme i kontakt med overflatevann, men fortsatt gi dem overflateadgang via «snorkelen» slik at de kan fylle svømmeblæren og regulere oppdriften sin i dypet [123]. De kommersielle snorkelmerkene som har vært uttestet så langt har vært 160 m i omkrets og hatt 10 m dype snorkler med omkrets på enten 60 eller 90 m.

## 5.2 Velferdsutfordringer

Sammenlignet med nedsenkede merder, har snorkelmerder den fordel at de ligner på vanlige merder. Oppdretterne har dermed tilgang til fisken fra overflaten og kan bruke samme fôringsutstyr, kamerautstyr etc. som for standard merder. Selv om snorkelteknologien ikke har vist negative effekter på fiskevelferd i småskala studier [124], kan utfordringer oppstå under kommersielle forhold. Vannkvaliteten i snorkelens innelukkede vannvolum kan bli svekket med redusert oksygenmetning, og økt turbiditet (Figur 5.2-1). Spesielt gjelder dette i større snorklene hvor store mengder fisk kan samle seg i snorkelen. I tilfeller hvor det til tross for snorkelen blir for mye lus, vil avlusingsoperasjonen være mer kompliserte og mer arbeidskrevende enn i en standard merd. Snorkelen må gjerne tas opp av vannet og noten dras opp slik at nottaket kommer over vann. Den relativt sakte utvekslingen av vann inne i en snorkel kan føre til opphopning av partikler og patogener som kan skade fisken. For å øke vannutvekslingen pumpes det derfor typisk vann fra dypet inn i snorkelen for dermed å øke vannbevegelsen og tilføre nytt oksygen [92]. Ved utbrudd av AGD (*Neoparamoeba perurans*) kan det være nødvendig å fjerne snorkelstrukturen for å utføre ferskvanns- eller hydrogenperoksidbadebehandling [125,126,127,128]. Dette gjør det upraktisk å bruke snorkelmerder på lokaliteter der det er nødvendig med hyppig badebehandling mot AGD. En mulig løsning er å tilføre

ferskvann direkte til snorkelen slik at det etableres et brakkvannslag som dreper eller løsner AGD amøben når laksen svømmer gjennom for å gulpe luft i overflaten [123].



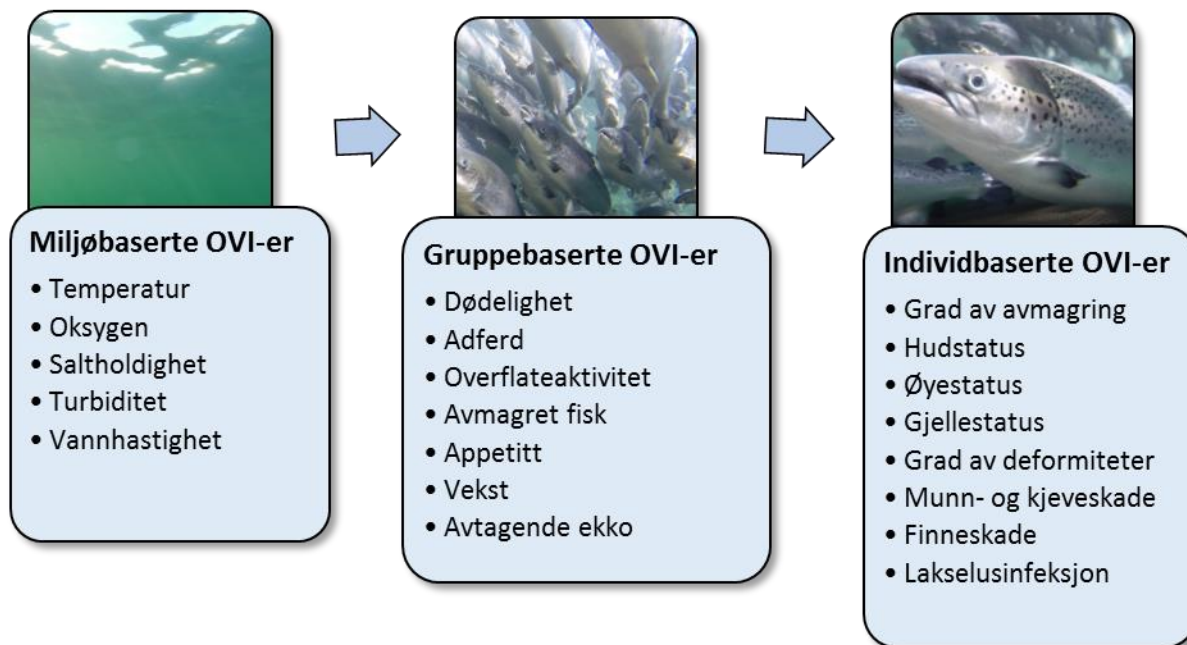
**Figur 5.2-1.** Oksygen og turbiditet målt i en kommersiell 10 m dyp snorkel, og i merden under. Legg merke til nedgangen i oksygen i toppen av snorkelen og økningen i turbiditet.

I en vår-sommerstudie reduserte snorkelmerder antallet nye lakselusinfeksjoner med 84% [92]. Under den videre oppfølgingen i høst-vinterperioden var det nødvendig med færre kjemiske behandlinger og de totale lusekontrollkostnadene var redusert med 29% sammenlignet med standard merder. Imidlertid var den kjemiske lusebehandlingen mer arbeidsintensiv ettersom det var nødvendig å fjerne snorkelen. Det ble observert høyere AGD-relaterte gjelle-skår på fisk i snorkelmerdene, men disse skårene falt raskt når ferskvann ble pumpet inn i snorklene, noe som skapte et lavt saltholdig overflatelag slik at laksen kunne bruke dette til selvbehandling. Introduksjon av snorkel endret ikke parameterne for fiskevelferd til tross for periodiske oksygendropp. Samlet sett viste resultatene at snorkelteknologi kan være en del av «verktøysettet» til kommersielle lakseprodusenter som ønsker å behandle sammenfallende utbrudd av lakselus og amøbisk gjellesykdom. Men ved bruk av snorkelmerder følger det operative utfordringer som det må tas hensyn til, og som bør utbedres i forbindelse i videre utvikling av teknologien.

### 5.3 Operative velferdsindikatorer

OVI'er for snorkelmerder er likt som for nedsenkede merder og vanlige sjømerder (Figur 5.3-1). I tillegg har studier på kommersielle snorkelmerder vist at oksygen og turbiditet er miljøbaserte OVI'er som er spesielt viktige å overvåke i snorkelmerder [92].





**Figur 5.3-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for snorkelmerder. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner, mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. (Bilder og illustrasjon Lars H. Stien).

## 5.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen og turbiditet.** De samme miljøbaserte OVI'ene som gjelder for nedsenkede merder, kan også brukes på snorkelmerder, men da med særlig vekt på turbiditet og oksygenforhold inne i selve snorkelen.

## 5.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

De samme gruppebaserte OVI'ene som gjelder for nedsenkede merder, kan brukes til snorkelmerder. Merk at en da har ekstra fokus på hvor mye fisk som oppholder seg i nærheten av overflaten av snorkelen.

**Fisk som oppholder seg i nærheten av overflaten** er en viktig indikator for mulig redusert velferd i snorkelmerder. Ideelt sett bør fisken ikke samles ved overflaten, eller tilbringe tid i snorkelen.

## 5.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

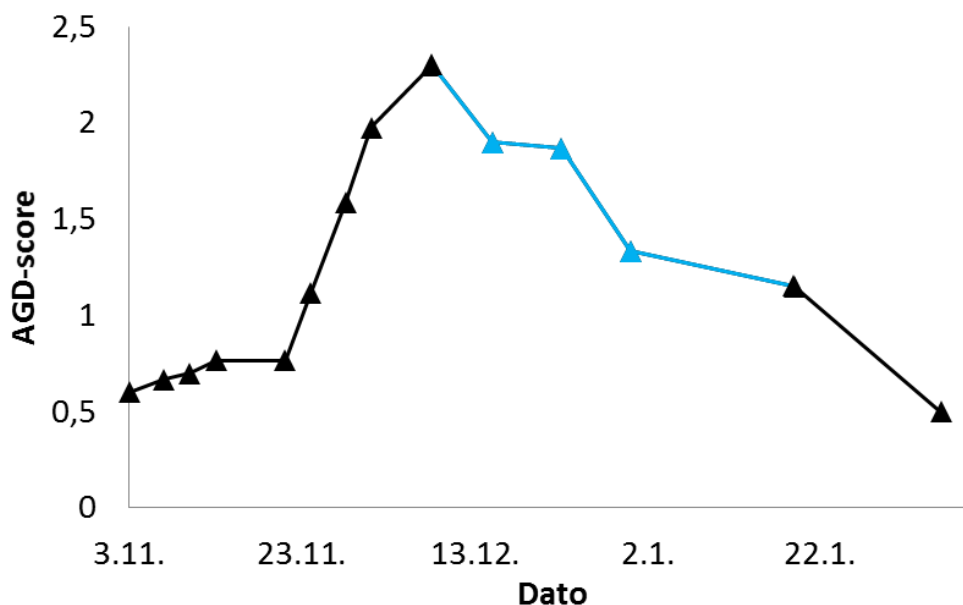
**Gjellebleking og -status.** Fisk i snorkelmerder synes å ha større risiko for AGD enn fisk i standard merder på samme lokalitet [92]. Hvordan snorkelmerder påvirker nivåene av AGD i oppdrettspopulasjoner er imidlertid ukjent.

**Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyblødninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggraddeformiteter, ix) overkjeve misdannelser, x) nedre kjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og helbredete finneskader, xiii) katarakter og xiv) Speilberg skår for indre sammenvoksinger etter vaksinerings av atlantisk laks, er vedlagt i slutten av dette dokumentet.**

## 5.7 Vurdering av velferd scenario

### Scenario 1: Økt AGD- og gjelleskår

I dette scenariet beskrevet i Wright et al. [92] ble en kommersiell snorkelmerd (160 m i omkrets med en 25 m dyp not og en 10 m dyp snorkel med en omkrets på 90 m) satt ut i midten av august med ca. 100 000 fisk (ca 55-84 g). Rensefisk ble også satt ut i snorkelmerden, med et omtrentlig innslag i forhold til laksepopulasjonen på 2,5%. For å opprettholde oksygenivået og dypvannsforholdene i snorkelen, ble en kontinuerlig vannstrøm fra under snorkelkanten (10-12 m dybde) fordelt på snorkeloverflaten ved hjelp av en "luftpumpe" (LiftUp, ca. 4300 m<sup>3</sup>/dag, 3000 L/min). AGD-gjelleskår ble ukentlig registrert på en 5-punkts skala [129] av oppdretter (figur 5.7-1). Når AGD-skårene økte i desember, ble ferskvann fra en nærliggende elv tilført snorkelen med konstant hastighet på 6-700 m<sup>3</sup>/dag; 450 L/min. Dette resulterte i en rask nedgang i AGD (Figur 5.7-1) og tilførselen av ferskvann ble avsluttet i slutten av januar.



**Figur 5.7. -1.** Gjennomsnittlig AGD gjelleskår registrert med ukentlig basis hos oppdrettere basert på en 5-punkts AGD-skala. Blå symbol og linje indikerer perioden hvor ferskvann ble tilført snorkelen.

## 6 Semilukkede anlegg (SLA)



*Foto: Jelena Kolarevic, Nofima*

## 6.1 Oppdrett av fisk i semilukkede anlegg.

Semilukkede anlegg (SLA) i sjøen er produksjonssystemer som gir en tett eller relativt tett fysisk barriere mellom vannmiljøet der fisken oppholder seg og omgivelsene [130]. Bruk av SLA kan være en løsning på en rekke utfordringer som laksindustrien står overfor i dag [131]. I SLA pumpes vann fra dypet for å unngå lakselusinfeksjon, og det organiske avfallet kan samles inn og fjernes fra systemet. I tillegg reduserer den fysiske barrieren risikoen for rømming, og gir mer stabile temperaturforhold i den tidlige vekstfasen etter utsett til sjø [132]. Nilsen et al. [133] dokumenterte at oppdrett av laks i SLA gir en effektiv beskyttelse mot lus infeksjon, og at denne produksjonen var mulig uten uønsket effekt på vekst og overlevelse. Ingen lus ble funnet under produksjon av post-smolt i forskjellige typer SLA [131,132].

For tiden er det kun tillatt å produsere postsmolt opptil 1 kg, men potensialet for bruk av SLA for full produksjonssyklus (smolt til slakt) i sjøen vurderes av industrien. En rekke forskjellige SLA prototyper blir for tiden testet i Norge (figur 6.1-1), men det er fortsatt lite offentlig tilgjengelig informasjon om ytelse og velferd for atlantisk laks post-smolt, under kommersielle produksjonsforhold i SLA.

## 6.2 Velferdsutfordringer

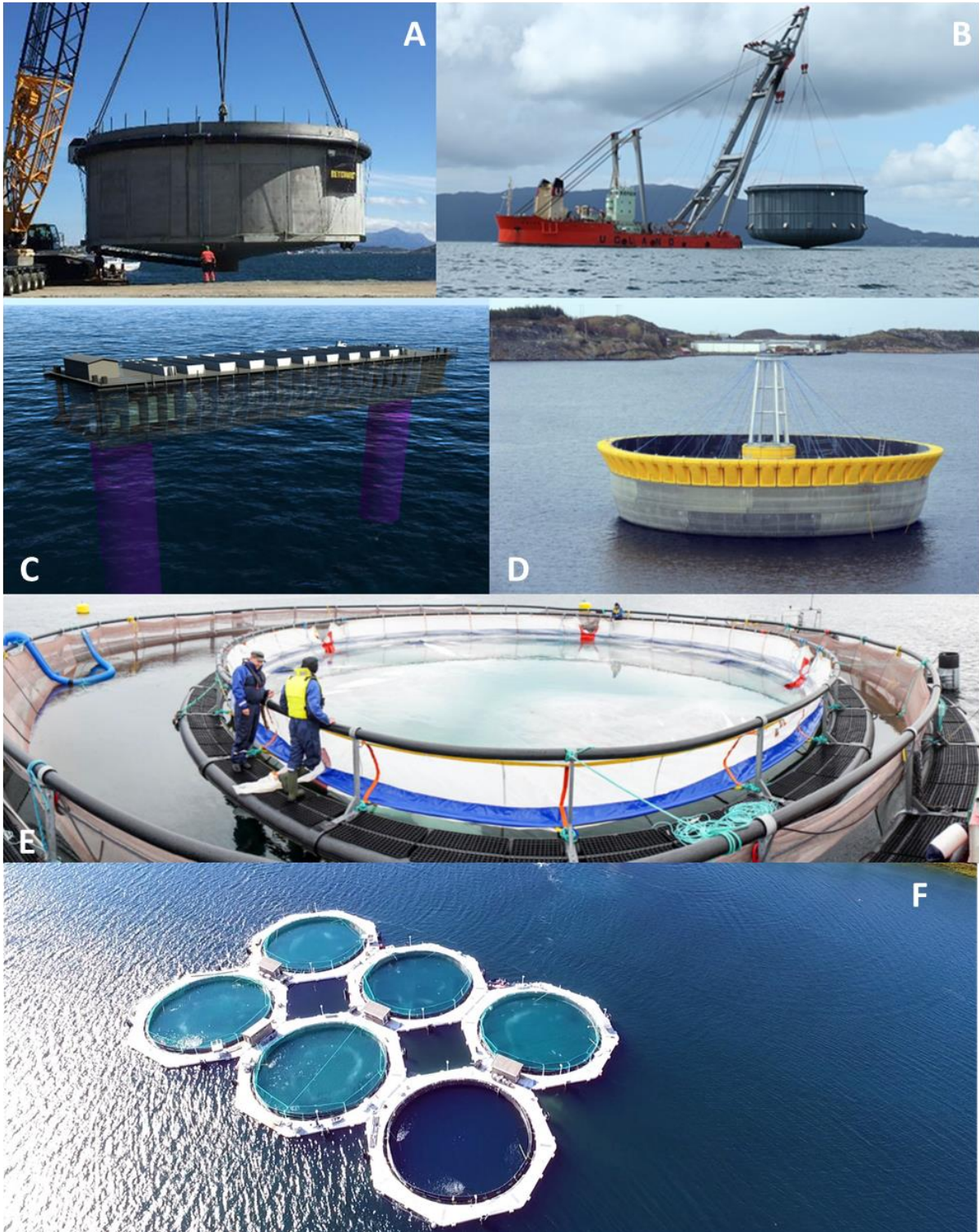
### Miljø:

- Overføring til sjøvann fra klekkerier kan være utfordrende spesielt når smoltkvaliteten er dårlig og de første par ukene ofte blir preget av dårlig appetitt og dødelighet.
- Tilstedeværelse av predatorer i det omgivende miljøet kan ha en negativ effekt på velferden som i andre sjøbaserte systemer.
- En stor forekomst av maneter kan forstyrre driften av systemet og forårsake dårlig velferd og dødelighet (se pkt. 6.7).

### Patogener:

- Inntaksvann i eksisterende SLA behandles foreløpig ikke før inntak til systemet, noe som gjør at patogener kommer i kontakt med fisk.
- Pumping av store volumer vann kan føre til opphopning av sedimenter fra havbunnen inn i systemet. Dette kan introdusere patogener arter fra marine sedimenter, som eksempelvis *Vibrio* sp. og *Moritella viscosa* til systemet [134].
- På grunn av den høye omsetningshastigheten til vannet og sesongmessige endringer vil det mikrobielle samfunnet i SLA bli utsatt for nye miljøforhold over tid, for eksempel endringer i temperatur, lys, ustabil organisk belastning og næringsprofil [134].
- Periodisk forekomst av patogener i sjøen på grunn av eksempelvis bakteriell- eller algeoppblomstring, kan også påvirke helse og velferd på post-smolt i SLA.

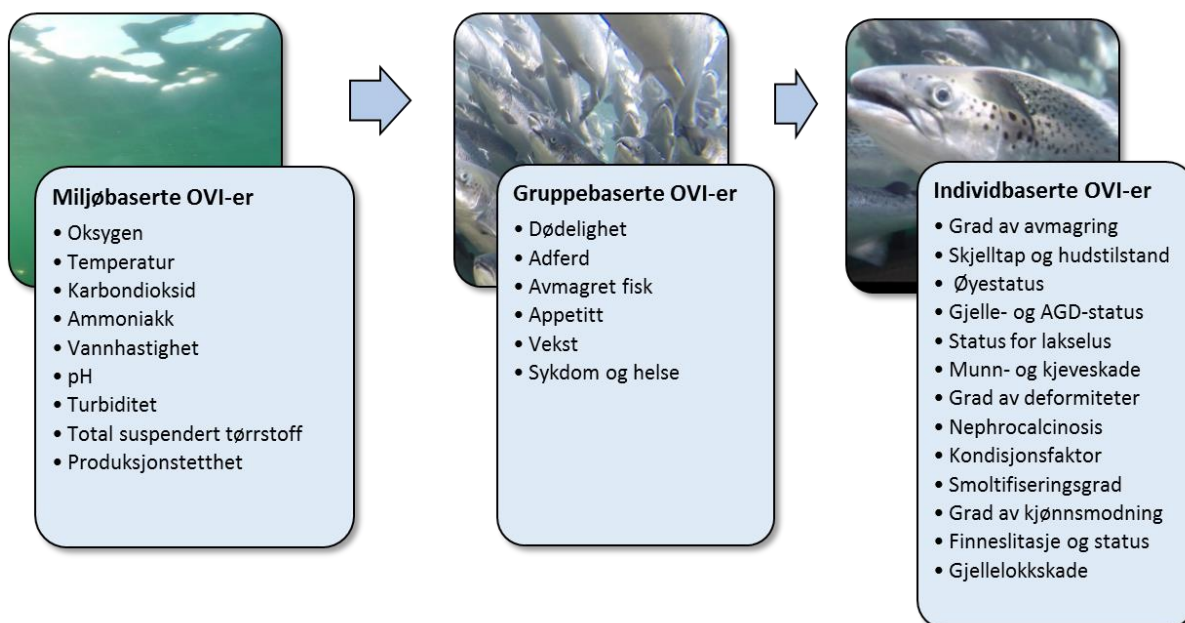




**Figur 6.1-1.** Ulike typer delvis lukkede anlegg: A) «Salmon Home #1» betongmerd (foto: Jelena Kolarevic, Nofima); B) Neptun (foto: Aquafarm Equipment); C) Preline (foto: Lerøy); D) AgriMarine (foto: Per Gunnar Kvenset); E) FlexiBag (foto: Nekton havbruk AS); F) AquaDesign (foto: AquaDesign AS).

### 6.3 Operative velferdsindikatorer

Kunnskap om egnede OVI'er i SLA er svært begrenset. Akvakulturindustrien tester fortsatt forskjellige prototyper av SLA med ulike konstruksjoner, størrelser og tekniske spesifikasjoner som kan være viktige for valg av de mest egnede OVI'ene. For tiden er det individbaserte OVI'er som benyttes for sjømerder, disse er også brukt til velferdsovervåking i SLA (Figur 6.3-1). Mens mer omfattende miljøovervåking er nødvendig for SLA sammenlignet med regulær produksjon i sjømerder.



**Figur 6.3-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for semilukkede oppdrettssystemer. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner, mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. Bilder og illustrasjon Lars H. Stien.

### 6.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Vannkvaliteten i SLA vil være avhengig av vannkvaliteten til inntaksvannet, vannutvekslingshastigheten, systemhydraulikk, biomasse og vannhastighet i systemet.

**Temperatur** i SLA er avhengig av dybden fra inntaksvannet og kan gi potensielt høyere vinter og lavere sommertemperaturer, i forhold til det omkringliggende sjøvannet. Kunnskap om sesongmessige endringer i vanntemperatur i inntaksvannet kan være verdifull for å forutsi vekst og biomassebelastning til systemet. Dette ville gi informasjon om mulige perioder med økt risiko for patogeninfeksjon.

**Oksygen** blir tilsatt SLA for å opprettholde konstant og optimal oksygenmetning i systemet, men kortvarig variasjoner i oksygenmetningen er mulig og kan påvirke fiskevelferden [135].

**Karbondioksid** kan akkumuleres i SLA hvis vannstrømningshastigheten i systemet er utilstrekkelig eller hvis biologisk belastning til systemet ikke støttes av systemdesign og dimensjonering [135]; CO<sub>2</sub> konsentrasjoner over 15 mg / L kan forårsake nefrokalsinose [135]; (Fig.6.4-1). Foreslått CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er <8-10 mg/L [135].



Reduserte pH følger økning i CO<sub>2</sub> og forårsaker umiddelbare endringer i atferd og appetitt, selv når verdiene av pH og CO<sub>2</sub> var innenfor akseptabelt område [135]; Foreslått pH er > 7,2-7,4 [135].



*Figur 6.4-1 Nefrokalsinose (foto: Veterinær Instituttet).*

**Total ammonium nitrogen (TAN)** kan akkumuleres i SLA over tid som et resultat av fisken sin metabolisme [2] og bør overvåkes jevnlig; Foreslått TAN-konsentrasjon i SLA bør være under 1-2 mg/L eller under 5-10 µg/L NH<sub>3</sub>-N [135].

**Saltholdigheten** i SCC-S vil være avhengig av inntaksvannet og dybden som vannet hentes fra.

**Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS)** kan være høyere i SLA sammenlignet med det omkringliggende sjøvannet [136], videre kan TSS akkumuleres i systemet dersom vannutvekslingen ikke er tilstrekkelig.

**Vannhastighet** er viktig for trening av post-smolt, noe som kan fremme høyere muskelvekst [137], forbedre hjertehelsen og immunresponsen [138,139]. Spesifikk vannstrømningshastighet (L min/kg) i gjennomstrømnings SLA hvor oksygen må tilsettes, må være høyere enn 0,2-0,3 L min/kg for å hindre opphopning av CO<sub>2</sub> [19]; Tilstrekkelig vannhastighet er også viktig for fjerning av metabolitter og partikler.

**Biomassetettheten** i SLA må være større enn 25 kg/m<sup>3</sup> for å gjøre denne teknologien kostnadseffektiv [140]. Nylige resultater viser at det er mulig å oppdrette post-smolt i tettheter på opptil 75 kg/m<sup>3</sup> uten å hemme ytelse og velferd [30]. Norsk lovgivning har nylig gitt tillatelse til produksjon av post-smolt i SLA opptil 75 kg/m<sup>3</sup>, dette gjelder for enkelte tilfeller knyttet til FoU-aktiviteter.

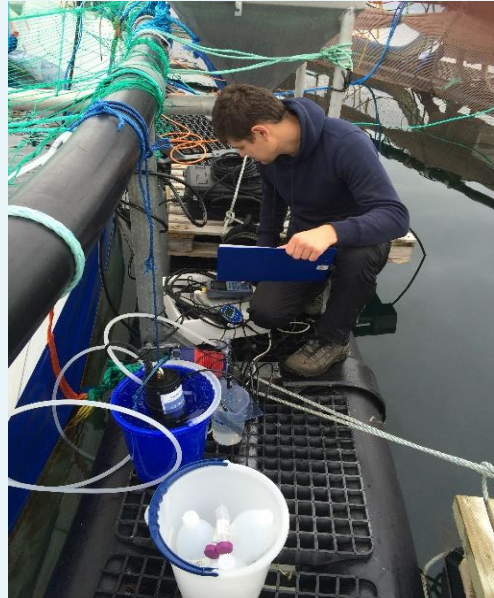
**Belysning** for optimal vekst av SLA er ukjent.

**Daglig fôrbelastning** og vannkvalitet er tett korrelert. Utformingen av SLA må ta hensyn til maksimal fôrbelastning og maksimal biomasse som systemet kan opprettholde, samtidig som vannkvaliteten

holdes på optimalt nivå. Derfor bør førbelastningen overvåkes, da den kan påvirke produksjonen av metabolitter og dermed vannkvalitet, og slik sett påvirke fiskevelferd.

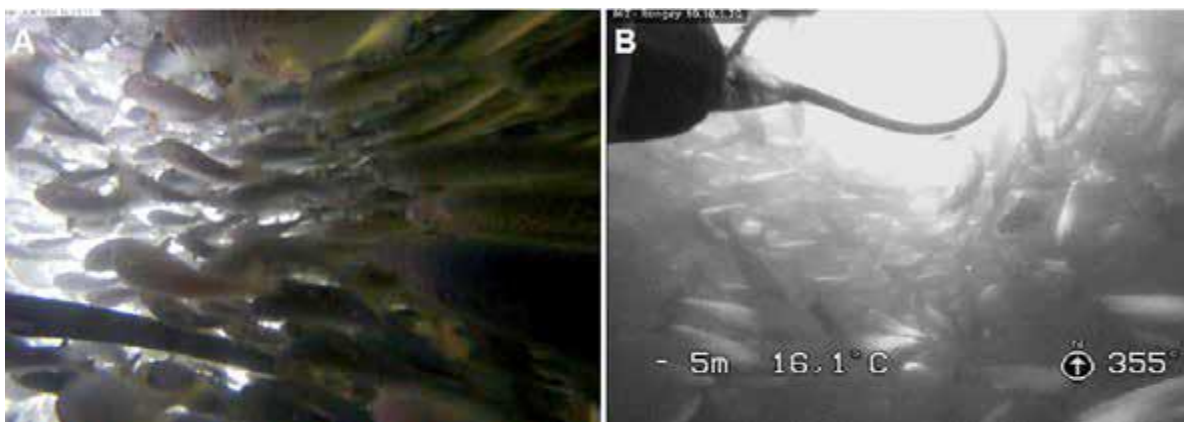
#### Hvordan måle vannkvaliteten (VK) i SLA:

- Vannkvaliteten i SLA må måles regelmessig og på samme sted for å sikre systematisk datainnsamling.
- Temperatur, oksygen, pH og CO<sub>2</sub>, må måles daglig og på flere steder for å dekke dybden, bredden og lengden på systemet.
- TAN, TSS og turbiditet skal måles minst en gang i uka, og når noen endringer i fôringsregimet eller fôrinntaket er planlagt eller utført.
- Vannhastigheten må måles og justeres om mulig for å tilpasse veksten til post-smolt, og i tilfelle at vannutvekslingsraten endres.
- Riktig vedlikehold av utstyr, særlig av påstedet-prober som er utsatt for biologisk forurensning, er veldig viktig!



## 6.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Adferd kan være spesifikk for ulike typer SLA som vist i Figur.6.5-1. I «Preline» SLA (Figur 6.5-1) svømte fisk mot strømmen uten å endre posisjonen i systemet. Dette var i motsetning til post-smolt i de regulære åpne sjømerdene [137]. Man bør merke seg at atferden i sirkulære SLA kan være forskjellig fra Preline.



**Figur 6.5-1** Fra [137]: Undervannsfoto fra videoopptak som viser generelt svømmemønster i semilukkede anlegg«Preline» (A) og regulære åpne sjømerder (B).

## 6.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

Vurdering av individbaserte OVI'er kan gjøres samtidig med obligatorisk lakselustellinger.

Morfologiske OVI'er som brukes til atlantisk post-smolt, kan brukes til overvåking av velferd i SLA.

**Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggraddeformiteter, ix) overkjeve misdannelser, x) nedrekjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og helbredete finneskader, xiii) katarakter og xiv) Speilberg skår for indre sammenvoksinger etter vaksinerings av atlantisk laks, er vedlagt i slutten av dette dokumentet.**

På grunn av potensiell opphopning av CO<sub>2</sub> i SLA, er en vurdering av nefrokalsinose i nyrene nødvendig. Et operativt skårssystem for morfologisk bestemmelse av nekrokalsinose er under utvikling.

## 6.7 Vurdering av velferd. Scenario: Massiv forekomst av maneter

I dette scenariet ble laksesmolt overført til et SLA i slutten av mai. Under den første uken i SLA hadde fisken dårlig appetitt og et visst antall fisk hadde sår i utvikling. Oppdretteren identifiserte dårlig smoltkvalitet som en av årsakene til den observerte svekkede velferdssituasjonen. På slutten av juni ble appetitten forbedret, og fisk med sår ble ikke lenger observert.

I det fiskevelferden var på bedringens vei ble det observert et nytt dropp i appetitten (Dag 1). Dette



**Figur 6.7-1.** Massiv forekomst av maneter i et semilukket anlegg og i det omgivende vannet.

ble etterfulgt av en økning i antall avmagrede fisk og økt dødelighet (300 døde fisk, dag 3). Oppdretteren antok at årsaken til denne situasjonen var den samme som ved første tilfelle, men de registrerte ikke fisk med sår. Dag 4 ble situasjonen dramatisk forverret. Fisk svømte ved vannoverflaten, de virket apatiske og et økt antall avmagrede fisk ble observert. På dette tidspunktet var det mulig å observere et stort antall små maneter i systemet, samt endel større maneter. Totalt døde 660 fisk. Om natten og neste morgen døde ytterligere 15 000 fisk (Dag 5). Fiskehelsepersonell

ble informert. I mellomtiden ble det lagt merke til at selv om pumpene gikk, var vannstrømmen og vannhastigheten i systemet svært lav, noe som tyder på at inntaket kan ha vært tilstoppet. Oksygenivået var normalt da oksygen ble tilført systemet og var ikke avhengig av vannstrømmen i systemet. Ved inspeksjon av pumpens inntaksfilter ble det påvist at de var helt tilstoppet av maneter, og vann ble derfor ikke pumpet inn i systemet. Etter at filterne ble vasket, forbedret vannkvaliteten seg raskt. Oksygenmetning økte fra 80-85% (settpunkt) til 100%.

Ytterligere justeringer i systemet ble laget for å øke vannhastigheten og vannstrømmen i SLA systemet. Alle tiltakene førte til en bedre situasjon i systemet dagen etter. Dødeligheten avtok; fisk begynte å spise igjen og færre avmagrede fisk ble observert. Fiskene var mer aktive og oppførte seg normalt (Dag 6). Dødeligheten fortsatte å avta og inspeksjon av pumpeinntaksfilterne ble gjort med jevne mellomrom, så lenge det var maneter tilstede i sjøvannet rundt SLA og i selve systemet (Figur 6.7-1).



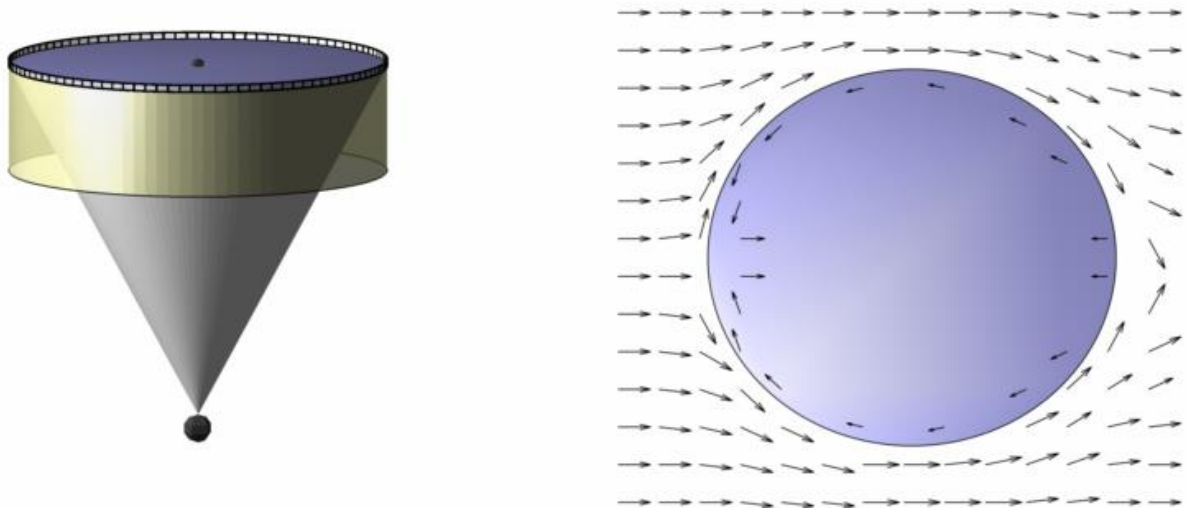
## 7 Luseskjørt



*Foto: Lars H. Stien*

## 7.1 Oppdrett av fisk i merder med luseskjørt

Lakselus har gjennom evolusjonen utviklet seg til å posisjonere seg i den øvre delen av vannsøylen for å øke sannsynligheten for møter med potensielle verter [141,142]. Basert på dette har man forsøkt å plassere presenningskjørt eller planktondukskjørt rundt de øvre 5-10 meterne av standard merder, med det formål å hindre lakselusen tilgang til merdene (figur 7.1-1). Effekten av disse lusebarrierene er imidlertid avhengig av miljøforholdene på det aktuelle stedet [143] og dybden til lusebarrieren [144]. Lakselus tolererer ikke lave saltholdigheter, og i fjordsystemer med brakkvann i overflaten vil dette tvinge luselarven ned, og den vil da infisere fisken i merden hvis skjørtet er for grunt (for eksempel bare 5 m dypt). På enkelte steder kan turbulens regelmessig flytte lusa ned til 20-30 m [145], og sterke strømmer kan tvinge skjørtene oppover og redusere effektiviteten [146].



**Figur 7.1-1.** Venstre: Prinsippet bak presenningskjørt eller planktondukskjørt rundt de øvre metrene av en merd. Høyre: Figur av målt vannstrøm i og rundt en standard merd med et 5 m dypt tilpasset presenningskjørt [147]. (Illustrasjoner: Lars H. Stien.)

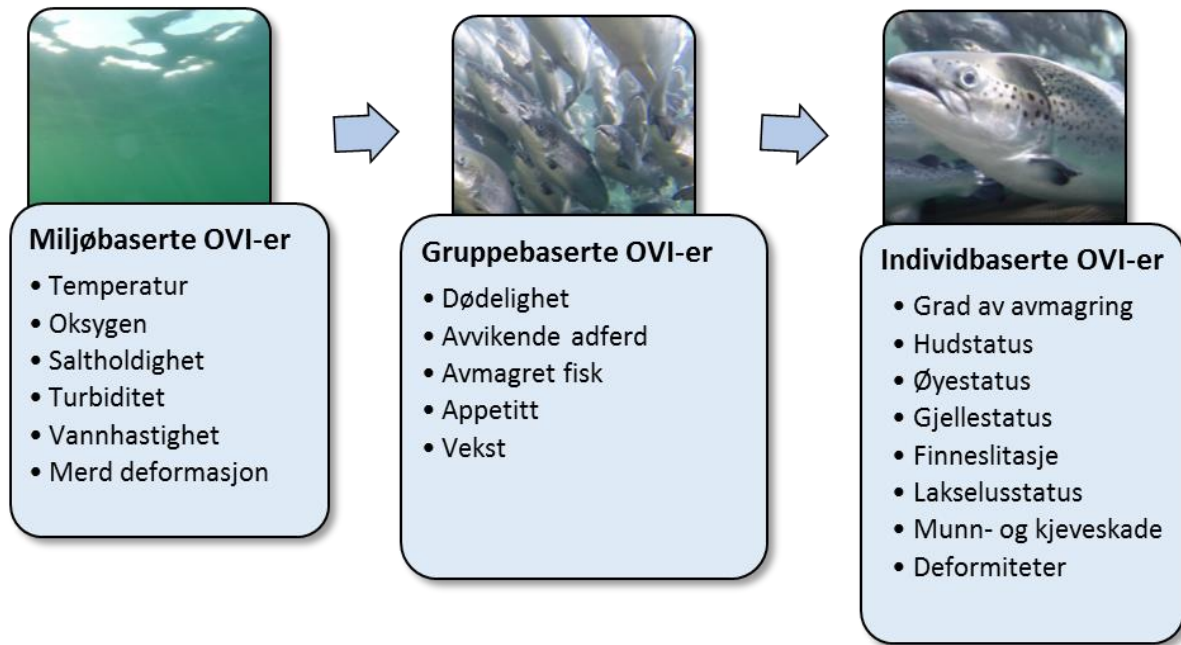
## 7.2 Velferdsutfordringer

Både presenningskjørt og planktonnett plassert rundt en merd reduserer vannstrømmen og vannutvekslingen betraktelig [148,149]. Dermed øker risikoen for dårlig vannkvalitet og opphoping av partikler og patogener [150]. Studier som inkluderer både 10 m dypt planktonnett [149,151] og 3 og 5 m dype presenningskjørt [148,152] viser perioder med markert reduksjon i oksygenivåene innenfor skjørtet. Laks svømmer ofte under skjørtet hvis de har nok plass [147], men dette er ikke alltid tilfelle [152]. Økt turbiditet øker faren for gjelleskader og muligens AGD [150]. En annen fare er at i perioder med sterke strømmer kan det bli ekstra press på skjørtene som fører til betydelig deformasjon av notvolumet [148]. Slik kan fiskene blir fanget og potensielt skadet.

## 7.3 Operative velferdsindikatorer

OVI'er for presenningskjørt og planktonnett er de samme som for regulære sjømerder, men man bør ha ekstra fokus på vannkvaliteten inne i skjørtet, og være oppmerksom på mulige nettdeformasjoner. For gruppebaserte OVI'er er det spesielt viktig å overvåke posisjonen til fisken i forhold til overflaten, og om de unngår skjørtvolumet. I tillegg må dødeligheten overvåkes. For de individbaserte OVI'er er avmagring, hud-, øyestatus, gjelleblekning og gjellestatus av spesiell betydning (Figur 7.3-1).





**Figur 7.3-1.** Oversikt over OVI'er som er egnede for merder med luseskjørt. Miljøbaserte OVI'er omhandler oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er omhandler oppdrettspopulasjoner, mens individbaserte OVI'er omhandler enkeltindividet. (Bilder og illustrasjon Lars H. Stien.)

## 7.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen og turbiditet.** De samme miljøbaserte OVI'ene som gjelder for regulære merder kan også brukes på merder med luseskjørt, men med særlig vekt på økt turbiditet og redusert oksygen inne i selve skjørtet og like under skjørtet.

## 7.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Store mengder fisk som samler seg i overflaten** er en tydelig indikator på redusert velferd [152]. Det kan også være selvforsterkende, fordi sammenstillingen av fisk nær overflaten inni et skjørt kan føre til ytterligere redusert oksygeninnvå, som igjen vil svekke fiskene ytterligere.

## 7.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Gjellebleking og -status.** Fisk i merder med skjørt kan ha større risiko for gjelleinfeksjoner [150]. Hvordan skjørtene påvirker nivået av gjelleinfeksjon i oppdrett er imidlertid fortsatt ukjent.

## 8 Morfologiske skårssystem for vurdering av fiskevelferd i ulike oppdrettssystemer










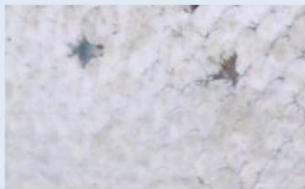








Kvantitative vurderinger av morfologiske OVI'er er mulig å gjennomføre relativt raskt ved merdkanten, men er avhengig av prøvetaking og manuell håndtering av fisken. Prøvetakingen må gjøres forsiktig for å ikke skade fisken, slik at den fangede fisken er representativ for populasjonen i merden eller karet. Dette er tidkrevende, arbeidskrevende og kan forstyrre både fisk og eksisterende røkteroppgaver som fôring. Mange ulike skårssystemer for kvantifisering av morfologiske OVI'er blir nå brukt både av næringen og forskere til revisjon og sammenligninger mellom ulike produksjonsanlegg. Studier kan derfor være problematiske. Denne håndboken vil foreslå et enhetlig skårssystem som kan brukes av oppdrettere, fiskehelsepersonell og forskere for å få sammenlignbare målinger.

En har brukt et 0-3 skårssystem for:

- i) avmagring, ii) hud blødninger, iii) lesjoner/sår, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggrad-deformiteter, ix) overkjevemisdannelser, x) underkjevemisdannelser, xi) lakselusinfeksjoner, xii) aktive og helbredede finneskader.



















Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av en eksisterende og mye brukt 0-4 skårordning [153].

**Tabell 8-1-del 1.** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. F. Turnbull, K. Gismervik, J. Nilsson. Foto: K. Gismervik, L. H. Stien, J. Nilsson, J. F. Turnbull, P. A. Sæther, I.K. Nerbøvik, I. Simeon, B. Tørud, B. Klakegg)






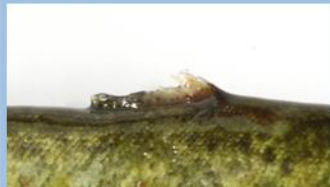
	1	2	3
Avmagring	 Litt mager	 Avmagret	 Tydelig avmagret
Hud-blødninger	 Mindre blødninger, "rødming" i bukområdet	 Større områder med blødninger, ofte også skjelltap	 Ferske blødninger, ofte med betydelig skjelltap, sår og ødemer i hud
Sår	 Et lite sår, ikke ned til muskel (intakt underhud)	 Flere små sår	 Store, betydelige ofte åpne sår
Skjelltap	 Tap av enkelte skjell	 Små områder med skjelltap	 Store områder med skjelltap
Øyeblikning, skade	 Mindre blødninger	 Større blødninger eller traumatisk skade	 Store blødninger/ traume. Kan ha «punktet» øye og avlives
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne



**Tabell 8-1-del 2.** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. F. Turnbull, K. Gismervik, J. Nilsson. Foto: K. Gismervik, L. H. Stien, J. Nilsson, J. F. Turnbull, P. A. Sæther, I.K. Nerbøvik, I. Simeon, B. Tørud, B. Klakegg)

	1	2	3
Gjellelokk-skade	 Gjellelokkene dekker bare delvis gjellene	 Gjellelokket på en side er fraværende (gjellene eksponert)	 Begge gjellelokkene er fraværende (gjellene eksponert)
Snuteskade	 Liten skade på snuten (over-/underkjeven)	 Skade og sår på snuten	 Store dype skader og sår, så alvorlige at fisken avlives. Kan omfatte hele hodet
Ryggrad-deformiteter	 Tegn til deformert ryggrad	 "Korthale"	 Ekstreme deformiteter
Lakselus infeksjon	 Lett infeksjon	 $\geq 0.05$ pre-adult eller voksen lus $\text{cm}^{-2}$ fisk	 $\geq 0.08$ pre-adult eller voksen lus $\text{cm}^{-2}$ fisk
Overkjeve deformiteter	 Mistenkt misdannelse	 Tydelig misdannelse	 Ekstremt forkortet panne- og overkjevebein, "mopsehode"
Nedre kjeve deformitet	 Mistenkt misdannelse	 Tydelig misdannelse	 Ekstrem misdannelse, kjeven peker bakover "hakaslepp"

**Tabell 8-1-del 3.** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. F. Turnbull, K. Gismervik, J. Nilsson. Foto: K. Gismervik, L. H. Stien, J. Nilsson, J. F. Turnbull, P. A. Sæther, I.K. Nerbøvik, I. Simeon, B. Tørud, B. Klakegg)

	1	2	3
Helbredet finneskader	 <p>Meste av finnen er inntakt</p>	 <p>Halve finnen er inntakt</p>	 <p>Lite av finnen er inntakt, huden er avhelet</p>
Aktiv finneskade*	 <p>Lett splitting og/eller blødende sår, splittingen er bare ytre deler av finnelengden</p>	 <p>Tydlig splitting og/eller blødende sår, splittingen er halvdelen av finnelengden</p>	 <p>Ekstrem splitting og/eller blødende sår, splittingen går ned til finnebasis. Deler kan være borte.</p>

\*Splitting og/eller blødende sår





- |                   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|
| 0. Ingen katarakt | 1. Katarakten dekker mindre enn 10% av linse-diameteren | 2. Katarakten dekker mellom 10 og 50% av linse-diameteren | 3. Katarakten dekker mellom 50 og 75% av linse-diameteren | 4. Katarakten dekker over 75% av linse-diameteren |
|-------------------|---|---|---|---|

**Figur 8-2.** Morfologiske skårssystem for diagnostikk og klassifisering av katarakt hos laks (etter Wall og Bjerkås [153]). (Figur: David Izquierdo-Gomez, Foto og tekst: T. Wall.)



1. Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig å bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting.



2. Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting.



3. Moderate sammenvoksninger inkludert fremre deler av bukhalen, som involverer sammenkobling av blindsekkene, leveren eller magesekk til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting.



4. Store sammenvoksninger med granulomer, omfattende sammenvokste indre organer, som fremstår som en enhet. Sannsynlighet for å bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting.



5. Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhalen. I store områder er bukhalinnen tykkere og ugjennomsiktig, og fileten kan ha knuter, fremtredende og/ eller pigmenterte lesjoner eller granulomer.



6. Enda mer alvorlig enn 5 ofte med betydelige mengder melanin. Innvollene kan ikke fjernes uten skader på fileten.

**Figur 8-3.** Spielbergsskala for innvollskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. (Foto og tekst: Lars Spielberg.)



## 9 Sammendrag som viser hvor operative velferdsindikatorer og laboratorium baserte velferdsindikatorer er egnet for ulike oppdrettssystemer.

**Tabell 9-1.** Anbefalte velferdsindikatorer for bruk i ulike produksjonssystemer som er omtalt i del B i håndboken.

	Type system	Produksjonssystem						
		GS-system	RAS	Sjømerder	Sjømerder med skjørt	Nedsenkede merder	Snorkelmerder	SLA
	<b>OVI</b>							
Miljøbaserte OVI'er	Temperatur	x	x	x	x	x	x	x
	Saltholdighet	x	x	x	x	x	x	x
	Oksygen	x	x	x	x	x	x	x
	• Total gass trykk		x					
	CO <sub>2</sub>	x	x					x
	pH og alkalinitet	x	x					x
	Total ammonium nitrogen (TAN)		x					x
	Nitritt og Nitrat		x				x	
	Turbiditet og suspendert tørrstoff (TSS)	x	x	x	x	x		x
	Vannhastighet	x	x	x	x	x	x	x
	Lys	x	x	x	x	x	x	x
Biomasse, tetthet	x	x	x	x	x	x	x	
Gruppebaserte OVI'er	Dødelighet	x	x	x	x	x	x	x
	Atferd	x	x	x	x	x	x	x
	• Avtagende ekko					x	x	
	Reflekser, øyerulling etc.							
	Appetitt	x	x	x	x	x	x	x
	• Vekst	x	x	x	x	x	x	x
	• Fôr i tarm							
Sykdom og helse	x	x	x	x	x	x	x	
• Avmagret fisk	x	x	x	x	x	x	x	
Overflate aktivitet					x	x		
Individbaserte OVI'er	Gjellelokk forkortelse	x	x					
	Lakselus			x	x	x	x	x
	Gjellebleking og -status			x	x	x	x	x
	Kondisjonsmål							
	• Kondisjonsfaktor	x	x	x	x	x	x	x
	• HSI	x	x	x	x	x	x	x
	• CSI	x	x	x	x	x	x	x
	Grad av avmagring	x	x	x	x	x	x	x
	Grad av kjønnsmodning	x	x	x	x	x	x	x
	Smoltfiseringsgrad	x	x	x	x	x	x	x
	Ryggraddeformiteter	x	x	x	x	x	x	x
	Finneskade og -status	x	x	x	x	x	x	x
	Skjelltap og hudstatus	x	x	x	x	x	x	x
	Munn- og kjeveskader	x	x	x	x	x	x	x
Øyblødninger og -status		x	x	x	x	x	x	
Gjellelokk deformiteter		x	x	x	x	x	x	

## 10 Referanser

- [1] FEAP webside: <http://www.feap.info/Default.asp?CAT2=0&CAT1=0&CAT0=0&SHORTCUT=590>
- [2] Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B.O., Braathen, B. (2004) Mattilsynet / Vannkvalitet / Repport 09.08.2004, p.85.
- [3] Colt, J. (2006). Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering* **34**, 143–156.
- [4] Good, C., Davidson J., Welsh, C., Snekvik, K., Summerfelt, S. (2010). The effects of carbon dioxide on performance and histopathology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in water recirculation aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* **42**, 51-56.
- [5] Noble, C., Cañon-Jones, H.A., Damsgard, B., Flood, M.J., Midling, K.Ø., Roque, A., Sæther, B.S., Cottee, S.Y. (2012). Injuries and deformities in fish: their potential impacts upon aquacultural production and welfare. *Fish physiology and biochemistry* **38**, 61-83.
- [6] Kristensen, T., Åtland, Å., Rosten, T., Urke, H.A., Rosseland, B.O. (2009). Important influent-water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries. *Aquacultural Engineering* **41**, 53–59.
- [7] Rosten, T., Rosseland, B., Salbu, B., Kristensen, T., Åtland, Å. (2003). Rapportering av resultater fra VK 2002. Seminar for deltagere, kompendium. Lukket.
- [8] Rosten, T., Urke, H.A., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B.O. (2007). Sentrale driftsog vannkvalitetsdata fra VK Laks – undersøkelsene fra 1999 til 2006 (Water Quality Monitoring Program, WQ). Norwegian Institute for Water Research (NIVA) p. 16.
- [9] Teien, H.C., Garmo, Ø.A., Åtland, Å., Salbu, B. (2008). Transformation of iron species in mixing zones and accumulation on fish gills. *Environmental Science & Technology* **42 (5)**, 1780–1786.
- [10] Hjeltnes, B., Bæverfjord, G., Erikson, U., Mortensen, S., Rosten, T., Østergård, P. (2012). Risk Assessment of Recirculation Systems in Salmonid Hatcheries. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM), Doc.no 09-808-Final.
- [11] Elliot, J.M. (1991). Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology* **25**, 61-70.
- [12] Saunders, R.L., Henderson, E.B., Harmon, P.R. (1983) Effects of low environmental pH on smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **40**, 1203-1211.
- [13] Weber, M.L. (1997). Farming salmon: a briefing book. Consultative Group on Biological Diversity, San Francisco, California.
- [14] Johansson, D., Ruohonen, K., Kiessling, A., Oppedal, F., Stiansen, J.–E., Kelly, M., Juell, J.–E. (2006). Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. *Aquaculture* **254**, 594–605.
- [15] Kolarevic, J., Bæverfjord, G., Takle, H., Terjesen, B.F. (2013). Rearing density in combination with water temperature affect Atlantic salmon smolt welfare and performance during intensive

production in recirculating aquaculture system (RAS). 2<sup>nd</sup> Nordic RAS Workshop on Recirculating Aquaculture Systems, Aalborg, Denmark. October 10-11, 2013.

[16] Ytrestøyl, T., Takle, H.R., Kolarevic, J., Calabrese, S., Timmerhaus, G., Nilsen, T.O., Handeland, S.O., Stefansson, S.O., Ebberson, L., Terjesen, B.F. (2015). Atlantic salmon post-smolts in RAS: effects of salinity, exercise and timing of seawater transfer on performance, physiology and welfare. In: 3<sup>rd</sup> Workshop on Recirculating Aquaculture Systems, Molde, Norway.

[17] Ytteborg E., Bæverfjord G., Torgersen J., Hjelde K., Takle H. (2010). Molecular pathology of vertebral deformities in hyperthermic Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BMC Physiology* **10**, 12.

[18] Bæverfjord, G. (2001). Production of Atlantic salmon juveniles. Rearing temperatures, feed brand and genetic material. Akvaforsk report 09/01.

[19] Thorarensen, H., Farrell, A. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture* **312**, 1-14.

[20] Crisp, D. T. (1996). Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia*, **323(3)**, 201-221.

[21] Remen, M., Aas, T. S., Vågseth, T., Torgersen, T., Olsen, R. E., Imsland, A., Oppedal, F. (2014). Production performance of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts in cyclic hypoxia, and following compensatory growth. *Aquaculture Research* **45(8)**, 1355-1366.

[22] Espmark Å., Bæverfjord G. (2009). Effects of hyperoxia on behavioural and physiological variables in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Aquaculture International* **17**, 341-353.

[23] Espmark Å., Hjelde K., Bæverfjord, G. (2010). Development of gas bubble disease in juvenile Atlantic salmon exposed to water supersaturated with oxygen. *Aquaculture* **306**, 198-204.

[24] Stien, L.H., Bracke, M.B.M, Folkedal, O., Nilsson, J., Oppedal, F., Torgersen, T., Kittilsen, S., Midtlyng, P.J., Vindas, M.A., Øverli, Ø., Kristiansen, T.S. (2013). Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0): a semantic model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon: review of the selected welfare indicators and model presentation. *Reviews in Aquaculture* **5**, 33-57.

[25] EFSA (2008). Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed Atlantic salmon. *The EFSA Journal* **736**, 1-31.

[26] Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L. H. (2011). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture* **311**, 1–18.

[27] Handeland, S.O., Berge, A., Bjornsson, B.T., Stefansson, S.O. (1998). Effects of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in seawater. *Aquaculture*, **168**, 289-302.

[28] Bæverfjord, G., Kolarevic, J., Takle, H., Terjesen, B.F. (2012). Fiskevelferd i RAS: Effekter av vannhastighet, tetthet og temperatur. Andre konferanse om resirkulering av vann i akvakultur, Sunndalsøra 23.-24. oktober 2012.

[29] Fivelstad, S., Wågbo, R., Olsen, A.B., Stefansson, S. (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.

- [30] Calabrese S., Nilsen T.O., Ebbesson L., Pedrosa C., Fivelstad S., Hosfeld C., Stefansson S., Terjesen B.F., Takle H., Martins C. I.M., Sveier H., Mathisen F., Kolarevic J., Imsland A.K., Handeland S.O. (2017). Stocking density limits for post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with emphasis on production performance and welfare. *Aquaculture* **468**, 363-370.
- [31] Handeland, S.O., Imsland, A.K., Ebbesson, L.O.E., Nilsen, T.O., Hosfeld, C.D., Bæverfjord, G., Espmark, Å., Rosten, T., Skilbrei, O.T., Hansen, T., Gunnarsson, G.S., Breck, O., Stefansson, S.O. (2013). Low light intensity can reduce Atlantic salmon smolt quality. *Aquaculture* **384-387**, 19-24.
- [32] Helland S.J., Helland B.G., Nerland S. (1996). A simple method for the measurement of daily feed intake of groups of fish in tanks. *Aquaculture* **139**, 157-163.
- [33] Adams, C., Huntingford, F., Turnbull, J., Arnott, S., Bell, A. (2000). Size heterogeneity can reduce aggression and promote growth in Atlantic salmon parr. *Aquaculture International* **8**, 543-549.
- [34] Beitinger, T.L., McCauley, R.W (1990). Whole-animal physiological processes for the assessment of stress in fishes. *Journal of Great Lakes Research* **16**, 542-575.
- [35] Peakall, D. (1994). Animal Biomarkers as Pollution Indicators. London: Chapman and hall, Chapter 7.
- [36] Espmark Å.M., Kolarevic J., Åsgård T., Terjesen B.F., (2017). Tank size and fish management history in experimental design matter. *Aquaculture Research* **48**, 2876-2894.
- [37] Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D.F., Huntingford, F.A. (2007). The impact of environmental variables on the feeding rhythms and daily feed intake of cage-held 1+ Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **269(1)**, 290-298.
- [38] Cañon-Jones, H.A., Hansen, L.A., Noble, C., Damsgård, B., Broom, D.M., Pearce, G.P. (2010). Social network analysis of behavioural interactions influencing fin damage development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during feed-restriction. *Applied Animal Behaviour Science* **127**, 139-151.
- [39] Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D.F., Huntingford, F.A. (2008). Growth, production and fin damage in cage-held 0+ Atlantic salmon pre-smolts (*Salmo salar* L.) fed either a) on-demand, or b) to a fixed satiation–restriction regime: Data from a commercial farm. *Aquaculture* **275(1)**, 163-168.
- [40] Cañon-Jones, H.A., Noble, C., Damsgård, B., Pearce, G.P. (2016). Evaluating the effects of a short-term feed restriction period on the behavior and welfare of Atlantic salmon, *Salmo salar*, parr using social network analysis and fin damage. *Journal of the World Aquaculture Society* **48(1)**, 35-45.
- [41] Fjelldal P.G., Hansen T., Lock E.J., Wargelius A., Fraser T.W.K., Sambafras F., El-Mowafi A., Albrektsen S., Waagbo R., Ornsrud R. (2016). Increased dietary phosphorous prevents vertebral deformities in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture nutrition* **22**, 72-90.
- [42] Fjelldal P.G., Hansen T., Breck O., Ornsrud R., Lock E.J., Waagbo R., Wargelius A., Witten P.E. (2012). Vertebral deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - etiology and pathology. *Journal of Applied Ichthyology* **28**, 433-440.
- [43] Arnold, G.P., Webb, P.W., Holford, B.H. (1991). The role of the pectoral fins in station-holding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Experimental Biology* **156**, 625-629.
- [44] Andrews, M., Stormoen, M., Schmidt-Posthaus, H., Wahli, T., & Midtlyng, P. J. (2015). Rapid temperature-dependent wound closure following adipose fin clipping of Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of fish diseases* **38(6)**, 523-531.

- [45] Fivelstad, S., Olsen, A.B., Åsgård, T., Bæverfjord, G., Rasmussen, T., Vindheim, T., Stefansson, S., (2003). Long-term sublethal effects of carbon dioxide on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.): ion regulation, haematology, element composition, nephrocalcinosis and growth parameters. *Aquaculture* **215**, 301–319.
- [46] Espmark, Å.M., Kolarevic, J., Hansen, Ø.A., Nilsson, J. (2015). Pumping og håndtering av smolt. Nofima rapport nr. 6/2015.
- [47] Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* **43**, 83–93.
- [48] Kolarevic J., Aas-Hansen Ø., Espmark Å.M., Bæverfjord G., Terjesen B.F., Damsgård B. (2016). The use of acoustic acceleration transmitter tags for monitoring of Atlantic salmon swimming activity in recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquaculture Engineering* **72-73**, 30-39.
- [49] Roque d'Orbcastel, E., Person-Le Ruyet, J., Le Bayon, N., Blancheton, J.-P. (2009). Comparative growth and welfare in rainbow trout reared in recirculating and flow through rearing systems. *Aquacultural Engineering* **40**, 79–86.
- [50] Summerfelt, S.T., Sharrer, M., Gearheart, M., Gillette, K., Vinci, B.J., (2009a.) Evaluation of partial water reuse systems used for Atlantic salmon smolt production at the White River National Fish Hatchery. *Aquacultural Engineering* **41**, 78–84.
- [51] Summerfelt, S., Bergheim, A., Colt, J., (2009b.) Preface. *Aquacultural Engineering* **41**, 45.
- [52] Hofseth, K., (2008). Erfaring med resirkulering i smoltproduksjon of viktigerammevilkår for resirk i Norge. Presentation at Seminar on Recirculation of Water in Aquaculture.
- [53] Terjesen, B.F., Summerfelt, S.T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S.O., Megård Reiten, B.K., Selset, R., Kolarevic, J., Brunsvik, P., Bæverfjord, G., Takle, H., Kittelsen, A., Åsgård, T. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering* **54**, 49–63.
- [54] Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Brazil, B., Summerfelt, S. (2009). Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high system flushing rates. *Aquacultural Engineering* **41**, 136–145.
- [55] Kolarevic, J., Bæverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Megård Reiten, B.K., Nergård, S., Terjesen, B.F. (2014). Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture* **432**, 15-25.
- [56] Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Rosseland, B.O., Teien, H.-C., Nilsen, T.O., Stefansson, S., Handeland, S.O., Terjesen, B.F. (2014). Effekt av saltholdighet og trening på vekst, fysiologi og velferd hos sto postsmolt av Atlantisk laks i RAS. In Abstracts RCN Program conference Mariculture 2014, p. 59. Tromsø, Norway, March 31<sup>st</sup> - April 2nd 2014.
- [57] Timmons, M., Ebeling, J. (2007). Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- [58] Kolarevic, J., Bæverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B.K.M., Nergaard, S., Terjesen, B.F. (2012). Effects of recirculation of water during the freshwater stage of Atlantic salmon. In The Research Council of Norway program conference HAVBRUK 2012. p 114. 16th-18th April 2012, Stavanger, Norway.

- [59] Bregnballe, J. (2010). A guide to recirculation aquaculture. Copenhagen, Denmark: Eurofish.
- [60] Bæverfjord, G., Wibe, Å.E. (2003). Short tail deformities in Atlantic salmon – effect of freshwater production temperature. In: Beyond Monoculture, extended abstracts and short communications. European Aquaculture society, special publications No. 3.
- [61] Kolarevic, J., Selset, R., Felip, O., Good, C., Snekvik, K., Takle, H., Ytteborg, E., Bæverfjord, G., Åsgård T., Terjesen, B.F. (2013). Influence of long-term ammonia exposure on Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr growth and welfare. *Aquaculture Research* **44**, 1649–1664.
- [62] Jensen, F. (2003). Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology* **135**, 9-24.
- [63] 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 Veterinaria Brno* **74**, 129-137.
- [64] Gutierrez, A.X., Kolarevic, J., Sæther, B.S., Bæverfjord, G., Takle, H., Medina, H.M., Terjesen, B.F. (2011). Effects of sublethal nitrite exposure at high chloride background during the parr stage of Atlantic salmon. In Aquaculture Europe 2011, Abstracts, p. 1080-1081.
- [65] Holan, A.B., Kolarevic, J., Jørgensen, S.M., Terjesen, B.F. (2016). Particle tolerance in post-smolts reared in RAS. Aquaculture Europe 2016, Edinburgh, United Kingdom. September 20<sup>th</sup>-23<sup>rd</sup>, 2016.
- [66] Summerfelt, S.T., Zühlke, A., Kolarevic, J., Reiten, B.K.M., Selset, R., Gutierrez, X., Terjesen, B.F. (2013). Effects of alkalinity on ammonia removal, carbon dioxide stripping, and system pH, in semi-commercial scale WRAS operated with moving bed bioreactors, *Aquaculture Engineering* **65**, 46-54.
- [67] Chen, S., Ling, J., Blancheton, J-P. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering* **34**, 179-197.
- [68] Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E., (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering* **34**, 322–331.
- [69] Kolarevic, J., Ytrestøyl, T., Takle, H., Mathisen, F., Terjesen, B.F. (2014). Performance and welfare of Atlantic salmon postsmolts reared at different salinities in medium research scale and commercial scale recirculating aquaculture systems (RAS). Aquaculture Europe 2014, San Sebastian, Spain. October 14th -17th, 2014.
- [70] Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Rosseland, B., Teien, H.-C., Nilsen, T.O., Stefansson, S., Handeland, S., Terjesen, B. (2013). Effects of Salinity and Exercise on Performance and Physiology of Atlantic salmon Postsmolts Reared in RAS, Abstracts Aquaculture Europe 2013. European Aquaculture Society, Trondheim, p. 465.
- [71] Kolarevic, J., Sveen, L., Nilsen, T.O., Sundh, H., Aerts, J., Sundell, K., Ebbesson, L.O.E., Handeland, S., Jørgensen, S.M., Takle H., Terjesen B.F. (2016). Welfare and performance of Atlantic salmon post-smolts during exposure to mild chronic stress in closed-containment systems. Aquaculture Europe 2016, Edinburgh, United Kingdom. September 20<sup>th</sup>-23<sup>rd</sup>, 2016.
- [72] Emparanza, E.J.M. (2009). Problems affecting nitrification in commercial RAS with fixed-bed biofilters for salmonids in Chile. *Aquacultural Engineering* **41**, 91-96.



- [73] Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Summerfelt, S. (2011) .The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance in replicated water reuse systems. *Aquacultural Engineering* **44**, 80–96.
- [74] Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M., Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **61(3)**, 493-531.
- [75] Huntingford, F.A., Adams, C., Braithwaite, V.A., Kadri, S., Pottinger, T.G., Sandøe, P., Turnbull, J.F. (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology* **70**, 1311-1316.
- [76] Jobling, M. (1983). Growth studies with fish—overcoming the problems of size variation. *Journal of Fish Biology* **22(2)**, 153-157.
- [77] Fiskeridirektoratet. <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur>.
- [78] Stien, L.H., Oppedal, F., Kristiansen, T.S. (2016). Dødelighetsstatistikk for lakseproduksjon (eng: Mortality statistics for salmon production). In: Svåsand, T., Karlsten, Ø., Kvamme, B.O., Stien, L.H., Taranger, G.L., Boxaspen, K.K. (eds). Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016. Havforskningsinstituttet, Fisken og Havet, særnr; 2-2016, pp. 129-134.
- [79] Iversen, M.H., Jakobsen, R., Eliassen, R. (2015) Stress; en viktig bidragsyter til svinn i sjø. In: Norsk Fiskeoppdrett, pp. 22-27.
- [80] Rodger, H., Henry, L., Mitchell, S. (2011). Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **21**, 423–440.
- [81] Ferguson, H.W., Delannoy, C.M., Hay, S., Nicolson, J., Sutherland, D., Crumlish, M., (2010). Jellyfish as vectors of bacterial disease for farmed salmon (*Salmo salar*). *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* **22(3)**, 376-82.
- [82] Vigen, J. (2008). Oxygen variation within a sea cage. Master thesis. Department of Biology, University of Bergen, Bergen, 73 pp.
- [83] Jensen, L.B., Wahli, T., McGurk, C., Eriksen, T.B., Obach, A., Waagbø, R., Handler, A., Tafalla, C. (2015). Effect of temperature and diet on wound healing in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish Physiology and Biochemistry* **41**, 1527–1543.
- [84] Johansson, D., Ruohonen, K., Juell, J-E., Oppedal, F., (2009). Swimming depth and thermal history of individual Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages under different ambient temperature conditions. *Aquaculture* **290**, 296–303.
- [85] Handeland, S.O., Imsland, A.K., Stefansson, S.O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture* **283**, 36–42.
- [86] Priede M. (2002). Biology of salmon. S. Stead, L. Laird (Eds.), Handbook of Salmon Farming, Springer-Praxis, United Kingdom (2002), pp. 1–35
- [87] Schneider, R., Nicholson, B.L. (1980). Bacteria associated with fin rot disease in hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries* **37(10)**, 1505-1513.
- [88] Remen, M., Sievers, M., Torgersen, T., Oppedal, F. (2016). The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture* **464**, 582-592.

- [89] Bakke, H., Bjerknes, V., Øvreeide, A., (1991). Effects of rapid changes in salinity on the osmoregulation of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* **96**, 375–382.
- [90] Grimnes, A., Jakobsen, P.J. (1996). The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **48**, 1179–1194.
- [91] Boxaspen, K. (2006). A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science* **63**, 1304–1316.
- [92] Wright, D.W., Stien, L., Dempster, T., Vågseth, T., Nola, V., Fosseidengen, J-E., Oppedal, F. (2017). ‘Snorkel’ lice barrier technology reduced two co-occurring parasites, the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) and the amoebic gill disease causing agent (*Neoparamoeba perurans*), in commercial salmon sea-cages. *Preventive Veterinary Medicine* **140**, 97-105
- [93] Bricknell, I.R., Dalesman, S.J., O’Shea, B., Campbell, C.P., Luntz, A.J.M. (2006). Effect of environmental salinity on sea lice *Lepeophtheirus salmonis* settlement success. *Inter-Research Diseases of Aquatic Organisms* **71**, 201-212.
- [94] MacIntyre, C.M., Ellis, T., North, B.P., Turnbull, J.F. (2008). The influences of water quality on the welfare of farmed rainbow trout: a review. In Branson, E.J. (Ed), *Fish Welfare*. Blackwell Publishing, p 150-168.
- [95] Tang, J., Wardle, C.S. (1992). Power output of two sizes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at their maximum sustained swimming speeds. *Journal of Experimental Biology* **166**, 33-46.
- [96] Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Fernø, A., Fraser, T., Olsen, R.E. (2015). Fast currents reduce production performance of post-smolt Atlantic salmon. *Aquaculture Environment Interactions* **7**, 125–134.
- [97] Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Olsen, R.E., Stien, L.H., Fernö, A. (2016). Not too slow, not too fast: water currents affect group structure, aggression and welfare in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions* **8**, 339-347.
- [98] Adams, C.E., Turnbull, J.F., Bell, A., Bron, J.E., Huntingford, F.A. (2007). Multiple determinants of welfare in farmed fish: stocking density, disturbance and aggression in salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64**, 336-344.
- [99] Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J., Huntingford, F. (2005). Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of multivariate analysis. *Aquaculture* **243**, 121–132.
- [100] Juell, J.-E., Oppedal, F., Boxaspen, K., Taranger, G.L. (2003). Submerged light increases swimming depth and reduces fish density of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in production cages. *Aquaculture* **34**, 469–478.
- [101] Oppedal, F., Berg, A., Olsen, R.E., Taranger, G.L., Hansen, T., (2006). Photoperiod in seawater influence seasonal growth and chemical composition in autumn sea transferred Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given two vaccines. *Aquaculture* **254**, 396–410.
- [102] Soares, S., Green, D.M., Turnbull, J.F., Crumlish, M., Murray, A.G. (2011). A baseline method for benchmarking mortality losses in Atlantic salmon (*Salmo salar*) production. *Aquaculture* **314**, 7–12.
- [103] Salama, N.K.G, Murray, A.G., Christie, A.J.M., Wallace, I.S. (2016). Using fish mortality data to assess reporting thresholds as a tool for detection of potential disease concerns in the Scottish farmed salmon industry. *Aquaculture* **450**, 283-288.

- [104] Juell, J.E., Fernö, A., Furevik, D., Huse, I. (1994). Influence of hunger level and food availability on the spatial distribution of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management* **25**, 439–451.
- [105] Andrew, J.E., Noble, C., Kadri, S., Jewell, H., Huntingford, F.A. (2002). The effect of demand feeding on swimming speed and feeding responses in Atlantic salmon *Salmo salar* L., gilthead sea bream *Sparus aurata* L. and European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. in sea cages. *Aquaculture Research* **33**, 501–507.
- [106] Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D.F., Huntingford, F.A. (2007). Influence of feeding regime on intraspecific competition, fin damage and growth in 1+ Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) held in freshwater production cages. *Aquaculture Research* **38**, 1137–1143.
- [107] Fernö, A., Huse, I., Juell, J.E., Bjordal, Å. (1995). Vertical distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in net pens: trade-off between surface light avoidance and food attraction. *Aquaculture* **132**, 285–296.
- [108] Jobling, M., Alanära, A., Noble, C., Sánchez-Vázquez, J., Kadri, S., Huntingford, F. (2012). Appetite and feed intake. In *Aquaculture and behaviour* (ed Huntingford F, Jobling M, Kadri S), pp. 183–219. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK.
- [109] Usher, M.L., Talbot, C., Eddy, F.B. (1991). Effects of transfer to seawater on growth and feeding in Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **94**, 309–326.
- [110] Toften, H., Arnesen, A., Jobling, A.M. (2003). Feed intake, growth and ionoregulation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in relation to dietary addition of a feeding stimulant and time of seawater transfer. *Aquaculture* **217**, 647–662.
- [111] Jobling, M. (1994). *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hall, London (1994) 309 pp.
- [112] McCormick, S.D., Shrimpton, J.M., Carey, J.B., O’Dea, M.F., Sloan, K.E., Moriyama, S., Björnsson, B.T. (1998). Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insulin-like growth factor I and cortisol. *Aquaculture* **168**, 221–235.
- [113] Damsgård, B., Sørum, U., Ugelstad, I., Eliassen, R.A., Mortensen, A. (2004). Effects of feeding regime on susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to coldwater vibriosis. *Aquaculture* **239**, 37–46.
- [114] Martins, C.I., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J.C., Carter, T. and Planellas, S.R., 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry* **38(1)**, pp.17-41.
- [115] Pinkiewicz, T.H., Purser, G.J., Williams, R.N. (2011). A computer vision system to analyse the swimming behaviour of farmed fish in commercial aquaculture facilities: A case study using cage-held Atlantic salmon. *Aquacultural Engineering* **45**, 20–27.
- [116] Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg, FOR -2012-12-05-1140.
- [117] Bond, C. E. (1996). *Biology of fishes*, 2nd ed. Sanders College Publishing, Fort Worth, USA. 576 pp.
- [118] Dempster, T., Korsøen, O., Folkedal, O., Juell, J.E., Oppedal, F. (2009). Submergence of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial scale sea-cages: A potential short-term solution to poor surface conditions. *Aquaculture* **288**, 254-263.

- [119] Korsøyen, O., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T.S. (2012a). Individual variation in swimming depth and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) subjected to submergence in sea-cages. *Aquaculture* **334-337**, 142-151.
- [120] Korsøyen, O.J., Fosseindengen, J.E., Kristiansen, T.S., Oppedal, F., Bui, S., Dempster, T. (2012b). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a submerged sea-cage adapt rapidly to re-fill their swim bladders in an underwater air filled dome. *Aquacultural Engineering* **51**, 1-6.
- [121] Korsøyen, O., Dempster, T., Fjellidal, P.G., Oppedal, F., Kristiansen, T. (2009). Long-term culture of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in submerged cages during winter affects behaviour, growth and condition. *Aquaculture* **296**, 373-381.
- [122] Dempster, T., Juell, J.-E., Fosseidengen, J.-E., Fredheim, A., Lader, P. (2008). Behaviour and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) subjected to short-term submergence in commercial scale sea-cages. *Aquaculture* **276**, 103-111
- [123] Dempster, T., Kristiansen, T.S., Korsøyen, Ø.J., Fosseidengen, J.-E., Oppedal, F. (2011). Technical note: Modifying Atlantic salmon (*Salmo salar*) jumping behaviour to facilitate innovation of parasitic sea lice control techniques. *Journal of Animal Science* **89**, 4281-4285.
- [124] Stien, L.H., Dempster, T., Bui, S., Glaropoulos, A., Fosseidengen, J.-E., Wright, D.W., Oppedal, F. (2016). 'Snorkel' sea lice barrier technology reduces sea lice loads on harvest-sized Atlantic salmon with minimal welfare impacts. *Aquaculture* **458**, 29-37.
- [125] Parsons, H., Nowak, B., Fisk, D., Powell, M. (2001). Effectiveness of commercial freshwater bathing as a treatment against amoebic gill disease in Atlantic salmon. *Aquaculture* **195**, 205-210.
- [126] Clark, G., Powell, M., Nowak, B. (2003). Effects of commercial freshwater bathing on reinfection of Atlantic salmon, *Salmo salar*, with amoebic gill disease. *Aquaculture* **219**, 135-142.
- [127] Adams, M.B., Crosbie, P.B.B., Nowak, B.F. (2012). Preliminary success using hydrogen peroxide to treat Atlantic salmon, *Salmo salar* L., affected with experimentally induced amoebic gill disease (AGD). *Journal of Fish Diseases* **35**, 839-848.
- [128] Rodger, H.D. (2013). Amoebic gill disease (AGD) in farmed salmon (*Salmo salar*) in Europe. *Fish Veterinary Journal* **14**, 16-26.
- [129] Taylor, R.S., Muller, W.J., Cook, M.T., Kube, P.D., Elliot, N.G. (2009). Gill observations in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) during repeated amoebic gill disease (AGD) field exposure and survival challenge. *Aquaculture* **290**, 1-8.
- [130] Rosten, T.W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B.F., Biering, E., Winther, U. (2011). Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - forprosjekt. SINTEF, Trondheim, 76 s.
- [131] Kolarevic, J., Iversen, R., Martinsen, S., Kvernset, P.G., Terjesen, B.F. (2016). Production of Atlantic salmon post-smolts (*Salmo salar*) in flexibag semi-closed containment system, The World Aquaculture Society meeting, Aquaculture 2016, Las Vegas, USA. February, 22<sup>nd</sup>-26<sup>th</sup>, 2016.
- [132] Handeland, S.O. (2016). Postsmoltproduksjon i semi-lukkede anlegg; Resultat fra en komparativ feltstudie. Fjerde konferanse om resirkulering av vann i akvakultur på Sunndalsøra, 25.-26. oktober 2016.
- [133] Nilsen A, Nielsen, K.V., Biering, E., Bergheim, A. (2017). Effective protection against sea lice during the production of Atlantic salmon in floating enclosures. *Aquaculture* **466**, 41-50.

- [134] Rud, I., Kolarevic, J., Holan, A.B., Berget, I., Calabrese, S. and Terjesen, B.F. (2016). Deep-sequencing of the microbiota in commercial-scale recirculating and semi-closed aquaculture systems for Atlantic salmon post-smolt production. *Aquaculture Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.10.003>
- [135] Nilsen, A., Bergheim, A., Nielsen, K.V. (2014). Produksjon av laks i semi-lukket merd 2012-2014. Presented at «Fremtidens smoltproduksjon» at Sunndalsøra, Norway, 23.10.2014
- [136] Kolarevic, J., Iversen, R., Terjesen, B.F., Kvenseth, P.G. (2015). Water quality in Flexibag semi-closed system for post-smolts. *CtrlAQUA annual report*, p.56-59.
- [137] Handeland, S., Vindas, M., Nilsen, T., Ebbesson, L., Sveier, H., Tangen, S., Nylund, A. (2015). Documentation of post smolt welfare and performance in large-scale Preline semi-containment system (CCS). *CtrlAQUA annual report*, 60-64.
- [138] Castro, V., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., Kristensen, T., Jørgensen, S.M., Helgerud, J., Claireaux, G., Farrell, A.P., Krasnov, A., Takle, H., 2011. Aerobic training stimulates growth and promotes disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comparative Biochemistry and Physiology A* **160**, 278-290.
- [139] Castro, V., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., Torgersen, J., Kristensen, T., Claireaux, G., Farrell, A.P., Takle, H. (2013). Cardiac Molecular-Acclimation Mechanisms in Response to Swimming-Induced Exercise in Atlantic Salmon. *PLoS ONE* **8(1)**:e55056. doi:10.1371/journal.pone.0055056.
- [140] Sveen, L.R., Timmerhaus, G., Torgersen, J.S., Ytteborg, E., Jørgensen, S.M., Handeland, S.O., Stefansson, S.O., Nilsen, T.O., Calabrese, S., Ebbesson, L., Terjesen, B.F., Takle, H.R. (2016). Impact of fish density and specific water flow on skin properties in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture* **464**, 629–637.
- [141] Heuch, P.A., Parsons, A., Boxaspen, K. (1995). Diel vertical migration: a possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? *Canadian Journal of Fish Aquatic Science* **52**, 681–689.
- [142] Hevrøy, E.M., Boxaspen, K., Oppedal, F., Taranger, G.L., Holm, J.C. (2003). The effect of artificial light treatment and depth on the infestation of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) culture. *Aquaculture* **220**, 1–14.
- [143] Frenzl, B., Stien, L.H., Cockerill, D., Oppedal, F., Richards, R.H., Shinn, A.P., Bron, J.E., Migaud, H. (2014). Manipulation of farmed Atlantic salmon swimming behaviour through the adjustment of lighting and feeding regimes as a tool for salmon lice control. *Aquaculture* **424-425**, 183–188.
- [144] Samsing, F., Johnsen, I., Stien, L.H., Oppedal, F., Albretsen, J., Asplin, L., Dempster, T. (2016). Predicting the effectiveness of depth-based technologies to prevent salmon lice infection using a dispersal model. *Preventive Veterinary Medicine* **129**, 48–57.
- [145] Johnsen, I.A., Asplin, L.C., Sandvik, A.D., Serra-Llinares, R.M. (2016). Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements. *Aquaculture Environment Interactions* **8**, 99-116.
- [146] Frank, K., Lien, A.M. (2015). Permaskjørt og merdmiljø. SINTEF rapport A26686. ISBN 978-82-14-05867-3.
- [147] Lien, A., Stien, L.H., Grøntvedt, R.N., Frank, K. (2015). Permanent skjørt for redusering av lusepåslag på laks. Trondheim: SINTEF Fiskeri og havbruk AS.



- [148] Frank, K., Gansel, L.C., Lien, A.M., Birkevold, J. (2015). Effects of a Shielding Skirt for Prevention of Sea Lice on the Flow Past Stocked Salmon Fish Cages. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* **137**, 011201.
- [149] Lind, M. B. (2015). Fluidpermeabelt luseskjørt (SalGard™) og fiskevelferd i oppdrett av atlantisk laks (*Salmo Salar* L.) i Nord-Norge. UiT Masteroppgave i Fiskehelse (60 stp).
- [150] Stien, L.H., Oppedal, F., Folkedal, O., Mangor-Jensen, A., Kristiansenet, T.S. (2016). Dyrevelferd i lakseoppdrett (eng: Animal welfare in salmon aquaculture). In: Svåsand, T., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Stien, L.H., Taranger, G.L., Boxaspen, K.K. (eds). Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016. Havforskningsinstituttet, Fisken og Havet, særnr; 2-2016, pp. 161-172.
- [151] Næs, M., Heuch, P. A., & Mathisen, R. (2012). Bruk av «luseskjørt» for å redusere påslag av lakselus *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) på oppdrettslaks. Vesterålen fiskehelsetjeneste.
- [152] Stien, L. H., Nilsson, J., Hevrøy, E. M., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Lien, A. M., & Folkedal, O. (2012). Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering* **51**, 21-25.
- [153] Wall, T., Bjerkas, E. (1999). A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **19(4)**, 162-165.