

# Velferdsindikatorer for oppdrettslaks:

## Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd



Redigert av Chris Noble, Jonatan Nilsson, Lars H. Stien,  
Martin H. Iversen, Jelena Kolarevic og Kristine Gismervik

Oversettelse av Hege Iversen Haugmo

 **Nofima** Et FHF prosjekt, ledet av Nofima i samarbeid med:



 **FHF**  
FISKERI- OG HAVBRUKSNÆRINGENS  
FORSKNINGSFOND



Siteres som: Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M. H., Kolarevic, J. & Gismervik, K. (2018). Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 328pp. ISBN 978-82-8296-531-6.

FHF prosjekt 901157  
Revidert Mars 2018

[www.nofima.no/fishwell](http://www.nofima.no/fishwell)

Forfattere: Forfattere er kreditert på hvert kapittel.

Dette er en Open Access-artikkel distribuert under vilkårene i Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), som tillater ubegrenset gjenbruk, distribusjon og reproduksjon i ethvert medium, forutsatt at det opprinnelige arbeidet er riktig sitert. Hvis du ønsker å bruke tidligere publisert arbeid som er reproduisert i denne artikkelen, må du kontakte den opprinnelige rettighetshaveren for å søke tillatelse før du bruker materialet (opphavsretten er oppført i relevante figurer og tabeller).

Omslagsdesign: odahl tekst & tegning • Forsidefoto: © Lars H. Stien

## Innholdsfortegnelse

	Guide til del A, B og C.....	3
	Introduksjon til håndboka.....	4
	Målsetninger med håndboka.....	6
<b>A</b>	<b>Del A.</b> Fiskevelferd og oppdrettslaks, kunnskap og teoretisk bakgrunn.....	10
<b>B</b>	<b>Del B.</b> Bruk av operative velferdsindikatorer for ulike produksjonssystem.....	142
<b>C</b>	<b>Del C.</b> Bruk av operative velferdsindikatorer i forbindelse med ulike håndteringsprosedyrer.....	224

## Guide til del A, B og C

<b>..mer informasjon om velferd?</b>	<b>Ønsker du...</b>	
Definisjon av dyrevelferd <b>A.1.1</b>	<b>...å evaluere velferd i</b>	
Velferdsindikatordefinisjoner, velferdsstandarder, risikovurderinger og metodebeskrivelser <b>A.1.4- A.1.8</b>	Gjennomstrømningsanlegg på land <b>B.1</b>	
Velferdsbehov hos laks <b>A.2</b>	Resirkuleringssystem for oppdrett av fisk (RAS) <b>B.2</b>	
Direkte dyrebaserte velferdsindikatorer <b>A.3</b>	Sjømerder <b>B.3</b>	
Indirekte miljøbaserte velferdsindikatorer <b>A.4</b>	Nedsenkede sjømerder <b>B.4</b>	
OVI og LABVI som verktøy i oppdrett <b>A.5</b>	Snorkelmerd <b>B.5</b>	
	Delvis (semi-) lukkede systemer i sjø <b>B.6</b>	
	Luseskjørt <b>B.7</b>	
<b>...å evaluere velferd ved ulike rutiner og håndteringspraksis?</b>		
Trenging <b>C.1.1</b>	Bade- og medisin-behandlinger <b>C.1.5</b>	Fôr-styring <b>C.1.9</b>
Pumping <b>C.1.2</b>	Bedøvelse <b>C.1.6</b>	Vask av produksjonsutstyr <b>C.1.10</b>
Bedøving og avliving i forbindelse med slakting <b>C.1.3</b>	Vaksinering <b>C.1.7</b>	Sortering <b>C.1.11</b>
Human avliving <b>C.1.4</b>	Transport <b>C.1.8</b>	Undersøkelse av levende fisk <b>C.1.12</b>
Overvåke velferd under utvikling av ny teknologi <b>C.2</b>		



## Introduksjon til håndboka

Fiskevelferd er et sentralt tema i kommersielt oppdrett, og avgjørende i mange viktige beslutninger oppdrettere tar i sitt daglige dyrehold og ved valg av framtidige produksjonsstrategier. Det er også et fremtredende tema for frivillige organisasjoner, dyrevernorganisasjoner, regulerende myndigheter, politikere og forbrukere. Oppdrettere har lenge vært interessert i å optimalisere velferden til fisken som produseres, og benytter derfor aktivt strategier som tar hensyn til dyrevelferd, samt søker å redusere risikoen for redusert fiskevelferd. I tillegg har uavhengige tredjeparts organisasjoner utviklet standarder for fiskevelferd og sertifiseringsordninger for visse arter i oppdrett. Eksempelvis gjelder dette RSPCA-standarder for atlantisk laks og regnbueørret.

Fiskevelferd har blitt omtalt i en rekke forskningsartikler opp gjennom årene, både i et rent grunnforskningsperspektiv og i et mer anvendt perspektiv rettet mot industrien. Denne enorme mengden med informasjon er spredt over et bredt spekter av bøker og vitenskapsjournaler som ofte er vanskelig tilgjengelig for lesere utenfor fagfeltet. Forskningsartikler fokuserer også ofte på enkelt forsøk, og det kan være nødvendig å sammenstille, tolke og evaluere resultater fra mange artikler for å få allmenyldige resultat til nytte i praktisk oppdrett.

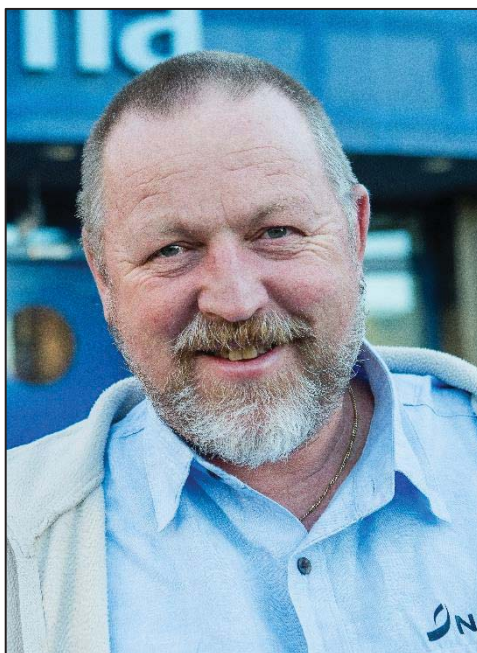
Det kan være vanskelig å ta i bruk ny kunnskap om fiskevelferd. Ofte kompliseres det av det er vanskelig å få gode mål for fiskevelferd og dokumentere at den har blitt bedre. Vi kan ikke spørre en fisk om hvordan den føler seg. I stedet må vi ta i bruk velferdsindikatorer (**VI'er**) som sier noe om hvorvidt fisken får oppfylt sine velferdsbehov eller ikke. Slike velferdsindikatorer kan enten være direkte indikatorer som beskriver egenskaper eller atferd til dyrene selv, eller indirekte indikatorer som beskriver miljøet og ressursene fisken har tilgjengelig. VI'er som kan brukes i den daglige driften i kommersiell fiskeproduksjon betegnes som operative velferdsindikatorer (**OVI'er**). VI'er hvor prøvetaking kan gjøres på anlegget, men hvor prøven må sendes til et laboratorium (analytisk- eller helselaboratorium) for videre evaluering og tolking, kalles laboratorium baserte velferdsindikatorer (**LABVI'er**). VI'er som, for øyeblikket, ikke kan klassifiseres som enten OVI eller LABVI, kan imidlertid fortsatt være nyttig i forbindelse med kontrollerte forsøk og i uttestinger av nytt utstyr hvis de er av særskilt interesse.

I denne boken presenterer vi en rekke ulike OVI'er og LABVI'er for bruk i de vanligste produksjonssystem og håndteringssituasjoner i oppdrett av Atlantisk laks. **Målet er å gi en verktøyboks med VI'er som er egnet, som enkelt kan tas i bruk og som vil gi oppdretter nyttig informasjon om fiskens velferd i ulike produksjonssystem og før, under og etter håndtering.**

Håndboka er sluttproduktet til prosjektet «FISHWELL: Kunnskapssammenstilling om fiskevelferd for laks og regnbueørret i oppdrett» finansiert av Fiskeri - og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF) ledet av Chris Noble, Nofima. Prosjektgruppen inkluderte en rekke ulike velferdsforskere fra Nofima, Havforskningsinstituttet, Nord Universitet, Veterinærinstituttet og Universitetet i Stirling (UK). For en liste over forfattere se hver enkelt del av håndboka.

Forfatterne ønsker å rette en stor takk til styringsgruppen for «FISHWELL» prosjektet. Gruppen består av Olai Einen ved Cermaq, Solveig Gaasø ved Marine Harvest Norge, Lene Høgset ved Fishguard, Bjarne Johansen ved Nordlaks, og Berit Seljestokken ved Grieg Seafood. Vi er takknemlige for deres verdifulle innspill og veiledning, spesielt i samband med forberedelsene, utviklingen og utarbeidelsen av håndboka. Vi ønsker også å takke Susanna Lybæk og hennes kolleger hos Dyrevernalliansen for nyttige kommentarer og tilbakemeldinger på en tidligere versjon av denne håndboken.

Denne håndboka dedikeres til vår kjære venn og kollega Kjell Øyvind Midling, som gikk bort før arbeidet med boka var ferdig. Kjell var gjennom mange år ledende i arbeidet med fiskevelferd i praksis, både innen akvakultur og fiskeri, og bidro mye til å sette det vi kaller operasjonell fiskevelferd på dagsorden både innen forskning og i industrien. Hans entusiasme, kreativitet, humor, kunnskap og kompetanse er dypt savnet, og aldri glemt.



## Målsetninger med håndboka

Vi har tre hovedmålsettinger med håndboken:

1. Presentere en oppdatert vitenskapelig oversikt om velferd hos atlantisk laks, i forhold til dens velferdsbehov i ulike stadier av livssyklusen. **Se del A av håndboka.**
2. Presentere informasjon om hvilke operative velferdsindikatorer (OVI'er) og laboratoriebaserede velferdsindikatorer (LABVI'er) som er hensiktsmessige og passer til å vurdere fiskevelferd i de mest brukte produksjonssystemene for laks. **Se del B av håndboka.**
3. Presentere informasjon om hvilke OVI'er og LABVI'er som er hensiktsmessige og egnede til å vurdere ulike håndteringsprosedyrer i lakseoppdrett. **Se del C av håndboka.**

Målsettingene med verktøykassen er å tilby industri og myndigheter med tilpassede verktøy (OVI og LABVI) for å evaluere og dokumentere velferd basert på vitenskapelig belagte kriterier. Dette ser vi som en tre-trinns prosess, som illustrert under. FISHWELL håndboken utgjør det første trinnet; et vitenskapelig belegg for hvilke OVI og LABVI som passer best relatert til ulike velferdsbehov i ulike utviklingsstadier, produksjonssystemer og –rutiner. Vet man hvordan velferd best kan måles er målsettingen å gå videre med trinn to som innebærer åpne diskusjoner med en **mye bredere sammensatt gruppe av interessenter** for å oppnå enighet om hva som er til det beste for fisken (f.eks. dyrevernorganisasjoner, etikere, biologer, fiskehelsebiologer, veterinærer, Mattilsyn og industrien). Det tredje og siste trinnet er å integrere resultatene; utvikle/raffinere måleverktøy/standarder basert på trinn 1 og 2. De to siste trinnene er på nåværende tidspunkt kun tenkte konsepter som ikke har finansiering, men inkluderes i et veikart som leder utviklingen av operasjonelle velferdsindikatorer dit vi mener den bør være.

### Første trinn

- Hvordan måler vi hvordan fisken har det?
  - Passende verktøy til måling av velferd ved ulike produksjonsrutiner og systemer (OVI og LABVI) til oppdrettere og andre relevante interessegrupper.
  - **FISHWELL Håndboken - en OVI og LABVI verktøykasse**

### Andre trinn

- Hvordan har fisken det? Måling og tolkning
  - Når OVI og LABVI er tilpasset spesifikke forhold, hvordan tolker vi resultatene? Hva er akseptabelt og hva er beste praksis?
  - Dette trinnet krever innspill som dekker mer enn kun vitenskapelig basert kunnskap. F.eks. dyrevern/ideelle organisasjoner, myndigheter, etikere, industriaktører.
  - **Dette må være neste trinn i prosessen - inkludert risikovurderinger og diskusjoner mellom interessegrupper.**

### Tredje trinn

- Integrasjon: Utvikle måleverktøy og/eller standarder.
  - Siste stadiet: Enighet om målemetoder og tolkning av resultater.
  - Integrering av trinn 1 og 2 i en solid evalueringsmetode/standard.

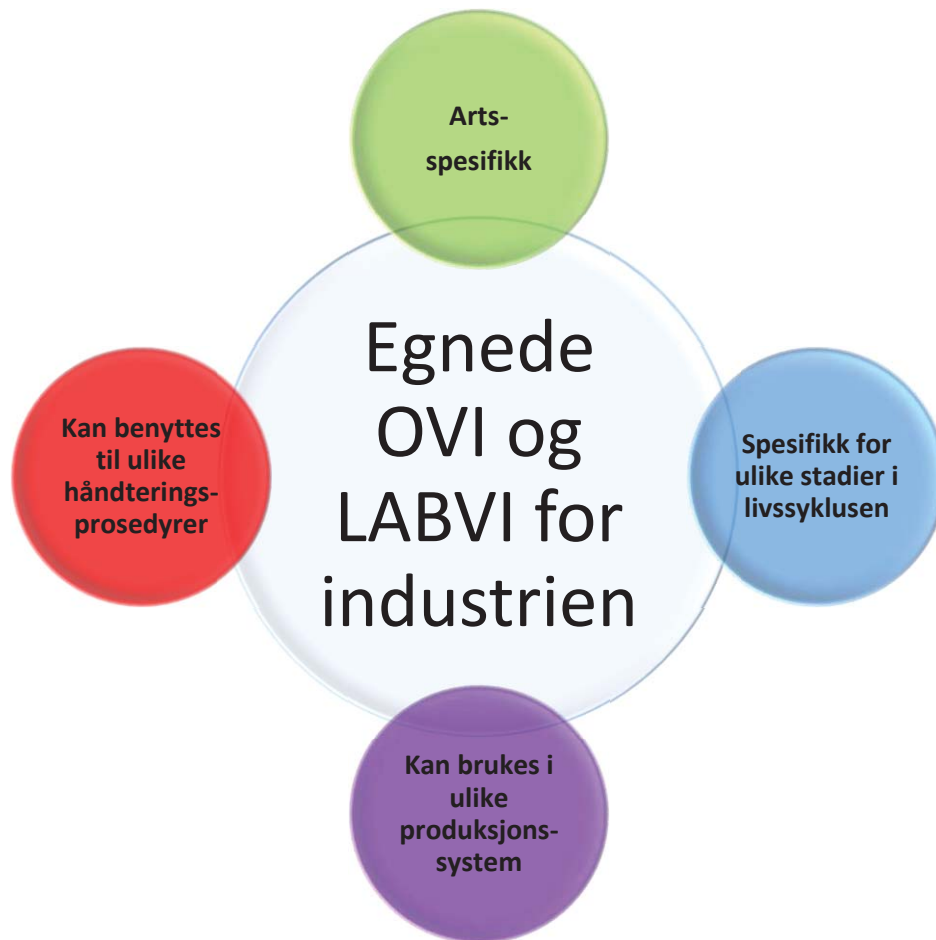
OVI'er og LABVI'er har blitt vurdert i forhold til følgende kriterier:

- **Relevans** – faktorer som er relevante i forhold til laksen
- **Brukervennlighet** – hvor enkelt er det å benytte dette praktisk på merdkanten?
- **Pålitelighet** - er dataene som produseres, mulige å repetere? Vil de være gode nok til å brukes for å fatte en beslutning om laksen sin velferd?
- **Egnet** - passer de til formålet som indikatorer, for å kunne oppfylle velferdsbehov hos fiskene i et bestemt oppdrettssystem eller oppdrettsrutine?

Valideringen av de enkelte OVI'er og LABVI'er er basert på vitenskapelig litteratur, og eksisterende velferdsvurderinger og kvalitetssikringssystemer. Kildene til disse vurderingene oppgis gjennom hele håndboken. Dette vil gi leseren mulighet til å selv oppsøke kildene for et dypdykk i detaljkunnskaper og nærmere innsikt.

Om en OVI eller LABVI synes være egnet for å kunne vurdere velferd under ulike oppdrettssituasjoner, men vitenskapelige data mangler så markeres denne som et potensielt fremtidig verktøy for å kunne vurdere velferd. Dette er spesielt relevant med hensyn til nye og fremvoksende dyreholdsrutiner, teknologier og oppdrettssystemer.

**Det er ikke innenfor mandatet til denne håndboken å inneha en bestemt mening og holdning til hva som er bra/akseptabelt/dårlig når det gjelder velferd. Informasjon og anbefalinger er bare gitt der vitenskapelige funn støtter opp dette. Hvis denne informasjonen mangler markeres det som en kunnskapsmangel som krever videre vitenskapelig validering. Dette for å kunne gi beslutningstakere, oppdrettere eller tilsynsorganer konkret informasjon, slik at en ikke baserer sine beslutninger på et mulig falskt grunnlag.**



*Hensikten med håndboka, er å identifisere egnede arts - og livsstadiums spesifikke operative velferdsindikatorer (OVI'er) og laboratoriebaserede velferdsindikatorer (LABVI'er) som kan brukes i den daglige driften av ulike produksjonssystem og under ulike håndteringsprosedyrer.*



# Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd – Del A. Fiskevelferd og oppdrettslaks, kunnskap og teoretisk bakgrunn

Jonatan Nilsson<sup>1\*</sup>, Lars H. Stien<sup>1\*</sup>, Martin H. Iversen<sup>2\*</sup>, Tore S. Kristiansen<sup>1</sup>, Thomas Torgersen<sup>1</sup>, Frode Oppedal<sup>1</sup>, Ole Folkedal<sup>1</sup>, Malthe Hvas<sup>1</sup>, Kristine Gismervik<sup>3</sup>, Kristian Ellingsen<sup>3</sup>, Kristoffer Vale Nielsen<sup>3</sup>, Cecilie M. Mejdell<sup>3</sup>, Jelena Kolarevic<sup>4</sup>, David Izquierdo-Gomez<sup>4</sup>, Bjørn-Steinar Sæther<sup>4</sup>, Åsa M. Espmark<sup>4</sup>, Kjell Ø. Midling<sup>4</sup>, Bjørn Roth<sup>4</sup>, James F. Turnbull<sup>5</sup> og Chris Noble<sup>4</sup>

\* Felles førsteforfatterskap

1. Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, N-5817 Bergen, Norge
2. Nord Universitet, Fakultet for biovitenskap og akvakultur, 8049 Bodø, Norge
3. Veterinærinstituttet, Postboks 750 Sentrum, N-0106 Oslo, Norge
4. Nofima, Postboks 6122 Langnes, N-9291 Tromsø, Norge
5. University of Stirling, Institute of Aquaculture, School of Natural Sciences, Stirling, FK9 4LA, United Kingdom



Hva er fiskevelferden? Foto: Lars H. Stien



## Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon til fiskevelferd .....	14
1.1	Dyrevelferd .....	14
1.2	Fiskens bevissthet og kognisjon .....	15
1.3	Velferdsbehov .....	16
1.4	Definisjon av ulike typer velferdsindikatorer .....	16
1.5	Velferdsstandarder .....	18
1.6	EFSA- Risikovurdering.....	19
1.7	Vurderingsprotokoller for fiskevelferd.....	20
2	Velferdsbehov hos laks.....	21
2.1	Spising og ernæring .....	23
2.2	Respirasjon .....	24
2.3	Osmotisk balanse .....	24
2.4	Termisk regulering.....	25
2.5	God vannkvalitet .....	25
2.6	Hygiene.....	26
2.7	Beskyttelse fra farer og skader.....	26
2.8	Atferdskontroll .....	26
2.9	Sosial kontakt .....	26
2.10	Hvile.....	27
2.11	Utforskning .....	27
2.12	Kroppspfleie.....	28
2.13	Seksuell atferd .....	28
3	Dyrebaserte velferdsindikatorer .....	29
3.1	Gruppebaserte velferdsindikatorer.....	30
3.1.1	Dødelighetsrate .....	30
3.1.2	Atferd.....	32
3.1.3	Appetitt.....	34
3.1.4	Vekst .....	35
3.1.5	Sykdom og sykdomskontroll.....	37
3.1.6	Indikasjoner i vannet .....	43
3.1.7	Snitt oksygenopptak (MO <sub>2</sub> ) .....	43
3.1.8	Overflateaktivitet hos fisk .....	44

3.2	Individbaserte velferdsindikatorer .....	46
3.2.1	Gjellelokkfrekvens .....	46
3.2.2	Refleksatferd .....	47
3.2.3	Lakselus .....	48
3.2.4	Gjellestatus og bleke gjeller .....	49
3.2.5	Kondisjonsfaktor og andre betingende faktorer .....	51
3.2.6	Grad av avmagring.....	52
3.2.7	Kjønnsmodning.....	53
3.2.8	Smoltifiseringsstatus .....	55
3.2.9	Ryggdeformiteter .....	56
3.2.10	Finneskade og –status .....	58
3.2.11	Skjelltap og generell hudtilstand .....	58
3.2.12	Øyeskade og øyetilstand .....	59
3.2.13	Deformerte gjellelokk.....	61
3.2.14	Indre organer.....	67
3.2.15	Vaksinerelatert patologi.....	67
3.2.16	Kortisol.....	70
3.2.17	Osmolalitet .....	72
3.2.18	Ionesammensetting.....	74
3.2.19	Glukose.....	76
3.2.20	Laktat .....	78
3.2.21	Hematokrit.....	79
3.2.22	Rigor mortis (dødsstivhet) og muskel pH .....	79
3.2.23	Slim .....	81
4	Miljøbaserte velferdsindikatorer.....	84
4.1	Vannkvalitetsbaserte velferdsindikatorer .....	84
4.1.1	Vanntemperatur.....	84
4.1.2	Saltholdighet.....	86
4.1.3	Oksygen .....	87
4.1.4	Karbondioksid (CO <sub>2</sub> ) .....	88
4.1.5	pH .....	90
4.1.6	Total ammonium nitrogen (TAN) .....	91
4.1.7	Nitritt og nitrat .....	93
4.1.8	Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS).....	94

4.2	Velferdsindikatorer som beskriver oppdrettssystemer eller -håndtering .....	95
4.2.1	Vannstrømhastighet .....	95
4.2.2	Belysning.....	97
4.2.3	Produksjonstetthet.....	99
5	OVI og LABVI som verktøy i oppdrett.....	102
5.1	Hvordan bruke OVI og LABVI i forbindelse med vurdering av velferd .....	102
5.2	Vurdering av VI'er sin grad av funksjonalitet .....	103
5.3	Et eksempel på hvordan en kan tolke OVI'er og LABVI'er .....	106
5.4	OVI'er og LABVI'er i framtiden. ....	107
5.5	Oversikt over OVI'er omtalt i del A, og brukt i del B og C av håndboken.....	108
6	Sammendrag av scoreskjemaene.....	109
7	Referanser .....	115

# 1 Introduksjon til fiskevelferd

## 1.1 Dyrevelferd

Begrepet "velferd" omfatter både det å ha gode levekår, og ha en følelse av velvære i kropp og sinn. Vi mener derfor at god dyrevelferd er å sørge for at dyrene blir behandlet godt, og at dyrene har en god opplevelse av livet. Spesielt ønsker vi å unngå at dyr lider og blir utsatt for grusomheter, noe som de fleste mennesker mener er uetisk og galt.

Det er mange fordeler med å bedre dyrevelferden i matproduksjonssystemer, og fiskeoppdrett er ikke et unntak. Oppdretterne vet dette, og har gjennom årene direkte eller indirekte forsøkt å optimalisere driften med et ønske om at fisken skal trives optimalt, vokse og holde seg frisk. Alle disse faktorene er viktig for god velferd.

I tillegg til god oppdrettspraksis og personlig etikk, er dyr i Norge, og de fleste europeiske land, beskyttet av lover og forskrifter. Den norske dyrevelferdsloven (Lov om dyrevelferd, 2009) beskytter alle virveldyr, inkludert fisk, og tiftokreps, honningbier og blekksprut.

For å beskytte og sikre god velferd, må vi ha en felles definisjon og forståelse av begrepet «dyrevelferd». Det er imidlertid ingen konsensus i vitenskapen og samfunnet for øvrig om hva god dyrevelferd innebærer. Både myndighetenes håndhevelse og oppdretternes oppfyllelse av lover og forskrifters krav til god dyrevelferd blir vanskeliggjort av denne mangelen på begrepsmessig og konseptuell klarhet. Tradisjonelle naturvitere og veterinærer har ofte likestilt dyrevelferd med biologisk funksjon. Det vil si at et sunt dyr med god vekst og ytelse blir oppfattet som å ha god dyrevelferd. Et annet syn, ofte fremmet av dyrevernorganisasjoner, er retten til et naturlig liv. Dette innebærer at et dyr har et høyt velferdsnivå om det er i et mest mulig naturlig miljø, har naturlig vekst og ytelse, og er gitt mulighet til å utføre medfødte, artsspesifikke og instiktive atferdsmønstre. Et tredje syn, er basert på at dyrene har følelser og affektive tilstander. Dette synet blir ofte fremmet av eiere av kjæledyr, dyrevernaktivister og dyrevelferdsforskere. Her vektlegger man at et dyr har et høyt velferdsnivå om det er fri fra langvarige negative følelser (f.eks. smerte og frykt) og gis mulighet til positive opplevelser (Duncan 1993, 1996, 2005; Torgersen mfl. 2011). I praksis er det en stor grad av overlapping mellom disse tre syn på dyrevelferd, men ved å inkludere fysiologiske funksjon, følelser og levekår i det samme konseptet blir det svært komplisert og vanskelig å vite hvordan en best kan vurdere og dokumentere dyrevelferd i praksis.

Oppsummert er vi alle bekymret for dyrs lidelser. De fleste forskere og lekfolk er enige om at dyrevelferd er relatert til hva det enkelte dyrs erfaring og oppfattelse er. I denne håndboken vil vi derfor bruke følgende definisjon:

**Dyrevelferd = livskvalitet som oppfattet av dyret selv**

Ved å bruke denne definisjonen, mener vi at fisken må ha en viss form for en bevisst kvalitativ opplevelse av livet for å kunne oppleve velferd. Organismer uten noen form for bevissthet har ingen mulighet til å oppleve sin egen livskvalitet. For disse har velferdskonseptet ingen mening, og må byttes ut med begreper som god helse, fysiologisk funksjon eller ytelse.

## 1.2 Fiskens bevissthet og kognisjon

For å oppfylle sine behov, overleve og reprodusere seg, må fisk sanse og samhandle med omgivelsene sine. Fisk har et rikt utvalg av sanser og en relativt stor hjerne tilpasset den enkeltes arts spesifikke habitat og levested. Det er store forskjeller i sensoriske egenskaper mellom ulike fiskearter, men de mest vanlige sansene er lukt, smak, syn, hørsel, følelse av vibrasjoner, trykk, temperatur, vannbevegelse, kroppens orientering og bevegelse, og ulike typer nosiseptorer (nervereseptorer som aktiveres av stimuli som kan forårsake vevsskade). Hvert sekund kommer det millioner av signaler fra de sensoriske systemene til hjernen. Det har ingen hensikt å samle inn all denne informasjonen hvis fisken ikke kan nyttiggjøre seg av denne. Fra myriadene av innsamlede signaler, må fiskene skape seg en indre forståelse av sin ytre verden og hva som skjer der. Fiskens opplevelse av omverden, eller «Umwelt» (von Uexküll 1921), er sannsynligvis svært forskjellig fra vår. De ulike fiskeartene har høyst sannsynlig også et variert spekter av hvordan de oppfatter verden, avhengig av deres spesifikke sansesystemer og hjerner. Men, uten evne til noen form for persepsjon, oppfattelse, læring, hukommelse, kognisjon og bevissthet ville ikke fisk kunne oppføre seg og leve slik som vi observerer at de gjør.

Å kunne sette sammen de nevrale prosessene til en helhet, samt evnen til å vite hva som er bra og hva som er dårlig, er avhengig av læring og hukommelse. Det som registreres og observeres må settes i sammenheng med tidligere erfaringer for å kunne forstås og for å kunne vite om det bør handles og i tilfellet hvilke handlinger som må utføres. Modeller i hjernen systematiserer fortløpende millioner av fotoner som når netthinnen til objekter og bevegelser basert på tidligere erfaringer. Objektene og bevegelsene blir kategorisert til å ligne, være lik, eller ulik og ukjent tidligere observerte objekter og hendelser. Uten denne egenskapen ville alle nye objekter og hendelser alltid være forskjellige og ukjente. Hadde denne egenskapen manglet ville det vært umulig for fisk å lære. Det ville ikke vært noen fordel å huske noe som helst, og ingenting ville gitt mening.

**Studier har vist at fisk har en kvalitativ opplevelse av verden, har god evne til å lære og å huske, har forventninger om fremtiden, en forståelse av tid, kan knytte sammen tid og sted, lage mentale kart over omgivelsene, gjenkjenne grupped medlemmene sine og samarbeide med de (Brown mfl. 2011; Brown 2015; Nilsson mfl. 2010). I tillegg kan fisk lære ved å observere andre, og noen fisk kan til og med gjøre innovasjoner og bruke verktøy (Bratland mfl. 2010; Nilsson mfl. 2010; Millot mfl. 2014).**

Spørsmålet om fisk er bevisst er fortsatt gjenstand for debatt, noe som ikke er overraskende siden vitenskapen ikke vet hvordan bevissthet fremtoner seg selv hos mennesker. De viktigste motstanderne mot eksistens av bevissthet hos fisk hevder at siden fisk sin hjerne mangler neocortex kan de verken være bevisst eller føle smerte (Rose 2002; Key 2016). Dette fordi neocortex er avgjørende for bevissthet hos mennesker. Andre forskere hevder at dette argumentet er feil, ettersom øvrige deler av hjernen kan ha homologe (tilsvarende) funksjoner, og det presiseres at neocortex ikke er avgjørende for bevissthet selv hos mennesker, men snarere definerer graden av bevissthet (Balcombe 2016; Braithwaite og Huntingford 2004; Merker 2016). De mener også at det er svært vanskelig å forklare den avanserte atferden og de mange ulike evnene fisk viser, hvis fisk skulle være helt ubevisste (Braithwaite og Huntingford 2004; Broom 2016).

### 1.3 Velferdsbehov

Alle dyr trenger tilgang til eksterne ressurser som næring og energi for å kunne overleve, vokse og formere seg. I tillegg må de kunne beskytte seg og unngå farer som rovdyr og skadelige miljø. **Dyrs behov kan deles inn i ultimate og i proksimate behov. Ultimate behov er behov som er nødvendige for dyrets overlevelse, mens proksimate behov er behov som ikke er nødvendig for å opprettholde liv i seg selv, men som er utviklet gjennom evolusjonen for å øke dyrets evne til å få oppfylt sine ultimate behov i naturen (Dawkins, 1983).** Noen primære behov (f.eks respirasjon, ernæring, termoregulering, vedlikehold av osmotisk balanse og kroppsintegritet) er avgjørende for overlevelse for alle dyr. Proksimate behov er typisk behov for å utføre atferd som promoterer overlevelse. Dette kan være atferd som forbedrer kroppskontroll og styrke (som å hoppe hos laks eller lek hos unge pattedyr), eller atferd som øker sannsynligheten for å finne mat og beskyttelse (som utforsking av sine omgivelser og samhandling med andre individ).

Det emosjonelle belønningssystemet i hjernen genererer følelser, eksempelvis smerte, sult, frykt, aggresjon, forventning og tilfredshet, for å lede et dyrs atferd mot å oppfylle sine behov (Panksepp 2005; Spruijt mfl. 2001). Et behov som ikke oppfylles, fører ofte til frustrasjon, lidelse og redusert velferd uavhengig av om det er et ultimat eller et proksimat behov (Dawkins, 1990). Noen behov blir verken overvåket eller varslet av de følelsesmessige systemene. Dette kan være behov for ressurser som vitaminer eller mineraler som arten sjeldent mangler i sitt naturlige kosthold, eller mulighet for å sanse skadelige kjemikalier som arten sjeldent eller aldri naturlig vil støte på eller ikke kan gjøre noe for å unngå.

**Velferdsbehov er behov som påvirker velferden negativt og gir negative følelser når de ikke blir oppfylt eller forverres, og gir dyret belønnende positive følelser når de blir oppfylt eller forbedret.**

### 1.4 Definisjon av ulike typer velferdsindikatorer

Vi kan ikke spørre en fisk om hvordan den har det. Vi bruker derfor velferdsindikatorer (VI) for å få en viss anelse om hvor godt fiskens ulike velferdsbehov er oppfylt og dermed dens opplevde velferd. Velferdsindikatorer kan enten være basert på direkte observasjoner av dyrenes tilstand og atferd, eller indirekte indikatorer basert på hvilke ressurser og miljø dyrene lever under (Duncan 2005; Stien mfl. 2013).

Miljøbaserte VI'er er faktorer ved dyrenes miljø og ressurstilgang som forskning har vist påvirker i hvilken grad en eller flere av velferdsbehovene til dyrene er oppfylt. Eksempelvis så må temperatur og oksygenmetning i vann være innenfor et visst intervall for at fisk skal få oppfylt sine behov for termoregulering og respirasjon. Effekten fra disse faktorene kan ha blitt vurdert basert på hvordan fysiologien til dyrene påvirkes, men i et velferdsperspektiv er stressrespons og atferd bedre bevis på dyrets opplevde velferd (Duncan 2005). Siden miljøbaserte VI'er beskriver miljøet snarere enn tilstanden til dyret kalles de ofte for indirekte velferdsindikatorer. Men, siden de beskriver faktorer som har vist seg å påvirke velferd og siden de ofte er lette og raske å måle kan de fortsatt være svært nyttige indikatorer på dyrenes opplevde velferd. I tillegg så oppstår ofte velferdsproblemer på grunn av suboptimalt miljø, noe som gjør at miljøbaserte VI'er i mange tilfeller kan gi varsel om potensielle velferdsproblemer før de kan sees på tilstanden eller atferden til dyrene.

Dyrebaserte VI'er er egenskaper med dyrene selv som indikerer hvor godt en eller flere velferdsbehov er oppfylt. Det kan være tidligere svikt i oppfyllelse av velferdsbehov som nå utkrystalliserer seg på dyret. Eksempelvis kan resultatene av dårlig ernæring komme frem som redusert kondisjonsfaktor, avmagring og dårlige vekstrater. Eller, det kan være tegn på at dyrene ikke vil være i stand til å oppfylle sine behov. Eksempelvis så vil bleke og frynsete gjellefilamenter øke sannsynligheten for at fisk ikke vil klare å oppfylle sitt behov for tilstrekkelig respirasjon, spesielt under stressende eller hypoksiske forhold. Dyrebaserte VI'er basert på atferd kan fortelle mer om den daglige «her og nå» situasjonen. Eksempler på dette er gjellelokkrate og svømmeatferd. Høy pusterate (gjellelokkrate), med gisping og gaping i overflaten, kan tyde på dårlige oksygenforhold i en oppdrettsmerd. Dyrebaserte VI'er blir også noen ganger kalt utfallsbaserte velferdsindikatorer for å understreke at disse VI'ene måler resultatet av behandlingen av dyrene. Men selv om dyrebaserte VI'er er mer direkte knyttet til tilstanden til dyrene enn miljøbaserte indikatorer er de ofte først synlige etter at problemet har oppstått. Når det gjelder dyrebaserte VI'er som sår og skader på enkelt dyr, er de også for seine, i betydningen at disse individene allerede er negativt påvirket og sannsynligvis vil fortsette å ha lav velferd i tiden fremover til sårene eventuelt leges. Men tegn på dårlig velferd, trivsel og sykdom i en mindre andel av individer i en populasjon kan indikere at velferden også til hovedpopulasjonen står i fare. På populasjonsnivå kan derfor også slike VI'er fungere som varsel på et økende velferdsproblem.

Mens mange indirekte og direkte VI'er er gode til å kvantifisere dyrevelferd i laboratoriet eller under kontrollerte studier, så er ikke alle like lette å bruke under industrielle forhold. **VI'er som kan brukes i den daglige driften av kommersiell dyreproduksjon betegnes som operative velferdsindikatorer, OVI'er** (Noble mfl. 2012a) og må

- i) gi en gyldig refleksjon av dyrevelferd
- ii) være enkel å bruke
- iii) være pålitelig
- iv) være repeterbar
- v) være sammenlignbar
- vi) være aktuell og passe til formålet indikatoren er bestemt for

Videre, for å kunne sammenligne mellom ulike merder, tanker, lokaliteter og tidspunkt, er det viktig at indikatorene blir målt på en standardisert og formalistisk måte.

Noen VI'er tilfredsstillter de fleste operative krav til OVI'er, men innebærer at en prøve må sendes til et sentralt laboratorium for analyse. Slike indikatorer som gir oppdrettere et robust mål på velferdsstatusen til fisken innenfor en tidsramme som er akseptabel for brukeren **har vi kalt laboratoriebaserte velferdsindikatorer (LABVI'er)**.

I prinsippet kan alt som er kjent for å kunne påvirke velferdsbehov eller som kan være en fare for opprettholdelse av disse bli definert som indirekte VI'er. For eksempel, hvis produksjonssystem A er kjent for å ha høyere risiko for dårlig vannkvalitet enn produksjonssystem B, kan hvorvidt en oppdretter benytter produksjonssystem A eller B defineres som en VI. Men å bruke produksjonssystem som VI utdyligger skillet mellom anbefalinger for hvordan en best kan sikre dyrevelferd og hvordan en vurderer dyrevelferd. I tillegg blir en slik VI utdatert idet et nytt produksjonssystem C blir introdusert. Et annet eksempel er at risiko for dårlig vannkvalitet typisk øker med behandlingstid. Behandlingstid kan da bli definert som en VI, men hva hvis oppdretter har funnet en løsning som opprettholder vannkvaliteten? Bildet blir raskt veldig komplisert. En bør derfor benytte VI'er som er generelle og som er så få steg fra det som direkte påvirker eller avspeiler oppfyllelsen av velferdsbehovene som mulig. I eksemplene over er vannkvalitet å foretrekke som VI fremfor produksjonssystem og behandlingstid.



### Definisjon på velferdsindikatorer benyttet i håndboken

- Vi antar at dyr opplever god velferd hvis velferdsbehovene deres er oppfylt.
- Velferdsbehov inkluderer **ultimate behov** som er helt nødvendig for at et dyr skal leve som mat og respirasjon, og **proksimate** behov som laks sin trang for å utforske sitt miljø og å hoppe.
- **Velferdsindikatorer (VI'er)** er alle målinger eller observasjoner som gir informasjon om graden av oppfyllelse av dyr sine velferdsbehov.
- **VI'er som kan brukes i den daglige driften av et anlegg kalles operative velferdsindikatorer (OVI'er).**
- **VI'er som må bli sendt til et sentralt laboratorium for evaluering kalles laboratoriebaserede velferdsindikatorer (LABVI'er).**
- Velferdsindikatorer kan enten være:
  - Direkte dyrebaserte VI'er, basert på observasjoner av og på dyret eller
  - Indirekte ressurs- eller miljøbaserte VI'er, basert på miljø eller ressurser som dyret eksponeres for.

## 1.5 Velferdsstandarder

Det finnes en rekke standarder som ønsker å fremme en mer bærekraftig og velferdsvennlig akvakulturnæring. De fleste av disse standardene fokuserer på å minimere miljøkonsekvensene fra akvakultur, eller på hvordan en kan unngå helserisiko og spredning av patogener, men de inneholder også vanligvis noe om fiskevelferd. En av de mest fremtredende standardene er «Aquatic Animal Health Code» som er utviklet av Verdens dyrehelseorganisasjon (OIE) for å sikre hygiesikkerhet i forbindelse med internasjonal handel med akvatiske dyr (OIE 2015a). Denne koden inneholder noen generelle føringer om fiskevelferd og sjekklister med krav for å minimere negative effekter av transport og slakt på fiskevelferd. GLOBALG.A.P er en organisasjon for trygg og bærekraftig landbruk. De har utviklet en akvakultur standard som blant annet inneholder omfattende sjekklister som skal sikre at tiltak for å opprettholde fiskevelferd er på plass (GLOBALG.A.P 2016). Mange av disse kriteriene refererer tilbake til «Aquatic Animal Health Code». GLOBALG.A.P. tilbyr kurs om hvordan en skal forstå og etterleve standarden, og for å bli GLOBALG.A.P. sertifisert må oppdrettsselskapene gå gjennom årlig inspisering og godkjennes av et akkreditert sertifiseringsorgan. De fleste store oppdrettsselskapene har GLOBALG.A.P. sertifisering. Fokus for kriteriene i standarden er i hovedsak om hvorvidt de ansatte har korrekt opplæring, at det utføres korrekt loggføring, og om utstyret og oppdrettsrutinene er tilfredstillende. GLOBALG.A.P. standarden er derfor mer en generell liste over hva som bør være på plass, og gir bare i begrenset grad detaljer om hvordan en sikrer dyrevelferd. Dette er delvis rettet opp i retningslinjene for god praksis for Skotsk akvakultur «Code for Good Practice for Scottish Finfish Aquaculture» (Scottish Salmon Producers Organisation 2016), som ligner GLOBALG.A.P. standarden, men hvor mange av sjekkpunktene gir spesifikke krav til fiskevelferd. Eksempel på dette er krav til at vannkvaliteten skal være god, krav til hvordan vannkvalitet skal registreres og krav til vannføring; vannets hastighet må ikke være så høy at fisken ikke klarer å stå mot strømmen. Overholdelse av koden blir revidert av uavhengige sertifiseringsorganer, og om lag 90 % av skotsk lakseproduksjon benytter seg av dette systemet. «Aquaculture Stewardship Council» (ASC) ble grunnlagt av Verdens naturfond (WWF) og «Dutch Sustainable Trade Initiative» (IDH) i 2010. ASC er en uavhengig ikke-profit organisasjon, med formål å skulle fremme den beste praksisen innen havbruk. Etter en rekke

rundebordskonferanser som inkluderte representanter fra den globale akvakulturnæringen, detaljhandel, restaurantnæringen, frivillige organisasjoner, myndigheter og det vitenskapelige miljø publiserte ASC en standard for lakseoppdrett i 2012 (ASC 2012). Standarden tar sikte på å begrense miljøkonsekvensene fra oppdrett, men har også noen konkrete kriterier for fiskevelferd. Blant annet kreves det regelmessige besøk fra veterinær, sykdomsovervåking og det er satt en øvre grense for fiskedødelighet fra virusrelatert sykdom. Denne standarden er stadig mer populær og flere og flere oppdrettsanlegg er blitt ASC sertifisert. I 2015 var det 84 ASC sertifiserte oppdrettsanlegg i Norge. Global Aquaculture Alliance er en internasjonal organisasjon for ansvarlig akvakultur som har utviklet et sertifiseringsprogram spesielt for laks (BAP 2016). Selv om standarden hovedsakelig fokuserer på miljøansvar, dekker standarden også fiskevelferd. Kravene i forhold til fiskevelferd er forholdsvis korte, men listen over krav er ledsaget av en innledende tekst som forklarer hva som menes med fiskevelferd. Det gis også en oversikt over atferdsindikatorer, fargeendringer og morfologiske abnormiteter som bør overvåkes, og hvis tilstede må oppdretter finne årsaken og korrigere disse. I motsetning til de ovennevnte standardene er RSPCA-standardene for atlantisk laks og regnbueørret spesielt utviklet med henblikk for fiskevelferd (RSPCA 2014, 2015). Standardene er basert på ekspertise fra industri, vitenskap og veterinærer, og gir detaljerte og omfattende velferdskrav til dyrehold, miljø, fôring, helse, ledelse, transport, slakting og håndtering. Standardene inneholder også mange direkte dyrebaserte OVI'er, og de mest vanlige indirekte, miljøbaserte OVI'ene. Mer enn 70% av den britiske lakseproduksjonen er RSPCA-sertifisert, og RSPCA rapporterer at standarden har bidratt til en bedring av fiskevelferden i Storbritania sine oppdrettsanlegg.

## 1.6 EFSA- Risikovurdering

Den vitenskapelige komité for dyrehelse og dyrevelferd (AHAW), utnevnt av European Food Safety Authority (EFSA), publiserte i 2008 to ekspertvurderinger av velferdsaspekter vedrørende forskjellig oppdrettssystemer og livsfaser for oppdrettslaks og regnbueørret (EFSA 2008ab). For hvert livsstadium og oppdrettssystem identifiserte de potensielle farer for fiskevelferd og helse, og rangerte farene etter alvorlighetsgrad, andel av populasjon som vil bli påvirket, sannsynlighet for at farene opptrer og sannsynlig varighet. Disse listene kan brukes som en kontroll på hva en bør være spesielt oppmerksom på og til å vite hvilke deler av et oppdrettssystem som bør overvåkes ekstra nøye for eventuelle uregelmessigheter. AHAW grupperte farene i forhold til miljø, dyr, dyrehold, fôring og sykdomsfarer. Miljørisikoer som nevnes er raske endringer av vanntemperatur, for høy vanntemperatur, for høy vannføring, for lavt vannoksygeninnhold, for høyt karbondioksidinnhold (resirkuleringsanlegg), for høyt ammoniuminnhold (resirkuleringsanlegg), upassende bruk av lysregulering, upassende saltholdighet og manglende vertikal støtte for yngel. Dyrebaserte risikoer som nevnes er aggresjon og høy fisketetthet. Ulike håndteringsrisikoer som nevnes er mangel på biosikkerhet, mangelfull opplæring av personalet, manglende sortering og håndtering. Fôringsrisikoer som nevnes er ubalansert kosthold, mangel på fôr (lang sikt), mangel på næringsstoffer og vegetabiliske proteiner. Helse- og sykdomsrisikoer som nevnes er soppinfeksjoner (*Saprolegnia* sp.), øyeskader, øyeinfeksjoner, IPN, furunkulose og lakselus. I 2009 publiserte AHAW også ekspertvurderinger om velferdsaspekter rundt avliving og slakting av oppdrettslaks og regnbueørret (EFSA 2009a, b). Her identifiserte de endring av ryggfarge fra grå-svart til blå-grønn, panikksvømming nær overflaten, fisk som svømmer på siden, fisk som gulper luft i overflaten, fisk som løftes ut av vannet og utmattet fisk som klare tegn på for intens trening.

## 1.7 Vurderingsprotokoller for fiskevelferd

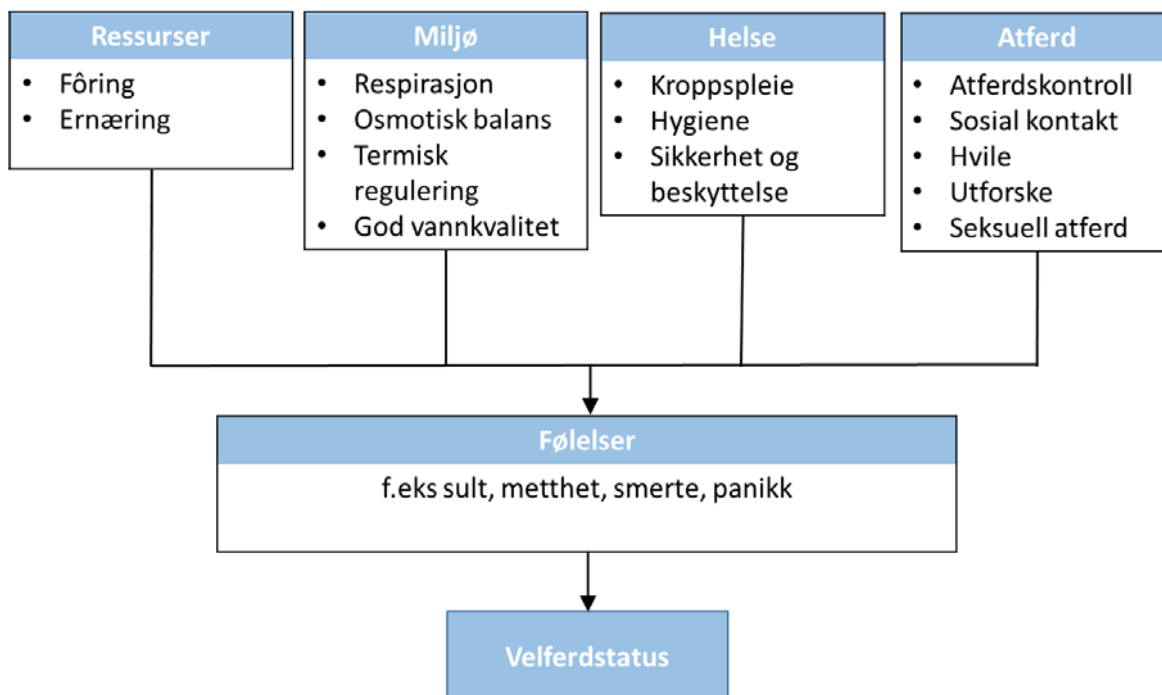
For å dekke opp de ulike aspekter ved dyrevelferd, bruker de fleste dyrevernvurderingsprotokoller og forskere en kombinasjon av direkte og indirekte velferdsindikatorer. De definerer vanligvis et sett av velferdsindikatorer som de mener er hensiktsmessig for å avdekke mulige effekter ved den aktuelle behandlingen, og som er praktisk og rimelig å bruke. Dette kan omfatte både indikatorer som beskriver oppdrettsmiljøet, den fysiologiske tilstanden til fisken, fiskens atferd og utseende. Også dødelighet brukes ofte som en indikator i slike sammenhenger. Etter forsøket blir så resultatene for indikatorene diskutert enkeltvis eller analysert sammen ved hjelp av statistiske teknikker. Protokoller for registrering av fysisk skade eller misdannelse er foreslått i RSPCA velferdsstandard for laks, velferds vurderingsprotokoll utviklet av Veterinærinstituttet (VI) og laksevelferds Indeks modellen (Salmon Welfare Index Model) (SWIM). Disse protokollene vurderer velferdstilstanden hos enkeltfisk basert på et sett av VI'er som beskriver eventuelle ytre deformasjoner, skader og sykdomstegn (se tabell 1.7-1). Hver VI er delt inn i nivåer fra høy til lav velferd, og resultatene blir vanligvis representert som fordeling av fisk før og etter behandling med de ulike nivåene. I SWIM-protokollen er nivåene ikke bare rangert fra høy til lav velferd, men også vektet i henhold til deres innvirkning på velferdsbehov. Dette brukes til å beregne et aggregert velferdsskår fra 0 (dårligst) til 1 (best) for hver enkelt fisk. På denne måten får en et enkelt tall som kan brukes for å sammenligne gjennomsnittelig velferdsskår mellom to grupper fisk. Fordelen med å bruke utfallsbaserte velferdsindikatorer som i disse protokollene, er at de er uavhengig av system og behandling, og kan brukes i de fleste situasjoner. Slike protokoller har også potensiale til å bli brukt som et tidlig varslingsystem. Med det samme fisk viser ytre tegn til skader eller sykdom må oppdretter foreta undersøkelser og eventuelt rette på situasjonen hvis noe er galt, helst før dødeligheten også begynner å øke.

**Tabell 1.7-1.** Velferdsindikatorer som beskriver utseendet på enkeltfisk i RSPCA sine velferdsstandard (RSPCA 2015), velferd vurderingsprotokoll av Veterinærinstituttet (Grøntvedt mfl. 2015; Gismervik mfl. 2016; Gismervik mfl. 2017) og i SWIM 1.1 (Stien mfl. 2013; Pettersen mfl. 2014).

RSPCA protokoll	VI protokoll	SWIM 1.1
Tap av øye/skade	Øyeskade	Øyestatus
Snuteskade	Katarakt	Munn- og kjeveskade
Kjevedeformitet	Snuteskade	Øvre kjeveskade
Gjellelokkdeformitet	Finneskade	Nedre kjeveskade
Ryggfinneskade	Skjelltap	Gjellelokkstatus
Halefinneskade	Hudblødninger	Finnestatus
Skjelltap/hudskade	Sår	Hudstatus
Ryggraddeformitet	AGD gjellescore	Ryggraddeformitet
Skader fra sjølus	Gjellescore (andel bleke punkter)	Sjølus per cm <sup>2</sup>
	Grad av gjelleblekhet	Gjellestatus
	Gjelleblødning	Kondisjonsfaktor
		Grad av avmagring
		Grad av kjønnsmodning
		Smoltstatus

## 2 Velferdsbehov hos laks

Grovt sett kan velferdsbehov hos laks deles inn i behov knyttet til tilgjengelige ressurser, vannmiljø, helse og grad av atferdsfrihet (Fig. 2-1) (Mellor mfl. 2009; Stien mfl. 2013). Oppfyllelse eller økt oppfyllelse av behov blir belønnet av belønningssystemer i hjernen som frigjør opioider som gir en god og behagelig følelse og som dermed bekrefter for fisken at den har gjort en riktig handling (Spruijt mfl. 2001; Dawkins 1990; Panksepp og Biven 2012). Motsatt, når fiskens tilstand av behov forverres vil det medføre frigjøring av neurotransmittere som gir ubehagelige følelser som f.eks. frustrasjon, frykt, aggresjon, depresjon og smerte.



**Figur 2-1.** Velferdsbehov hos laks kan grovt kategoriseres i ressurser som må være tilgjengelig, egnet vannmiljø, god helse og atferdsmessig frihet. Graden av oppfyllelse av disse behovene, påvirker laksenes mentale tilstand og dermed deres velferds status som enkeltindivider. Tilpasset fra "Mellor, D. J., Patterson-Kane, E. & Stafford, K. J. (2009) *The Sciences of Animal Welfare*. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, UK, 212 pp. Copyright 2009" med tillatelse fra Wiley-Blackwell.

En vellykket laks er et individ som kan forutsi hva som trengs, og deretter justere sin ressursbruk og sine kroppsfunksjoner etter behov, og samtidig allokere ressurser til vekst og reproduksjon. For kunne gjøre dette må den utføre bestemte atferder og aktivere fysiologiske stressresponser når det er nødvendig, og å slå disse av når de ikke er nødvendige. For å kunne utføre optimal forutsigbar (prediktiv) regulering av stress (allostase = stabilitet gjennom forandring) må laksen lære hva signalene i sitt miljø betyr, og hva som kan forventes i forhold til disse signalene. Dette er spesielt viktig i et oppdrettsmiljø som laksen ikke er evolusjonært tilpasset til. Forsøk med laks har vist at laks sine stressresponser til et skremmende, men ikke-skadelig, stimuli reduseres raskt fra gang til gang ved gjentatt eksponering (Folkedal mfl. 2010; Brattland mfl. 2010). Det er imidlertid også en grense for laks sin tilpasningsevne og kostnaden for å gjøre feilvurderinger kan være høy. Feilvurderingen kan koste mye energi og panikkatferd kan føre til skader og død (Iversen og Eliassen 2014).

## **Anbefalte velferdsbehov til laks (Stien mfl. 2013)**

### **Spising og ernæring**

Tilgang til næringsrik og sunn mat.

### **Respirasjon**

Opptak av oksygen, og utskillelse av karbondioksid ved ventilering.

### **Osmotisk balanse**

Tilgang til vann med riktig saltinnhold og pH. Sikre at optimale konsentrasjoner av elektrolytter og ikke-elektrolytter er opprettholdt i celler, kroppsvev, og i interstitiell væske.

### **Termisk regulering**

Tilgang til temperaturer de kan tilpasse seg. Mulighet for optimalisering av metabolisme og temperatur, inkludert termisk komfort.

### **God vannkvalitet**

Fraværet av skadelige konsentrasjoner av gasser, ioner, metabolitter, toksiner, og ulike partikler.

### **Kroppspleie**

Mulighet til å rense kroppen, klø, og fjerne parasitter.

### **Hygiene**

Eksponert til miljø med lave konsentrasjoner av skadelige organismer (e.g. parasitter, bakterier og virus)

### **Sikkerhet og beskyttelse**

Mulighet for å unngå fare, og fysiske skader.

### **Atferdskontroll**

Mulighet for å holde balansen og bevege seg fritt.

### **Sosial kontakt**

Samkvem med likesinnede av samme art.

### **Hvile**

Mulighet til å innhente seg etter høy aktivitet, og mulighet for hvile og søvn.

### **Utforskning**

Mulighet for å søke etter ressurser og utforske omgivelsene fritt.

### **Seksuell atferd**

Mulighet til å migrere, utføre paringsadferd og gyte.

Mens noen behov er avgjørende for god velferd og overlevelse for alle fiskearter på alle livsstadier, kan andre atferdsmessige behov være viktig under, eller begrenset til, et eller flere livsstadier (for eksempel seksuell atferd), eller være en form for trening og lek til et senere stadium i livet. Eksempelvis kan laksens hoppeatferd være et behov for trening til å senere oppnå vellykket passering av fosser på vei til gyteplassene. Videre må noen behov være oppfylt til enhver tid (f.eks respirasjon), mens andre behov kan være irrelevant i løpet av kortere akutte hendelser som håndtering og transport (f.eks spising og utforskning). Noen velferdsbehov (ultimate velferdsbehov), som respirasjon, må oppfylles for å opprettholde liv, mens andre velferdsbehov som f.eks utforskning ikke er avgjørende for overlevelse i en oppdrettssituasjon (proksimate velferdsbehov), men velferden kan likevel bli redusert om disse behovene ikke er oppfylt.

## 2.1 Spising og ernæring

Følelsen av sult er «en følelse av ubehag eller svakhet forårsaket av mangel på mat, kombinert med ønsket om å spise» (Oxford Dictionaries 2016 © Oxford University Press). Sult motiverer fisken til å søke etter mat og spise. Vellykket spising blir belønnet både med følelsen av metthet og opphør av sultfølelse. Laks er tilpasset variabel og sesongmessig mattilgang. Inntak av mat med det riktige innholdet, er et ultimat behov avgjørende for vekst, fysiologiske funksjon og helse. Selve spiseatferden kan ses på som et proksimat behov, men som pga den tette bindingen til overlevelse utgjør en sterk motivasjonsfaktor. Diverse kondisjoneringforsøk har vist at fisk viser sterk preferanseatferd mot den foretrukne maten. Dette gjelder også motsatt; ingen eller liten grad av motivert atferd mot ikke foretrukne mat. Dette indikerer at fisk har emosjonelle, kvalitative komponenter som består av lyst og smak, og en intern «ide» om hva slags mat den foretrekker og forventer (Warburton 2003). Spisemotivasjon, atferd og fôropptak kan også øke med varigheten på sulteperioden, noe som igjen indikerer at emosjonelle tilstander påvirkes av sult. Slik oppstår en trang til å løse situasjonen, og tilgang til mat blir emosjonelt givende. For alle dyr, er det viktig å unngå mat med lav næringsverdi eller med skadelige innhold. Dette kan sees allerede på larvestadiet hvor fisk viser sterke matpreferanser. Fisk viser også mat aversjon mot mat forbundet med sykdom (Manteifel og Karelina, 1996).

Når spising er definert som å tilfredsstillere et behov for mat kan det være sidestilles med begrepet appetitt som defineres som "et naturlig ønske om å tilfredsstillere et kroppslig behov, spesielt for mat" (Oxford Dictionaries 2016 © Oxford University Press). Et sentralt mål i forhold til å tilfredsstillere velferdsbehov vil derfor være å gi fisken en arts- og livsstadium bestemt rasjon, som tilfredsstillere appetittkravene de har. I praksis kan dette målet være vanskelig å oppnå, da appetitten hos både individer og grupper av fisk kan variere fra dag til dag (Juell mfl. 1993; Noble mfl. 2008). Variasjon i appetitt for en gitt livsfase hos atlantisk laks trenger ikke å være en indikasjon på dårlig velferd *per se*. For eksempel kan lakseyngel utvise naturlig adaptiv anoreksi om vinteren, og dermed velge å ikke spise. Lav appetitt trenger derfor ikke å bety dårlig velferd (Huntingford mfl. 2006).

De eksakte effektene av sulting av fisk er uklare, og påvirkes av tidligere livshistorie, den enkelte individ sine energireserver, arten og gitt livsfase. De ulike effektene kan også bli påvirket av graden av underfôring, også kalt fôrbegrensning (fisk blir matet, men ved reduserte mengder) eller hvorvidt fisken sultes og ikke mottar fôr. Laks viser mer aggresjon når den er sulten (Jobling mfl. 2012; Damsgård og Huntingford 2012) og underfôring har vist seg å skape mer aggresjon og skader enn ingen fôring i det hele tatt (Ellis mfl. 2008). Så for laks virker det som at, på kort sikt, ingen mat fører til bedre velferd enn underfôring.

Ved sulting, hvor fôr unndras fisk for et bestemt antall dager, så skjer dette ofte i oppdrett i forbindelse med slaktning, transport, sortering og ved overføring fra ferskvann til sjøvann. Sulting utføres også ofte



i forbindelse med fiskehelsekontroll, vaksinerings og medisinerings (Branson 2008). Dårlige miljøforhold, som for eksempel høye temperaturer eller lave oksygenivå, kan også motivere til fôrstopp for å begrense velferds- og dødelighetsrisiko. Videre kan utbrudd av en smittsom sykdom også lindres ved en midlertidig fôrstopp i fôring (Branson 2008). Underfôring, hvor fisken fôres på et nivå som er under fiskenes sine reelle behov kan forekomme om oppdrettere har problemer med å vurdere fôrbehovet i store grupper eller fôr etter tabell og ikke tar hensyn til korte- og langvarige variasjoner i gruppes appetittnivåer (Noble mfl. 2008), eller når tekniske- eller miljøforhold hindrer oppdrettere å fôre fisken optimalt en gitt dag. Hos lakseyngel vil både korte (ca. 10 dager) og lange (ca. 30 dager) perioder med fôrbegrensning kunne være skadelig for fiskevelferd og kunne medføre økt aggresjon og påfølgende finneskader (Cañon Jones mfl. 2010, 2016).

## 2.2 Respirasjon

Opptak av oksygen og frigivelse av karbondioksyd er avgjørende for aerob metabolisme, og for å opprettholde stabil pH i kroppen. Uten mulighet til å respirere vil en laks dø i løpet av minutter. Under en viss oksygenmetning i vannet ( $S_{crit}$ , som er avhengig av temperaturen) kan ikke standard metabolsk rate opprettholdes (dvs. metabolismen hos en fastende og hvilende fisk). For mett og aktiv fisk er stoffskiftet høyere, og den laveste oksygenmetning for aerob metabolisme hos en slik fisk kalles begrensende oksygenmetning (LOS). I praksis er oppdrettsfisk sjelden eller aldri helt tømmt for fôr i magen og under fullstendig hvile, og fiskens aktivitet kan av ulike grunner bli høy. LOS er derfor den mest relevante nedre grense for oksygenmetning i oppdrettsanlegg. Når oksygenmetning er under det nivået som kreves for å opprettholde aerob metabolisme (hypoksi) må fisken ty til anaerob ATP produksjon (glykolyse) (Neill og Bryan 1991). Hypoksi kan føre til en generell stressrespons hos laksefisk (McNeill og Perry 2006; Remen 2012; Van Raaij mfl. 1996). Anaerob metabolisme vil til slutt føre til en utarming av produktene (substrater) for glykolyse, og sammen med en opphopning av anaerobe sluttprodukter (laktat, dvs melkesyre) vil dette føre til døden (Van Raaij mfl. 1996; Van den Thillart og Van Waarde 1985). Effektiv respirasjon og tilstrekkelig tilgang på oksygen i vannet er derfor et avgjørende velferdsbehov for laks og ørret. I tillegg til hypoksi, kan respirasjonen bli begrenset av lufteksposering under håndtering og slakting, og av ikke-funksjonelle gjeller som resultat av skader, sykdommer eller parasitter.

## 2.3 Osmotisk balanse

Laksefisk er anadrom, noe som betyr at de kan tilpasse seg livet i både ferskvann og sjøvann. I ferskvann er laksefisk hyperosmotisk. Dette medfører at laksens kroppsvæsker har høyere saltholdighet enn det omgivende vann og at vann derfor diffunderer inn og saltioner passivt ut. Tapet av ioner motvirkes av et aktivt opptak av ioner ( $\text{Na}^+$  og  $\text{Cl}^-$ ) gjennom gjellene. Gjellenes «filtrasjonshastighet» og reabsorpsjon av salt er høyt, og fisken skiller ut overflødig vann gjennom fortynnet urin. I sjøvann er laksefisk hypoosmotisk, noe som betyr at deres kroppsvæsker har lavere saltinnhold enn sjøvann. Dette medfører at laks og ørret er i en konstant fare for dehydrering gjennom tap av kroppsvæsker, og et økt tilsig av ioner. Vanntapet til omgivelsene motvirkes ved å drikke sjøvann, og ved redusert blodfiltreringshastigheter via nyrene. Overskuddet av ioner ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  og  $\text{Ca}^{2+}$ ) utskilles gjennom gjellene og nyrene. Under smoltifiseringsprosessen øker aktiviteten av enzymet  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$  i gjellene. Dette enzymet er viktig for å opprettholde osmotisk balanse hos laksefisk (Jonsson og Finstad 1995). For å være i stand til å overleve i saltvann må parr, bygge opp en toleranse for det hypoosmotiske sjøvannet. Det er også en fare for at smolt «desmoltifiserer», med andre ord så reverseres smoltifiseringen tilbake til ferskvannsmiljø hvis den holdes for lenge i ferskvann etter smolten har smoltifisert. En ikke-smoltifisert laks vil lide av dehydrering, og dø i løpet av dager hvis den slippes for tidlig ut i sjøen.



## 2.4 Termisk regulering

Temperatur er en av de viktigste miljøfaktorene i laksefisk sine liv. Laksefisk er vekselvarm, noe som betyr at kroppstemperaturen er bestemt av vanntemperaturen til omgivelsene. Temperaturen påvirker derfor faktorer som vekst, metabolisme, smoltifisering, tid til vandring og migrasjon. Brå og store temperaturendringer for laksen kan også føre til stress og død (Ligon mfl. 1999). Det termiske optimum for en art sammenfaller ofte med artens optimaltemperatur for fysiologisk funksjoner. Optimaltemperaturen kan skifte med alderen, og mellom ulike livsfaser (Sauter mfl. 2001).

Vekselvarme dyr kan kun regulere kroppstemperaturen gjennom atferd. Med andre ord kan en laksefisk svare på en ubehagelig vanntemperatur ved å flytte fra ett sted til et annet for å opprettholde termisk komfort. Slik atferdsmessig temperaturregulering hjelper laksefisk å oppnå optimal kondisjon og overlevelse. Vanntemperatur kan fungere som en direkte eller utviklingsmessig komponent i responser som påvirker atferd (Sauter mfl. 2001). Vanntemperaturen er en potent stressor hos laksefisk, som både er kumulativt og positivt korrelert til varigheten og alvorlighetsgraden av eksponeringen. Jo lengre laks blir utsatt for termisk belastning, jo lavere er sjansene for overlevelse (Ligon mfl. 1999). Laksefisk reagerer på akutte temperatursvingninger med kortsiktige fysiologiske responser, inkludert forhøyet oksygenforbruk, og økt aktivitetsnivå (Peterson og Anderson 1969; Beitinger mfl. 2000; Jason mfl. 2006; Bellgraph mfl. 2010; Folkedal mfl. 2012a, b). Endring i temperatur igangsetter også fysiologiske og atferdsmessige akklimatiseringsprosesser hos laksen, som kan vare fra dager til uker avhengig av graden av temperaturendring (Brett og Groves 1979; Jobling 1994).

I sjømerder har det vist seg at laks foretrekker vanntemperaturer opp til rundt 17 °C, og prøver å unngå temperaturer fra 18 °C og oppover (Oppedal mfl. 2011a, b). Forsøk har vist redusert fôropptak og redusert vekst hos post-smolt produsert ved 18°C (Handeland mfl. 2008) og 19°C (Hevrøy mfl. 2012). Dette samsvarer godt med atferdsforsøk hvor laksen unngår vanntemperaturer over 18°C i merder med stratifisert temperatur (Oppedal mfl. 2011a, b). Den øvre grensen for bærekraftige termiske forhold hos post-smolt, synes å ligge i dette området. Temperaturene som laksepost-smolt er utsatt for når de svømmer i havet, eller er fanget i merder, varierer etter årstid, naturlige fluktinger i vannmiljøet og ved frivillig endringer i svømmedybde (Oppedal mfl. 2012a, b). Laks varierer ofte mellom å stå i dypet om dagen på en temperatur til å stå nær overflaten i en bestemt temperatur om natten (Johansson mfl. 2006), og i havet kan de foreta dype dykk helt ned til 1000 m (Lacroix 2013). Dette viser at laks er svært fleksibel i valg av termisk komfortsone.

## 2.5 God vannkvalitet

All fisk behøver å oppholde seg i vann som ikke inneholder skadelige konsentrasjoner av gasser, ioner, metabolitter, toksiner, og partikler. Fisk er kontinuerlig i direkte kontakt med vannet gjennom overflateområder som hud, øyner, gjeller og munn. Laksefisk er mindre tolerante i forhold til dårlig vannkvalitet enn arter som har utviklet seg til å kunne bebo sakterennende eller stagnert vann (Branson 2008). Under oppdrettsforhold er laksefisk sine liv begrenset til oppdrettsenheten, og optimal vannkvalitet «tilbys» for å unngå negative effekter på biologiske prestasjoner og velferd. Minste og høyeste anbefalte konsentrasjoner av de viktigste vannkvalitetsparametere er gitt av Mattilsynet. Vannkvalitet og variasjon over tid er en viktig faktor som bestemmer produksjonspotensialet (Kristensen mfl. 2009) og fiskevelferden i ulike oppdrettssystemer og oppdrettsrutiner.

## 2.6 Hygiene

Høye nivåer av skadelige parasitter, bakterier og virus vil føre til sår, irritasjon og sykdom, og bør unngås. Åpne fiskemerder er spesielt sårbare for organismer som spres med strømmen, og høy tetthet av fisk gir gode muligheter for organismene til å spre seg og finne nye verter og utvikle sykdommen videre. Lukkede eller halvlukkede systemer er også utsatt for sykdomsfremkallende utbrudd, særlig hvis det er dårlig biosikkerhet, vannrensing eller desinfeksjonsrutiner. Håndtering og behandling av fisken kan også medføre riper og sår som svekker fisken immunforsvar, og åpner opp for infeksjoner.

Sykdommer truer den kroppslige likevekten (homeostase), og kan dermed forårsake lidelse og redusert velferd. Dødelige sykdommer vil trolig også føre til perioder med lidelse før død inntreffer, men den skadelige effekten av ulike sykdommer på dyrevelferden varierer på grunn av stor variasjon i hvor mye, og hvordan, de ulike sykdommene påvirker fisken. Effekten på dyrevelferden varierer i forhold til sykdommens intensitet, alvorlighetsgrad og varighet.

## 2.7 Beskyttelse fra farer og skader

For fisk og andre dyr, er beskyttelse fra fare og skader avgjørende for overlevelse. Evnen til å føle frykt, smerte og å lære av tidligere skader er de viktigste utviklede egenskapene for denne type beskyttelse. Frykt kan defineres som en psyko-fysiologisk respons på å gjenkjenne fare, og er en kraftig motivator for å unngå en oppfattet trussel. De kognitive, nevrofysiologiske og atferdsmessige funksjonene i fryktresponsen hos fisk tyder på at de har kapasitet til å bevisst oppleve emosjonell frykt (Chandross mfl. 2004a). Huden til fisk er en hovedbarriere mot infeksjoner, men er myk og utsatt for mekaniske skader, selv om laks og mange andre fisk er beskyttet av fiskekjell. Et bitt fra en annen konkurrerende fisk eller rovdyr kan derfor være dødelig, og fisk kan «synes» å være redde for angrep.

## 2.8 Atferdskontroll

Med atferdskontroll mener vi evnen til å bevege seg bort fra fare og ha kontroll over kroppens bevegelser, inkludert oppdriftskontroll (Stien mfl. 2013). Evnen til å bevege seg bort fra fare er et grunnleggende behov for alle dyr. Det er også viktig å lære å forutse fare og lære av tidligere kritiske hendelser. De fleste fisk vil vise frykt og panikk atferd hvis de blir innestengt eller fanget. Dette ses i fisk som blir rammet av panikk når de vikler seg inn i fiskegarn eller kjemper for å komme seg løs fra en fiskekrok. I fiskeoppdrett skjer dette også når fisken trenges og håndteres. En ser da tydelig unngåelsesatferd, økt oksygenforbruk, og økning i katekolaminer (adrenalin), kortisol og serotonin. Alt dette indikerer stress og frykt.

## 2.9 Sosial kontakt

De fleste fiskearter lever, i det minste i deler av livssyklusen, i grupper. Gruppestørrelsen varierer fra å leve i par, som for Europeisk havabbor (*Dicentrarchus labrax*), til stimer av milliarder av fisk som for Atlantisk sild (*Clupea harengus*). Behovet for sosial kontakt er knyttet til behovet for sikkerhet. Fisk kan søke trygghet og kamuflasje blant artsfrender, og viser slik sett behov for deling av informasjon om mat og farer. I tillegg er sosial kontakt viktig for å finne gytepartner. Det sosiale behovet varierer ofte mellom ulike livsfaser. Laks vil som parr forsvare territoriet sitt i elva, men endres til sosial stimfisk ved smoltifisering og utvandring i sjø. Laks har vist seg å være aggressive i små grupper, men endrer seg og viser stimatferd og mindre aggressivitet ved høyere tettheter (Fernö og Holm 1986). Både i tanker og merder, svømmer oppdrettslaks i strukturerte grupper. I merder, begynner laksen normalt å svømme i en sirkulær stim et par uker etter sjøsetting, og fortsetter med dette gjennom hele produksjonsperioden. Stimen blir vanligvis mer "løs" eller spredt i skumringen, trolig for å unngå fysisk

kontakt med annen fisk i mørke (Juell 1995). Individuell laks kan være svært motvillig til å bryte ut av stimen. I stedet dannes det ofte undergrupper og bimodale vertikale fordelinger av fisk i merden, noe som tyder på at sosial kontakt er viktig for arten (O. Folkedal upubliserte data).

## 2.10 Hvile

Vannhastighet, tidligere aktivitet, fiskestørrelse, vanntemperatur og fôringsstatus er alle viktige faktorer som bestemmer metabolsk margin hos fisk og dens behov for å hvile. Selv om laksefisk kan mestre lange perioder med relativt sterk strøm, må laksen ha perioder der den kan redusere aktivitetsnivået for å unngå at den intense svømmingen går på bekostning av normale kroppsfunksjoner (Farrell mfl. 1991; Thorarensen mfl. 1993). Eksempelvis viste post-smolt (~ 100 g) som hadde svømt konstant ved 1,5 kroppslengder per sekund i 6 uker kroppslig «slitasje» som redusert vekst, høy ventrikelmasse (forstørret hjerte), hud- og finneskader og endret atferd sammenliknet med fisk som hadde svømt ved 0,2 eller 0,8 kroppslengder per sekund (Solstorm mfl. 2016ab). Laks i merd kan takle periodevis høye tidevannsdrevne strømmer ved å bytte posisjon i stimen som en gruppe sykelister i «Tour de France», og dermed dele på ansvaret med å ligge i front, og kunne gå bak i stimen for å hvile (Johansson mfl. 2014). Fisk i sirkulære kar kan normalt velge hastighet i en horisontal strømgradient, og laks i merder har lignende mulighet ved å svømme i den indre delen av den sirkulære stimen (Gansel mfl. 2014). Styrke og mønster på vannstrømmen varierer imidlertid svært mye mellom ulike sjølokaliteter (Holmer 2010).

På grunn av manglende øyelokk sover aldri fisk, slik pattedyr gjør med lukkede øyner. Men siden de oppfyller mange atferdsmessige og fysiologiske kriterier i form av inaktivitet, kroppsstilling, døgnrytme og varierende bevissthetsnivå regnes mange fiskearter som å være i stand til å sove, selv om dette kan variere mellom ulike livsstadier, og være fraværende i perioder med migrasjon og gyting (Reebs 2008-2014). Oppdrettslaks sin stim blir typisk «løsere» eller sprer seg i skumringen og svømmehastigheten avtar (Juell 1995), og svømmehastigheten om natten er ca. 30% lavere enn sammenliknet med svømmehastigheten om dagen (Korsøyen mfl. 2009). Reduksjonen i svømmehastighet er sannsynligvis en atferdsmessig tilpasning pga lite lys, snarere enn uttrykk for hvile, og laks velger å opprettholde svømmehastigheten når det er kunstig lys i merden (Oppedal mfl. 2011a). Det finnes lite informasjon om de basale hvile mekanismene eller "hvilemodus" til laksefisk. Imidlertid indikerer «anekdotiske» bevis på at laks hviler. I løpet av natten med kunstig lys i merdene (kontinuerlig lys), har undergrupper av laks blitt observert å samle seg med vertikal avstanden fra lysene. Fiskene "henger" nesten urørlige med lav respons på eksterne stimuli (O. Folkedal pers. obs). Videre kan vill laksefisk posisjonere seg i strandsonen på kvelden, hvor de er tilsynelatende i en tilstand av søvn (J. Nilsson pers. obs).

## 2.11 Utforskning

Fiskens miljø i oppdrettsenheter, særlig i merder, har typisk både romlig og tidsmessig variasjon i miljøvariabler som strømhastighet, temperatur og lysintensitet (Oppedal mfl. 2011a), men mindre variasjon i andre miljøforhold som f.eks fysiske konstruksjoner. Det å kunne utforske leveområdet sitt er viktig for at fisken skal kunne optimalisere faktorer som temperatur, strømhastighet, og tilegne seg informasjon om rømningsmuligheter, farer og mulige matkilder. Behovet for utforskning kan sidestilles med rovdyrers behov for jakt.

## 2.12 Kroppspleie

Dette er behov som dyr har for å rense kroppen sin, å kunne klø seg og fjerne parasitter. For fisk er dette behovet demonstrert ved at det har utviklet seg flere symbiotiske forhold mellom vertsfisk og rensfisk eller rensereker som fjerner ektoparasitter, sykt eller nekrotisk vev hos verten. Laksefisk kan også benytte seg av ferskvann for å fjerne lus (Birkeland og Jakobsen 1997), og hopping kan være et uttrykk for et forsøk på å fjerne lus (Samsing mfl. 2015).

## 2.13 Seksuell atferd

Kjønnsmoden laks har et iboende behov for å migrere tilbake til sine elver, svømme oppstrøms, utføre parringsritual, velge partner og tilslutt å fullføre gyting (Thorstad mfl. 2011). Denne atferden innebærer en betydelig risiko for skade og mindre enn 10 % av fiskene vil normalt overleve (Flemming og Reynolds 2004). Atlantisk laks starter ofte migrasjonen hjem mange måneder før gyting, hvor første fase innebærer en generell orientering fra beiteområdet mot kysten, og deretter en ny fase med en mer aktiv svømming i kystnære farvann mot opprinnelseselva (Flemming og Einum 2011). Ved inngangen til elva svømmer laksen vanligvis jevnt oppover elva, bare avbrutt av perioder med hvile, før de begynner å søke etter et sted å gyte. Hunnene kan grave på flere ulike steder før de endelig velger gytsted. De graver ved hjelp av en serie med raske haleslag sidelengs ned mot bunnen, noe som kan føre til skjelltap og sår. Hensikten med haleslagene er å lage et vakuum som suger opp grus fra bunnen og dermed skaper en grop for eggene på elvebunnen. Hannene vil ofte være aggressive og sirkle rundt den drektige hunnen, og den mest dominante hannen utfører de fleste av fremstøtene mot hunnen og gjennomfører de fleste gytingene, men også andre hanner (inkludert moden hannparr) kan snike seg tilgang til den gytende hunnen. Hunnen begynner umiddelbart å dekke eggene etter at de har blitt befruktet, mens den samtidig lager en ny grop for neste ladning med egg. Etter gyting vil gjenlevende laks enten dra direkte ut i havet eller overvintre for å vente på vårforhold før de vandrer ut (Flemming og Einum 2011).

### 3 Dyrebaserte velferdsindikatorer

Dette kapittelet beskriver dyrebaserte velferdsindikatorer. Noen av disse er på gruppenivå, og involverer ikke håndtering eller andre forstyrrelser av fisken. Andre indikatorer er på individnivå, noe som i de fleste tilfeller innebærer håndtering, undersøkelser eller blodprøver av enkeltfisk.

**Tabell 3-1.** Liste over dyrebaserte velferdsindikatorer og hvilke velferdsbehov til atlantisk laks disse indikerer er kompromittert eller aktivert.

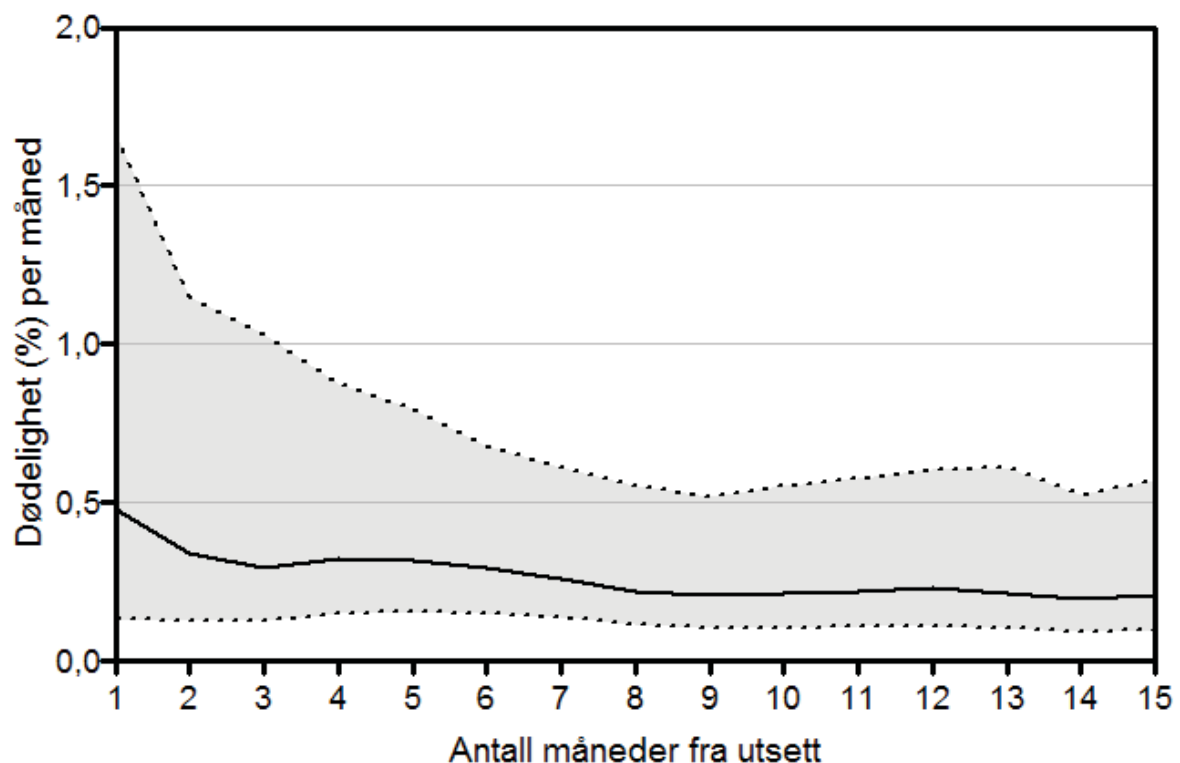
Velferdsindikatorer		Miljø				Helse			Atferd			Res.			
		Respirasjon	Osmotisk bal.	Temperatur reg.	God vannkval.	Kroppspoleie	Hygiene	Beskyttelse	Atferdskontroll	Sosialkontakt	Hvile	Utforskning	Seksuell atferd	Spising	Ernæring
Gruppe	Dødelighetsrate	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Atferd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Overflateaktivitet					x	x		x		x				
	Appetitt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Vekst	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Indikasjoner i vann	x	x					x	x						
	Sykdom	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Gjellelokkfrekvens	x			x			x	x						
	Lakselus	x	x			x	x	x							
	Bleking av gjeller og status	x	x				x				x				
Individ	Kondisjonsfaktor												x	x	
	Utmagringsgrad		x				x						x	x	
	Kjønnsmodningsgrad		x									x			
	Smoltifiseringsgrad		x												
	Ryggsøyledeformitet								x		x				
	Finneskade (ikke fersk)								x		x				
	Finnestatus		x				x	x							
	Skjelltap og hudtilstand		x				x	x							
	Øyeskade og status						x	x	x					x	x
	Gjellelokk deformitet	x													
Blod	Organer i bukhulen						x	x						x	
	Vaksinere relatert patologi												x	x	
	Kortisol		x					x	x	x		x			
	Osmolalitet		x												
	Sammensetningen av ioner		x												
	Glukose							x						x	x
Laktat							x	x		x					

## 3.1 Gruppebaserte velferdsindikatorer

### 3.1.1 Dødelighetsrate

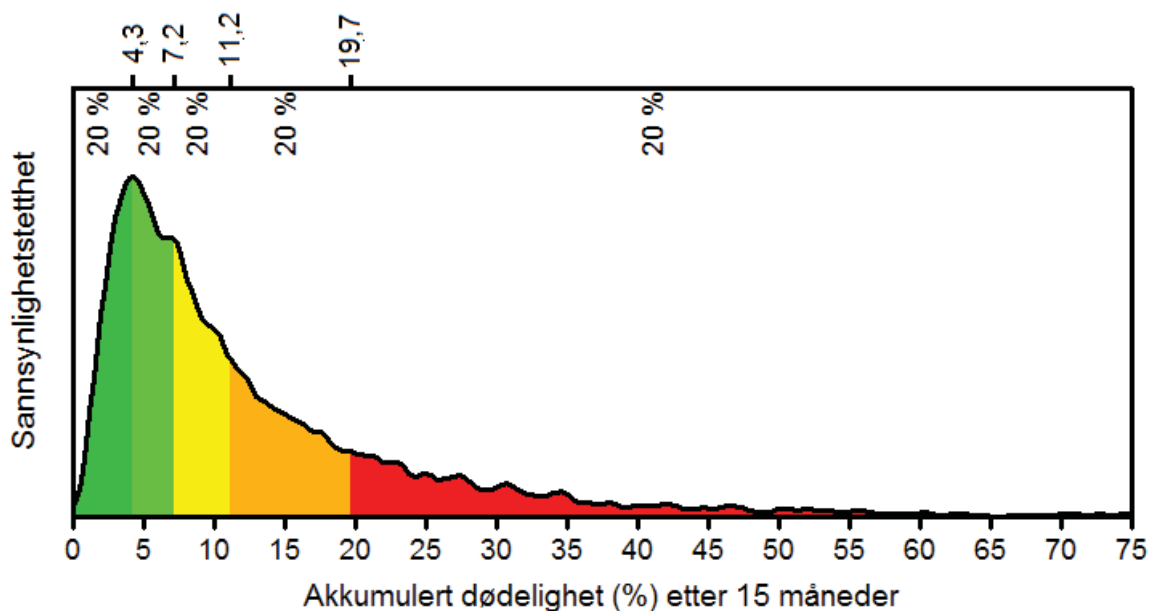
Selv om overlevelse er en forutsetning for å oppleve velferd, er dødelighetsrate kanskje den mest brukte helserelaterte VI'en. Høy eller økt dødelighet tyder på at det er et velferdsproblem i karet eller merden, og at en umiddelbart bør identifisere årsaken og iverksette forebyggende tiltak. På den andre siden er en lav dødelighet ikke ensbetydende med at det ikke eksisterer et velferdsproblem i anlegget. Mange sykdommer kan eksempelvis redusere velferd uten å forårsake død.

Dødelighet som velferdsindikator kan enten være basert på langsiktig eller kortsiktig dødelighet. Kortsiktig dødelighet gir et øyeblikksbilde av nåværende (daglig, ukentlig eller månedlig) dødelighet sammenlignet med tidligere. Det har vært utviklet flere standardiserte dødelighetskurver for laks (Soares mfl. 2011, 2013; Stien mfl. 2016). For post-smolt er standard dødelighetskurve (median) høyest de første ukene etter overføring til merdene, og deretter avtar den og stabiliseres rundt 0,2 % per måned (Fig. 3.1.1-1). Benchmarking av dødelighetsrate brukes i andre bransjer for å identifisere uvanlige mønstre av dødelighet før alvorlig tap har oppstått, og for sporing av sykdommer (Soares mfl. 2011). En åpenbar svakhet med denne tilnærmingen er at faktorer som sår fra håndtering kan fungere som smittebærere, og ofte først fører til økt dødeligheten noen tid etter hendelsen. Dette kan gjøre det vanskelig å identifisere den egentlige årsaken til den økte dødelighet (Soares mfl. 2013), men flere forfattere (Soares mfl. 2011; Salama mfl. 2016) har vært i stand til å koble avvik i kortsiktige dødelighet til negativ utvikling av sykdom for laksepopulasjonen på anlegget.



**Figur 3.1.1-1.** Standard dødelighetskurve for de 15 første månedene i sjø basert på innrapporterte data fra alle norske lakseoppdrettere fra 2009-2015. Kurven gir median månedlig dødelighet, omgitt av 25- og 75-prosentiler.

Langsiktig dødelighet, eller akkumulert dødelighet, er en retrospektiv velferdsindikator som vanligvis brukes til å vurdere velferd av hele eller lengre deler av produksjonssykluser av dyr. En vurdering av hele produksjonen er nødvendig hvis målet er å vurdere en produksjonsmetode, et produksjonssystem eller et produksjonssted. Stien mfl. (2016) brukte fordelingen av total dødelighet etter 15 måneder, basert på innrapporterte månedlig dødelighetsdata fra alle norske lakseoppdrettere 2009-2015, til å klassifisere lakseproduksjoner i fem velferdsklasser: (1) mørk grønn (bedre enn normalt), (2) grønt, (3) gul, (4) og orange (5) rød (verre enn normalt). Å beskrive de 20% av produksjonene med høyest langsiktig dødelighet som verre enn normalt er grunnlagt i at dødelighetskurven er langt fra normalfordelt, men har en lang hale til høyre (Fig. 3.1.1-2). Dette indikerer at disse produksjonene representerer avvik. Disse avvikene kan skyldes iboende egenskaper ved produksjonsområdene, men kan også skyldes tilfeldige faktorer som sykdomsutbrudd og uhell ved håndtering (eksempelvis lusebehandling). Kristiansen mfl. (2014) viste at oppdrettsanlegg med høy gjennomsnittlig dødelighet, også vanligvis har hatt høy variasjon i dødelighet mellom produksjonene. Det er derfor nødvendig å ha mange observasjoner, for eksempel flere års dødelighetsdata for å gjøre korrekte sammenligninger mellom lokaliteter.



**Figur 3.1.1-2.** Fordelingen av dødeligheten etter 15 måneder i sjø. 0 til 4,3% (mørk grønn, bedre enn vanlig velferd), 04.03 til 07.02% (grønn), 07.02 til 11.02% (gul), 11,2 til 19,7% (oransje), > 19,7% (rød, verre enn vanlig velferd).

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Daglig telling av antall døde fisk i oppdrettsenheten. Langsiktig dødelighetsrate (eksempelvis kumulativ dødelighet eller overlevelse), kan brukes som en retrospektiv velferdsindikator. Kortsiktig dødelighetsrate (daglig dødelighet), kan brukes som en operasjonell velferdsindikator (f.eks Ellis mfl. 2012a). Det er viktig å fastslå dødsårsak for å muliggjøre tiltak som kan gjennomføres for å forhindre ytterligere dødelighet.



## Styrke til indikatoren

Enkel indikator på populasjonsnivå som allerede registreres som en del av den daglige driften av et oppdrettsanlegg. Hvis den blir kombinert med dødsårsaker (patologi) kan den være et godt verktøy for å forhindre flere tilfeller.

## Svakhet til indikatoren

Dødelighet er en relativt unøyaktig velferdsindikator. Den er bare målbar på populasjonsnivå, betydningen er avhengig av dødsårsak, og det er for sent for de individene som bidrar til statistikken. Man kan heller ikke anta at null dødelighet indikerer god velferd, i det velferden kan være redusert uten at dette vises som dødelighet (dette gjelder de fleste VI'er).

### 3.1.2 Atferd

Atferden til fisken er sannsynligvis en av de beste velferdsindikatorerne, og den eneste VI'en hvor en har tilgang til den subjektive opplevelsen av fisken. Oppdrettere bruker atferd som en viktig del av deres overvåking av fiskens velferd. Eksempelvis er et stort antall laksemerder utstyrt med undervannskamera. Atferd gir en hurtig indikasjon av tilstanden til fisken, og i de fleste tilfeller kreves det ingen interaksjon med dyret. Selv om det er hevdet at fiskens mangel på ansiktsuttrykk gjør det vanskelig å tolke fiskens følelser, så har fisk et rikt «kroppsspråk». Dette vises som varierende svømmeaktivitet, visning og orientering av finnene, gjellerate, hudmønstre, hvordan fiskene posisjonerer seg i vannet, og hvordan de reagerer på tilbudt mat. For eksempel kan manglende appetitt, stereotyp og treg svømming, ustrukturert eller ingen stimatferd indikere sykdom eller stress og dårlig velferd. Atferdsindikatorer for god velferd er f.eks utforskende atferd og normal stiming. «Fryseatferd», hvor et individ forblir urørlig (Vilhunen og Hirvonen 2003), er observert under frykt (Yue mfl. 2004), eller som en antipredator strategi (Vilhunen og Hirvonen 2003). I tillegg har en rekke forskjellige atferdsmønstre vært knyttet til «fight-flight» responsen (Ashley 2007; Sneddon mfl. 2016), hvor fisken flykter, gjemmer seg og søker ly, eller intensivert stimatferd. I oppdrettsrutiner og -prosesser kan fluktatferden også manifestere seg i "gravende atferd", når fisken får panikk og graver seg inn i bunnen av nettet eller tanken. Aggressiv atferd (forfølgelse, biting og angrep) kan også observeres under visse livsstadier (Cañon Jones mfl. 2010) eller ved visse rutiner (Noble mfl. 2007). Smerte kan også utløse atferd hvor fisk skrubber og gnir mot overflater (Sneddon 2006; Sneddon mfl. 2016).

Observasjoner av atferden av en populasjon av fisk kan også være en god VI. Gruppas svømmeatferd omhandler stimstruktur, polarisering, horisontal og vertikal fordeling av gruppa, og dens svømmehastighet og retning. Den allmenne tilstand og velferd hos fisk vil påvirke de "trafikkreglene" som fisk til enhver tid følger. Dette kan gi observerbare endringer i gruppas svømmeatferd. Slike endringer i gruppe dynamikken kan brukes som indikatorer på stress- eller velferdsnivået (Martins mfl. 2012). For eksempel, dersom stimen i en merd øker svømmehastigheten og posisjonen nærmere fôringsområdet før eller ved begynnelsen av et måltid, kan dette være en indikator på god velferd. Men hvis denne atferden vedvarer i løpet av et måltid eller over et antall dager, kan det også være en indeks for konkurranse om en potensielt begrenset ressurs (Noble mfl. 2007), og fisken kan bli underernært. Tilsvarende kan ustrukturert svømming langs bunnen av merden eller karet være en indikator på akutt stress.

## **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Kvalitative endringer i fiskens atferd kan lett bli vurdert ved manuell observasjon ved merdkanten, noe som gjør atferd til en nøkkel OVI for å oppdage mulige velferdstrusler. Kvalitativ vurdering kan utføres ved vannoverflaten i nåtid, selv om dette kan gi et begrenset synsfelt både i brede, dype eller turbide produksjonssystemer. Undervannskamera er mye brukt til å observere atferd, f.eks til å overvåke fôring i merder. Disse gir et bedre perspektiv av fiskens atferd. Kameraene kan være vinsjmontert og mobil, og dekke et større område innen oppdrettssystemet i nåtid. Disse kameraene krever midlertidig aktiv oppfølging av observatøren. Ekkolodd kan gi en mer objektiv måling av fiskens atferd i merder, noe som gir direkte data om posisjonen og den vertikale fordeling av fisken i merden. Signalet fra ekkolodd svingeren sprer seg ut i en kjegleform, noe som betyr at ekkoloddet overvåker et svært lite område i de første få meterne nær svingeren. Svingeren er derfor ofte plassert dypt i, eller under, merden. Denne peker oppover for å være i stand til å få en god registrering av fisk nær overflaten. Ekkosignalet fra laksen er nesten i sin helhet en refleksjon av svømmeblæren. Et svakt signal kan derfor bero på at laksen har tømt sin svømmeblære for luft (Korsøen mfl. 2009). En annen feilkilde er at fisk nær svingeren kan svømme utenfor det kjegleformede signal området.

### **Styrke til indikatoren**

Endringer i fôringsatferd, gjellerate, aggresjon, individ- og gruppesvømmatferd, stereotypisk og unormal atferd, er alle knyttet til akutte og kroniske stressfaktorer i akvakultur. Avvik fra normal atferd er etablerte tegn på sykdom og dårlig velferd (Martins mfl. 2012). Både undervannskamera og ekkoloddteknologi er relativt billig, og kan gi et nåtids bilde av tilstanden i et anlegg.

### **Svakhet til indikatoren**

Mange atferdsindikatorer er vanskelige å kvantifisere, og svært avhengig av motivasjon og ferdigheter til observatøren. Kvantitative endringer i fisken sin atferd, eksempelvis som absolutte endringer i svømmehastighet, aggresjonsnivåer, gjelle rytme frekvens, er for det meste bare oppnåelig ved senere analyser av innsamlede videodata. Data fra disse faktorene vil dermed gjøre kvantitativ analyse av denne type fiskeatferd arbeidskrevende. For å kunne stole på en manuell subjektiv observasjon av unormal atferd, krever det at oppdretteren vet hva som er normalt i en gitt livsfase, produksjonssystem og vannmiljø. Oppdretter kan også ha vanskeligheter med å forklare og kvantifisere hva unormal atferd består av.

For å gjøre en kvantitativ atferdsanalyse til en ren OVI, er teknologiske fremskritt nødvendige. Nye og kommende teknologiske løsninger som gir nåtids, objektivt automatisert og kontinuerlig overvåking av fiskeatferd, må utvikles og gjøres operasjonelle før de tas i bruk. Disse kan omfatte maskinelle visuelle løsninger, eller biotelemetri og biologgere. Ekkoloddteknologi som registrer vertikal posisjon og distribusjon av fisken, er allerede tilgjengelig og i hyppig bruk i vitenskapelige småskala eksperimenter. Det er imidlertid vanskelig å få nøyaktige representasjoner av fiskefordeling i kommersielle merder med store mengder fisk. Dette kan enten være på grunn av at ekkosignalet bare dekker en liten del av det horisontale området av merden, eller at det med jevne mellomrom er for mange fisk foran svingeren og dermed forringer eller hindrer signalet.

### 3.1.3 Appetitt

Behovet for mat og tilgang til fôr er et veletablert velferdskrav for oppdrettsfisk. Men om en fisk velger å konsumere fôret når den fôres, eller hvor mye fôr som fortæres, kan være avhengig av en rekke inter-relaterte atferdsmessige og fysiologiske faktorer. Blant en av disse faktorene er appetitt (Jobling mfl. 2012). Appetitt påvirkes selv av en rekke faktorer. To fremtredende faktorer er i) ernæringsmessige status til fisken og dens energireserver og ii) grad av fylt mage på tidspunktet for fôring (se Jobling mfl. 2012). I tillegg kommer sesongbasert tilpasning og motivasjon for å spise. Når fisk tar beslutningen om å spise, kan appetitt også være regulert av atferdsmessige faktorer som konkurranse (Reebs 2002) den ernæringsmessige sammensetningen i fôret. Videre vil miljømessige faktorer som vanntemperatur, dagslengde, oksygenmetning og helsetilstanden hos fisken diktere og påvirke appetitten (Austreng mfl. 1987; Costello, 2006; Damsgård mfl. 1998, 2004; Noble mfl. 2007; Oppedal mfl. 2003; Remen mfl. 2016a).

Livsfasen påvirker også appetitten hos laksefisk. For eksempel, villyngel som velger å utsette migrasjon fra elv til sjø har lave appetittnivåer om vinteren, og kan gå inn i en tilstand av faste (Metcalfe og Thorpe 1992). Større laks gjennomgår også en periode med faste før gyting, som ofte innledes med en appetittøkning før fisken slutter å spise (Kadri mfl. 1996).

I oppdrett kan eksponering for ulike stressorer også ha en betydelig innvirkning på appetitten. En stressfaktor kan for eksempel være gjentatte forstyrrelser. Dette betyr at tiden det tar for appetitten å komme tilbake etter eksempelvis en behandling, kan også brukes som en OVI i oppdrettssammenheng. Effekten av dette komplekse innbyrdes forholdet av biotiske og abiotiske faktorer ved appetitt er sammensatt. Dette gjelder både innen samme art og mellom ulike arter og livsstadier, og mellom individer og populasjoner av ulike størrelser. Derfor blir det vanskelig å gi klare driftsanbefalinger på appetitten hos fisk. Faktisk, på grunn av den iboende variabiliteten i appetitt, kan anbefalinger om absolutte verdier være potensielt skadelig for velferden til fisken og driften i anlegget. For eksempel er det store individuelle døgnvariasjoner i appetitt på gruppe- og individnivå hos laks, selv under stabile miljøforhold, med minimale forstyrrelser (Noble mfl. 2007; Jobling mfl. 2012). Hvis oppdretter fôrer en fast rasjon i henhold til en teoretisk appetitt-terskel, kan de risikere enten å underfôre eller å overfôre fisken med de potensielle velferdskonsekvensene dette får.

Laks er også tilpasset et svært variabelt miljø, der fôrtilgang kan være uforutsigbart. Fisk er derfor i stand til å tåle både korte og langsiktige perioder uten fôr eller med redusert tilgang til fôr (f.eks Huntingford mfl. 2006). Denne toleransen i forhold til sulting er avhengig av deres ernæringsmessige status og energireserver ved starten av sulteperioden. De potensielle velferdskonsekvensene av å ikke gi fisk nok fôr til å kunne tilfredsstillende appetitten deres, er blant annet økt konkurranse, økt aggresjon, økt skade og økt stressnivå (Cañon Jones mfl. 2010). Langvarig vedlikeholds-fôring for å opprettholde fiskestørrelsen eller for å begrense veksten, kan også føre til en markert svekkelse av velferden. Dette vises blant annet ved økt konkurranse og skade (Cañon Jones mfl. 2016). De langvarige konsekvensene av å ikke fôre etter appetitt, kan være utarming av energireservene og redusert ernæringsstatus. Dette fører igjen til redusert kondisjonsfaktor og avmagret fisk (Jobling mfl. 2012). Overfôring, hvor fisken spiser mer enn deres appetittkrav tilsvarer, kan føre til en forverring av vannkvaliteten på grunn av ikke spiste fôrpellets eller utskillelse av næringsrik avføring fra fisken. Dette kan være spesielt problematisk i lukkede- eller semilukkede oppdrettssystemer.

En bør derfor mate fisken med en diett som har en passende sammensetning, og i mengder som er tilstrekkelige til å møte deres appetittbehov. Dette kan gjøres ved å fôre fiskene i et fôrregime som reagerer på endringer i appetitten. For at denne tilnærmingen skal være vellykket, trenger oppdretterne robuste indikatorer på sult og metthet i forhold til størrelse og type fisk, innenfor deres oppdrettssystem. Dette er en stor utfordring i både laks- og ørretoppdrett.

## Prøvetaking og analytiske betraktninger

Oppdretteren har vanligvis daglige registreringer på hvor mye fôr som har blitt fôret ut i en oppdrettsenhet. Hvis oppdretteren er «trygg» på at denne rasjonsstørrelse er representativ for kort- og langsiktig appetitt på fisken, eller benytter eksempelvis undervannskamera for å overvåke endringer i appetitten, så kan appetitt brukes som en indikator på velferd. For eksempel, selv om en populasjon med laks viser tydelige variasjoner i appetitten, kan visuelle observasjoner av bråe endringer i appetitt og manglende spiseatferd kunne vise og brukes som en kvalitativ OVI (Huntingford mfl. 2006) og indikerer dårlig ytelse (Stien mfl. 2013). Men endringer i appetitt kan også være kontekstspesifikk, da langsiktige endringer i appetitt kan være relatert til vanntemperatur, dagslengde og sesongen, og slik sett ikke være tegn på dårlig velferd (Huntingford og Kadri 2014; Kadri mfl. 1991; Noble mfl. 2007).

### Styrke til indikatoren

En reduksjon eller tap av appetitt, kan være forårsaket av en stressrespons (Hunting og Kadri 2014). Tiden det tar for appetitten å komme tilbake etter eksempelvis en håndtering, kan derfor også brukes som en OVI som reflekterer hvor godt fisken tålte belastningen. Appetitt er lett å måle kvalitativt ved å observere fisken under fôring. Appetitt brukes som et viktig tidlig varslingsystem for oppdretteren; i det responsen er rask, og ikke krever videre analyse for å få et svar som oppdretteren kan handle ut i fra.

### Svakhet til indikatoren

Kvantitative data på endringer i appetitten er vanskelig å vurdere på grunn av de iboende variasjoner i daglig fôropptak og appetitt hos fisk som lever i store populasjoner. Dette selv når fisken har god helse og viser god velferd. Dette betyr at målbare avvik fra «forventede» eller «normale» appetittsnivåer, er svært vanskelig å tolke. Et fall i appetitten kan være forårsaket av ulike faktorer, som betyr at opprinnelsen og intensiteten av problemet må undersøkes nærmere.

#### 3.1.4 Vekst

Vekst og vekstrate har lenge vært brukt som velferdsindikator i husdyrproduksjon (Broom, 1986) inkludert fisk (Huntingford og Kadri 2009). Vekst er knyttet til fôring og ernæringsmessige velferdsbehov. Når disse behovene ikke blir oppfylt kan fisken vise dårlig vekstytelse.

Vekstrate varierer i forhold til livsfase og fiskestørrelse. Vekstrate kan påvirkes av ulike faktorer som appetitt, næringsinnholdet i fôr, sykdommer, sosial interaksjon, vannkvalitet og stress (Adams mfl. 2000; Ellis mfl. 2002; Huntingford mfl. 2006; Jobling 1983). Flere av disse faktorene er i seg selv indikatorer på redusert velferd. Vekst kan imidlertid bli påvirket av faktorer som ikke er relatert til velferd, som anoreksi ("frivillig" fasting) hos ung og voksen fisk (Kadri mfl. 1996; Metcalfe og Thorpe 1992, se 3.1.3 Appetitt). Dette førte til at Turnbull mfl. (2005) kalte den en «upresis» velferdsindikator. For å klargjøre om en «dårlig» eller redusert veksthastighet er knyttet til en velferdstrussel, bør det sees i sammenheng med andre fysiologiske faktorer som stress og sult (Ellis mfl. 2002). Variasjonen i vekst mellom individer kan også være en «god» indeks for velferd. Økende variasjon innen populasjonen kan være en indikasjon på eksempelvis underfôring og økt konkurranse (Johansen og Jobling 1998; Noble mfl. 2008).

Uavhengig av dette, kan redusert vekstrate indikere at fisk står overfor en velferdstrussel (Huntingford mfl. 2006). Oppdrettere kan bruke dette til å sette i gang en gransking av årsaker, og gjøre endringer for å minimalisere trusselen.

## **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

For at vekst skal være en egnet OVI kreves det at oppdretteren har nøyaktige data og informasjon om fiskevekt og endringer i fiskevekt over tid. Regelmessige veiinger kan gi oppdretteren et bedre helhetsbilde av vekstytelse, og plutselige avvik fra den forventede veksten kan bli hurtig korrigert om dette er nødvendig. Langtidsavvik fra forventet vekst kan også brukes som en indikator på et kronisk problem. Videre kan både kort- og langsiktig overvåking av vekst brukes i retrospektiv analyse av velferdstrusler hvis de oppstår. For at størrelsevariasjonen innen en oppdrettspopulasjon skal være en OVI er nøyaktige data om vekten hos enkeltfisk nødvendig.

Vurdering av vekst i sin enkleste form krever at oppdretteren klarer å fange en representativ gruppe av fisk fra hver produksjonseenhet. Utvalgsstørrelsen er diktert av erfaring, arbeidsmengde, tid og utstyr til rådighet. Deretter gjennomfører en batch vekt (som gir gjennomsnittsvikt) eller individuelle veiinger (gjennomsnitt  $\pm$  SD). Dette er tidkrevende, arbeidskrevende og kan forstyrre både fisken og eksisterende oppdrettsrutiner som fôring.

Mange eksisterende og nye teknologier har og blir utviklet for å hjelpe oppdretteren i å overvåke biomassen uten håndtering. Eksisterende teknologier faller primært inn i to kategorier: i) rektangulære biomasserammer eller ii) stereokamerabaserte systemer. Andre estimeringssystemer av biomasse er under utvikling, eller er tilgjengelig i bruk som akustisksonar, bildesonar eller lasersystemer. Fellesnevneren for disse er at de er lite brukt eller under produktutvikling.

Å bruke vekst som en 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).

Som nevnt ovenfor, langsiktige vekstrater varierer med fiskestamme, årstid, livsfase, oppdrettssystem, kosthold og så videre. Det kan derfor være formålstjenlig å bruke akutte endringer i vekstraten som en OVI innenfor en bestemt oppdrettsenhet eller et oppdrettssystem.

### **Styrke til indikatoren**

Vekst blir jevnlig overvåket på anleggene, og endringer i vekstraten kan brukes som et tidlig varslingsystem for potensielle problemer. Spesielt gjelder dette når oppdretteren har «god» overvåkingspraksis. Det er en rask indikator, og hvis passive biomasseovervåkingssystemer anvendes, kreves det ikke noen håndtering av fisken. Inntil videre kreves det videre analyse før oppdretteren har et svar de kan styre etter. Passive overvåkingsteknologier kan gi oppdretter daglige oppdateringer om vektøkning og vekst innenfor sine systemer.

### **Svakhet til indikatoren**

For å bruke redusert vekstrate, eller avvik fra forventet vekst, som en OVI må oppdretteren være sikker på at dataene som brukes er nøyaktig og representativ for populasjonen. Dette kan være vanskelig når man bruker manuell prøvetaking, og også ved bruk av passiv teknologi dersom oppdretter ikke stoler på den informasjonen som er gitt. Manuell prøvetaking krever håndtering av fisk og kan forstyrre daglige oppdrettsrutiner. En reduksjon i veksttakten trenger ikke alltid være en indikasjon på en velferdstrussel, noe som betyr at opprinnelsen og intensiteten av det potensielle problemet må undersøkes nærmere. Det er også vanskelig å vurdere vekst av spesifikke individer uten merking eller bruk av andre sporingsverktøy.

### 3.1.5 Sykdom og sykdomskontroll

Helseindikatorer kan måles på individ, gruppe, anlegg eller på bransjenivå. Noen sykdommer kan diagnostiseres ganske enkelt ved å studere fisken, for eksempel katarakt. Mens andre sykdommer trenger obduksjon, for eksempel bukhinnebetennelse etter vaksinasjon, eller laboratorietester, for eksempel for å utrede bakterievekst. Selv om helse er en av de mest brukte velferdsindikatorerne, kan helseindikatorer være utfordrende å tolke når det gjelder årsakssammenhenger (Segner mfl. 2012). For eksempel kan høyt stress eller utilstrekkelig vannkvalitet føre til sykdom ved å svekke immunsystemet eller de primære barrierene til fisk (Huntingford og Kadri 2014; Segner mfl. 2012).

En sykdom er en unormal tilstand, som medfører en forstyrrelse av en struktur eller funksjon, og denne tilstanden kan påvirke deler av eller hele organismen. Infeksiøse sykdommer er forårsaket av virus, bakterier, sopp eller parasitter, men sykdommer kan også skyldes interne dysfunksjoner eksempelvis autoimmunitet og misdannelser. Disse kan ha en stor innflytelse på fiskevelferden, fordi det fører ofte til negative opplevelser som utmattelse eller ubehag.

Viktige sykdommer i Norge i forbindelse med velferdsspørsmål er oppsummert i tabell 3.1.5-1,2 og 3. Viktige bakteriesykdommer som eksempelvis furunkulose og vibriose, er effektivt kontrollert ved vaksinasjon. Behovet for medisinsk behandling med antibiotika er vanligvis svært lav. Virussykdommer er en større utfordring, blant annet på grunn av mindre effektive vaksiner som den mot pankreassykdom (PD). PD er en viktig virussykdom i sjøvann, hvor syke individer ofte får store muskelskader i hjerte, kroppsmuskler og spiserørsmuskulatur. Dette kan forårsake sirkulasjonsproblemer og varig redusert vekst på grunn av degenerasjon av bukspyttkjertelen for de individene som overlever infeksjonen. I 2016 ble 138 utbrudd av PD rapportert (Hjeltnes mfl. 2017). For andre virussykdommer som hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og kardiomyopatisyndrom (CMS), er det ingen vaksiner tilgjengelig. HSMB påvirker vanligvis laksen i sitt første år i sjøen, betennelse og celledød i hjerte kan føre til sirkulasjonssvikt, muskeldegenerasjon og dødelighet kan forekomme. CMS kan gi akutte symptomer som hjertesprekk, særlig hos stor laks nært opptil slaktetidspunktet. Begge sykdommene forekommer ofte i forbindelse med potensielt stressende hendelser, som sortering, transport eller avlusing. Vaksinerer kan forårsake sammenvoksinger i bukhulen som en bieffekt, på grunn av mineraloljen og lignende i vaksinene. Noen ganger er dette så alvorlig at det utgjør et velferdsproblem. Gjellelidelser er utbredt i akvakultur, og regnes som et alvorlig velferdsproblem, da respirasjonen og osmoreguleringen kan bli svekket. Årsaken til disse gjellelidelsene er mange og kan være forårsaket av for eksempel uorganiske partikler, plankton, bakterier, parasitter som *Paramoeba* og mikrosporidier, og virus som laksepox. For nærmere detaljer utgir Veterinærinstituttet en årlig samlet oversikt over de viktigste sykdommer i "Fiskehelse rapporten", og det er også laget egne faktaark over sykdommer; [www.vetinst.no](http://www.vetinst.no).

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Kontroll av listeførte smittsomme sykdommer er allerede en del av de nødvendige inspeksjoner som blir rutinemessig utført av fiskehelsepersonell. Denne rutinekontrollen kan variere fra en enkel visuell inspeksjon av fisk til full post-mortem undersøkelser.

### **Styrke til indikatoren**

Helse utgjør en betydelig del av dyrevelferden og sykdomskontrollen, og er derfor en svært relevant LABVI og også OVI (som scoring av katarakt og AGD). Sykdomskontroll er også et generelt mål, og en tidlig oppdagelse av listeførte eller mulige nye sykdommer kan stoppe et utbrudd og potensielt hindre en reduksjon i velferden. Man kan også forhindre en forverring av sykdomstilstanden ved å unngå stressende situasjoner som sortering, transport og avlusning. Redusert fiskevelferd bør ses sammen med en vurdering av virkningen av en smittsom sykdom (Murray og Peeler 2015).

### **Svakhet til indikatoren**

Det å ikke ha påvist smittsom sykdom betyr ikke i seg selv god velferd, men å påvise en slik sykdom innebærer vanligvis nedsatt velferd. Som med dødelighet, kan oppdagelsen av smittsomme sykdommer bare benyttes i ettertid. Men det forskes på eDNA metoder (environmental DNA) som kan påvise arvestoffet til mikroorganismer i vann.

Sykdomskontroll er også en retrospektiv VI. Verken fravær av sykdom eller upåvirket produksjon er nødvendigvis den samme som god velferd. Derfor er det å finne årsaken til sykdommen viktig for å stoppe en tilstand til å kunne spre seg. Samtidig må indikatoren kombineres med andre mer forebyggende VI'er, for å kunne sikre god dyrevelferd. Som med andre LABVI'er, er sykdomskontroll ikke nødvendigvis raskt å etablere. Dette kan også kreve ekspertisen til en veterinær eller fiskehelsebiolog i tillegg til spesialisert utstyr.



**Tabell 3.1.5-1-del 1. Viktige virussykdommer hos oppdrettslaks i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = sjøvann.**

Sykd.	Virus	F	S	Påvirkning på velferden
Pankreas-sykdom (PD)	PD-virus/ Salmonid alphavirus (SAV 1-6, hvorav SAV2-3 i Norge)	(x)	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Første sykdomstegn er ofte brå appetittsvikt, der syk fisk gjerne står tett i tett i vannoverflaten mot strømmretning (VI 2017).</li> <li>Syke individer har ofte store muskelskader; i spiserørsmuskulatur, hjerte og kroppsmuskler, noe som hemmer blodsirkulasjon (VI 2017).</li> <li>Alvorlige skader i bukspyttkjertelmed redusert enzym produksjon, kan forårsake kronisk sykdom med redusert vekst.</li> <li>Utbrudd kan gi høy dødelighet og vare lenge (1-32 uker) (OIE 2015b).</li> <li>Infeksjoner uten symptomer er også rapportert, disse kan bli aktivert under stress (VI 2017).</li> <li>Innvirkning på helse og velferd kan reduseres ved minimering av stress, avlivning av syke individer (og de som er kronisk rammet), tidlig slaktning.</li> <li>PD regnes som en av de viktigste virussykdommene i Norge, med 138 registrerte utbrudd i 2016 (Hjeltnes mfl. 2017).</li> </ul>
	Infeksiøs lakseanemi- virus (ILAV)	(x)	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viruset rammer overflata i alle blodkar og hjertet, og produserer en alvorlig anemi og sirkulasjonsforstyrrelser som kan ses i gjeller, hjerte, lever, nyrer, milt (Aamelfot mfl. 2014).</li> <li>Kun få tilfeller i ferskvannsfasen er rapportert, inklusiv et tilfelle hos plommeseekyngel (Rimstad mfl. 2011).</li> <li>Ofte lav dødelighet og kronisk progresjon («ulmebrann»), daglig dødelighet typisk 0.05-0.1%, i merd som er rammet, men høy dødelighet er også rapportert (OIE 2015b).</li> <li>Tidlig gjenkjennelse og effektiv slaktning i merder med klinisk ILA, kan hindre og forebygge videre smitte på stedet. Sykdommen er meldepliktig, og utslaktning av oppdrettspopulasjonen er den norske strategien. Forebyggende smittehygieniskiltak og bevegelses restriksjoner brukes aktivt for å hindre spredning av smitte (Rimstad mfl. 2011; VI 2017).</li> </ul>
Infeksiøs pankreasnekrose (IPN)	Infeksiøs pankreas- nekrose virus (IPNV)	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viruset kan angripe bukspyttkjertelen, som er en forutsetning for fordøyelsen av mat, og kan også forårsake nekrotisk enteritt, og fisk som overlever den akutte fasen kan sulte i hjel (EFSA 2008a).</li> <li>Ved utbrudd kan dødeligheten variere fra ubetydelig til 90 %, ofte høyere i FV enn i SV, og yngel og post-smolt er mest mottakelig (VI 2017). En økning i antall avmagrede fisk i kjølvannet av IPN utbrudd, er vanligvis beskrevet som det mest betydningsfulle resultatet. (Børnø og Linaker 2015).</li> <li>En stor andel av fisken utvikler en livslang, vedvarende infeksjon, som kan aktiveres under stress som eksempelvis utsett i sjøvann. (EFSA 2008a; VI 2017).</li> <li>Stress kan også øke dødeligheten under utbrudd. Det kan være mest humanitært å avlive hele populasjonen ved sykdom hos liten fisk i ferskvannsfasen (EFSA 2008a). Fisk som overlever IPN har nemlig også høyere følsomhet for andre sykdommer som HSMB og PD (VI 2017).</li> <li>Bruk av QTL-rogn mer resistent mot IPN, samt bekjempelse av «husstammer» av viruset i settefiskfasen har trolig vært med på å redusere antall registrerte IPN-utbrudd de siste par årene (Hjeltnes mfl. 2017). Vaksiner er rapportert å ha begrenset effekt, og sykdommen er ikke meldepliktig.</li> </ul>



**Tabell 3.1.5-1-del 2. Viktige virussykdommer hos oppdrettslaks i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = sjøvann.**

Sykd.	Virus	F	S	Påvirkning på velferden
Hjerte og skjelett muskelbetennelse (HSMB)	Piscine orthoreovirus (PRV)	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>PRV virus ble først identifisert hos HSMB syk fisk i 2010. Risikofaktorene for å kunne utvikle sykdommen er ikke fullt ut forstått, ettersom viruset er vidt distribuert også i fisk uten sykdommen. Ulik genetisk mottakelighet og ulike genetisk varianter av selve PRV viruset har trolig betydning (Hjeltnes mfl. 2017).</li> <li>Betennelse i hjerteposen, hjertemusklene og i akuttfasen også rød skjelettmuskulatur, forårsaker sirkulasjonsproblemer. Men sykdommen er ofte oversett på grunn av treg progresjon, og særlig hjerteskader kan vedvare i mange måneder (VI 2017).</li> <li>HSMB ansees som svært vanlig, sees primært første år i sjøfasen, men også senere. Høstutsatt laks regnes for å ha dobbelt så høy risiko for HSMB som vårusatt. HSMB er også sett i settefiskanlegg, saltvann er likevel trolig hovedreservoar (Hjeltnes mfl. 2017; VI 2017).</li> <li>Dødelighet varierer (typisk fra ubetydelig til 20 % i merder), belastninger som sortering, transport og annen håndtering er ofte rapportert å øke dødeligheten (VI 2017).</li> <li>Ingen behandling eller vaksine er tilgjengelig, og det er en reell utfordring å unngå stressrelatert dødelighet hos syk fisk, for eksempel under avlusing som kan forårsake alvorlig påvirkning på fiskehelse og velferd.</li> <li>Sykdommen er ikke meldepliktig.</li> </ul>
	Piscint myokarditt-virus (PMCV)	x		<ul style="list-style-type: none"> <li>Piscine myokarditt virus (PMCV), oppdaget i 2010, ser ut til å være nært knyttet til CMS som forårsaker hjerteruptur (derav navnet hjertesprekk) og sirkulasjonsforstyrrelser hos stor laks.</li> <li>CMS utvikles sakte og dødeligheten er ofte lav, men sykdommen kan være langvarig og kostbar da det er stor fisk som dør.</li> <li>Plutselig død, uten forutgående kliniske signaler er vanlig, og er ofte sett i tilknytning til stressbelastninger som håndtering, transport og avlusing. Slik håndtering bør derfor reduseres til et minimum inntil slaktning etter stilt diagnose (VI 2017).</li> <li>Det finnes ingen vaksine, men CMS-QTL-smolt er tilgjengelig. Sykdommen er ikke meldepliktig (Hjeltnes mfl. 2017).</li> </ul>
Laksepoxvirus	Salmon gill poxvirus (SGPV)	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kan ha et akutt forløp med høy dødelighet i settefiskfasen, der respirasjonsbesvær er et typisk sykdomstegn da viruset angriper gjellene. Sykdommen rammer de fleste fiskene i et kar, og sprer seg ofte fra kar til kar i anlegget, og man ser appetittsvikt (VI 2017).</li> <li>Sykdommen kan også opptre i sjøfasen.</li> <li>For å redusere risikoen for massedød ved mistanke om laksepox stanses gjerne føringen, oksygenivået heves og operasjoner som kan være stressende for fisken bør unngås (VI 2017).</li> </ul>

**Tabell 3.1.5-2. Viktige bakterielle sykdommer hos oppdrettslaks i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = sjøvann.**

Sykdom	Bakterie	F	S	Påvirkning på velferden
Yersiniose / røddmunnsyke	Yersiniose	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mest vanlig i ferskvann, hvor akutt blodforgiftning med høy dødelighet hos yngel er vanlig (Poppe mfl. 1999).</li> </ul>
	Yersinia ruckeri			<ul style="list-style-type: none"> <li>Noen tilfeller med dødelighet opptil 10 %, 1–3 måneder etter utsett (Bornø og Linaker 2015).</li> <li>Særlig resirkuleringsavdelinger har hatt problemer, og «husstammer» i biofilm er sett på som et problem som har forårsaket gjentatte episoder- noen med høy dødelighet (Bornø og Linaker 2015; Hjeltnes mfl. 2017).</li> <li>Utbrudd av yersiniose har ofte sammenheng med stress (håndtering, transport, brå osmotiske endringer, dårlig vannkvalitet etc), og opptrer ofte sammen med andre type infeksjoner som sopp (saprolegnia) eller gjelleinfeksjoner (Poppe mfl. 1999)</li> <li>Flere klekkerier vaksinerer mot yersiniose (Bornø og Linaker 2015)</li> <li>Yersiniose er ikke en meldepliktig sykdom.</li> </ul>
Flavo-bakteriose	Flavo-bakterium psychrophilum	x	(x)	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>F. psychrophilum</i> opptrer vanligvis i ferskvann, og hos laks har det vært påvist systemisk infeksjon på enkelte settefisklokaliteter om vinteren (systemisk infeksjon er et større problem hos regnbueørret). Bakterien er vanligere å finne i forbindelse med sår og finneråte hos laks (VI 2017).</li> <li>I Norge har ulike stammer påvirket regnbueørret og laks (NVI 2017)</li> <li>Utbrudd har ofte sammenheng med suboptimale forhold og stress (NVI 2017)</li> </ul>
Vintersår	Moritella viscosa Tenacibaculum spp. Aliivibrio (Vibrio) wodanis	x	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sår i hoderegionen, på sidene og finnen er et typiske velferdsproblem høst og vinter, som medfører økt dødelighet og redusert slaktekvalitet (Bornø og Linaker 2015).</li> <li>Hovedproblemet med vintersår er relatert til osmoregulatoriske problem pga. sårutviklingen, (Tørud og Håstein 2008) og det faktum at sår kan være kroniske, langvarige og mest sannsynlig meget smertefulle. Såren går av og til heltinn til bukhulen. Det kan også oppstå sepsis (blodforgiftning).</li> <li>Bakterien <i>Moritella viscosa</i> er en viktig bidragsyter, og nesten alle lakseanleggene er vaksinert mot sykdommen, dog med varierende resultat. Andre bakterier ofte isolert fra fisk med vintersår er <i>Tenacibaculum</i> spp. og <i>Aliivibrio (Vibrio) wodanis</i>, og dynamikken mellom disse er uklar (Bornø og Linaker 2015).</li> <li>En risikofaktor ser ut til å være overføring til sjø ved lave temperature, hvor sykdommen manifesterer seg etter noen uker (Bornø og Linaker 2015)</li> <li>Utbrudd av vintersår er også blitt påvist i settefiskanlegg som benytter sjøvann i produksjonen.</li> <li>Såkalte «ikke-klassiske» vintersår (eller tenacibaculose), er mindre vanlig og karakteriseres av høy dødelighet og dype sår rundt kjeve (munnråde)/hode, hale og finner. Ulike <i>Tenacibaculum</i> spp. kan forekomme i tilnærmet renkultur (Hjeltnes mfl. 2017)</li> <li>Mekaniske skader under lusebehandling eller annen type håndtering er også kjent for å kunne bidra til utviklingen av vintersår, og antibiotika er noen ganger brukt med varierende hell (Bornø og Linaker 2015).</li> </ul>

**Tabell 3.1.5-3. Viktige parasittsykdommer og soppinfeksjon hos oppdrettslaks i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = Sjøvann**

	Parasitt	F	S	Påvirkningen på velferd
Lakselus infeksjon	Lakselus; Lepeophtheirus salmonis og skottelus; Caligus elongatus		x	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lus kan skade hud når den beiter i overflaten og kan forårsake sår hvis lusetettheten er stor. Det er velferdsmessige utfordringer knyttet til avlusinger (Hjeltnes mfl. 2017). For mere detaljer se kapittel lakselus 3.2.3.</li> </ul>
	Parvicapsula pseudo-branchicola	x		<ul style="list-style-type: none"> <li>Hovedsakelig et problem i de nordligste fylkene hvor det er setthøy dødelighet (Bornø og Linaker 2015).</li> <li>Høy tetthet av parasitten og tydelige sykdomsforandringer er observert i pseudobranchiene (under gjellelokkene). Pseudobranchiene, som har i oppgave å tilføre øyet oksygen samt være involvert i kontroll av ionebalansen, kan bli fullstendig degenerert eller sterkt skadet (VI 2017).</li> <li>Fisk med parvicapsulose er typisk tynn, anemisk og har øyebloddninger (Bornø og Linaker 2015; VI 2017).</li> <li>Parasitten er påvist i minst 39 oppdrettsanlegg i 2016 (Hjeltnes mfl. 2017). P. pseudobranchicola har en komplisert livssyklus der børstemark er hovedvert og fisk mellomvert, og sykdommen parvicapsulose er ikke meldepliktig.</li> </ul>
Amøbegjellesykdom (AGD)	Paramoeba perurans		x	<ul style="list-style-type: none"> <li>AGD har blitt en økende alvorlig sykdom hos laks i Norge (Bornø og Linaker 2015).</li> <li>Den amøbiske parasitten påvirker gjellene og forårsaker respirasjonsproblemer. Makroskopiske symptomer er tydelige gjelleforandringer inkludert økt slimproduksjon, noe som kan brukes i et skåringssystem for å vurdere alvorlighetsgraden av sykdommen (Taylor mfl. 2009).</li> <li>I tillegg til respirasjonsbesvær sees dårlig matlyst, ofte redusert svømmeaktivitet og trege unnavikelsesreaksjoner (VI 2017).</li> <li>Tidlig påvisning er viktig for et godt behandlingsresultat som innebærer bruk av vann eller H2O2.</li> <li>Ferskvannsbehandling anses som mer effektivt og mindre skadelig enn H2O2, men både dårlig tilgang på brønnbåter og ferskvann har begrenset bruken (Bornø og Linaker 2015).</li> <li>I 2014 var minst 63 oppdrettsanlegg smittet med AGD, men siden AGD ikke er en meldepliktig sykdom er nok tallet mye høyere (Bornø og Linaker 2015). Fisk med amøbegjellesykdom har lav stresstoleranse, og en behandlig på fisk med langt framskredet sykdomsbilde kan i seg selv være negativt for fiskens velferd.</li> </ul>
Saprolegniose (soppinfeksjon)	Saprolegniose Saprolegnia parasitica Saprolegnia diclina + andre	x		<ul style="list-style-type: none"> <li>Hovedsakelig et problem på egg, men også yngel, parr og stamfisk kan påvirkes av soppangrep.</li> <li>Saprolegnia kan ødelegge dermis (hudlag), og forårsake osmotisk ubalanse og medføre død.</li> <li>For at en infeksjon skal utvikles på fisk, er normalt immunforsvaret nedsatt, for eksempel pga. stress, eller at fisken har skader i slim- og hudlag (VI 2017). Infeksjonen starter ofte på områder som ikke er dekket av skjell; rundt finnebasis, hodet/gjellelokk. Ved infeksjon på gjeller hemmes respirasjonen, noe som kan føre til «kvelning» og død (VI 2017).</li> <li>På rogn er tilstedeværelsen av døde egg avgjørende for at saprolegniose skal kunne etableres, og soppen kan så spre seg til levende rognkorn (VI 2017).</li> <li>Saprolegniose er ikke meldepliktig. Forebyggende tiltak er å unngå å stresse fisken, og behandle den så skånsomt som mulig under nødvendig håndtering som sortering og vaksinerings. Miljømessig er det viktig med god hygiene og vannkvalitet, slik at oppformering av sporer i anleggets vannsystem unngås. For rogn er det viktig med hyppig fjerning av død rogn for å hindre etablering.</li> </ul>

### 3.1.6 Indikasjoner i vannet

Skjelltap, skade på hud, øyne eller gjeller kan noen ganger bli observert som skjell og blod i vannet («rødt vann»). Observasjon av «rødt vann» betyr ikke nødvendigvis at fisken vil dø av behandlingen (J. Nilsson pers. obs.), men dette bør unngås. Gjelleblødninger kan være forårsaket av plutselig fysisk eller kjemisk skade (Poppe mfl. 1999), og har blitt observert i forbindelse med bruk av mekanisk avlusing (Gismervik 2017). Observasjoner fra histopatologiske prøver i 2016 tyder på at gjelleblødninger har blitt mer vanlig (Hanne Skjelstad, Veterinærinstituttet, pers. komm). Histopatologiske gjelleblødninger kan også ses på som frambrakt, forbundet med fangst og avlivning av fisk (Poppe mfl. 1999).

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Observeres manuelt, og det er lettere å observere fisken om den er i lukkede, mindre enheter av lys farge. Man må prøve å identifisere hvor blodet kommer fra, blant annet ved å inspisere gjellene manuelt.

#### Styrke til indikatoren

Øyeblikkelig tegn på at oppdrettsrutinen er til skade for fisken, eller at fisken har underliggende sykdommer som gjelleproblemer og/eller infeksjoner.

#### Svakhet til Indikatoren

Kan være vanskelig å vurdere hvor alvorlig blødning og skaden på fisken er, og må derfor suppleres med histopatologiske prøver.

### 3.1.7 Snitt oksygenopptak ( $MO_2$ )

Gjennomstrømnings-respirometri kan brukes som en VI ved levende transport av laks for, hvor man måler gjennomsnittlig oksygenopptak ( $MO_2$ ) for en stor masse av laks under transport over 10 timer. Vi har klassifisert gjennomsnittlig oksygenopptak som en gruppe basert VI da den er basert på respirasjonen til en populasjon fisk. Den beregnes ut fra endringer i oksygenkonsentrasjon, som endres i forhold til redusert eller økt respirasjon hos fisken. Metoden i seg selv er imidlertid en indirekte vurdering av metabolismen, og beregningen er primært basert på OVI'er som oksygen, vannhastighet og tetthet, som er alle miljømessige VI'er. Tabell 3.1.7-1 viser hvordan  $MO_2$  er ulik for laksefisk under ulike forhold.

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Snitt  $MO_2$  kan beregnes ut fra følgende ligning (Farrell 2006; Tang mfl. 2009):

$$MO_2 = \frac{V_w \times (C_w O_{2in} - C_w O_{2out})}{BM}$$

Hvor  $V_w$  = vannhastighet gjennom respirometer (brønnbåt) ( $m^3/min$ );  $C_w O_{2in}$  =  $O_2$ -innhold i transportvannet i forreste del av rommet (inntaket i brønnbåten) ( $mg O_2/min/L$ );  $C_w O_{2out}$  =  $O_2$ -innhold i transportvannet ut av akterseksjonen (utløpet i brønnbåten) ( $mg O_2/min/L$ ) og  $bm$  = biomassen av fisk i respirometeret (brønnbåt) ( $kg$ ) (Tang mfl. 2009).

## Styrke til indikatoren

Alle kommersielle brønnbåter har utstyr for å måle oksygen i de forskjellige kamrene, og fremgangsmåten innebærer ingen behandling eller interaksjon med fisken. Med nøyaktig måling av biomasse, oksygen og vannhastighet kan dette gi en god indikasjon på akutt stress, i det  $MO_2$  vil øke under anstrengende og stressende hendelser under transport (Farrell 2006; Tang mfl. 2009).

## Svakhet til Indikatoren.

Dette er en relativt ny tilnæringsmetode, slik at et forbehold er at det er relativt få publiserte artikler å sammenlikne med. Faktorer som stress, individuelle variasjoner, sosial status, akklimatisering, tid, vanntemperatur og ernæringsstatus påvirker resultatene og kan gjøre tolkningen av disse vanskelige (Sloman mfl. 2000).

**Tabell 3.1.7-1.** Sammenligning av  $MO_2$  hos ulike arter av laks under ulike aktiviteter og miljøforhold. Tilpasset fra "Tang, S., Brauner, C. J. & Farrell, A. P. (2009) Using bulk oxygen uptake to assess the welfare of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, during commercial live-haul transport. *Aquaculture* 286, 318-323. Copyright 2009" med tillatelse fra Elsevier.

Lakseart	Aktivitetsnivå	$MO_2$ (Mg $O_2$ /min/kg)	Temperatu	Referanse
<b>Atlantisk laks (S. salar)</b> (1.5-5.5 kg)	Transport start	2.98±0.13	7.8–15.0	Tang mfl. 2009
	Transport slutt	2.00±0.06		
	Hvile <sup>a</sup>	1.32±0.13	12.1±0.2	Bergheim mfl. 1991
	Hvile <sup>a</sup>	1.5–4.5	5.5–10.3	Bergheim mfl. 1993
	Hvile <sup>a</sup>	1.7–3.5	7.2–9.1	Forsberg, 1997
<b>Rødlaks (O. nerka)</b> (1.9–3.3 kg)	Hvile <sup>b</sup>	0.89–2.15	8.5	
	Maks <sup>b</sup>	2.99±0.23	16.3±0.3	Farrell mfl. 2003
<b>Pukkellaks (O. gorbuscha)</b> (1.3–1.9 kg)	Hvile <sup>b</sup>	12.28±0.75		
	Maks <sup>b</sup>	4.25±0.69	11.8±0.2	Farrell mfl. 2003
<b>Coho-laks (O. kisutch)</b> (2.1–2.5 kg)	Hvile <sup>b</sup>	12.63±0.44		
	Maks <sup>b</sup>	2.23±0.09	5–12	Lee mfl. 2003
<b>Kongelaks (O. tshawytscha)</b> (3.7 - 6.4 kg)	Hvile <sup>b</sup>	8.77±0.0		
	Maks <sup>b</sup>	1.99±0.15	8–17	Geist mfl. 2003

a=Massemåling (bulk); b=Individmåling.

### 3.1.8 Overflateaktivitet hos fisk

Overflateaktivitet i forhold hvor man måler antall ruller og antall hopp på overflaten, er ofte brukt etter opphaling av neddykket merd med laks, for å bestemme om de er i stand til å opprettholde oppdrift. Laksefisk har fysostome, åpne svømmeblærer, som fylles ved at luft i overflata gulpes eller svelges. Siden gass gradvis lekker ut av blæren må de fylle blæren regelmessig for å opprettholde oppdrift (Dempster mfl. 2009; Korsøen mfl. 2009). Laks ser ut til å justere oppdrift ved å endre blæreinholdet etter hva som kreves. Smolt og post-smolt svømmer høyere i vannet enn yngel og parr, og det relative luftvolumet i svømmeblæren er større hos smolt enn i parr (Saunders 1965; Wedemeyer 1996). Laks som lever i hurtigrennende vann har mindre gass enn de som lever i stillestående vann. Dette skyldes at negativ oppdrift gir bedre kontroll i strømmen (Saunders 1965). Uten overflatetilgang tvinges laksefisk til å svømme i en oppadgående tiltet posisjon med raske halebevegelser og høyere hastighet for å kompensere for redusert oppdrift. Alternativt kan fisken hvile på bunnen av karet hvis dette er

mulig (Tait 1960; Korsøyen mfl. 2009). Redusert oppdrift som følge av mangel på overflatetilgang begrenser derfor fiskens behov for hvile og atferdskontroll. Laks i oppdrettet uten overflatetilgang får ofte en redusert kondisjonsfaktor, noe som tyder på at de ikke er i stand til fullt ut å oppfylle behovet for ernæring (Tait 1960; Korsøyen mfl. 2009). Økt overflateaktivitet etter at yngel og post-smolt gis tilgang til overflaten igjen, tyder på at fisk har behov for å fylle blæren (Dempster mfl. 2011; Tait 1960). Svømmeblæren begynner å skille ut gass fra den første dagen etter nedsenkning, og etter ca tre uker har laksen mistet 95% av gassinnholdet i blæren (Dempster mfl. 2009; Korsøyen mfl. 2009). De første tegn på redusert velferd er synlige etter ca. 3 uker uten overflatetilgang. Etter 6 uker opptrer mer alvorlige symptomer som f.eks komprimerte ryggvirvler (Korsøyen mfl. 2009, 2012).

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Antallet hopp og ruller øker etter opphaling av merd og gir laksefisken muligheter til å fylle blæren. Det er derfor viktig å måle overflateaktivitet med en standardisert tid etter ny overflatetilgang. Overflateaktivitet kan også variere på grunn av atferden til stimen eller varierende stressfaktorer som skremmer fisken mot eller vekker fra overflaten (Bui mfl. 2013). Det er derfor viktig å måle overflateaktivitet i løpet av tilstrekkelig tid, for at prøven skal være representativ. Antallet av hopp og ruller blir typisk omdannet til hopp/fisk. Den enkleste måten å måle overflateaktivitet er ved å telle antall hopp og ruller ved hjelp av håndholdt telleapparat, men også observasjoner med kamera og automatisk bildeanalyse har blitt utviklet (Jovanović mfl. 2016).

### **Styrke til indikatoren**

Dette er en enkel og grei indikator som måler tilstanden i hele populasjonen.

### **Svakheter til Indikatoren**

Overflateaktivitet kan være motivert av andre grunner enn et behov for å fylle svømmeblæren, og naturlige variasjoner i overflateaktiviteten som pauser og aktivitet, kan resultere i for høye eller for lave tall. Spesielt er dette gyldig om telleperioden er kortvarig.

## 3.2 Individbaserte velferdsindikatorer

Noen individbaserte VI'er, OVI'er og LABVI'er kan også være aktuelle på gruppenivå, avhengig av hvordan de brukes. For eksempel, er det best å bruke visse individuelle OVI'er for å gi oppdretteren et bedre bilde av hvor alvorlig og utbredt et velferdsproblem er for hele populasjonen. Usystematiske observasjoner av bråe endringer i forekomst og alvorlighetsgrad av individbaserte VI'er kan benyttes som en kvalitativ indikasjon på andre underliggende velferdsproblemer, selv når det ikke eksisterer målbare data for dette. Et eksempel på et slikt scenario er avmagring. Passive, raske observasjoner av utmagrede fisk som svømmer i overflaten, kan brukes som et tidlig varsel om et potensielt velferdsproblem. Men for å få en oversikt vedrørende alvorlighetsgraden og hyppigheten av avmagringen, så er et manuelt uttak av fisk nødvendig, hvor avmagring brukes som en individbasert OVI. Det samme scenario gjelder for ryggfineskader hos lakseparr. Ryggfineskader kan også bli diagnostisert under raske overflateobservasjoner, ved å merke seg de grå finnene på fisken ved overflaten. Dette blir da en kvalitativ gruppe-OVI. Slike skader er også kvantifiserbare via manuell prøvetaking av et antall fisk i merden, for å få en indikator på alvorlighetsgrad og frekvens i populasjonen. Dette representerer en individbasert OVI.

### 3.2.1 Gjellelokkfrekvens

Gjellelokkfrekvens ("pustefrekvens") hos fisk øker når behovet for oksygen øker. Dette kan være på grunn av redusert oksygenivå i vannet eller økt metabolisme som følge av høyere aktivitetsnivå eller stress (tabell 3.2-1). I tillegg til frekvensen av gjellelokkene, økes også amplituden (hvor langt ut gjellelokkene åpnes) for å øke vannstrømmen over gjellene. Sistnevnte kan imidlertid være vanskeligere å observere og kvantifisere. Økt gjellelokkfrekvens er normalt ved forhøyet aktivitetsnivå. Dette tilsvarer at den menneskelige pusten er raskere og dypere når du løper enn når du hviler. Høy frekvens er dermed ikke nødvendigvis en indikator på stress og redusert velferd, men nivåer som er høyere enn forventet kan tyde på at noe er galt, for eksempel lav oksygenmetning, dårlig vannkvalitet eller problemer med gjellene.

**Tabell 3.2.1-1.** Gjellelokkfrekvens før og under stress ved ulike prosedyrer.

Livsstadier	Terskel- og referanseverdier	% forandring (hvile til stress)	Stressor	Refereanse
<b>Post-smolt</b>	56 gjelleslag/min (hvile) og 61 gjelleslag/min (stress 30.0-56.2 mg/l ammoniakk). Høyere ammoniakknivå medførte død	8.2	Høye ammoniakk-nivå	Knoph, 1996
<b>Post-smolt</b>	108 gjelleslag/min (normoksia), 120 gjelleslag/min (hypoksi), 162 gjelleslag/min (avlusingsbehandling)	11 (hypoksi) 50 (avlusning)	Hypoksi etter luseskjørt påført merd og etterfølgende avlusning	Vigen, 2008
<b>Slakt</b>	64±2 (bulk) - 56±1 og 81±1 gjelleslag/min (trenging)	ca. 25-50	Trenging	Erikson mfl. 2016

### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Kvalitativ vurdering av gjellelokkfrekvensen under rutinemessig observasjon av fisken under ulike oppdretts situasjoner, og ulike oppdrettssystemer, kan brukes som en OVI. Brå endringer i frekvens kan være en indikator på at velferden er redusert. Observasjoner kan gjøres ved merdkanten, hvis

sikten er god, eller en kan benytte seg av undervannskamera (for eksempel Erikson mfl. 2016). Observasjonene bør utføres mens fisken svømmer sakte eller står i ro.

Kvantitative endringer i gjellelokkfrekvensen er vanskelig å kvantifisere på merdkanten, og må som regel vurderes via videoopptak. Hvis fisken står mer eller mindre i ro kan dette også utføres manuelt, eksempelvis med en stoppeklokke. Merk at repeterbarhet og robustheten av resultatene blir redusert med denne metoden. Kvantitativ analyse av gjellelokkfrekvensen er derfor en LABVI.

Endringer i absolutte gjellelokkfrekvenser (se tabell 3.2.1-1) kan være en problematisk LABVI. Dette skyldes at ulike vannhastigheter og likende kan påvirke de absolutte verdiene. En mener at den prosentvise endringen i gjellelokkfrekvensen målt før, under og etter en oppdrettsrutine er en bedre LABVI, fordi dette i mindre grad påvirkes av vanntilstanden.

### **Styrke til indikatoren**

Gjellelokkfrekvensen er en god indikator på fiskevelferd (Martins mfl. 2012). Brå økning i gjellelokkraten kan være en rask, robust OVI ved en potensiell velferdstrussel. Den er lett å observere ved forskjellige prosedyrer, både over og under vann. Dette gjelder så lenge fisken svømmer langsomt eller står i ro.

### **Svakhet til Indikatoren**

En økning i gjellelokkfrekvensen kan også være forbundet med positive opplevelser for fisken, i tillegg til å være en velferdstrussel (Martins mfl. 2012). Videre kan det også være en indikasjon på flere velferdsutfordringer, noe som betyr at problemet må undersøkes ytterligere for å identifisere kildene. Kvantitativ vurdering av gjellelokkfrekvensen er tidkrevende, noe som betyr at det er klassifisert som en LABVI. Teknologiske fremskritt som passivt overvåker gjellelokkfrekvensen, via automatiserte synsbasert basert teknologi eller merkesystemer, kan gjøre denne indikatoren til en kvantitativ OVI.

### **3.2.2 Refleksatferd**

Enkle refleksindikatorer som øyerulling og evnen til å snu seg i oppreist stilling igjen kan lett brukes, og det blir stadig mer populært for å karakterisere nevrologiske reaksjoner hos fisk på ytre stimuli eller funksjoner i det autonome nervesystemet (Davis 2010).

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Reflekser kan vurderes er individuelt, som tilstede eller fraværende, eller som en kombinasjon av reflekser som kan graderes (Score 0-5) (Davis 2010). Reflekser som er automatisk kontrollert av hjernestammen, som rytmiske åndedrag eller hornhinnerefleksen, er mye brukt til å vurdere responsen hos pattedyr og fugler under slakteprosessen. Disse refleksene er de første klare tegn på oppvåkning etter bedøving (Anil 1991). Refleksene er allment akseptert som robuste indikatorer på hjernens funksjon hos dyr. Når de ikke er tilstede, kan det trygt fastslås at dyret er ikke bevisst (Anil, 1991). Vestibulum-okulær refleks (VER, «øyerulling»), ser ut til å være en lignende indikator. Dette er den siste refleksen som går tapt under anestesi og den første til å vises etter oppvåkning hos fisk (Kestin mfl. 2002). Det er imidlertid et behov for å validere og utvikle en rekke refleksresponsen som er tilpasset laksefisk (regnbueørret og atlantisk laks). Like fullt kan noen brukes som de er. Eksempelvis «øyerulling» (VER); «korrigerenderefleks» (å rulle fisk på ryggen og se om det gjenvinner oppreistposisjon innen 3 sekunder), og «halerefleks» (å ta tak i halen og se om fisken «skvetter» bort). Disse metodene krever ikke noe spesialutstyr og gir en umiddelbar (<20 s) mål på fiskens vitalitet. Man kan også benytte mer avansert utstyr som elektroencefalografi (EEG) og elektrokardiogram (EKG), som brukes henholdsvis til å overvåke aktivitet i hjernen eller hjertet. Dette er imidlertid utstyr som krever



høy kunnskap for å kunne bruke og tolke. Ved valg av observasjonsmetode på merdkanten, er refleksatferd en OVI.

### Styrke til indikatoren

Det er en raskt, enkelt og billig å vurdere reflekser uten medfølgende observatørbias, og dette krever ikke noe utstyr eller vitenskapelig kompetanse. Dette ble utviklet for å kompensere for manglende evne til tradisjonelle fysiologiske målemetoder for å kunne forutsi dødelighet, og er ikke avhengig av fiskestørrelse, fiskestatus, eller akklimatisering (Davis 2010).

### Svakhet til indikatoren

Svakheten ved indikatoren er at dette er en relativt ny metode, med forholdsvis få publiserte eksempler. De eksakte mekanismene om hvordan reflekser kan forutsi dødelighet er uklare. Dessuten kan feilaktig metodevalg, refleksvalg, eller tolkning av responsen gi tvetydige svar.

### 3.2.3 Lakselus

I Norge er det hovedsaklig to arter av lus som parasiterer på laks; lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) og skottelus (*Caligus elongatus*). Lakselus er generelt et større velferdsproblem enn skottelus. Laksens reaksjon på lakselus manifesterer seg via overflatehopp (Furevik mfl. 1993), og forhøyede primære stressresponser som plasmakortisol og glukose (Bowers mfl. 2000; Finstad mfl. 2000). Disse stressresponsene oppstår selv om det infeksjose copepodittstadiet ennå ikke er begynt å spise på laksen (f.eks Finstad mfl. 2011). Ved høye infeksjoner av lakselus påvirkes svømmeytelsen negativt ved høye strømhastigheter (Bui mfl. 2016). Grimnes og Jakobsen (1996) og Finstad mfl. (2000) fant ingen alvorlige effekter på fisk ved ekstreme infeksjoner av fastsittende lakselus ( $> 1$  lus/cm<sup>2</sup> fisk eller  $> 100$  lus/fisk ved copepoditt- og chalimustadiet). Derimot de fant en plutselig økning i verten sin dødelighet når pre-adult stadiet til lakselus dukket opp. Responsen ved infisering av pre-adult og voksen lakselus inkluderer primære stressresponser, inflammatoriske responser, endringer i appetitt, hud og gjeller, forsinket helning av skader, osmotiske problemer og vevsselfdestruksjon (Ross mfl. 2000; Boxaspen 2006; Skugor mfl. 2008). Lakselus initierer kortsiktige fysiologiske responser allerede ved 0,01 lus/cm<sup>2</sup> fisk, og langtidseffekter kan observeres ved 0,05 lus/cm<sup>2</sup> fisk (Nolan mfl. 1999). Grimnes og Jakobsen (1996) fant ut at en tetthet av lakselus over 0,15 lus/cm<sup>2</sup> på fisk kunne være dødelig, men mente at den faktiske dødelighetsgrensen sannsynligvis var lavere. Stien mfl. (2013) foreslo en grense på 0,12 lus/cm<sup>2</sup> for laks, hvor høyere infeksjonsgrad ville være dødelig. For en 100 g laks tilsvarer 0,05 lus/cm<sup>2</sup> rundt 7 lus, og for en 1000 g fisk 35 lus (se tabell 3.2.3-1). Mens vill laksefisk ofte har et lusenivå som fører til mistriksel og dødelighet (Holst mfl. 2003; Torrissen mfl. 2013), så er lusenivå strengt kontrollert og regulert i kommersiell akvakultur. Slike nivåer er ikke vanlig på oppdrettsfisk (Folkedal mfl. 2016), selv om det kan forekomme på enkelte individer, og da spesielt avmagret fisk. Derfor er avlusing med hyppig håndtering og kjemisk behandling for oppdrettslaks et mer alvorlig velferdsproblem enn selve lusa (se nedenfor).

**Tabell 3.2.3-1.** Ulike grad av lakselusinfeksjon og dets påvirkning på laks.

Effekt	Infeksjonsgrad (lus/cm <sup>2</sup> )	Referanse
Kortidseffekt	0.01	Nolan mfl. 1999
Langtidseffekt	0.05	Nolan mfl. 1999
Dødelighet	0.12	Stien mfl. 2013

Skottelus er i motsetning til lakselus ikke vertsspesifikk, og er funnet på et stort antall forskjellige arter (Revie mfl. 2002 og referanser deri). Likevel finnes den generelt i mindre tettheter og er mindre aggressiv enn lakselus i norske oppdrettsanlegg. Alle stadiene av skottelus lever av slim og epitelceller, men de trenger i lavere grad inn i huden. Dermed skaper skottelus vanligvis ikke åpne sår i sine verter. McKinnon (1993) fant lav grad av respons fra immunsystemet på laks infisert med skottelus. Høy tetthet av skottelus er likevel blitt observert å kunne forårsake sår på laks, men det finnes ingen opplysninger om hvor stor tetthet av skottelusinfeksjon som må til før velferdsproblemer oppstår.

### Prøvetaking og analytiske betraktninger

En detaljert manual på hvordan en kan telle lus er tilgjengelig på [lusedata.no](http://lusedata.no). Før start er det viktig å sørge for at personalet har gjennomgått tilstrekkelig opplæring, og kan identifisere de ulike livsstadiene til lakselus. Videre er det en forutsetning at alt nødvendig utstyr er tilgjengelig; som skjema for telling av lus, orkastnot for å samle laksen, håv, riktig bedøvelse, hvite kar for å bedøve fisken i, sil for filtrering av vann i karene for lus, hansker som ikke skader fisken, og tilstrekkelig belysning (hodelykt i mørke perioder av året). Prøvetakingen må gjøres forsiktig for å ikke skade fisken, og på en slik måte at den fangede fisken er representativ for populasjonen i merden. Maksimalt 5 fisk skal bli bedøvet ved et gitt tidspunkt og man skal benytte de foreskrevne doser. Fisken blir vanligvis bedøvet etter omtrent 1 min, og den er klar til å telles når den ikke reagerer med slag med halen når den løftes fra vannet. Ved lave lufttemperaturer (minusgrader) må fisken avlives eller utføres med fisken neddykket i vann. Fisken skal holdes forsiktig, og hansker skal benyttes for å ikke skade fisken. Hver fisk må kontrolleres nøye, og fisken må være godt opplyst og mot en lys bakgrunn for å sikre nøyaktig tellinger. Man skal registrere antall lus og klassifisere dem i ulike livsstadier. En tilnærming er å dele inn i fastsittende, mobile og voksne hunner. Det er viktig å filtrere vannet for eventuelle lus som kan ha falt av i bedøvelseskaret, og disse skal inkluderes i beregning av gjennomsnittlig antall lus på fisk.

### Styrke til indikatoren

Det er relativt enkelt å telle lus og klassifisere dem inn i livsstadier. Lus påvirker fiskevelferden, og selv ei lita lus kan være et irritasjonsmoment for fisken, og mange lus kan føre til sår, og i det lange løp medføre dødelighet.

### Svakhet til indikatoren

Som for alle velferdsindikatorer som er avhengige av prøvetaking av enkeltfisk fra merder, er det å få tatt ut et representativt utvalg av fisk vanskelig. Man kan derfor risikere at de fangede fiskene ikke representerer den "sanne" situasjonen i anlegget eller merden.

### 3.2.4 Gjellestatus og bleke gjeller

Bakterielle infeksjoner, parasitter, virus, sopp og dårlig vannkvalitet kan føre til gjelleproblemer. Oksygenopptaket kan begrenses på grunn av fortykning av gjelleoverflaten og slimproduksjonen. Slik kan fiskene bli svært følsomme overfor stress, som igjen krever mer oksygen enn det syke organet kan gi. Fisken kan dermed bli kronisk stresset eller i verste fall dø på grunn av kvelning. Gjelleproblemer kan også påvirke osmoreguleringen. I ferskvann kan parasitter som *Costia* (*Ichthyobodo necator*), *Trichodina* og *Chilodonella*, føre til gjelleinfeksjoner. Likevel er det fortsatt dårlig vannkvalitet som er den primære årsaken til at gjellene blir utsatt for parasitter. I sjøfasen er kronisk gjellesykdom det første året laksen er i sjø et vanlig og alvorlig velferdsproblem. Dette kan skyldes flere faktorer, og ofte blir det sett gjellecyster (epiteliocyster) (VI 2017). *Ca. Branchiomonas cysticola* har blitt identifisert som den dominerende årsaken til gjellecystedannelse hos norsk laks (Steinum mfl. 2015). Også andre arter som *Syngnamydia salmonis*, *Piscichlamydia salmonis* og mikrosporidier kan spille en rolle. Kronisk gjellebetennelse er fortsatt ikke fullt ut forstått, men har en klar innvirkning på velferden hos laks. Man

kan oppleve dødelighet på 10-20 %, dårlig vekst og økt stressrelatert dødelighet i forbindelse med håndtering. Gjelleinfeksjoner er multifaktorielle og ikke meldepliktig, noe som gjør det utfordrende å vite forekomsten og årsakene bak. Gjelleinfeksjoner regnes fortsatt som en av de vanligste årsakene til produksjonstap (Steinum mfl. 2015), og kan derfor ha betydelig innvirkning på dyrevelferden.

Amøbisk gjellesykdom (AGD) er forårsaket av den marine amøben *Neoparamoeba perurans*, som infiserer og angriper gjellene. Den har spredt seg over hele verden de siste årene (Oldham mfl. 2016), og blitt et stort problem i norsk havbruk. AGD er så langt ikke et problem i Nord-Norge, og dominerer hovedsakelig i den varme sesongen. Den er også sjeldnere i fjorder med overflatelag av brakkvann (<25 ppt saltholdighet), og amøben overlever ikke i rent ferskvann (Karlsbakk 2015). Høye temperaturer og saltholdighet synes derfor å medføre økt risiko for AGD utbrudd.

AGD forårsaker gjellebetennelse og påvirker respirasjon negativt. AGD blir klinisk uttrykt som slapphet, redusert appetitt, ansamlinger ved vannoverflaten og økt gjellelokkfrekvens (Kent mfl. 1989; Munday mfl. 1990). I noen tilfeller, og i fravær av behandling, kan dødeligheten nå ekstreme nivåer, som for eksempel det norske utbruddet i 2006 med over 80 % dødelighet (Steinum mfl. 2008).

Foreløpig diagnose av AGD infeksjon er ofte gjort gjennom scoring av hvitt slim, og flekker på gjellene. Der scoren null (0) indikerer ingen infeksjon og scoren fem (5) viser til alvorlig infeksjon (Taylor mfl. 2009).

#### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Makroskopisk evaluering av gjellene kan fortelle noe om tilstanden til gjellene og alvorlighetsgraden av eventuelle skader. For AGD finnes det et skåringssystem som kan brukes til å overvåke både infeksjonen og effektiviteten av behandlingen. For at skåringssystemet skal være effektivt er det viktig å ha riktig opplæring for å standardisere verktøyet samt for å unngå å skade de skjøre gjellene på levende fisk. Ved å bruke et mikroskop på gjelleprøvene, kan parasitter som *Ichthyobodo necator* (costia) sees direkte, og man får også et nærbilde av gjellevevet. Prøver av gjellene kan sendes til et laboratorium for histopatologiske diagnoser, og som en kontroll av gjellestatus før eksempelvis en lusebehandling. På grunn av raske post-mortem endringer, bør prøvene for histologi være ferske.

#### **Styrke til indikatoren**

Makroskopisk undersøkelse er billig og relativt enkelt å utføre med riktig trening. Dette gir en rask indikasjon på alvorlig gjellesykdom eller problemer. AGD-scoring kan brukes til behandlingsbeslutninger og evalueringer av effekten. Histopatologiske prøver kan gi en endelig diagnose, og kan gjøres relativt raskt ved laboratoriet. Makroskopisk evaluering av gjellene kan være viktig for å vurdere også den kliniske betydning av histologiske prøver.

#### **Svakhet til indikatoren**

Begynnende gjellesykdom kan være vanskelig å oppdage tidlig ved hjelp av makroskopiske teknikker, og man må da bruke histopatologi selv om svaret blir forsinket. Det kan også være utfordrende å få et klart svar på årsakene til gjellesykdom ved makroskopisk undersøkelse, da mange av dem kan være multifaktorielle. Forsiktighet bør utvises ved skåring av gjellene på levende fisk, da de kan bli skadet under pågående undersøkelse.

### 3.2.5 Kondisjonsfaktor og andre betingende faktorer

Kondisjonsfaktor (KF) er et standard mål på fiskens ernæringsstatus (Bolger og Conolly, 1989; Nash mfl. 2006), og beregnes som  $100 \times \text{Vekt (g)} / \text{Lengde}^3 \text{ (cm)}$ . Jo høyere K, desto fetere er fisken. Det er en positiv korrelasjon mellom kondisjonsfaktor og totalt fettinnhold hos laks (Einen mfl. 1998, 1999; Hamre mfl. 2004). Kondisjonsfaktoren kan variere gjennom året. Den har en tendens til å være høyere i løpet av sommeren og høsten når vannet er varmere og veksten raskere, sammenliknet med vinteren og våren (Juell mfl. 1994; Endal mfl. 2000; Sutton mfl. 2000). Kondisjonsfaktoren avtar også i løpet av smoltifiseringen (Farmer mfl. 1978), og øker igjen i post-smolt perioden (KF 1 som smolt og ca. KF 1.6 ved slakt) (se Stien mfl. 2013 og referanser deri). Svært lav kondisjonsfaktor kan være en indikasjon på avmagring. Folkedal mfl. (2016) fant derimot at fysisk utseende kunne være en bedre indikator på avmagring enn kondisjonsfaktor. Dette skyldes at det var en overlapping i kondisjonsfaktor mellom individer vurdert som utmagret, og enkelt individer ble vurdert som «sunne». På den motsatte side kan ekstremt høy kondisjonsfaktor være en indikasjon på ryggvirvel deformasjon (Fjelldal mfl. 2009; Hansen mfl. 2010).

Siden kondisjonsfaktoren er variabel og endrer seg med både livsstadium og sesong, er det vanskelig å oppgi klare verdier som er en indikasjon på redusert velferd, men en kondisjonsfaktor lavere enn 0,9 indikerer avmagring (Stien mfl. 2013). Tilstandsindekser av velferd inkluderer i tillegg til lengde-vekt forhold (kondisjonsfaktor) også organosomatiske indekser (Barton 2002).

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Tilnærminger for å måle kondisjonsfaktorer og andre betingende faktorer spenner fra å være relativt ikke-dødelige (enkle målinger på levende fisk) til dødelige metoder (for organosomatiske indekser). Organosomatiske indekser sammenligner forholdet av vekten av et organ til kroppsvekten slik som; hepatosomatisk indeks (lever: kroppsvekt, HSI), gonadosomatisk indeks (gonader: kroppsvekt, GSI), innvollesomatisk indeks (hele innvoller: kroppsvekt, VSI), og miltsomatisk indeks (milt: kroppsvekt, SSI) (Barton 2002).

#### Styrke til indikatoren

Dette er enkle og billige metoder. En god indikator på den samlede tilstanden til fisken som for eksempel kan påvise kronisk stress (Barton 2002), og noen av indeksene er ikke-dødelige (eksempelvis lengde-vekt-analyse, kondisjonsfaktor, relativ vekt). Dette er allerede mye brukt i oppdrett. I videre forstand er det raskt, enkelt og billig å evaluere, og det kreves ikke noe spesielt utstyr.

#### Svakhet til indikatoren

Noen av kritikken om bruk av tilstandsindekser er at de kan føre til uriktige konklusjoner basert på iboende begrensninger ved de ulike metodene (Sopinka mfl. 2016). Ved bruk av organosomatiske metoder er en konsekvens at fisk må «ofres». Tilstandsindekser kan være påvirket av årstidene, utviklingsstadium, kjønnsmodning og sykdomstilstand. Det krever ofte store størrelseseffekter for å kunne oppdage stress og svekket velferd.

### 3.2.6 Grad av avmagring

I oppdrett vil noen oppdrettslaks ende opp med forkrøplet vekst, svært lav kondisjonsfaktor (tynn) og generelt dårlig utseende (Folkedal mfl. 2016, fig. 3.2.6-1). Disse er ofte referert til som «tapere», «pinner», eller avmagret fisk. Kjennetegn på avmagret fisk er, i tillegg til deres ytre utseende, manglende eller lite buk fett, og fargeflekker på nyrene (melanisering). I tillegg viser fisken atferdsmessige forstyrrelser som treg og «sløv» svømming langs notveggen nær overflaten. De står ofte alene adskilt fra hovedgruppen. Disse individene er ofte tungt infisert med indre parasitter (eksempelvis bendelorm), men det er ikke kjent om dette er en årsak eller konsekvens av ernæringstilstanden. Laks kan bli avmagret av ulike grunner, inkludert sykdom (Hjeltnes mfl. 2016). Laksen kan også bli syk grunnet ufullstendig smoltifisering (Duston 1994; Hjeltnes mfl. 2016), lakselus (Finstad mfl. 2011), stress (Huntingford mfl. 2006) og negativt sosialt miljø (Adams mfl. 2000). Overføring fra ferskvann til sjø medfører et helt nytt og mer variabelt miljø som sammen med transportstress kan gjøre at individer slutter å spise eller går over til dyreplanktondiett. Dyreplanktondiett gir lavere vekst enn kommersielt fôr, og planktontilgangen kan være begrenset. Dette er noe som gjør at disse individene vokser dårlig. Zooplanktondiett kan også føre til infeksjoner av kveis (*Anisakis* sp.), som har blitt funnet i utmagrede, men ikke friske individer (Levsen og Maage 2015).

Uansett hva årsaken til nedsatt vekst er, vil fisk som er mye mindre enn gjennomsnittet tape i konkurransen om mat. Spesielt gjelder dette når pelletstørrelsen økes for å tilpasses majoriteten av større individer. Avmagrede individer er derfor med få unntak dødsdømte, og dermed avtar andelen avmagrede fisker senere i vekstfasen (Folkedal mfl. 2016). Vindas mfl. (2016) fant nylig ut at hjernens serotoninproduksjon er forhøyet i utmagret fisk, og serotoninergesystemet vil ikke respondere på ytterligere stress, noe som indikerer at disse fiskene er i en depresjonslignende tilstand. Avmagrede fisk er mer utsatt for sykdom. Disse fiskene har en tendens til å oppholde seg nær overflaten, hvor flere patogener og luselarver oppholder seg sammenliknet med dypere vannlag (Hevrøy mfl. 2003). Dette innebærer en ekstra helserisiko for den radmagre fisken. Avmagret fisk kan derfor fungere som et reservoar og en vektor for sykdom for resten av fiskene i merden. Siden de har nedsatt appetitt er det også vanskelig å behandle dem oralmedisinsk (Coyne mfl. 2006).

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Det er ikke alltid enkelt å bedømme om et individ bare er «normalt» mager med et potensiale til å kunne vokse bra, eller faktisk er en utmagret og døende «taperfisk». Avmagrede fisk er vanligvis små i form av både lengde, vekt og kondisjonsfaktor og de fleste problemene oppstår kort tid etter utsett. Fisken kan også begynne og avmagres på et senere tidspunkt, for eksempel på grunn av sykdom, og dermed ikke avvike mye fra den normale fisken i forventet lengde. Avmagrede fisk har en tendens til å svømme sakte i nærheten av overflaten, og er derfor lett å fange under prøvetaking. Dette risikerer å resultere i at avmagringsfenomenet overvurderes (Folkedal mfl. 2016). Siden denne skjevheten er godt kjent blant oppdrettere blir utmagret fisk ofte ekskludert fra prøver, for eksempel under lusetelling. Slik praksis hvor man velger å vurdere fisk uten åpenbare velferdsproblemer, kan ikke rettferdiggjøres i en helhetlig velferdsvurdering.

#### Styrke til indikatoren

Avmagrede fisk kan vanligvis bli gjenkjent utfra sin unormale atferd, og er lette å identifisere da de isolerer seg fra hovedstimen og er nær overflata. Tilstedeværelsen av avmagret fisk kan også fungere som en «isfjelleffekt» på at noe er galt i merden, eksempelvis sykdom eller dårlig smoltkvalitet (Folkedal mfl. 2016).



### Svakhet til Indikatoren

Beregning av andelen avmagret fisk i merd er nesten umulig, da det ikke er mulig å ta representative prøver.



**Figur 3.2.6-1.** En avmagret laks som svømmer sakte utenfor stimen i nærheten av overflaten. Foto: Ole Folkedal.

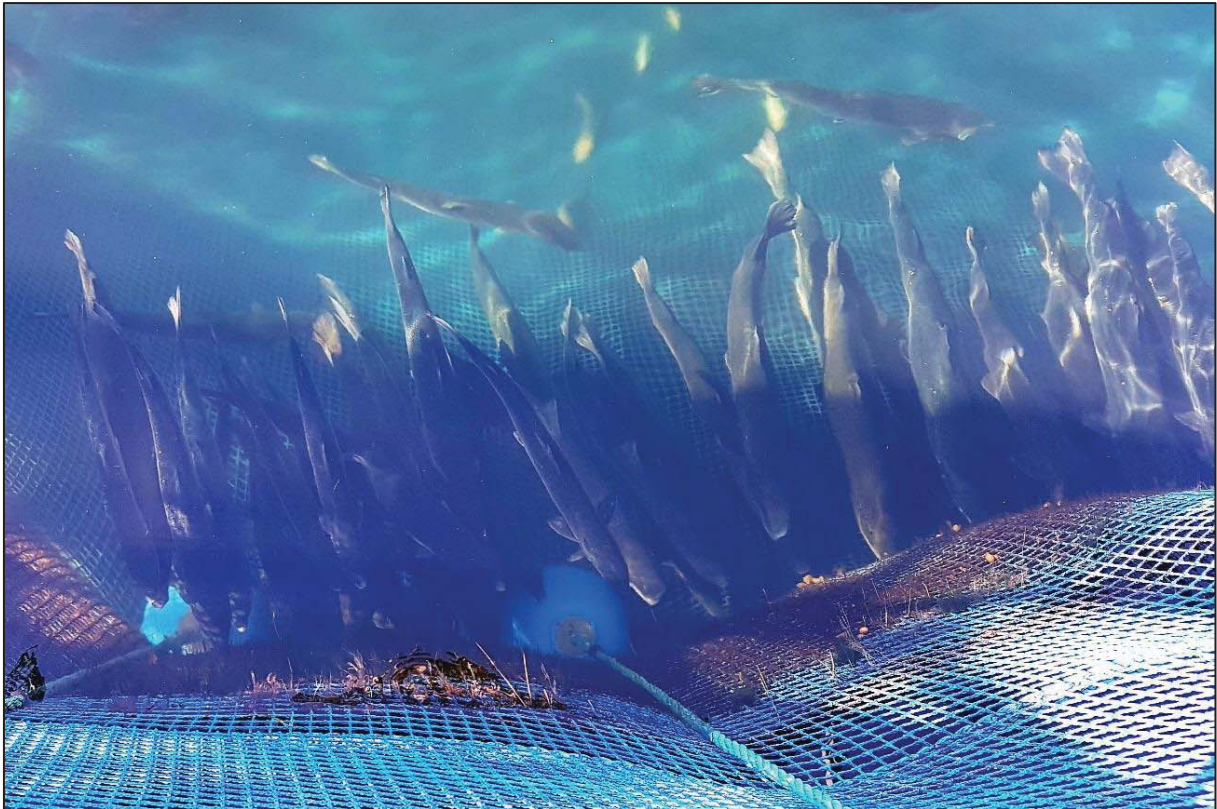
### 3.2.7 Kjønnsmodning

Laks kan kjønnsmodne i ferskvann før smoltifisering (tidlig kjønnsmodning) eller etter overgangen til sjø. Kjønnsmodningen i sjø opptrer fra et par måneder etter sjøutsett, men skjer hovedsakelig som tert etter rundt 1,5 år til sjøs. Tidlig kjønnsmodning på parrstadiet oppstår bare hos hanner, men også til sjøs forekommer kjønnsmodning hovedsakelig hos hannene, da de kjønnsmodnes tidligere enn hunnene. Tidlig kjønnsmodning av parr hemmer smoltifisering og dermed sjøvannstoleransen (McCormick mfl. 1998). Slik kjønnsmodning er også assosiert med økt aggresjon (Taranger mfl. 2010). Vill kjønnsmoden laks vil utføre vandringer mot elva for å gyte, men det er usikkert om kjønnsmoden oppdrettslaks har et tilsvarende atferdsbehov (Huntingford mfl. 2006). Under kjønnsmodningen gjennomgår laks fysiologiske tilpasninger til et hypoosmotisk (ferskvann) miljø, før de returnerer til ferskvann (Persson mfl. 1998). Det er derfor sannsynlig at kjønnsmoden laks i sjø vil få osmoregulatoriske problemer. Endringer i aktiviteten av ulike hormoner i forbindelse med reproduksjon, som kjønnshormoner, kortisol og veksthormon, kan påvirke immunforsvaret til den kjønnsmodne fisken. Dette er noe som kan resultere i økt sykdomsmottakelighet og en generell redusert helsetilstand (Taranger mfl. 2010 og referanser deri). Kjønnsmodne individer viser også unormal atferd i merdene, ved å stå høyt i vannet mot strømrretningen (Fig. 3.2.7-1). Den reduserte

immunologiske kapasiteten og den reduserte osmoregulatoriske evnen sammen med atferdsendringer, kan føre til redusert velferd og økt dødelighet hos kjønnsmoden laks.

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Som med prøvetaking for fisk ved andre individuelle basert OVI'er er det svært vanskelig å anslå hvor stor andel av fisken som er kjønnsmoden, da deres avvikende atferd vil påvirke hvor representert de er i prøvetaket. Tidlig kjønnsmodning kan oppdages via økte nivåer av hormoner tidlig i vårsesongen (Pall mfl. 2006), mens de første synlige tegnene på kjønnsmodning vanligvis blir observert i juni, som økt GSI hos kjønnsmodne individer (F. Oppedal, pers. komm.). Kroppsvekt og kjøttkvalitet begynner å bli negativt påvirket av kjønnsmodning mot slutten av sommeren (Aksnes mfl. 1986).



**Figur. 3.2.7-1.** *Kjønnsmoden laks i merd som har forlatt stimen og står mot strømretningen. Foto: Jan Erik Fosseidengen.*

### **Styrke til indikatoren**

Kjønnsmodning kan ha store effekter på velferden, og hvis forholdsregler ikke blir tatt kan en stor andel av fisken kunne modnes. Kjønnsmodning kan utsettes ved hjelp av ekstra lys om våren, og fisken bør slaktes før den kjønnsmodner. Ved tidlige tegn på kjønnsmodning hos smålaks, kan det være mulig å forsinke utviklingen ved bruk av ekstra lys i løpet av sommeren.

### **Svakhet til indikatoren**

Tidlig deteksjon av igangsatt kjønnsmodning via hormonanalyser, krever at det tas blodprøver av et tilstrekkelig og representativt antall individer. Disse sendes til et laboratorium for analyse. Dette må anses som en LABVI. GSI for å påvise utviklingen av gonadene, forutsetter også at fisken avlives (se avsnitt 3.2.5).



### 3.2.8 Smoltifiseringsstatus

Fysiologiske forstyrrelser i løpet av eksponering for sjøvann er større ved høy (> 14 ° C) sammenliknet med mellom (10 ° C), og lav (<7 ° C) temperatur. Dette kan føre til langvarig osmotisk stress og økt dødelighet (Sigholt og Finstad 1990; Handeland mfl. 2000, 2003). Overføring av laks til fullt sjøvann (34 – 35 ‰) før de er helt smoltifisert, gir høy dødelighet og hemmet vekst i et tidsrom på 1-2 måneder, selv ved normale temperaturer (Duston, 1994). Disse problemene er mindre alvorlige, men fortsatt tilstede ved overføring til brakkvann på 20 ‰ (Bjerknes mfl. 1992; Duston 1994). Fullt smoltifisert fisk har få problemer med osmoregulering i sjøvann (Duston 1994). Det er derfor viktig å sikre at alle fiskene har fullført smoltifiseringen før de blir overført til sjø (Fig. 3.2.8-1).

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Tilpasning til sjøvann evalueres før overføring til sjø ved å måle konsentrasjoner av Cl<sup>-</sup> i plasma (111-135 mmol/L i fersk-, og ca. 130-160 mmol/L i sjøvann). Videre måler en kondisjonsfaktor (reduseres under smoltifisering), morfologiske indikatorer (sølvfarge, forsvinnende parrmerker og mørke finnekantene) og enzymatisk eller genespresjon natrium kalium ATPase (NKA) aktivitet (økninger i fisken. Verdier på ca. 10 µmol ADP/mg protein \* t kan indikere at fisken er smoltifisert). Morfologiske endringer knyttet til smoltifisering kan scores etter eksisterende operasjonelle scoringsskjemaer, eksempelvis:

[https://www.pharmaganalytiq.com/sfiles/75/1/file/v6\\_prosedyre\\_010601\\_vurdering\\_av\\_smoltindeks.pdf](https://www.pharmaganalytiq.com/sfiles/75/1/file/v6_prosedyre_010601_vurdering_av_smoltindeks.pdf)

#### Styrke til indikatoren

For å samle fisken fra kar før sjøsetting og visuelt observere at de har de fysiske egenskapene som sølvfarge og mørkere finner, er en viktig, lett og billig metode.

#### Svakhet til indikatoren

Smolt har en tendens til å svømme høyere i vannsøylen sammenliknet med parr. Derfor kan et lite antall individer hentet fra øvre deler av et kar for å kontrollere smoltifiseringsstatus medføre at man overvurderer graden av smoltifisering i en oppdrettsenhet. Bestemmelse av graden av smoltifisering på grunnlag av ATPase-målinger forutsetter at fisken avlives og at prøvene sendes til et sentralt laboratorium for analyse. En liten andel av dårlig smoltifisert fisk kan være vanskelig å oppdage med mindre et stort antall individer blir undersøkt.



**Figur 3.2.8-1.** Øvre bilde: En laks som ikke er ordentlig smoltifisert, som kan sees på gulaktig farge på gjellelokkene og området rundt brystfinnen. Nedre bilde: En helt smoltifisert laks. Foto: Jonatan Nilsson.

### 3.2.9 Ryggdeformiteter

Vertebrale deformiteter (ryggdeformiteter) er ofte forbundet med oppdrettet laksefisk, men de har også blitt registrert i ville fiskebestander (Howes 1894; Sambraus mfl. 2014). Ryggdeformiteter har også ofte vært observert hos andre arter som dorade (Boglione mfl. 2001) og torsk (Fjelldal mfl. 2009b). Gitt at ryggdeformiteter opptrer i ville laksefiskpopulasjoner, er det rimelig å anta at det vil være et hvis nivå av slike deformiteter hos oppdrettsfisk (Branson og Turnbull 2008). Imidlertid har oppdrettsfisk tidvis blitt hardt rammet, og til tross for fremgang i å kontrollere vertebrale deformiteter fortsetter dette å være et problem for lakseoppdrettsnæringen (Poppe 2000; Witten mfl. 2005, 2009).

I tillegg til å ha en økonomisk betydning medfører ryggdeformiteter velferdsimplikasjoner. Opplysninger etter en radiologisk undersøkelse utført av Hansen mfl. (2010) viste at veksten til atlantisk laks er signifikant korrelert med mengden av deformerte ryggvirvler i enkeltindivider. Disse dataene er i samsvar med tidligere studier som har antydnet at ryggmisdannelser hos atlantisk laks er forbundet med redusert ytelse, og knyttet til dårlig velferd (Huntingford mfl. 2006; Fjelldal mfl. 2009a). Foreløpig er det ikke klart om fisk med vertebrale deformiteter opplever smerte (Branson og Turnbull, 2008). De som er hardt rammet er utvilsomt dårligere svømmere, og evner derfor i mindre grad å konkurrere om maten (Powell mfl. 2009; Hansen mfl. 2010). Ryggvirvlene har en rolle i kalsium- og fosforbalansen (homeostase) (Carragher og Sumpter 1991; Persson mfl. 1994), så vel som en avgjørende biomekanisk funksjon, ved å fungere som muskelforankring, fremdrift og fleksibilitet under bevegelse (Webb, 1975). Deformert fisk synes også å ha en redusert toleranse for håndtering og stress (Branson og Turnbull, 2008). Deres nedsatte bevegelser kan også resultere i en større mottakelighet for smittsomme sykdommer. Det er lite publiserte bevis som knytter ryggvirveldeformiteter til smittsomme sykdommer, men det er rimelig å anta at dårlig svømmeferdighet kan resultere i større smittetrykk som lakselus, og forvisning til sub-optimale deler av merden som kan føre til fysiske skader med etterfølgende sekundære infeksjoner (Samsing mfl. 2015).

Observerte ryggmisdannelser hos oppdrettslaks har tidligere blitt beskrevet som (a) komprimering (b) sammenvoksing (fusjon) (c) leddstivhet (ankylose) og (d) forvridning (Fjelldal mfl. 2007). Selv om det

finnes et omfattende system for klassifisering av ryggdeformiteter i humanmedisinen (Fardon og Milette 2001; Kaplan mfl. 2005), har det ennå ikke blitt utviklet et for atlantisk laks (Kvellestad mfl. 2000). Witten mfl. (2009) utviklet et mer sofistikert system for kategorisering av ryggvirveldeformiteter hos atlantisk laks, som kan bidra til å etablere forbindelser mellom ulike deformiteter og spesifikke etiologi. Tidligere studier har også antydnet metoder for klassifisering av skjelettdeformiteter i andre fiskearter (f.eks Boglione mfl. 2001).

I atlantisk laks og andre fiskearter har forskning identifisert ulike risikofaktorer i forbindelse med vertebrale deformiteter. Disse omfatter ulike ernæringsmessige faktorer (Dabrowski mfl. 1990; Cahu mfl. 2003; Gorman og Breden 2007), smittsomme sykdommer (Kent mfl. 1989), egginkubasjons-temperatur (Ørnsrud mfl. 2004a; Fitzsimmons og Perutz 2006), rask vekst i nullårs-smolt (Fjelldal mfl. 2006), vaksinasjon (Berg mfl. 2006), vannstrøm og -kvalitet (Divanach mfl. 1997), miljøforurensning (Sfakianakis mfl. 2006), og triploditet (Fjelldal og Hansen 2010; Leclercq mfl. 2011; Fraser mfl. 2012; 2015).

Det er sannsynlig at skjelettmisdannelser, inkludert ryggvirvelmisdannelser, er et resultat av flere medvirkende faktorer (Vågsholm og Djupvik 1998). Dette gjør det vanskelig å knytte visse risikofaktorer mot spesielle misdannelser (Aunsmo mfl. 2008b).

Forskning har vist at komprimering av ryggsøylen ofte oppstår sent i eggutviklingen (Berg mfl. 2006), noe som gjør det vanskelig å identifisere årsaken (etiologi). De underliggende biofysiske prosessene som er involvert er også lite kjent. En studie av Witten mfl. (2005) viste at de berørte ryggvirvlene i "korthalesyndromet" hos atlantisk laks viste endrede vertebrale endeplater, innoverbøyde ryggvirvelkanter, og strukturelle endringer i ryggvirvelvevet. Witten mfl. (2005) mente at en endret mekanisk belastning kunne ha resultert i transformasjonen av knoklene sine vekstsoner, samt tilhørende utskifting av intervertebral ryggstreng (notokord) av bruskvevet. I et annet studie påviste Wargelius mfl. (2010) at Matrix Metallo-Proteinase 13 (MMP-13) var signifikant oppregulert i komprimerte ryggvirvler. Dette er noe som kan tyde på at det er en sammenheng mellom ryggvirvel kompresjon og økt benremodellerings-aktivitet hos atlantisk laks.

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Ryggvirveldeformasjon kan graderes fra mindre til alvorlig. Røntgen brukes for å påvise mindre (start) deformasjoner, og også når mer nøyaktig beskrivelse av deformasjonen er ønsket. Fisken blir bestrålt av radiografer med et bærbart røntgenapparat. Fra de digitale bildene kan man identifisere antall og type deformert ryggvirvel. Witten mfl. (2009) har definert ni (9) forskjellige typer vertebralmisdannelse: 1) Redusert intervertebral plass, 2) homogen komprimering, 3) komprimering og redusert intervertebral plass, 4) komprimering uten X-struktur, 5) ensidig komprimering, 6) kompresjon og fusjon, 7) fullstendig fusjon, 8) fusjon sentrum og 9) forlengelse.

### **Styrke til indikatoren**

Bortsett fra mindre deformasjoner er det lett å se disse. Metoden er det intuitive, og det har en direkte innvirkning på nåværende og fremtidig velferd for fisken.

### **Svakhet til indikatoren**

Som diskutert ovenfor, kan vertebrale deformasjoner være forårsaket av en rekke forskjellige faktorer, eller en kombinasjon av faktorer. Det kan derfor være vanskelig for oppdretteren å finne årsaken bak utviklingen.

### 3.2.10 Finneskade og –status

Finnene av atlantisk laks består av et epiteliallag eller fold som støttes av finnestråler (se Videler 1993; Noble mfl. 2012b).

Finneskader kan klassifiseres på mange forskjellige måter i henhold til forfatterens preferanser eller bakgrunn (se Noble mfl. 2012b). MacLean mfl. (2000) klassifiserer finneskader inn i tre hovedtyper; a) erosjon b) splitting og c) fortykning. Alle typer finneskader kan resultere i blødninger i finnevevet (f.eks Noble mfl. 2012b). Dette kan klassifiseres som en ekstra type d) blødninger. Ytterligere former for finneskader kan inkludere misdannede finner (Turnbull mfl. 1996). Turnbull mfl. (In prep) klassifiserte finneskader som aktiv eller helbredet. Dette fordi slitte - men helbredete finner, kanskje ikke er en så alvorlig velferdstrussel som aktive sår, uavhengig av type slitasje eller frekvens (se Tabell 3.2.13-2-del 3).

Finneskader er en velkjent trussel mot et dyr sin velferd, da det er skade på levende vev (Ellis mfl. 2008). Finnene har også nociceptorer (smertereseptorer) (Becerra mfl. 1983), og aktiv finneskader kan være en åpning for sykdomsfremkallende infeksjoner til å etablere seg (se figur 3.2.10.1.) (Turnbull mfl. 1996; Andrews mfl. 2015 og se også Noble mfl. 2012b og referanser deri), da den epidermale barrieren ødelegges (Andrews mfl. 2015). Det må presiseres at forholdet mellom i) alvorlighetsgrad, ii) frekvens og iii) type finneskader og velferd, ikke fullstendig klar. Spesielt gjelder dette med hensyn til forskjellige arter og livsstadier (Ellis mfl. 2008; Noble mfl. 2012b). Risikoen kan også variere avhengig av hvilken livsfase laksen er i. Eksempelvis i parr kan tapet av brystfinner redusere kapasiteten til å holde seg i posisjon (Arnold mfl. 1991). Mens den i smolt og post-smolt, kan utsette dyrene for osmotisk ubalanse (Andrews mfl. 2015).

Prøvetaking og analytiske betraktninger samt styrker og svakheter ved bruk av finneskader som velferdsindikator, vil bli oppsummert på slutten av det ytre morfologiske VI avsnittet nedenfor.

### 3.2.11 Skjelltap og generell hudtilstand

I denne håndboken vil en definere epidermalskade (hudskade) som tap av epidermal vev til dermal/subdermal/muskelvev på ethvert sted på fiskens kropp. Dette kan også være ledsaget av blødning, sår dannelse eller forandringer i hudfarge, (Vågsholm og Djupvik, 1998).

Huden med sine skjell og slimlag representerer en førstebarriere mot infeksjoner. Selv en liten skade kan fungere som en port for infeksjon. Videre kan nærværet av nociceptorer i huden forårsake smerte, og større sår/byller kan hemme den osmoregulatoriske evnen. Den epidermale tilstanden kan ha en markant innvirkning på velferden til fisken, og forholdet mellom epidermal skade og velferd er skissert i en tidligere oversiktsartikkel av Noble mfl. (2012b), og kan være en viktig OVI for oppdretteren. Videre påvirkes hudfargen av stress, og kan derfor også være en egnet kvalitativ OVI for visse rutiner som langvarig sammentrenging og liknede (Mejdell mfl. 2007).

I korte trekk vil velferdskonsekvensene av epidermal skade ikke bare avhenge av type, alvorlighetsgrad og hyppighet forbundet med skaden, men også de potensielle patogener som er tilstede i oppdrettsmiljøet. Noble mfl. (2012b) skisserte tre viktige bakterie- og virusinfeksjoner; i) infeksjons lakseanemi (Totland mfl. 1996), ii) vintersår (Løvull mfl. 2009), iii) og Piscirickettsiose (Smith mfl. 1999). Disse kan kolonisere epidermal lesjoner, og utnytte epidermalskade som en rute til å forårsake infeksjon (Løvull mfl. 2009; Nylund mfl. 1994). Mange fiskehelsemessige forhold påvirker aktivt hudens tilstand, inkludert vintersår (Løvull mfl. 2009) og de som er skissert i tabell 3.1.5-1. "Viktige infeksjonssykdommer hos oppdrettslaks og regnbueørret i Norge, og ulike velferdseffekter".

Det skjer fargeendringer i huden hos fisk under ulik grad av stress. Kittilsen mfl. (2009) viste at stressresponsen gjenspeiles i det visuelle inntrykket av to arter av beinfisk; regnbueørret og laks.

Laksens og ørretens hud varierte fra nesten flekkfri til tett flekket, med svarte flekker dannet av melanin-produserende kromatoforer. Hos regnbueørret med lav kortisol-respons var huden mer gjennomgående flekket. Lignende viste laks med flere flekker lignende egenskaper som regnbueørret med reduserte fysiologiske og atferdsmessige reaksjoner på stress. Men flere studier må gjøres på ulike laksestammer for å bekrefte om denne egenskapen er en vedvarende egenskap som kan brukes som en OVI.

Når det gjelder effekter på fiskevelferden, vil epidermale skader på friskt vev påvirke nociceptorene og smerteopplevelsen av et sår (Kotrschal mfl. 1993). Epidermale skader påvirker de fysiske velferdsbehov hos atlantisk laks med hensyn til i) osmotisk balanse, ii) helse og atferdsmessige behov for iii) beskyttelse selv om dette varierer med livsstadium. For eksempel trenger yngel og parr, god helse og beskyttelse, mens smolt og post-smolt trenger osmotisk balanse, gode helse og beskyttelse. Epidermal skade er redegjort for i ulike nasjonale velferdsordninger. RSPCA for laks (2015) anbefaler at et utvalg av 50 fisk bør undersøkes under slakting. Eventuelle epidermale skader og lesjoner over 25 mm bør bemerkes og responderes på ved hjelp av utstyr eller bedre undersøkelser. Håndtering av traumer kan også ha innvirkning på eksterne (og interne) morfologiske indikatorer. For eksempel, kan klemskader fra håv eller fisk som tilfeldigvis blir fanget i en lukkende pumpeventil, bli gitt diagnose via tydelig skade på overhuden og også som potensiell underhuds- (subkutan) skade.

### 3.2.12 Øyeskade og øyetilstand

Øynene kan bli skadet på flere måter (tabell 3.2.12-1), hvorpå mekaniske skader er vanlig (Pettersen mfl. 2014). Øynene er spesielt sårbare under håndtering, både på grunn av fare for uttørking og mekaniske traumer. Dette skyldes øynenes posisjon der de stikker litt ut fra hodet og hverken har øyelokk eller tårevæske for beskyttelse. Utstående øyne (eksoftalmus) er et uspesifikt sykdomstegn som bør følges opp. Bak øynene er det mange blodårer (*plexus choroideus*), og mye bindevev for å gi øynene god bevegelighet. Når mikroorganismer koloniserer og vokser her kan øynene presses ut (Poppe 1999). Det samme skjer ved ødemer forårsaket av sirkulasjonsforstyrrelser, og ved gassblæresyke der gass siver ut i vevet bak øyet (Poppe 1999). Fisk med utstående øyne vil være mer sårbare for håndteringskader. Det kan være en utfordring å skille mellom skader som skjer på grunn av at øynene er utstående (ofte tosidig eksoftalmus) og skader som i seg selv har gitt utstående øye f.eks. forårsaket av blødning (ofte ensidig eksoftalmus).

«Øyesnapping» er en skade på øyne forårsaket av angrep fra annen fisk, der resultatet blir sår dannelse på hornhinnen eller tap av øyet. Mulige årsaker kan være problemer med aggresjon under fôring (Pettersen mfl. 2014), eller stråler av lys som kommer inn i en oppdrettsenhet og gir refleksjon i fiskeøynene («blank fiskekrok» effekt) (Noble mfl. 2012b) Observasjon av enkeltfisker med mørkere farge kan være et tegn på blindhet.



**Tabell 3.2.12-1. Øyeskade, årsaker og risikofaktorer**

Øyeskade	Risikofaktorer	Effekter på velferd	Redusere risiko ved å	Referanser
<b>Mekaniskskade</b>	Håndtering Håving Pumping Sortering	Antatt smertefullt; huden rundt øynene og hornhinnen har smertereseptorer.  Sekundære infeksjoner.  Kan miste synet.	Vakuumpumpe i stedet for manuell håving. Idividuell håving. Optimalisere utstyr til håndtering.	Noble mfl. (2012b) Pettersen mfl. (2014) Gismervik mfl. (2016) Chervova (1997) Sneddon (2009)
<b>Utstående øyne (Eksoftalmus)</b>	Mikroorganismer Kardiovaskulære problemer Ødem Trauma Gassblære syke Super-overmetning (>110% saturation) Generell sykdom	Avhengig av årsak, men er et tydelig tegn på kompromittert velferd Risiko for blindhet.	Avhengig av årsak	Poppe (1999) Noble mfl. (2012b) Pettersen mfl. (2014)
<b>Øye-snapping</b>	Fôrutiner Lysforhold	Antatt smertefullt.  Sekundære infeksjoner, og eventuelt død.	Unngå å skape skyggeforhold/ujevn belysning i kar. Optimal fôring.	Noble mfl. (2012b)  Sneddon (2003)
<b>Øyeikter</b>	Diplostomum spp. Pre-smolt i FV spiser i infisert vann.	Blindhet på grunn av iktestær (katarakt)		Poppe (1999)
<b>Indirekte blødninger</b>	<i>Parvicapsula pseudo-branchicola</i> , en børstemark (uidentifisert) er hovedvert, fisk er mellomvert.	Påvirker pseudobranchiene, medfører redusert O <sub>2</sub> tilførsel til øynene som kan gi øyeblikninger.  Parasittene kan gi høy dødelighet (post-smolt).	Unngå parvicapsulosis	Pettersen mfl. (2014) Hjeltnes mfl. (ed) (2016)
<b>Skader fra irritanter</b>	Kjemiske stoffer Termiske Toksiske UV-lys	Smerte og nedsatt syn.	Avhengig av årsak, bla. unngå overdosering av legemidler.	Pettersen mfl. (2014)

Katarakt er vanligvis definert som tap av klarhet i øyelinsen eller linsekapselen, noe som gir nedsatt syn eller blindhet (Tröbe mfl. 2009; Neves og Brown 2015). Alvorlig katarakt er ansett for å være en irreversibel skade av linsefibrene (Waagbø mfl. 2003), men hos laksefisk er det også rapportert om en reversibel katarakt på grunn av osmotiske forandringer (Iwata mfl. 1987). Eksponering for gjentatt stress kan øke lensens mottakelighet for senere kataraktutvikling (Bjerkås og Sveier, 2004). Nedsatt syn eller blindhet på grunn av katarakt kan gi redusert fôropptak, og føre til redusert vekst og økt mottakelighet for andre sykdommer (Breck og Sveier 2001; Ersdal mfl. 2001; Bjerkås mfl. 2003; Waagbø mfl. 2010; Remø mfl. 2011). Synshemming kan også redusere unngåelsesatferd og fôringsevne, da fisken ikke er i stand til å fastslå den nøyaktige plasseringen av pellets eller potensiell fare (Noble mfl. 2012b). Øyetilstanden er også brukt som en indikator på produktkvalitet, og fisk med katarakt har ofte hyperpigmentert hud som gir nedgradering fra «superior» og dermed økonomiske tap for oppdretterne (Neves og Brown 2015).

En rekke faktorer har vært koblet til utvikling av katarakt; ernæringsmessige mangler, osmotisk ubalanse, svingninger i vanntemperaturer, parasittiske infeksjoner av øyet, toksiske miljøfaktorer, ultrafiolett stråling, oksidativt stress, genetisk predisposisjon, rask vekst og raske endringer i vannets saltinnhold (Bjerkås og Sveier 2004). Kataraktutbrudd hos oppdrettslaks har særlig vært knyttet til histidinmangel i fôr (Breck mfl. 2003, 2005; Waagbø mfl. 2010), fjerning av fiskeproteiner og mer bruk av vegetabilsk olje i fôret (Waagbø mfl. 2003; Bjerkås og Sveier 2004), raske svingninger og økning i vanntemperatur og økt vekst (Bjerkås mfl. 2001). I tillegg har det blitt vist at kataraktutvikling som starter i ferskvannsfasen fortsetter etter overføring til sjøvann (Bjerkås mfl. 2001). Postpost-smolt produsert i RAS ved ulik saltholdighet viste at det var en høyere forekomst av katarakt hos 450 g post-smolt oppdrettet på 32 ‰, sammenlignet med gruppene på 12 og 22 ‰ (Ytrestøyl mfl. 2013). Det molekylære grunnlaget for utvikling av katarakt i linsen er fortsatt uklart (Tröbe mfl. 2009).

### 3.2.13 Deformerte gjellelokk

Gjellelokkene har en viktig rolle i respirasjonen hos fisk, da de bidrar til å føre en vannstrøm over gjellelamellene med påfølgende oksygenabsorpsjon fra vannet. Misdannelser som forkortede, manglende og vridde gjellelokk har vært forbundet med intensiv akvakulturproduksjon (Koumoundouros mfl. 1997).

Årsakene til gjellelokkmisdannelser er i stor grad ukjente, men er først og fremst knyttet til suboptimale oppdrettsforhold, manglende kosttilskudd og forurensning (Eriksen mfl. 2007). Spesielt gjelder dette i de tidlige livsstadiene. For eksempel har mangel på askorbinsyre ført til forkortede gjellelokk i yngel av regnbueørret (Halver mfl. 1969). Likeledes har mangel på fosfor ført til unormalt myke gjellelokk hos atlantiske lakseparr og post-smolt (Bæverfjord mfl. 1998). En antar at misdannelsene oppstår etter startfôring og er mer påvirket av oppdrettsforhold enn genetiske faktorer (Sadler mfl. 2001). I tillegg viste Eriksen mfl. (2007) at unormale gjellelokk kan være forårsaket av prenatal (før klekking) forhold forårsaket av foreldregenerasjonen.

Gjellelokkmisdannelser kan føre til redusert evne til å pumpe vann over gjellene og øke mottakelighet og sårbarhet for fisk som oppholder seg i utilstrekkelig vannkvalitet og oksygenfattige forhold (Ferguson og Speare, 2006). For å opprettholde tilstrekkelig gjennomstrømming av gjellene må den berørte fisken opprettholde forhøyet svømmehastighet (Branson, 2008), noe som ytterligere øker energikostnadene av respirasjon. Resultatet blir at det økte forbruket av energi vil medføre redusert vekst hos den berørte fisken (Standal og Gjerde 1987; Burnley mfl. 2010). Vedvarer denne situasjonen vil veksttapet akselerere. I tillegg til dette, kan gjellelokkmisdannelser forstyrre normalt ioneopptak hos ferskvannsfisk (McCormick 1994).



Manglende eller forkortede gjellelokk (Fig. 3.2.13-1) eksponerer gjellefilamenter til omgivelsene. Gjellefilamentene kan da bli forkortet og fortykket, og dermed øker risikoen for sekundære infeksjoner (Pettersen mfl. 2014). Økt dødelighet, mottakelighet for sykdommer og redusert dyrevelferd har blitt tilskrevet gjellelokkabnormiteter (Eriksen mfl. 2007). Det har det også blitt vist at atlantisk laks med forkortede gjellelokk hadde en signifikant redusert fare for å dø i løpet av utbrudd av bakteriell nyresykdom, i forhold til de fisk med normale gjellelokk (Burnley mfl. 2010).

Høyere forekomst av forkortede gjellelokk ble rapportert for laksesmolt produsert i gjennomstrømmingssystemer sammenlignet med smolt produsert i resirkuleringsteknologi før sjøsetting (Kolarevic mfl. 2014), og har også vært forbundet med triploid lakseparr, -smolt og -post-smolt (Sadler mfl. 2001). Gjellelokkerosjon har også blitt brukt som en OVI i en tidligere studie på regnbueørret og hvit-flekket røye i blandingsoppdrett (Noble mfl. 2012c).



**Figur. 3.2.13-1.** En lakseparr med forkortet gjellelokk. Foto: Jonatan Nilsson.

## Prøvetaking og analytiske betraktninger angående morfologiske VI

Morfologiske VI'er kan kvalitativt vurderes som gruppe OVI gjennom overflateobservasjoner, om sikten er god eller fisken svømmer nær overflata. Det kan også vurderes å bruke kameraobservasjoner i nåtid. Brå endringer i frekvens kan være en indikator på at velferden er kompromittert. Men selv om tilstedeværelse eller fravær av disse OVI-ene kan brukes som et tidlig varslingsystem for velferdstrusler, så sier de ingenting på alvorlighetsgrad eller hyppigheten av problemet i oppdrettspopulasjonen.

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, og på en slik måte 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 føring. Mange ulike scoresystemer for kvantifisering av morfologiske OVI'er blir nå brukt både av næringen og forskere, noe som kan gjøre benchmarking, vurderinger av og sammenligninger mellom ulike produksjonsanlegg problematisk. Denne håndboken vil foreslå et enhetlig scoresystem (tabell 3.2.13-2) som kan brukes av oppdrettere, fiskehelsepersonell og forskere for å unngå dette problemet.

Vi har brukt et 0-3 scoresystem for:

- i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) skader/sår, iv) skjelltap, v) øyblødninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggrad-deformiteter, ix) overkjevemisdannelser, x) underkjevemisdannelser, xi) lakselusinfeksjoner, xii) aktiv og helbredete finneskader.

Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av en eksisterende og mye brukt 0-4 scoreordning (Wall og Bjerkås, 1999, Figur 3.2.13-3). Skåringsmetoden kvantifiserer relativ kataraktareal i forhold til linsestørrelse (som sett gjennom pupillen langs optisk akse). En kan raskt vurdere et stort antall fisk manuelt for å få et inntrykk av utbredelse og alvorlighetsgrad i populasjonen. Hvis mulig, kan en gå gjennom et mindre antall fisk for en mer presis beskrivelse av kataraktet sin posisjon i linsen, type, utviklingsgrad og mulig årsak. Dette må gjøres under redusert belysning og krever eget utstyr og trening. Skåringsmetoden for katarakt tar ikke hensyn til hvor gjennomsliktig kataraktområdet er, dette er en viktig parameter som også bør bli notert (T Wall pers. kom.).



















### Styrke til indikatoren

Ytre skader er gode indikatorer på trusler mot fiskevelferden (Noble mfl. 2012b). Brå økning i skadefrekvens og alvorlighetsgraden kan være en rask, robust OVI av en potensiell velferdstrussel. De er lette å observere både over og under vann, så lenge fisken svømmer langsomt og er forholdsvis rolig (som en gruppe OVI). Metoden kan også brukes i løpet av rutinemessig prøvetaking, eksempelvis ved veiing eller lusetelling (individuelle OVI'er), og kan utføres relativt raskt på levende fisk.

### Svakhet til indikatoren



















Skader kan være en indikasjon på flere velferdsutfordringer, noe som betyr at problemet må undersøkes nærmere for å identifisere kilden(e). Kvantitativ vurdering av ytre skader krever håndtering og prøvetaking av fisk og dette kan være tidkrevende, spesielt i dype oppdrettssystemer. I tillegg kan det også være tidkrevende å behandle de enkelte OVI-dataene og fremskaffe data oppdretteren kan benytte seg av. Teknologiske fremskritt som passivt overvåker skader, via for eksempel automatisert visjonsbasert teknologi, kan forbedre den operative delen av morfologiske OVI'er ytterligere.

**Tabell 3.2.13-2-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 «punkttert» øye og avlives
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne



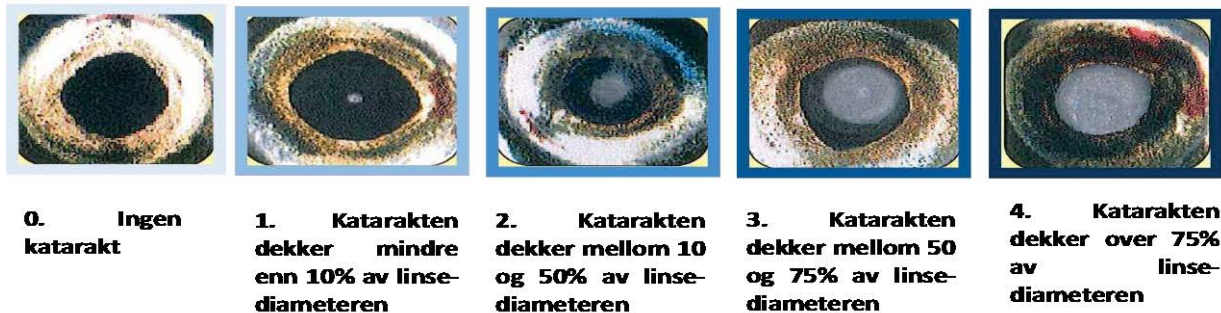
**Tabell 3.2.13-2-del 2.** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. 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 3.2.13-2-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	 Meste av finnen er inntakt	 Halve finnen er inntakt	 Lite av finnen er inntakt, huden er avhelet
Aktiv finneskade*	 Lett splitting og/eller blødende sår, splittingen er bare ytre deler av finnelengden	 Tydelig splitting og/eller blødende sår, splittingen er halvdelen av finnelengden	 Ekstrem splitting og/eller blødende sår, splittingen går ned til finnebasis. Deler kan være borte.

\*Splitting og/eller blødende sår



**Figur 3.2.13-3.** Morfologisk skåresystem for diagnostikk og klassifisering av katarakt hos laks. Tekst gjengitt fra "Wall, T. & Bjerkås, E. 1999, A simplified method of scoring cataracts in fish. Bulletin of the European Association of Fish Pathologists 19(4), 162-165. Copyright, 1999" med tillatelse fra European Association of Fish Pathologists. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto gjengitt fra "Bass, N. and T. Wall (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland, 2s." med tillatelse fra T.Wall.



### 3.2.14 Indre organer

Betennelse er en beskyttende reaksjon på vevsskade forårsaket av faktorer som smittsomme mikrober, parasitter, mekanisk forstyrrelser, varme, kulde, og kreftceller (Roberts og Rodger 2012). Tarmen er en viktig inngangsdør for patogener, og laksetarmen kan bli utsatt for betennelser og blødninger fra smittestoffer (Poppe 1999; Lumsden 2006). Også ernæringsmessige ingredienser som laksetarmen ikke er tilpasset, for eksempel soya, kan føre til betennelse i tarmen (Bæverfjord og Krogdahl 1996). Typiske tegn på indre akutt betennelse er hovne og misfargede organer, betennelsesvæske (eksudater), blødninger og nekroser. Forekomster av melanin er et tegn på en kronisk betennelsesreaksjon (Agius og Roberts 2003). Betennelse og dysfunksjonelle organer er forbundet med sykdom, smerte og redusert prestasjon (Pettersen mfl. 2014).

#### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Makroskopisk evaluering av indre organer kan gi indikasjoner på spesifikke sykdommer eller parasitter, eller mer generelt gi noen indikasjoner på sirkulasjonssvikt eller bukhinnebetennelse (peritonitt). For å stadfeste diagnoser, kan histopatologiske prøver av bukorganer være viktige. Likeledes kan prøver som undersøkes for tilstedeværelsen av virus være nyttig. På hjemmesidene til ulike laboratorium gis det informasjon om hvordan man skal gjennomføre prøvetaking og sende disse inn for å få effektiv diagnose (eller laboratoriet bør kontaktes direkte). Under et dødelighetsutbrudd kan fagpersonell ofte avgjøre den mest sannsynlige dødsårsaken ved å utføre eksterne og interne makroskopiske observasjoner (Aunsmo 2008a).

#### **Styrke til indikatoren**

Diagnoser som bukhinnebetennelse (peritonitt), vekt- og muskeltap (kakeksi) eller parasitter kan gi umiddelbar informasjon, og kan være et verktøy for evaluering og behandling av parasitter. Histopatologiske endringer i organer og identifisering av de aktuelle virusene, kan føre til en presis diagnose.

#### **Svakhet til indikatoren**

Fisken må bli avlivet før undersøkelse av indre organer kan foretas. Indre organer er enklest å inspisere og diagnostisere på nylig avlivet fisk, men det kan avhenge av type diagnose.

### 3.2.15 Vaksinerelatert patologi

Vaksinering av laksefisk i norsk havbruksnæring har medført at antall utbrudd av historisk viktige bakteriesykdommer har blitt redusert til et minimum. Det har medført vesentlig reduksjon i tap, betydelig reduksjon i forbruk av antibiotika og forbedret dyrevelferd. Men samtidig har det medført negative bivirkninger på fisk som følge av vaksinen og vaksinasjonsprosessen. I sum er det bred enighet om at vaksinering av fisk med dagens vaksiner er et klart pluss for både fiskehelse og velferd (Midtlyng 1997; Berg mfl. 2006; Evensen 2009). Det norske lovverket presiserer (FOR-2008-06- 17-822, Akvakulturdriftsforordningen, §63): «*All settefisk av arten *Salmo salar* skal som minimum vaksineres mot furunkulose, vibriose og kaldtvannsvibriose*».

I Norge benyttes hovedsakelig oljebaserte multivalente vaksiner til vaksinering av laks og regnbueørret, vaksiner som injiseres i fiskens bukhule. Det brukes også en del dypp og badevaksiner, men disse har ikke kjente bivirkninger. De første oljebaserte vaksiner kom på markedet i begynnelsen av nittitallet. På de første vaksinerne hadde hver dose et volum på 0,2 ml, men i løpet av de siste årene har nye vaksintyper med lavere dosevolum tatt over markedet. Den oljebaserte adjuvanten, som er en del av vaksinen, tjener som et depot for antigenene og er nødvendig for langvarig virkning, men samtidig bidrar adjuvanten også til de negative bivirkningene hos fisk. Endringene i

vaksineformuleringene i løpet av årene er et resultat av et ønske om å balansere forholdet mellom effekt og bivirkning. Formålet er å kunne oppnå full beskyttelse gjennom hele produksjonssyklusen, mens bivirkninger minimaliseres.

De ulike vaksinetypene på markedet kan være forskjellig i henhold til effekt og bivirkning. Den samme type vaksine kan også gi forskjellige resultater fra tid til annen på effekter og bivirkninger (Poppe og Breck 1997). Faktorer som er kjent for å påvirke resultatet av en vaksinasjon, inkluderer vaksinasjonteknikk, vanntemperatur (Sommerset mfl. 2005; Berg mfl. 2006), fiskestørrelse (Berg mfl. 2006), hygiene (Olsen mfl. 2006), helsetilstand og individuelle forskjeller i responsen til fisken på vaksinen (Midtlyng og Lillehaug 1998).

Omfanget av vaksiner, de positive effektene av vaksinen, men også av de negative bivirkningene gjør vaksinasjon kollektivt til blant de faktorene som har størst betydning for velferden til laks og regnbueørret. Ifølge en undersøkelse utført av Veterinærinstituttet (Hjeltnes mfl. 2016) svarte 60,9% av respondentene at vaksinebivirkninger er et mindre helseproblem for fisk, og 58,7 % svarte at bare noen få slike skader ble rangert over karakteren tre (3) på Speilberg Skala. Bivirkningene ved vaksine har vært mildere etter at de første oljebaserte vaksinene kom på markedet, men dette betyr ikke nødvendigvis at det ikke fortsatt kan være belastende for fisken å bli vaksinert. I tillegg til de synlige endringene i fiskens bukhule kan bivirkningene av vaksinasjon omfatte: redusert appetitt (Sørum og Damsgård 2004; Bjørge mfl. 2011), redusert vekst (Midtlyng og Lillehaug 1998; Sørum og Damsgård 2004; Aunsmo mfl. 2008b), spinale deformiteter (Aunsmo mfl. 2008a), Uveitis (regnbuhinnebetennelse) (Koppang mfl. 2004), systemiske autoimmune symptomer (Koppang mfl. 2008; Haugarvoll mfl. 2010) endringer (Bjørge mfl. 2011). God fiskevelferd er avhengig av minimale vaksinebivirkninger, og det er derfor viktig å overvåke bivirkninger, for å arbeide for en kontinuerlig forbedring av vaksineformulering og optimalisering av vaksinasjonsrutinene.

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Graden av vaksinebivirkninger i individuelle fisk evalueres ofte i henhold til "Speilberg skalaen" (Midtlyng mfl. 1996), se tabell 3.2.15-1 og figur 3.2.15-2. Speilbergskalaen er mye brukt som velferdsindikator i norsk akvakultur. Skalaen er basert på en visuell vurdering av omfanget og plasseringen av de patologiske endringene i bukhulen til fisken, og den beskriver endringer relatert til peritonitt; sammenvoksing mellom organer og bukvegg' og melaninavsetning. En Speilberg-poengsum på 3 og over anses som uønsket.

### **Styrke til indikatoren**

Indikatorens fordeler er at den er enkel, rask og billig å bruke.

### **Svakhet til indikatoren**

Fisk må avlives og vurderingen av lesjonene kan være subjektiv, om observatøren ikke har erfaring eller riktig opplæring. Ulike vaksinetyper kan gi forskjellig effekt og bivirkning, men den samme type vaksine kan også gi forskjellige resultater fra tid til annen i henhold til effekter og bivirkninger (Poppe og Breck 1997).



**Tabell 3.2.15-1.** Speilberg Skala, gjengitt fra "Midtlyng mfl. 1996, *Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (Salmo salar L.) against furunculosis. Fish & Shellfish Immunology 6, 335–350. Copyright 1996.*" med tillatelse fra Elsevier. Resultatene baserer seg på det visuelle inntrykket av bukhulen og alvorlighetsgrad av lesjoner.

Score	Visuelt inntrykk av bukhulen	Alvorlighetsgrad av lesjoner
0	Ingen tydelige skader	Ingen
1	Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig at disse blir lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Ingen eller liten grad av opasitet (ugjennomsiktighet) av bukhinne etter sløyting
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Bare opasitet av bukhinnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremredeler av bukhulen, kan involvere sammenvoksning av blindsekker, lever eller magesekk til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Mindre men synlige lesjoner etter sløyting, som kan fjernes manuelt
4	Store sammenvoksninger med granulomer, omfattende sammenvokste indre organer, som fremstår som en enhet. Sannsynligat dette blir lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle organ i bukhulen. I store områder er bukhinnen fortykket og ugjennomsiktig. Fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer	Etterlater synlige skader etter sløyting og fjerning av lesjonene.
6	Enda mer alvorlig enn 5 ofte med betydelige mengder melanin. Innvollene kan ikke fjernes uten skader på fileten	Etterlater store skader etter sløyting



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 ugjenomsiktig, 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 3.2.15-2.** Speilbergsskala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto: Lars Speilberg. Tekst gjengitt fra "Midtlyng mfl. 1996, *Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (Salmo salar L.) against furunculosis*. *Fish & Shellfish Immunology* 6, 335–350. Copyright 1996" med tillatelse fra Elsevier.

### 3.2.16 Kortisol

Stress er definert som en tilstand hvor den dynamiske likevekten til en organisme, som kalles homeostase, blir truet eller forstyrret som et resultat av indre eller ytre stimuli eller forstyrrelser, vanligvis definert som «stressorer» (Selye 1950, 1973; Varsamos mfl. 2006; Wendelaar Bonga 1997, 2011). Schreck (2010) favoriserte imidlertid en bredere definisjon på stress, «som den fysiologiske kaskaden av hendelser som oppstår når organismen forsøker å motstå døden eller gjenopprette homeostase i møte med en trussel». Stressresponsen kan deles inn i tre faser.

Den primære stressresponsen er aktiveringen av HPI-aksen og utskillelsen av katekolaminer (CA) og kortisol ut i blodomløpet.

Den sekundære stressresponsen er frigjøringen av bl. a. glukose i sirkulasjonen med økt hjerte- og respiratoriskfrekvens samt med andre fysiologiske forandringer som følge av hormonene frigjort i primærresponsen.

Den tertiære stressresponsen er det endelige resultatet i dyret eller populasjonen av overdreven håndtering eller kronisk stress, og inkluderer bl. a. bivirkninger på vekst, immunitet og atferd som kan resultere i lavere overlevelse.

**Det er ikke alltid klart hva folk mener med et stresset dyr, siden dette kan være en normal stressrespons eller en maladaptiv skadelig stressrespons.**

Da CA responsen er hurtig og på grunn av det faktum at det har en kort biologisk halveringstid, er det ikke mulig å bruke CA som en indikator på primære stressrespons. Til sammenlikning er frigjøring av kortisol hos dyr relativt forsinket i forhold til CA. Kortisolsyntese og dets frigjøring fra interrenalcellene

har en forsinkelsestid på flere minutter, og gjør det derfor mulig å måle hvilenivåer av dette hormonet i fisk (Barton 2002; Wedemeyer 1996; Wendelaar Bonga, 2011). Det sirkulerende nivået av kortisol er derfor ofte brukt som en indikator på graden av opplevd stress hos fisk (Barton og Iwama, 1991; Wendelaar Bonga, 2011).

Plasmakortisol kan brukes å vurdere det psykologiske aspektet av følelsesdelen innen dyrevelferd. De fleste av studiene om fisk og følelser, har fokusert på neurofysiologi og atferd (Chandroo mfl. 2004a,b; Rose 2002; Sneddon 2006). Kestin (1994) var en av de første som brukte hormonstressresponsen sammen med neurofysiologi til å vurdere god velferd eller ikke. I likhet med mennesker, er kortisolkaskaden hos fisk utløst av hjernen. Således kan økningen i plasmakortisol, være knyttet til den negative følelse- eller fryktresponsen (Ellis mfl. 2012b; Schreck 1981). Selv om det finnes mulige koblinger til endringer i kortisol og positive tilstander og følelser hos fisk (Ellis mfl. 2012b) mener imidlertid var flertallet av forfatterne i Ellis mfl. (2012b) at kortisol økning i fisk er knyttet til negative erfaringer og følelser.

Til tross for bruken av kortisol som indikator for stressresponsen (Barton og Iwama 1991; Wendelaar Bonga 2011) og dyrevelferd, må kortisolnivåene tolkes med forsiktighet. Et stressrespons oppstår både ved positive og negative erfaringer og blir bare skadelig hvis stressresponsen er overdreven, langvarig eller «feiltolket» av dyrets fysiologiske prosesser (Maule mfl. 1989; Davis 2006; Iversen og Eliassen 2014). Merk at laks regulerer plasmakortisol innenfor snevre grenser, og viser en daglig rytme i forhold til sine hvilenivåer av plasma kortisol (ustresset fisk) (Ebbesson mfl. 2008). Derfor gir en enkelt kortisolmåling lite om noen informasjon om fiskevelferd, med mindre det er knyttet til annen informasjon.

På populasjonsnivå og med gjentatte prøver kan kortisolmålingen gi nyttig informasjon om tilstanden i et oppdrettsanlegg. Iversen og Eliassen (2012) viste at det var en signifikant sammenheng mellom høye hvilenivåer av plasma kortisol i vanlig smoltproduksjon og dødelighet etter overføring til sjø. Hvis hvilenivåene av plasmakortisol ble holdt over 50 nM (18,1 ng/ml) i løpet av produksjonen av smolt, økte den relative risikoen for å få en dødelighet over 5% etter 90 dager i sjøen med 3,1 ganger. Risikoen for en sykdomsdiagnose økt med hele 4,9 ganger. Lignende studier av hvilenivå av plasmakortisol har vist at en ustresset fisk hadde et utgangsnivå så lavt som 13,8 nM, mens kronisk stresset fisk hadde et hvilenivå over 27,5 nM (Maule mfl. 1987; Pickering og Pottinger 1989; Van Zwol mfl. 2012).

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Steroidhormoner er vanligvis målt ved hjelp av enten radio-immunologiske-analyse (RIA) eller enzymbundet immunologisk analyse (ELISA) i plasma eller vevshomogenater. Metoder som ikke krever blodprøvetak kan brukes ved å måle kortisol i urin, avføring, skjell og vannprøver (Ellis mfl. 2013). Siden plasmakortisol endrer seg raskt til ulike håndteringsregimer har kortisol målinger ofte vært benyttet både før og etter eksponering, som et mål på en stressor i forhold til den totale stressbelastningen. Både hvile- og poststressnivåer kan gi informasjon om tilstanden til et individ (Ellis mfl. 2013; Iversen og Eliassen 2012; Iversen og Eliassen 2014).

### **Styrke til indikatoren**

Analyse av plasmakortisolnivå før og etter en stressfull hendelse kan gi informasjon om hvordan individer påvirkes av spesifikke stimuli som håndtering, sortering, ulike oppdrettsforhold, og akutte eksponeringer av ulike stressorer (Barton 2002; Sapolsky 2000). Hvilenivåer av plasmakortisol kan gi informasjon om hvorvidt dyrene opplever kroniske miljømessige stressfaktorer, og i noen tilfeller kan disse være prediktive for fremtidige resultater og overlevelse (Ellis mfl. 2012b; Iversen og Eliassen 2014).

## Svakhet til indikatoren

Enkelt stående prøver er vanskelig å tolke, og det kan bli feil å tolke høye kortisolnivåer med dårlig velferd uten ytterligere informasjon. Sirkulerende plasmakortisol reagerer raskt (i praksis ofte innen 5-10 min) på håndtering i forbindelse med prøvetaking. Det ofte vanskelig å måle hvilenivåer i fisk. Men dette kan motvirkes ved hjelp av en bedøvelse som blokkerer responsen fra HPI-aksen (Iversen mfl. 2003). Sammenhengene mellom både hvile- og stressrelatert kortisolnivå, og fremtidige resultater og overlevelse er kontekst-spesifikke. Resultatene kan dermed være vanskelig å tolke (Sopinka mfl. 2016). Dette innebærer relativt kompliserte analyser, som det tar en (1) til to (2) dager å fullføre. Dermed representerer dette en typisk LABVI.

**Tabell 3.2.16-1.** Oppsummering av viktige faktorer som påvirker ulike metoder som ikke krever blodprøvetaking av kortisol- (steroid)overvåking i fisk. Tilpasset fra «Ellis T., Sanders, M. B. & Scott, A. P. 2013. Non-invasive monitoring of steroids in fishes. Wiener Tierärztliche Monatsschrift 100, 255-269. Crown Copyright & Austrian Society of Veterinarians (ÖGT), 2013» med tillatelse fra forfatter, Austrian Society of Veterinarians (ÖGT) og Crown Copyright.

	Slim og skjell	Vannprøver Dynamisk (Gjennomstrømming)	Feces prøver	Urin prøver
<b>Grad av håndtering</b>	Krever fangst og håndtering; potensiell skade på immun barrierene	Ikke håndtering	Krever ikke håndtering, men kan kreve fangst og håndtering; trykk til flankene- avhengig av metode	Krever fangst og håndtering; potensiell skade på immun barrierene
<b>Prøvetakning</b>	Enkle, men standardprotokoller som ennå ikke er utviklet	Enkle, publiserte metoder tilgjengelige	Forsinket prøvetaking kan gi utvasking	Enkle, men standardprotokoller er ennå ikke utviklet
<b>Forventet konsentrasjon av kortisol i forhold til plasma</b>	Lavere	Mye lavere	Lavere	Likt
<b>Metoden passer for:</b>	Individ	Populasjon	Individ	Individ
<b>Metabolitten av kortisol</b>	Fri (ikke bundet)	Fri (ikke bundet)	Ennå ikke bestemt. Analyser har vært rettet mot fri (ikke bundet) kortisol	Ennå ikke bestemt. Analyser har vært rettet mot fri og bundet kortisol
<b>Tolkning av konsentrasjon i prøven</b>	Ikke validert	Beregning av frisettingshastighet er komplisert	Ikke validert. Kan påvirkes av fôringsrate, kan være problematisk for fiskespisende arter som følge av eksogene steroider fra byttedyr/fôr i avføring	Ikke validert. Påvirkes av urinproduksjonen.

### 3.2.17 Osmolalitet

Osmolalitet spesifiserer antallet oppløste partikler per kg væske. Saltholdighet representerer mengden av oppløst salt i vann. Fersk- og sjøvann har henholdsvis en osmolalitet på 0-10 mOsm/kg og 1 000 mOsm/kg, og en saltholdighet henholdsvis på 0 og 33-35 ‰. Saltholdighet og osmolalitet er blant de viktigste miljøfaktorene for fisk og beinfisk generelt (teleost). Fisk regulerer osmolaliteten innenfor snevre grenser (300 mOsm/kg) i blod uavhengig av den omkringliggende saltholdighet. For å oppnå

dette, er vann og ioner kontrollert og regulert via en rekke organer i fisken som hud, gjeller, tarm og nyrer (Evans 2008; Evans og Hyndman 2006; Evans mfl. 2005, 2006; Marschall mfl. 1998; Varsamos mfl. 2005).

Fisk har utviklet tre hovedstrategier for regulering av vann- og saltbalansen i ekstracellulære væsker, slik som blodplasma og intestinal væsken. Disse tre er osmokonform, hyperosmotisk og hypoosmotisk regulering. Osmokonform fisk (som slimålen) holder osmolaliteten i kroppsvæsker likt det som er i det omgivende miljøet, mens hyperosmotisk (ferskvannsfisk) holder osmolaliteten i blodet høyere enn det omkringliggende miljøet. Tilsvarende opprettholder hypoosmotisk fisk (sjøvannsfisk) sin indre osmolalitet lavere enn det omgivende miljøet. Anadrome arter som atlantisk laks og regnbueørret bytter mellom hypo- og hyperosmotisk miljø i løpet av migrasjon fra fersk- til sjøvann og tilbake (McCormick 2013). Tabell 3.2.18-1. viser ionesammensetning og osmolalitet i fisk, og generelt forsøker fisk å holde en osmolalitet mellom 290-340 mOsm/kg, uavhengig av omgivende saltholdighet. Betydelige avvik fra disse grensene vil forårsake dødelighet (McCormick, 2013). Arnesen mfl. (1998) rapporterte at typisk osmolalitet i ferskvann var omtrent 320 mOsm/kg, mens osmolaliteten varierte mellom 325-345 mOsm/kg i smoltifisert laks.

Frigivelsen av kortisol i blodet er en primær stressrespons hos fisk, og en av de viktigste fysiologiske rollene til kortisol er regulering av hydromineralbalansen og energimetabolismen i fisk. Derfor er endringer i plasma osmolalitet, klorid og magnesium alle en funksjon i den sekundære stressresponsen (Veiseth mfl. 2006). Plasma osmolalitet og ionsammensetningen kan derfor være nyttige indikatorer i vurderingen av effektiviteten i gjeller, tarm og nyre for å opprettholde en hydromineralbalanse både i ferskvann og sjøvann (Mommsen mfl. 1999; Wendelaar Bonga 1997). Tidligere studier har vist at plasma osmolalitet og ionekonsentrasjonen går ned i ferskvannstilpasset fisk, og øker i sjøvannstilpasset fisk som respons på behandling eller håndtering (Barton 2002; Barton og Iwama 1991; Iversen mfl. 1998). Andre studier kan derimot ikke påvise slike endringer i osmolalitet (Barton og Zitzow 1995) eller kloridnivåene (Barton mfl. 2005), som respons på en stressor. Denne varierende effekten av stress på osmolalitet kan skyldes de sterke kompenserende mekanismene for å regulere og opprettholde osmolaliteten innenfor snevre grenser (homeostase) (Fiess mfl. 2007).

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Analyse av osmolalitet er gjort ved hjelp av et osmometer som måler osmolalitet til nærmeste mOsm/L eller mOsm/kg. Slike instrumenter er tilgjengelige på vitenskapelige og kommersielle laboratorier, og er derfor en LABVI.

### **Styrke til indikatoren**

Endringer i osmolalitet er en god indikator på akutt stress, og tilgjengeligheten av kommersielle laboratorier gjør målingen osmolalitet relativt billig og lett å måle i plasma uten å investere i spesialisert utstyr.

### **Svakhet til indikatoren**

Disse indikatorene er nyttige indikatorer på akutt stress, men er ofte vanskelig å tolke i sammenheng med kroniske, lang tids eksponeringer fordi de er kontekstspesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (McDonald og Milligan 1997). I tillegg kreves det både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå plasma for analyser.

### 3.2.18 Ionesammensetting

Transformasjonen av hos laksefisk (eksempelvis atlantisk laks), innebærer en forandring fra være en ferskvannslevende parr til en sjøvanntilvendt smolt. Dette omfatter en rekke morfologiske, fysiologiske, biokjemiske og atferdsmessige endringer (Björnsson mfl. 2011; Folmar og Dickhoff 1980; McCormick 2013).

Gjellene er stedet for ionopptak i ferskvann og saltutskillelsen i sjøvann, som gjør at euryhaline fisker kan opprettholde kontroll over sin interne ione- og vannbalanse uansett saltholdighet (Arnesen mfl. 1998; Handeland mfl. 1998; Handeland mfl. 2000; Iversen mfl. 2009). Spesialiserte celler i gjellene som betegnes som kloridceller eller mitokondrierike celler (MRC), har til oppgave å utføre ionetransport og regulering av ionebalansen.

I ferskvannsfasen, varierer natrium og klorid i fisken henholdsvis mellom 130 til 150 mmol/l og 111 til 135 mmol/l. I perioden før smoltifisering, kan man også se en liten nedgang under normalverdiene i ferskvann (Folmar og Dickhoff, 1980). I sjøvann øker ioner litt i post-smolt, og varierer mellom 130-160 (Cl<sup>-</sup>) til 140-175 mmol/l (Na<sup>+</sup>) (Arnesen mfl. 1998; Handeland mfl. 1998; Handeland mfl. 2000; Iversen mfl. 2009; Iversen mfl. 1998; Sigholt og Finstad 1990; Staurnes mfl. 2001). 24 til 72 timers sjøvannstester (Blackburn og Clarke 1989) brukes ofte for å kontrollere om laksen er klar for overføring til sjø. Natrium og klorid under henholdsvis 160 og 150 mmol/l i post-smolt anses som tilstrekkelig for å overleve og vokse i sjøvann (Blackburn og Clarke 1989; Finstad mfl. 1988). Forsiktighet i tolking av sjøvannstester bør utøves, da ione- og vannbalansen etter overføring til sjøvann blir påvirket av temperatur (Finstad mfl. 1988; Handeland mfl. 2000; Handeland mfl. 2004). Handeland mfl. (2000) viste at utsett i sjø ved høye temperaturer resulterte i en hurtig økning i plasmaklorid nivåene, og en økning av dehydrering i vevet i løpet av 24 timer. Mens lave temperaturer resulterte i en forsinket osmotisk forstyrrelse, og en forlenget periode av osmotisk stress.

Marin fisk drikker sjøvann for å kompensere for osmotisk drevet vanntap og for å unngå dehydrering, og samtidig må de eliminere toverdige ioner som Mg<sup>2+</sup> og SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> fra kroppsvæskene under denne prosessen (Redding og Schreck 1983). Plasma magnesium (Mg<sup>2+</sup>) opptak og utskillelse skjer via tarm og nyrer (Redding og Schreck 1983). I de fleste tilfeller overstiger ikke den totale magnesiumkonsentrasjoner av blodplasma hos 2 mmol/l, og den ioniske konsentrasjon er normalt mindre enn 1 mmol/l uavhengig av saltholdigheten (Iversen mfl. 2009; Iversen og Eliassen 2014; Liebert og Schreck 2006).

**Tabell 3.2.18-1.** Rapportert normalverdier av ionesammensetningen i blodplasma hos fisk (Arnesen mfl. 1998; Handeland mfl. 1998; Handeland mfl. 2000; Iversen mfl. 2009).

	Konsentrasjon (mM kg water <sup>-1</sup> )						
	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub>	Osmolalitet
<b>Sjøvann</b>	439	513	9,3	50	9,6	29	1050
<b>Marinfisk</b>	180	196	5,1	2,5	2,8	2,7	452
<b>Ferskvannsfisk</b>	130	125	2,9	1,2	2,7	-	262
<b>Salmonides (FV)</b>	111-135	130-150	2,9	0,9-1,5	2,7	-	290 – 320
<b>Salmonides (SV)</b>	135-160	140-175	3,4	1,6-2,0	3,3	-	325 – 345



## **Plasmaklorid (Cl<sup>-</sup>).**

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Analyse av plasmaklorid gjøres med kommersielt tilgjengelige klortitratorer eller klormålere som måler klorid til nærmeste mmol/l (mM). Mange settefiskanlegg som bruker 24 til 72 timers sjøvannstester (Blackburn og Clarke 1989), har disse instrumenter tilgjengelig. Kommersielle laboratorier måler dette rutinemessig ved hjelp autoanalytatorer for et gebyr. Plasmaklorid analyse er derfor en LABVI.

### **Styrke til indikatoren**

Endringer i kloridbalanse er en god indikator på akutt stress, og tilgjengeligheten av kommersielle laboratorier gjør det mulig å måle ioner relativt billig og lett, uten å investere i spesialisert utstyr.

### **Svakhet til indikatoren**

Disse indikatorene er nyttige indikatorer på akutt stress, men er ofte vanskelig å tolke i sammenheng med kroniske, lang tids eksponeringer fordi de er kontekstspesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (McDonald og Milligan 1997). I tillegg kreves det både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå plasma for analyser.

## **Plasmanatrium (Na<sup>+</sup>).**

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Analyse av plasmanatrium gjøres ved hjelp kommersielt tilgjengelige titratorer eller målere som måler natrium til nærmeste mmol/l (mM). Plasmanatrium analyse er derfor en LABVI.

### **Styrke til indikatoren**

Endringer i natriumbalansen er god indikator på akutt stress. Tilgjengeligheten av kommersielle laboratorier gjør det mulig å måle ioner relativt billig og lett, uten å investere i spesialisert utstyr.

### **Svakhet til indikatoren**

Disse indikatorene er nyttige indikatorer på akutt stress, men er ofte vanskelige å tolke i sammenheng med kroniske, lang tids eksponeringer fordi de er kontekstspesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (McDonald og Milligan 1997). I tillegg kreves det både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå plasma for analyser.



### **Plasmamagnesium ( $Mg^{2+}$ ).**

Analyse av plasma magnesium utføres ved hjelp av kommersielle kolorimetriskeanalyser i plasma eller ved hjelp av et atomabsorpsjonsinstrument, som måler magnesium til nærmeste mmol/l (mM). Plasmanatrium analyse er derfor en LABVI.

#### **Styrke til indikatoren**

Endringer i magnesiumbalansen er god indikator på akutt stress (Iversen mfl. 2009; Iversen og Eliassen 2014; Liebert og Schreck 2006). Eksperimenter har vist det er en høy korrelasjon mellom økt plasmamagnesium og dødelighet etter stress (Iversen mfl. 2009; Iversen og Eliassen 2014; Liebert og Schreck 2006).

#### **Svakhet til indikatoren**

Disse indikatorene er nyttige indikatorer på akutt stress, men er ofte vanskelig å tolke i sammenheng med kroniske, lang tids eksponeringer, fordi de er kontekstspesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (McDonald og Milligan 1997). I tillegg kreves det både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå plasma for analyser.

### **3.2.19 Glukose**

Økninger i plasmakortisol stimulerer glykogenolysen det vi si omdannelsen av glykogen, som er lagret i vevet til glukose. Dette slippes ut i blodomløpet (Barton og Iwama 1991). Økningen i plasmaglukose er derfor en relativt langsom respons til stress, og topper etter ca. tre (3) til seks (6) timer på laks (Olsen mfl. 2003), selv om responsen også er avhengig av ernæringsstatusen til dyret. I laks økte plasmaglukosenivået til det dobbelte av utgangsnivået fire timer etter akutt stress. Dette skjedde etter at fisken ble utsatt for sammentrenging, og deretter jaget med håv i 15 minutter. Fisken vendte derimot tilbake til utgangsnivået mye raskere, etter to (2) timer i sultet fisk, enn i fôret fisk. Den fôrede fisken hadde forhøyede nivåer av plasmaglukose i mer enn 12 timer, på grunn av den høyere nivå av leverglykogen (Olsen mfl. 2003). Allikevel blir ikke glukosenivå merkbart påvirket av kostholdets sammensetning i laks (Krogdahl mfl. 2004).

Økte nivåer av plasmaglukose kan brukes som et mål på akutt stress, men nivåene bør sammenlignes med ustresset fisk i stedet for noen "standard stressnivåer", da plasmaglukose også er avhengig av å ernæringsstatus, dietttype og andre faktorer (Tabell 3.2.19-1). Imidlertid kan man ikke utelukke at plasmaglukose ikke er en pålitelig indikator for sekundære stressresponser i en kjøttetende fisk som laks. Mommsen mfl. (1999) understreket at plasmaglukosenivåer og leverglykogeninnhold ikke nødvendigvis var en god stressindikator i fisk. Begrunnelse er fordi fisks plasmaglukose er svært variabel, og ikke like godt regulert som i pattedyr. I særlig grad gjelder dette kjøttetende fiskearter (Mommsen mfl. 1999).

**Tabell 3.2.19-1.** Plasma glukose i atlantisk laks etter ulike fôringsregimer og før og etter ulike stressbehandlinger. Merk at de fleste glukoseverdier er blitt hentet fra grafer, og dermed ikke er nøyaktige, og noen verdier blir konvertert fra andre enheter.

Livsstadium	Fôringsstatus	Behandling (stressor)	Glukose (mmol/l)	Referanse
Ferskvann, (parr)	Fôret	Pre-stress	3.7	Carey og McCormick 1998
Ferskvann r, (parr)	Fôret	30 s i luft og 3 timer trenging	5.9	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, 200 g	Fôret Lav karbo	Pre-stress	4	Krogdahl mfl. 2004
Ferskvann, 200 g	Fôret Høy karbo	Pre-stress	6	Krogdahl mfl. 2004
Ferskvann, (pre-smolt)	Fed	Pre-stress	4.2	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, (pre-smolt)	Fôret	30 s i luft og 3 timer trenging	8.1	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, (smolt)	Sultet	Pre-stress	4	Iversen mfl. 1998
Ferskvann, (smolt)	Sultet	Transport i 1200 L tanker	8.8	Iversen mfl. 1998
Ferskvann, (smolt)	Fôret	Pre-stress	4.6	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, (smolt)	Fôret	30 s i luft og 3 timer trenging	7.7	Carey og McCormick 1998
Ferskvann (smolt)		Trenging i 3 timer etterfulgt av pumping	5.7	Espmark mfl. 2015
Post-smolt, 150 g	Fôret	Pre-stress	3.33	Fast mfl. 2008
Sjøvann, Slakt	Sultet	Pre-stress	4.2	Skjervold mfl. 2001
Sjøvann, Slakt	Sultet	Trenging	7.2	Skjervold mfl. 2001

### 3.2.20 Laktat

Laktat er produktet av anaerob ATP produksjon (glykolyse) i cellene, noe som forekommer når tilstrekkelig oksygen ikke er tilgjengelig for aerob celledmetabolisme. Årsaker til dette kan være redusert oksygennivået i vannet (Remen mfl. 2012) eller hard fysisk aktivitet (Milligan og Girard, 1993). Da laktat produseres primært i muskelcellene tar det litt tid før den vises i blodet, og responsen er forsinket med noen timer. Toppen av plasmalaktat under vanlige stressfaktorer som transport og håndtering, varierer fra 6,4 til 13,3 mmol/l (Hatløy 2015; Iversen mfl. 2003; Tabell 3.2.20-1). Dette er ikke høye nivåer i forhold til nivåer målt (> 20 mmol/l) etter hard fysisk aktivitet og lufteksponering i flere arter laksefisk (Liebert og Schreck 2006; Olsen mfl. 1995; Pagnotta og Milligan 1991; Schreck mfl. 1976). Laktat er først og fremst en indikasjon på høy muskelaktivitet, som ofte er knyttet til stress. En typisk økning i laktat etter en stressende hendelse inntreffer en (1) til to (2) etter hendelsen, og i de fleste tilfeller vil dyret komme seg etter 6-12 timer (Hatløy 2015).

**Tabell 3.2.20-1.** Plasmalaktatnivåer i atlantisk laks etter ulike fôringsregimer, og før og etter ulike stressbehandlinger. Merk at de fleste laktatverdier er blitt hentet fra grafer og dermed ikke er nøyaktige, og noen verdier blir konvertert fra andre enheter.

Livsstadium	Fôrings-status	Behandling (stressor)	Plasma laktat (mmol/l)	Referanse
Ferskvann, (smolt)	Sultet	Pre-stress	5	Iversen mfl. 2005
Ferskvann, (smolt)		Pre-stress	1.2	Iversen mfl. 1998
Ferskvann, (parr)	Fôret	Pre-stress	3.4	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, (smolt)	Fôret	Pre-stress	3	Carey og McCormick 1998
Sjøvann, (smolt)	Sultet	Trenging og lastet ombord brønnbåt	9	Iversen mfl. 2005
Ferskvann, (parr)	Fôret	30 s i luft og 3 timer trenging	3	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, (smolt)	Fôret	30 s i luft og 3 timer trenging	3.5	Carey og McCormick 1998
Ferskvann, (smolt)	?	Kort lufteksponering i håv etterfulgt av 30 min. «mild» trenging	5.3	Espmark mfl. 2015
Ferskvann, (smolt)	Sultet	Transport i 1200 L tanker	3.6	Iversen mfl. 1998

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger angående glukose og laktat

Glukose og laktat kan måles gjennom kolorimetriske analyser i plasma eller vevshomogenater. Laktat og glukose kan også bli målt i helblod ved hjelp av bærbare målere beregnet for diabetikere eller for atletisk trening. Wells og Pankhurst (1999) validerte effekten av bærbare instrumenter for måling av glukose og laktat, og sammenlignet disse med etablerte laboratorieteknikker for fisk. De konkluderte med at bærbare instrumenter for måling av blodglukose og laktat kunne anvendes som et relativt mål for å vurdere responsen på ulike stressorer. Dette betyr at glukose og laktat er klassifisert som OVI'er snarere enn LABVI'er.

### **Styrke til indikatoren**

Metabolitter er meget nyttige for å vurdere den akutte responsen på spesifikke belastninger (Barton 2002), spesielt hvor fisk jages og må håndteres (Wood mfl. 1990). De lett tilgjengelige bærbare målerne gjør både laktat og glukose billige og lette å måle. Dette gjøres ved hjelp av svært små blodprøver uten spesialutstyr, noe som gjør disse til gode parameter å kunne måle under feltforhold ved vurdering av akutte stressfaktorer. Merk at forsiktighet bør brukes og vurderes, når man sammenligner med andre målemetoder (Wells og Pankhurst 1999).

### **Svakhet til indikatoren**

Siden både glukose og laktat påvirkes av generelle metabolske prosesser som ikke har noe med stressrespons å gjøre, kan baseline resultatene være vanskelig å tolke. Disse indikatorene er nyttige indikatorer på akutt stress, men er ofte vanskelige å tolke i sammenheng med kronisk, lang tids eksponeringer fordi de er kontekst spesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (Mommsen mfl. 1999).

#### **3.2.21 Hematokrit**

Erytrocytter eller røde blodceller (RBC), er oksygentransporterende celler i blod. Hematokrit er volumprosenten av RBC i blod som er uttrykt i prosent (%). Normalverdier av hematokritt hos ustresset laks er 44-49 % (Sandnes mfl. 1988), men nivåene kan variere med temperatur (Sambraus mfl. 2017) og mellom ulike laksestammer (Iversen mfl. 1998). I tillegg vil de fleste bedøvelsesmidler føre til en økning i hematokrit (Phuong mfl. 2017). Hematokrit anses å være en LABVI.

#### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Hematokrit er vanligvis målt ved hjelp av et pakket cellevolum (PCV), som oppnås ved å sentrifugere en hel blodprøve i et kapillarrør, som separerer blodet inn i lag. Volumet av pakke røde blodceller, delt på det totale volum av blodprøven gir PCV i prosent (%).

### **Styrke til indikatoren**

Hematokrit øker vanligvis ved eksponering for stressfaktorer, og er relativt billig og lett å måle. Men det kreves både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå helblod for analyser.

### **Svakhet til indikatoren**

Hematokrit kan i noen tilfeller øke eller avta som reaksjon på ulike faktorer som ikke har noe å gjøre med en stressrespons. Eksempelvis kan RBC svulle under eksponering av bedøvelsesmiddel og dermed øke hematokrit, uten at dette er en effekt av en håndtering. Resultatet kan være vanskelig å tolke (Iversen mfl. 1998; Sopinka mfl. 2016).

#### **3.2.22 Rigor mortis (dødsstivhet) og muskel pH**

Rigor mortis er den stivheten som forekommer i døde dyr etter døden. Rigor varer til enzymer løsner opp de stramme bindingene mellom aktin- og myosinproteinene i muskelcellene. Tiden før rigor stivhet inntreffer (pre-rigor tid) er avhengig av flere faktorer, inkludert stress. Generelt vil stress resulterer i en kortere tid før dødsstivhet inntreffer. Når blodsirkulasjonen stopper etter døden, resulterer dette i en kompleks serie av prosesser i fiskens muskulatur. Umiddelbart etter døden blir muskelen myk og elastisk, og metabolske prosesser er fremdeles aktive. De katabolske prosessene i muskelcellene er aktive så lenge energi er tilgjengelig. Først blir det gjenværende oksygenet oppbrukt, etterfulgt av ATP-avhengig anaerob metabolisme. Dette fører til opphopning av melkesyre, og senking av pH. Når pH-nivået når et visst nivå, påvirker den omformeringen av glykogen til melkesyre som produserer nytt ATP, og til slutt stopper produksjonen fullstendig (Robb 2001). Rigor mortis prosessen

starter når ATP-nivåer når et minimum (Robb 2001). Det er første kontraktifase, som karakteriseres ved at muskelfibrene kontraherer. Deretter inntreer andre fase hvor stivhet oppstår ved en permanent binding av de kontraktile proteiner myosin og aktin (Tornberg mfl. 2000). I full rigor mortis har nesten alle myosin hodene danne kryss broer til aktin på en unormal, fast og motstandsdyktig måte (Schmidt-Nielsen 1997; Murray 1999).

De tre viktigste faktorer som påvirker tidspunktet for og intensiteten av rigor mortis er glykogenreservene i muskelen, pH-verdien og temperaturen i muskelen (Hulland 1992). Disse tre faktorene er, igjen avhengig av et bredt spekter av faktorer før og etter slaktingprosesser. Både langsiktig sulting og stress under trengsel og pumping, er rapportert å føre til en reduksjon i muskelglykogennivåene i laks (Mørkøre mfl. 2008). Fisk utsatt for en stressrelatert situasjon vil svare med en kamp eller flukt reaksjon, som vanligvis innebærer rask muskelsammentrekning som igjen vil føre til anaerob-energi-transformasjon. I normale situasjoner vil aerobe forhold og normal pH gjenopprettes, om fisken overlever. Men hvis stressresponsen skjer umiddelbart før slakting vil de anaerobe forholdene dominere, da sirkulasjonen ikke virker lenger. Rigorprosessen hos stresset laks vil derfor bli iverksatt fra en annen metabolsk tilstand i muskelen, og vil utvikle seg raskere enn i ustresst laks (Stien mfl. 2005; Mørkøre mfl. 2008; Merkin mfl. 2010).

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Rigor Index (Bito mfl. 1983) er en enkel måte å overvåke rigorutvikling i hel fisk. Fisken blir lagt på et bord hvor halvdelen av fisken henger med halen på utsiden. Indeksen beregnes deretter som Rigor indeks (%) =  $100 \times (L_0 - L_t) / L_0$ , hvor  $L_0$  er avstanden fra undersiden av halefinnen til høyden av bordet og  $L_t$  er denne avstanden med tiden  $t$ . For fullstendig stiv fisk vil denne avstanden nærme seg 0. En annen metode for å måle fasthet på i hel fisk er ved undersøkelser av hardheten av muskelen fra utsiden. Dette kan gjøres manuelt, men det finnes håndholdte instrumenter for mer objektive målinger. I vitenskapelige studier av rigor mortis, blir rigor ofte målt ved å følge isometrisk og/eller isotonisk spenning i isolerte muskelstykker. Isometrisk spenning ble målt som kraften som er nødvendig for å opprettholde lengden av muskelen i stykket konstant. Isotonisk spenning blir målt som forandring i lengden av muskelstykket når den kraften som utøves for å holde muskelstykket på plass, holdes konstant. Rigor i filetene blir ofte overvåket ved å følge hvor fort og hvor mye de er kontrahert under rigor, eller ved å måle muskel pH ved å stikke en elektrode inn i muskelen. Når rigor hardheten normaliseres, vil fileten stoppe kontrahering og muskel pH vil stabiliserer seg.

### **Styrke til indikatoren**

Akutt stress fører til rask og sterk rigor utvikling, noe som gjør alvorlig stress før slakting lett å oppdage. Det kan overvåkes av ved hjelp av kostnadseffektive metoder som rigor Index, muskel hardhet, filet krymping, eller ved ganske enkelt ved å manuelt vurdere stivheten av fisken.

### **Svakhet til indikatoren**

Start og varighet av rigor mortis, er sterkt avhengig av lagringstemperatur. For å få nøyaktige mål må man gjennomføre prøver på fisken flere ganger for å få en kurve som viser rigor utvikling, og dermed rigor styrke og utvikling i tid. Å måle muskel hardhet ved sondering vil påvirke fisken sin muskeltekstur, og hyppige undersøkelser på samme sted kan derfor gi unøyaktige resultater. De ulike transformasjonsprosessene begynner umiddelbart etter slakting. Spesielt for muskel pH er det viktig å begynne å overvåke med en gang for å få et korrekt nullpunkt (Kristoffersen mfl. 2006). Dette er også en stor svakhet med å bruke muskel pH etter slakting, og en anbefaler ikke å bruke muskel pH som eneste alenestående VI.

### 3.2.23 Slim

Slim er et biokjemisk grensesnitt mellom fisken og det omkringliggende vannet. Den dekker alle overflater av fisken som er i kontakt med det ytre miljøet eller i kontakt med gjenstander fra det ytre miljøet, inkludert huden, gjellene og tarmen (Castro og Tafalla 2015). Slim har vært forbundet med en rekke funksjoner i fisk, inkludert respirasjon, ione- og vannregulering, kjemisk og fysisk beskyttelse, sykdomsresistens, reproduksjon, kjemisk kommunikasjon, svømmeeffektivitet og ekskresjon (Shephard 1994). Strukturen og tykkelsen av slimlaget kan variere avhengig av sted på fisken, fysiologiske, immunologiske og miljømessige forhold (Castro og Tafalla 2015). Selv om funksjonene til forskjellige mukosalevev varierer, deler de alle strukturelle likheter på det mikroanatomiske nivået: en organisert epitelflate med støttende stromale vev eller lamina propria («spesieltlag»), et vaskulært nettverk, muskulatur og stedeegne immunceller (Peterson 2015).

Slim produseres hovedsakelig av gobletceller, selv om andre sekretoriske og ikke-sekretoriske celler også kan bidra til produksjonen. Gobletcellene produserer slimete granulater som frigjør innholdet på celleoverflaten i epitelet (Elliott 2011). Slimproduksjonshastigheten er avhengig av sammensetningen og overflaten av epidermale slimete cellene og omsetningshastigheten av disse cellene (Landeira-Dabarca mfl. 2014). Tetthet og størrelse på slim-celler påvirkes av miljøfaktorer, slik som økt saltholdighet (Shephard, 1994), høyt nitratnivå, lavt oksygen (Vatsos mfl. 2010), lav pH eller syreeksposering (Berntssen mfl. 1997; Ledy mfl. 2003), samt tilstedeværelsen av patogener (Nolan mfl. 1999) eller til og med ved lavt patogentrykk (Van Der Marel mfl. 2010).

Slim er en kompleks matrise som består av mange komponenter. De viktigste to komponentene som er viktige for geldannelse, er vann (ca. 95%) og muciner (5%), som er glykoproteinkonjugater med det store innholdet av O-bundet oligosakkarider med høy molekylvekt (Salinas og Parra 2015; Van der Maren mfl. 2010). Fysiske egenskaper ved slim som vanninnhold, adhesjon, viskoelastisitet og evne til å gjennomføre transport og gi beskyttelse bestemmes av muciner, lipider, ioner og blanding av andre proteiner som utgjør slim (Sanahuja og Ibarz 2015). I tillegg inneholder slim andre stoffer i mindre mengder, for eksempel antall immunfaktorer med biostatistiske eller biocide aktiviteter mot patogener: immunoglobuliner, lektiner, komplement, lysozym, proteolytiske enzymer, antimikrobielle peptider, fosfataser, esteraser, vitellogenin og interferon (Castro og Tafalla 2015; Easy og Ross 2009). Sammensetningen av slim varierer mellom ulike fiskearter, og både endogene faktorer, som utviklingsstadiet og eksogene faktorer, som stress, surhet, saltholdighet og infeksjoner kan påvirke sammensetningen (Sanahuja og Ibarz 2015). Men med sitt høye innhold av cellulære og humorale komponenter er mucus en viktig del av det medfødte immunsystemet.

Det eneste av den tilgjengelige litteraturen om atlantisk laks sitt slimvev er relatert til hudslim, og dens produksjon og sammensetning. Dette kan delvis skyldes at det er relativt enkelt å ta prøver av slim fra større hudflate, sammenlignet med slim fra gjellene og tarmen.

Antall slimceller i atlantisk lakseskinn endres gjennom hele livssyklusen og eksempelvis reduseres antall slimceller med 50% ved begynnelsen av smoltifisering (O'Byrne-Ring mfl. 2003). Variasjonen i visse hudslimproteiner og -lysozymaktivitet tyder på at slimproduksjonsdynamikk påvirkes av ulike livsstadier (Fagan mfl. 2003). Tetthet og størrelse på slimcellene påvirkes av ulike miljøfaktorer, slik som økt saltholdighet (Shephard 1994), høyt nitrat- eller lavt oksygeninnivå (Vatsos mfl. 2010), lav pH eller syreeksposering (Berntssen mfl. 1997; Ledy mfl. 2003), samt tilstedeværelsen av patogener eller ikke (Nolan mfl. 1999; Van Der Marel mfl. 2010).

I forbindelse med lakslusinfeksjon viste en undersøkelse at epidermal slimproteiner hos atlantisk laks økte sin proteolytiske aktivitet (Easy og Ross, 2009), og man registrerte endringer i proteiner relatert til metabolisme, genuttrykk og antall immunrelaterte proteiner (Provan mfl. 2013). I tillegg forstyrrer



en infeksjon med lakselus slimmikrobiomet i huden av atlantisk laks, noe som reduserer mikrobiell varaisjon, øker redusert mangfold og en destabilisering av sammensetningen av det mikrobielle samfunnet (Llewellyn mfl. 2017). Endringene i sammensetningen av slim kan være relatert til reduksjonen i antall slimproduserende celler i lakseskinn etter en lakslusinfeksjon (Nolan mfl. 1999). En annen ektoparasitt, *Neoparamoeba perurans* som forårsaker amøbisk gjellesykdom (AGD), har vist seg å initiere overdreven slimproduksjon i gjellene (Koppang mfl. 2015) og påvirker proteinsammensetningen av både hud- og gjelleslim i laks (Valdenegro-Vega mfl. 2014). Tilsvarende når atlantisk laks ble utfordret med *Vibrio* og *Aeromonas*, ble det registrert signifikant forhøyede dødeligheter hos fisk med hudssår og i fisk uten slimete epidermallag, sammenlignet med en kontrollgruppe med inntakt slimlag (Svendsen og Bøggwald 1997).

Med hensyn til oppdrettspraksis kan rutiner som fôrstopp påvirke slimlaget. For eksempel har ernæringsstress og sulting har vist seg å påvirke overflaten av epidermale slimceller, kvaliteten og mengden av muciner (Landeira-Dabarca mfl. 2014), samt mikrobiell tetthet og sammensetningen av mikrobiellsamfunn hos atlantisk laks (Landeira -Dabarca mfl. 2013). Som følge av dette kan sykdomsresistensen av atlantisk laks påvirkes. I tillegg har næringsmiddelkomponenter blitt vist å endre proteomet i slimlaget i atlantisk laks (Micallef mfl. 2017) samt både både tarm- og slimutskillelse (Sweetman mfl. 2010). Laks fôret dietter med tilsatt sink (Zn) hadde større slimcelle-tetthet i epidermis og mer avansert sårhelingsprogresjon (Jensen mfl. 2015a).

Et tidligere forsøk (Easy og Ross 2010) for å studere sammenhengen mellom stress (plasmakortisol) og endringer i slim enzym/proteinprofiler, viste positiv sammenheng etter en uke. De understreket imidlertid også at det var høye individuelle variasjoner i enzymnivåene, noe som tyder på andre mulige faktorer som kan forårsake for endringer i slimproteinsammensetning. Laksesmolt produsert ved tettheter  $\geq 100 \text{ kg/m}^3$  viste strukturelle endringer i hudepitelet, samt endringer i messenger-RNA (mRNA) i endel slimrelaterte proteiner, mens en lav spesifikk vannstrøm ( $\leq 0,3 \text{ L/kg/min}$ ) økte transkriptomet av proteiner relatert til stress og immunrespons i huden (Sveen mfl. 2016). Produksjonstemperaturen påvirker også hud- og slimtranskriptomet og sammensetning. I en studie utført av Jensen mfl. (2015b) ble vist at atlantisk laks produsert ved 4°C hadde en betydelig tykkere epidermis, både i rygg- og hoderegionen og lavere slimcelle tetthet sammenlignet med individer produsert ved 16°C (Jensen mfl. 2015b). Videre viste en analyse av hudtranskriptomet en økning i slimmediert immunitet ved både høy og lav temperatur, og en oppregulering av et antall «varmesjokkproteiner» (HSP-70) ved 16°C som sammen med reduksjonen i epidermisk tykkelse antyder at det skjedde en stressrespons i huden ved denne temperaturen (Jensen mfl. 2015b).

Nylig ble O-Glykan-strukturer (109) i muciner karakterisert, og det ble påvist strukturelle forskjeller mellom huden og forskjellige tarmdeler hos laskeparr (Jin mfl. 2015). Da glykanstrukturer gir næringsstoffer til kommensale bakteriestammer og bindende «feller» for patogener. Det finnes ulike mukosalemiljøer for spesialisert mikroflora, og disse kan spille en viktig rolle i bekjempelsen av patogener på bestemte steder (Jin mfl. 2015).

Hos laks er både slimcelletettheten og den gjennomsnittlige slimcellestørrelsen i huden avhengig av deres plassering, med større og høyere tetthet av celler plassert på ryggensiden og de minste slimcellene med lavest tetthet hoderegionen (Pittman mfl. 2013). I tillegg er den generelle tykkelsen og dekning av slimcelle større i ryggregionen sammenlignet med hoderegionen ved tre forskjellige temperaturer: 4, 10 og 16°C (Jensen mfl. 2015b). Pittman mfl. (2013) konkluderte med at laks viser et repeterbart mønster av slimcelleutvikling påvirket av kjønn, diett og muligens belastning og sesong.

## **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

I de senere år har mange studier forsøkt å identifisere mulige slimbiomarkører og teknikker som kan brukes til å overvåke fiskefysiologi, helse og velferd (Easy og Ross 2009, 2010; O'Byrne-Ring mfl. 2003; Pittman mfl. 2013; Provan mfl. 2013; Sanahuja og Ibarz 2015; Valdenegro-Vega mfl. 2014; Vatsos mfl. 2010). Noen av metodene er ikke-invasiv og konsentrerer seg hovedsakelig om sammensetningen av slimet (Easy og Ross 2009, 2010; Sanahuja og Ibarz 2015; Valdenegro-Vega mfl. 2014), mens andre krever avlivning og preparering av histologisk hudprøver for ytterligere kvantifisering av slimceller og deres størrelse (Pittman mfl. 2013; Vatsos mfl. 2010).

En metode for slimanalyse av forskjellige vev ved bruk av histologiske prøver er for tiden tilgjengelig for fiskehelsetjenestene og oppdrettere som ønsker etablering av årsak og virkning knyttet til fiskeslim og dens implikasjoner for fiskeshelsen (Quantidoc 2017). Denne metoden er robust og sammenlignbar med hensyn til tid, sted, kjønn og lignende faktorer (Quantidoc 2017).

I tillegg finnes det et ELISA-sett for målinger av kortisol i menneskelig spytt som er blitt tilpasset for bestemmelse av kortisol i epidermalt slim hos fisk. Dette foreløpelig kun tilgjengelig for forskningsformål (TECOmedical AG 2016).

Siden sliminnholdet og antallet slimhinneceller er avhengig av fysiologiskstatus, miljøforhold, ernæringsstatus, kjønn og plass på kroppen (se ovenfor), er det svært viktig at alle disse faktorene blir tatt i betraktning ved bruk av slim som en velferdsindikator. Da en økning i slimsekresjon har vært korrelert med visse stressfulle situasjoner, for eksempel håndtering og bedøvelse før prøvetaking, har effekten av prøvetakingsprosedyren på slimsekresjon blitt stilt spørsmål ved (Koppang mfl. 2015). Samme forfattere konkluderer derfor at det kan være svært utfordrende å undersøke et slimlag i uforstyrret fisk. Det ville også være fordelaktig å undersøke effekten av forskjellige prøvetakingsmetoder på slimkomposisjon, og status av slimceller. Videre må prøvetakingsstedet på fisken også standardiseres når man sammenligninger med forskjellige behandlinger eller individer (Pittman mfl. 2013). I tillegg har det vist seg at ved bruk av histologisk metodikk for kvantifisering av hudslimceller, avkalkningen av prøven, innstøpningsmediumet og skjæringsplanet, så kan dette påvirke slimcellestørrelsen, mens slimcelletettheten påvirkes mindre (Pittman mfl. 2011, 2013). Siden slimanalyse er avhengig både på eksternt laboratorium og høy kompetanse, har vi klassifisert den som en LABVI.

### **Styrke til indikatoren**

Slim er en fysisk, biokjemisk og biologisk barriere som beskytter fisk mot patogener og reagerer på både indre og ytre faktorer. Statusen for slimlag kan gi verdifull informasjon om fiskens status, og kan således være en viktig helse- og velferdsindikator. I tillegg viser en nylig studie at økt overflod av markører for hudepitelomsetning at dette kan være en lovende indikator for kronisk stress i fisk (Perez-Sanchez mfl. 2017).

### **Svakhet til indikatoren**

Analysen av slimlaget må fortiden gjøres i laboratorier. Det er tidkrevende og må derfor klassifiseres som en LABVI. I tillegg til dette må en ha detaljerte kunnskaper om fiskens fysiologiske-, ernæringsmessige-, og helsestatus, samt miljøforhold, kjønn og størrelse må vites for å tolke dataene. Prøvetakingsprosedyren må vurderes da dette kan påvirke resultatene. Den eneste kommersielt tilgjengelige fremgangsmåten for karakterisering av slimbarrieren krever avlivning og fremstilling av histologiske prøver.

## 4 Miljøbaserte velferdsindikatorer

En rekke egenskaper ved de fleste oppdrettssystemer og ulike oppdrettspraksiser, kan påvirke fiskens velferd. Basert på vitenskapelige kunnskaper om dyrenes preferanser og toleransegrenser i forhold til de forskjellige miljøfaktorene, som temperatur og oksygen, kan en bruke målinger av miljøfaktorer som indirekte velferdsindikatorer. I denne boken er det et fokus på miljøbasert VI'er som er operative, er godt utprøvde og generelle. Disse VI'er nyttige i de fleste oppdrettssituasjoner. Dette omfatter faktorer som beskriver vannkvaliteten, og faktorer som beskriver oppdrettssystem eller -praksis (tabell 4-1).

**Tabell 4-1.** Liste over miljøbasert velferdsindikatorer og hvilke velferdsbehov de påvirker direkte hos atlantisk laks. OS og OP = Oppdrettssystemer og oppdrettspraksis.

Velferdsindikator		Miljø				Helse			Atferd				Resurser	
		Respirasjon	Osmotiskbalanse	Termisk reg.	God vannkval.	Kroppspole	Hygiene	Beskyttelse	Atferdsrestriksj.	Sosialkontakt	Hvile	Utforskning	Seksuell atferd	Spising
Vannkvalitet	Temperatur	x	x	x			x	x						
	Salinitet	x	x											
	Oksygen	x	x											
	CO <sub>2</sub>	x			x									
	pH	x	x		x									
	Total ammoniakk nitrogen	x			x								x	
	Nitritt og Nitrat	x	x		x									
	Turbiditet og totalt suspendert materiale (SS)	x			x		x							
OS & OP	Vannstrømhastighet							x		x				
	Overflatetilgang							x		x				
	Lys							x	x	x	x		x	
	Produksjonstetthet				x				x	x	x			

### 4.1 Vannkvalitetsbaserte velferdsindikatorer

#### 4.1.1 Vanntemperatur

Fisk er vekselvarm, og deres fysiologi og stoffskifte må derfor være tilpasset det temperaturområdet de lever i. Temperaturen påvirker fiskens enzymatiske reaksjoner, hormonell og nervøs kontroll, fordøyelsesrate, respirasjon, osmoregulering, samt mange aspekter ved deres ytelse og atferd. Atferdsmessige stressreaksjoner som kan observeres ved kritiske temperaturer er tap av likevekt, panikkatferd med hyppige kollisjoner med tanksidene som etterfølges av roterende bevegelser og rask ventilering (Elliott og Elliott 1995; EFSA 2008a). Temperatur påvirker også mengden av oksygen som kan være oppløst i vann. Jo høyere vanntemperatur, desto mindre oksygen blir tilgjengelig for fisken.

Den foretrukne temperaturen for laks varierer for de forskjellige livsstadier.

**Egg:** Laks er en naturlig høstgyter, og egg blir vanligvis produsert ved 4-8 °C (Weber 1997). Høyere temperaturer øker risikoen for gjellelokk-, finne- og kjevedeformiteter (Ørnsrud mfl. 2004b).

**Yngel og parr:** Har et foretrukket optimalt temperaturområde på 12-14 °C. Parr lever naturlig i elver som kan ha en stor variasjon i vanntemperaturen, og har dermed liten mulighet for å regulere temperaturen ved migrasjon. De tolerere derfor et bredt temperaturområde fra 0 til godt over 20 °C (Elliott og Elliott 2010), men temperaturer under 6 °C og over 22 °C kan medføre negativ vekst (Elliott og Hurley 1997).

**Post-smolt:** Oppdrettet pre-smolt foretrekker temperaturer rundt 17 °C, og en bør unngå temperaturer høyere enn 18 °C (Johansson mfl. 2006; Oppedal mfl. 2011a). Vanntemperaturer over 17 °C synes å gi redusert appetitt, vekstytelse og økt dødelighet. Andre studier har funnet at foretrukne temperaturer for å ligge rundt 12-14 °C (tabell 3). Lave temperaturer (under 6-7 °C) bør unngås hos post-smolt, da dette gir reduserte vekst og øker risikoen for vintersår. Post-smolt bør derfor ha tilgang til temperaturer over 6 °C og under 18 °C. Laks reagere på endringer i temperatur, og da spesielt på økning i vanntemperaturen. Folkedal mfl. (2012) viste at post-smolt hadde lavere frekvens av spiseatferd etter å ha opplevd en kort periode av forhøyete temperatur. Analyser av oksygenforbruksdata fra dette eksperimentet (upublisert) viste at økningen i oksygenforbruk i løpet av perioden med forhøyet temperatur, var mye større enn antatt. Et senere forsøk (O. Folkedal, upublisert) viste at effektene på spiseatferden og forbrenningen ved temperaturøkningen ble gradvis svekket etter gjentatte temperatursvingninger, men at denne tilpasningen var langsom og krevde uker for å etableres.

**Varmebehandling:** Badebehandling i oppvarmet vann (29-34 °C) er i bruk ved avlusing av laksefisk. Forskning tyder på at slike temperaturer kan medføre smerte. Ashley mfl. (2007) undersøkte respons på blant annet kulde og varme i ulike typer nociseptorer (smertereseptorer) på hodet til ung regnbueørret. Nociseptorene responderte ikke på kulde, men derimot på varme. En type reseptor (polymodel) viste i snitt en terskeltemperatur på 29 °C (variasjon fra 20-37 °C) og en annen type (mekanotermal) en terskel på 33 °C (variasjon fra 22-40 °C) for sende impulser til hjernen. Også hos gullfisk er det funnet terskelverdier for når varme blir registrert som smerte (Nordgreen mfl. 2009).

**Tabell 4.1.1-1.** Det optimale vanntemperaturområde for laks ved ulike livsstadier.

	Temperaturområde (°C)			Referanser
Egg	4	-	8	Weber, (1997)
	4	-	8	Peterson mfl. (1977), Elliott mfl. (1998)
			< 12	Lightfoot (2008)
	4	-	11	Poxton (1991)
Yngel	10	-	14	Poxton (1991)
Parr	12	-	14	Elliott (1991)
Smolt	7	-	14.3	Jonsson og Rudd-Hansen (1985), Duston mfl. (1991)
	10	-	13	Handeland mfl. (2003)
Post-smolt	8	-	14	(Marine Harvest, 2016)
	5	-	17	Jones, (2004)
	6	-	16	Handeland mfl. (2008)
	10	-	15	Stien mfl. (2013)
	10	-	15	Handeland mfl. (2003)
	16	-	18	Johansson mfl. (2009)

## Prøvetaking og analytiske betraktninger

I kar er vannet blandet og vanntemperaturen kan måles hvor som helst i vannet. I merder hvor temperaturen kan variere vesentlig etter dybde (Oppedal mfl. 2011a), bør temperaturen måles på ulike dyp i vannsøyla. Temperaturprofil fra topp til bunn i merd er viktig for å kunne forstå dybdefordelingen hos fisken. Laks har f.eks. en tendens til å holde seg på den mest foretrukne temperaturen i dypet hvis forholdene tillater det (Oppedal mfl. 2011a). I merder kan vertikale temperaturprofiler tas med et CTD-sonde sammen med målinger av andre miljøbaserte indikatorer som saltholdighet og oksygen.

### Styrke til indikatoren

Temperatur er billig og enkelt å måle. Det påvirker og forklarer mange aspekter ved atferd, velferd og vekst hos laks. Andre VI'er påvirkes også, som oksygen, sykdom og parasitter (lakselus).

### Svakhet til indikatoren

I mange produksjonssystemer er det vanskelig eller umulig å endre temperaturen selv om den er for lav eller for høy.

#### 4.1.2 Saltholdighet

Laks må opprettholde forholdsvis konstante blodnivåer av ioner ved omkring 250-300 mOsm, eller ~ 10 ‰, uavhengig av omgivelsenes saltholdighet (Björnsson mfl. 2011; McCormick mfl. 1989). Lakseyngel og parr lever i ferskvann, og er hyperosmotiske med et aktivt opptak av ioner og utskillelse av vann. Mens sjøvannslevende post-smolt er hypoosmotiske og må aktivt drikke vann og skille ut ioner. Veksthastigheten hos post-smolt er i stor grad uavhengig av saltholdigheten, men nylig sjø-overførte fisk synes å foretrekke brakkvann og vil samle seg i eller over haloklinen (overgangen mellom brakkvann og normalt sjøvann). Større post-smolt er lite påvirket av saltholdighet (med unntak av kjønnsmodenfisk) og det er lite som tyder på at saltholdigheten har signifikant effekt på graden av velferd (Stien mfl. 2013). Atlantisk laks mister mye av evnen til å osmoregulere i sjøvann når fisken kjønnsmodner, og vil derfor oppleve høy dødelighet hvis de fortsettes å måtte stå i sjøvann gjennom kjønnsmodning (Taranger og Hansen 1993).

**Tabell 4.1.2-1.** Den optimale saltholdigheten for laks ved ulike livsstadier.

	Salinitetsområde (‰)	Referanse
<b>Yngel</b>	Ferskvann 0-10 ‰	EFSA 2008a, Craik og Harvey, 1988
<b>Parr</b>	Ferskvann 0-10 ‰	EFSA 2008a
<b>Smolt</b>	Haloklin og brakkvann	Duston, (1994), Stien mfl. (2013), Handeland mfl. (1998), Johansson mfl. (2006, 2009)
<b>Post-smolt</b>	Sjøvann (33-34‰). 22-28 ‰ <20->30 ‰	Stien mfl. (2013) Bœuf og Payan, (2001) Oppedal mfl. (2011)
<b>Stamfisk</b>	<10 ‰	Taranger og Hansen 1993

## Prøvetaking og analytiske betraktninger

Selv om det er lite som tyder på at saltholdighet har signifikant effekt på velferden til post-smolt laks, kan tilgangen til brakkvann være til nytte. I en merd som inneholder 10-200 000 individer er det sannsynlig at noen fisk har en kompromittert osmotisk balanse, på grunn av dårlig smoltifisering eller kjønnsmodning. Fisk infisert med AGD og lakselus vil også kunne dra fordel av tilgang til et lag med

brakkvann (Oldham mfl. 2016). Den beste måten å måle om det er et lag med brakkvann, og hvor dypt det er, er ved hjelp av en CTD-sonde. En CTD er en sonde som måler ledningsevne, temperatur og dybde som langsomt senkes ned i vannet. Dette kan normalt gjøres fra en lekter, siden saltholdighetsprofilen er forholdsvis stabil i området ved et oppdrettsanlegg, og ikke vil variere mye fra merd til merd. En CTD gir høykvalitetsdata med temperatur og saltholdighet beregnet ut fra ledningsevne målinger, noe som gjør det mulig å identifisere den nøyaktige plasseringen av eventuelle overganger i saltholdighet.

#### **Styrke til indikatoren**

Lett å måle ved hjelp av CTD. Tilstedeværelsen av et mulig lag med brakkvann kan ha nytte for fisken sin velferd.

#### **Svakhet til indikatoren**

Fravær av et lag av brakkvann betyr ikke nødvendigvis redusert velferd. Selv om det er et lag med brakkvann, kan dette laget ofte være for kjølig. Noe som igjen kan hindre fisken i å benytte seg av dette vannet.

### **4.1.3 Oksygen**

Da fisk er vekselvarme vil deres metabolske rate og oksygenbehov øke ved økende vanntemperaturer (Brett 1979; Fry 1971; Pörtner 2010; Pörtner og Farrell 2008; Remen mfl. 2013; Barnes mfl. 2011). I det oksygenmetning avtar (på grunn av økende vanntemperaturer) reduseres den metabolske marginen («scope»). Når oksygenmetningen synker under et visst nivå ( $DO_{maxFi}$ ), medfører dette også til å redusere appetitten og fôrinntaket (Remen mfl. 2016a). Ved oksygenmetning over  $DO_{maxFi}$  er atferden og appetitten upåvirket, og man kan anta at behovet for respirasjon er ivaretatt. Ved oksygenmetninger under det begrensende metningsnivået (LOS, limiting oxygen saturation) kan ikke aerob metabolisme opprettholdes, og nivåer under LOS bør alltid unngås. I området mellom  $DO_{maxFi}$  og LOS, vil respirasjon være begrenset, og selv om fisken overlever vil velferden være negativt påvirket. En kortere periode (timer, for eksempel under operasjoner) med slike nivåer, vil ikke ha alvorlige eller langvarige konsekvenser for velferden, men bør unngås så langt det er mulig. Man må videre ta hensyn til at LOS stiger ved plutselig høyere aktivitet i merdene (for eksempel panikkatferd), og man bør derfor unngå oksygenmetning ned til LOS.

**Egg:** Oksygenkravene til lakserogn er avhengig av ulike aspekter, inkludert eggstørrelse, utviklingstrinn og temperatur. Det er kan derfor være vanskelig å gi generelle uttalelser om kravene for oksygentilførsel til egg. Studier tyder imidlertid på at ved temperaturer under 12,5°C vil gi høy eggoverlevelse hvis oksygenmetning er 66% eller høyere, og vannstrømmen forbi eggene er ved eller over 100 cm/t (Crisp 1996 og referanser deri). Lave oksygennivåer i løpet av inkubasjonen kan også ha sub-letale effekter, inkludert redusert vekst, redusert effektivitet i eggeplommekonvertering, for tidlig klekking, redusert størrelse ved klekking og morfologiske endringer (Crisp 1996 og referanser deri). Dette kan også senere gi negative påvirkninger på fiskens velferd.

**Parr og smolt:** Detaljerte data om ved hvilke oksygenkonsentrasjoner som appetitt og aerob metabolisme er opprettholdt hos parr og smolt ved forskjellige temperaturer er ikke tilgjengelige, men erfaring tyder ikke på dramatiske forskjellige oksygenbehov sammenlignet med post-smolt (se nedenfor). For eksempel har en undersøkelse vist at parr har en begrensende oksygenmetning (LOS) på 39 %  $O_2$  ved 12,5°C (Stevens mfl. 1998).



**Post-smolt:** Den laveste oksygenmetning som ikke negativt påvirker appetitt ( $DO_{maxFI}$ ) og den laveste oksygenmetning hvor aerob metabolisme kan opprettholdes (LOS), for post-smolt ved forskjellige temperaturer, er gitt i tabell 4.1.3-1.

Oksygennivået varierer i tid og rom, særlig i merder hvor vannutveksling drives av tidevannet, og skiftende værforhold er noe som kan medføre høye lokale fisketettheter ved visse dyp (Oppedal mfl. 2011b). Post-smolt som blir eksponert for sykliske hypoksiske betingelser med 2 timers hypoksi (60% ved 16° C) hver sjettede time, reagerer med en fysiologisk stressrespons. Appetitten reduseres selv om fôr gis i de normoksiske periodene (Remen mfl. 2012, 2014). Dette tyder på at hypoksi kan gi stresseffekter som varer utover den hypoksiske perioden.

Temperatur	$DO_{maxFI}$	LOS
7	42%	24%
11	53%	33%
15	66%	34%
19	76%	40%

**Tabell 4.1.3-1.** Nedre grense for oksygenmetning med maksimalt fôrintak ( $DO_{maxFI}$ ), og begrensende oksygenmetning (LOS) for atlantisk post-smolt på 300-500 g. Data fra Remen mfl. 2016a.

### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Oksygenmetning kan variere i både rom og tid, og målinger av oksygenmetning bør gjøres når og hvor det er forventet å være lavest. I kar vil avløpet normalt ha den laveste oksygenmetningen. I merder er den laveste oksygenmetningen normalt ved den dybden der det er høyest fisketetthet. Dette vil være i lesiden av vannstrømmen, og når vannstrømhastigheten er på det laveste i forbindelse med tidevannet (Oppedal mfl. 2011b). Da både løseligheten av oksygen i vann og fisk sitt oksygenbehov er avhengig av temperaturen, bør temperaturen måles sammen med oksygen. Ideelt sett bør oksygen måles som en vertikalprofil ved hjelp av en CTD som samtidig måler andre miljøbaserte indikatorer, slik som temperatur og saltholdighet. Oksygenmåler er også integrert i noen kamerasystemer som brukes i merder. Oksygensonder skal kontrolleres og kalibreres med jevne mellomrom, og vise 100% metning når den eksponeres i luft.

#### Styrke til indikatoren

Oksygenmetning er enkel og rask å måle og tolke.

#### Svakhet til indikatoren

Oksygen-nivået kan variere sterkt i rom og tid, og hvis dette er målt på feil sted eller på feil tidspunkt, kan undermetningen av oksygen undervurderes. Sensorene krever ofte kalibrering.

#### 4.1.4 Karbondioksid ( $CO_2$ )

Høyt karbondioksyddinnhold skjer hovedsakelig i ferskvannsfasen, hvor toksiske effekter av høye  $CO_2$  har blitt observert i området 20-100 mg/l, avhengig av andre vannparametere og fisk sin egen metabolisme og størrelse (Rosten mfl. 2004). Når  $CO_2$  oppløses i vann dannes det karbonsyre, og høye nivåer av  $CO_2$  i vannet vil senke pH, særlig i vann med lav ledningsevne (alkalitet) (Fivelstad 2013). Blodkonsentrasjoner av  $CO_2$  er sterkt korrelert med vann  $CO_2$  (Fivelstad 2013), og forhøyede blodkonsentrasjoner av  $CO_2$  reduserer blodet sitt oksygenbærende evne (Wood og Jackson 1980). Laks kan akklimatisere seg til forhøyede plasma  $CO_2$ -nivå ved å øke plasmakonsentrasjonen av bikarbonat, noe som fører til en redusert konsentrasjon av plasmaklorid (Fivelstad 2013).

**Parr og smolt:** Langvarig eksponering (uker og måneder) til forhøyede CO<sub>2</sub>-nivåer har vist negative effekter på vekst i parr (Fivelstad mfl. 2007; Hosfeld mfl. 2008). Smolt i ferskvann reagerer på høy CO<sub>2</sub> (~ 20 mg/l) ved økt ventilasjonsfrekvens (Fivelstad mfl. 1999). Noe som i senere studier har blitt funnet å være forbigående ved kronisk høye eksponering, noe som tyder på akklimatisering til forhøyet CO<sub>2</sub> (Fivelstad mfl. 2003; Hosfeld mfl. 2008). Dette innebærer fysiologisk tilpasning og kortvarig innvirkning på oksygentilgjengelighet, men en mulig langsiktig virkning (måneder) med svelling av erytrocyttene (Fivelstad mfl. 2003). Fivelstad mfl. (2007) fant ut at vektreduksjonen på grunn av høyt CO<sub>2</sub> var mye lavere ved 15 °C (ca. 30% reduksjon) enn ved 5 °C, hvor det var nesten ingen vekst i løpet av 47 dager med eksponering på 43 mg CO<sub>2</sub>/l.

**Post-smolt:** Langvarig eksponering (uker og måneder) til forhøyede CO<sub>2</sub>-nivåer har vist negative effekter på vekst i post-smolt (Fivelstad mfl. 1998). For post-smolt holdt i sjøvann ved 15 til 16 °C, vil en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 10,6 mg/l ikke påvirke blodparameterene (hematokrit, plasma-klorid og natrium-plasma) eller vekst. Ved 26 mg/l reduserte dette plasmaklorid, og ved 44 mg/l økte plasmanatrium og pH, og reduserte plasma klorid, oksygenforbruk og vekst (Fivelstad mfl. 1998).

Graden av effekten av CO<sub>2</sub> er avhengig av temperaturen. Karbondioksidet sin toksisitet er avhengig av andre faktorer, særlig vanns ledningsevne (alkaliteten) (Summerfelt mfl. 2000), og generelt trygge nivåer er derfor vanskelig å angi. For norsk produksjon av smolt benyttes en grense på 15 mg/l. Men det bør merkes at negative effekter på vekst og kondisjonsfaktor, har imidlertid blitt funnet ved konsentrasjoner under 10 mg/l hos yngel og smolt (studier sammenfattet i Fivelstad 2013).

- **Anbefalt maksimale nivå av CO<sub>2</sub> 15 mg/l (FOR, 2004)**

#### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

CO<sub>2</sub> bør måles jevnlig i ferskvannsfasen eller under landbasertproduksjon av post-smolt, særlig i tilfeller hvor biomassen er høy og vannstrømmen og vannutvekslingen i systemet er lav. Målinger av CO<sub>2</sub> bør fortrinnsvis gjøres utløpet av karet. CO<sub>2</sub> kan måles ved bruk av håndholdte instrumenter eller «in-line» selvstående instrumenter eller prober som er koblet til større overvåkingssystemer. Det finnes hovedsakelig to måter å måle CO<sub>2</sub>: 1) direkte, som CO<sub>2</sub>-gass-partialtrykk ved hjelp av en gass-permeabel membran og en infrarød absorpsjon celle eller 2) indirekte fra pH og karbonat alkalitet ved hjelp av dissosiasjonskonstanter. Alternativt kan akkrediterte laboratorier gi tidsbilde av produksjonsforholdene. Instrumenter for direkte måling av CO<sub>2</sub> er dyrere, har lang reaksjonstid, og er avhengige av høyere vannhastighet under målingene. Likevel bør disse kunne gi direkte og mer nøyaktige målinger. Indirekte metode er billigere, men de er avhengige av nøyaktig måling av pH. I tillegg kan interferens fra antallet stoffer i vann forekomme, noe som påvirke alkalitet og dermed redusere presisjonen av denne metoden.

#### **Styrke til indikatoren**

Blodkonsentrasjoner av CO<sub>2</sub> er sterkt korrelert med CO<sub>2</sub> i vann, og kan gi informasjon om den fysiologiske tilstanden til fisk.

#### **Svakhet til indikatoren**

Uregelmessig eller enkeltstående målinger av CO<sub>2</sub> kan bare gi oss et øyeblikksbilde av tilstanden i en oppdrettsenhet. Dette skjer uten mulighet til å fastslå om fisk ble kronisk eksponert for denne gassen, og om dette har forårsaket noen langsiktige konsekvenser for fisken.

## Kunnskapsmangel

Gasser i vann – total gasstrykk og nitrogen overmetning.

- 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 nitrogen-gass i vann.
- Hvis metningen av nitrogen overskrider 100% kan fisk utvikle gassblæresyke. Det synes til at yngel er mer utsatt enn voksne fisk (Weitkamp og Katz 1980). Hos laksearter som atlantisk laks og regnbueørret har det blitt observert negative effekter på fisken ved nitrogenovermetninger over 102% (Lekang 2007), og Lekang (2007) anbefaler en grense under 100,5% N<sub>2</sub>. Tilsvarende mente Wedemeyer (1997) at 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 nitrogen-gassovermetning anbefaler en at man bruker ovennevnte grenseverdier som retningslinjer, og ikke som absolutte grenser til mer kunnskap foreligger.

### 4.1.5 pH

pH-verdien (hydrogen-ioner: H<sup>+</sup>) av ferskvann er i de fleste tilfeller positivt korrelert med vannhardheten (oppløst kalsiumkonsentrasjon). Fisk er utsatt for surt vann som: 1) høye H<sup>+</sup> nivåer resulterer i tap av Ca<sup>2+</sup> i gjelleepitelet, og kan forårsake osmoregulatoriske problemer (tap av Na<sup>+</sup> og Cl<sup>-</sup>), og blodacidose. 2) Aluminium-konsentrasjoner er omvendt korrelert med pH-verdien. Det inkluderer toksiske effekter respiratoriske problemer med Al-binding til inter- lamellære mukus, redusert membranfluiditet og osmoregulatoriske problemer ved tap av ioner (Havas og Rosseland, 1995). Giftigheten av aluminium er avhengig av dets kjemiske tilstand, interaksjoner med H<sup>+</sup> og organiske syrer, og vil derfor variere med forskjellige vannkvaliteter (Havas og Rosseland 1995). I Norge er ferskvann sin bufferkapasitet generelt lav, hvor ca. 20% av settefiskanleggene (perioden 1999-2001) hadde pH-verdi lavere enn 6 i deres inntaksvann (Rosten mfl. 2004). Tiltak for å øke pH-verdien i fiskeproduksjon omfatter tilføring av sjøvann, kalk eller silikat (Rosten mfl. 2004).

**Egg og yngel:** I løpet av de tidligste fasene i livet, har inkubasjon ved pH 5 og lavere blitt funnet å indusere subletale effekter i yngel som påvirker gjeller og det vaskulære system. Mens ved pH 4,5 og lavere inntrådte skader på hjernen, optisk retina og milt (Daye og Garside 1980). Betydelig reduksjon i klekkesuksess og larvevekst hos laks oppsto ved pH 4,5 - 5, hvor larvedødeligheten økte ved pH 4,5. Samtidig ble spise- og svømmeatferd svekket ved pH 6,5 og lavere (Buckler mfl. 1995). Tilsvarende dødelighet på grunn av redusert spiseatferd ble påvist i tidlig startfôringsfase hos yngel av atlantisk laks ved pH 5 (70% dødelighet over 30 dager), sammenlignet med den en fant ved en pH på 6,1 (4% dødelighet) (Lacroix mfl. 1985).

**Parr og smolt:** Smolt er særlig utsatt for lav pH, tatt i betraktning deres osmoregulatoriske forberedelse til overgangen til sjøvann. Naturlige svingninger i pH-verdien grunnet fortykning av kalsiumkonsentrasjon i vannet ved regn og snø-smelting kan øke andelen av uorganisk monomert aluminium. Dette kan føre til økt dødelighet hos pre-smolts (Henriksen mfl. 1984). Under

langtidseksponering (3 måneder) ved lav pH (4,2-4,7), vil både vekst og smoltifisering bli hemmet hos lakseparr (Saunders mfl. 1983). I produksjonsenheter vil en opphopning av CO<sub>2</sub> senke pH-verdien, og endre de kjemiske egenskapene til aluminium. Fivelstad mfl. (2003) undersøkte industri CO<sub>2</sub>-drevet nedgang i pH i laksesmolt. Til tross for lave nivåer av labile aluminiumkonsentrasjoner opplevde oppdrettsfisk ved lav pH-verdi på henholdsvis 6 og 5,7 en 5 og 7 ganger stor gjelleavsetning av aluminium sammenlignet med en kontrollgruppe produsert ved pH 6,6. Den lave pH-verdien ga redusert plasmaklorid, gjelle Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup>-ATPase-aktivitet, videre ble vekst redusert og betydelig dødelighet ble påvist (Fivelstad mfl. 2003). Osmoregulatorisksvikt omfatter også slimlaget til huden, og smolt eksponert over 80 t til pH 5,6 til 6,2 viste et lineært forhold mellom tap av plasmaklorid, hud slimceller og høy dødelighet (Berntssen mfl. 1997). Tilsvarende fant McCormick mfl. (2009) at vill laksesmolt i elver hadde lavest fysiologiske respons til pH endringer i området mellom 6,5 og 7, og responsen økte raskt med avtagende pH.

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Måling av pH-verdien i vannet er en forholdsvis enkel prosess, og kan utføres ved hjelp av forskjellige typer av pH-meter. Det er imidlertid viktig å kalibrere proben og måleren i henhold til produsentens spesifikasjoner. En bør kalibrere måleren ved å teste den i et stoff med en kjent pH-verdi, og deretter justere måleren tilsvarende. Legg merke til at pH-skalaen er en logaritmisk skala, noe som betyr at forskjeller i et enkelt heltall faktisk representerer en tidobbelt forskjell i surhet eller alkalitet. For eksempel, en substans som har en pH-verdi på 2 er faktisk 10 ganger mer surt enn en med en pH-verdi på 3, og 100 ganger mer surt enn en substans med en pH-verdi på 4. Skalaen fungerer på samme måte for alkaliske stoffer, med ett helt tall som angir en tidoblet forskjell i alkalitet.

### **Styrke til indikatoren**

Måling av pH-verdien i vannet er forholdsvis lett og rask å måle.

### **Svakhet til indikatoren**

Uregelmessig eller enkeltmålinger av pH kan gi oss bare et øyeblikksbilde av produksjonen, og nivåene kan variere i tid og rom. Hvis disse er målt på feil sted eller på feil tidspunkt, kan reelle lave nivåer ikke oppdages. Endringer i pH er ofte ikke tilstrekkelig til å identifisere et spesifikt produksjonsproblem. Ytterligere målinger av andre OVI'er og LABVI'er som oksygen, tungmetaller, CO<sub>2</sub> og total ammoniakk-nitrogen, må gjøres for å sikre en viss forståelse av årsaken til pH-endringene.

#### **4.1.6 Total ammonium nitrogen (TAN)**

Ammoniakk (NH<sub>3</sub>) er et toksisk sluttprodukt av proteinkatabolismen. Ammoniakk reagerer med vann og danner ionisert ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Summen av NH<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kalles total ammonium-nitrogen (TAN). Reaksjonen mellom ammoniakk og ammonium går begge veier. Hvor mye av ammoniakken som ender opp som ammonium, avhenger av pH, temperatur og saltholdighet, hvor forholdet mellom NH<sub>3</sub>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> avtar med synkende temperatur og pH, og økende saltholdighet (Boyd 2000). I oppdrettsvann og i fiskens kroppsvæsker finnes det meste av TAN i form av ammoniumjern (Thorarensen og Farrell 2011). I ferskvann skilles det meste av ammoniakk i fisken ut via diffusjon gjennom gjellene. Akkumulering av ammoniakk i vannet vil redusere diffusjonen av ammoniakk over gjellebuene, noe som kan resulterer i forhøyede plasmanivåer av ammoniakk (Thorarensen og Farrell 2011).

Den akutte toksisitet av ammoniakk er hovedsakelig på grunn av effekten på sentralnervesystemet. Dette omfatter også ødeleggelse av enzymer, membranstabiliteten, gjelleskader og histologiske lesjoner i forskjellige indre organer og osmoregulatoriske forstyrrelser (Thorarensen og Farrell 2011 og referanser deri). Kortvarige effekter av forhøyede ammoniakknivåer omfatter mangel på spiseaktivitet,

reduisert svømmeytelse, økt gjelleventilasjon, uberegnelige og raske bevegelser, hoste, kramper, tap av likevekt og til slutt død. Mens kronisk eksponering øker metabolsk hastighet reduseres derimot veksthastigheten, sykdomsresistensen og fruktbarheten (Thorarensen og Farrell 2011 og referanser deri).

De maksimale sikre nivåene for lengre tidseksponering av forhøyede nivåer av  $\text{NH}_3\text{-N}$  (konsentrasjon av nitrogen bundet som  $\text{NH}_3$ ), er omkring 0,012 mg/l (Fivelstad mfl. 1995). Mens maksimalt nivå for kortvarig eksponering (4 t) er 0,1 mg/l (Wedemeyer 1996). Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke  $\text{NH}_3$ :  $\text{NH}_4^+$  -forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk (Randall og Wright 1995).

#### **Trygge maksimale nivåer av $\text{NH}_3\text{-N}$ :**

- **Kortsiktig: 0,1 mg/l (Wedemeyer 1996).**
- **Langsiktig: 0,012 mg/l (Fivelstad mfl. 1995).**

#### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

Ammoniakk er av særlig betydning i ferskvannsfasen hos atlantisk laks. Ammoniakkprøver skal analyseres umiddelbart etter prøvetaking, eller kan være frosset ved  $-20^\circ\text{C}$  for etterfølgende analyse. Ammoniakk blir vanligvis målt ved hjelp av fotometriske metoder. Alternativt kan på-stedet instrumenter for måling av ammoniakk benyttes, slik som ione-selektive elektroder, gassdeteksjon eller amperometrisk påvisning. På-stedet løsninger er i hovedsak basert på anvendelse for andre industrier (drikkevann, avfallsvann eller kloakk), og deres nøyaktighet og rekkevidde av målte verdier ikke er i samme størrelsesorden som ammoniakk målt i oppdrett. Ved bruk av fotometriske metoder bør man: a) å vite hvilken form av ammoniakk måles, b) foreta en standardkurve ved anvendelse av standarder med kjente konsentrasjoner, c) kjenne til mulige interfererende substanser (for eksempel filtrerer prøven hvis TSS er over 5 mg/l) og d) alltid ta hensyn til effekten av temperatur og saltholdighet. Ammoniakk bør overvåkes kontinuerlig i system med lav vannutskiftning, under transport og i tilfeller når vannstrømmen er begrenset og biomasse i merdene er høy

#### **Styrke til indikatoren**

Ammoniakk er giftig for atlantisk laks og kan akkumuleres i blod og vev, og kan til slutt føre til dødelighet.

#### **Svakhet til indikatoren**

Ammoniakkbalanse i vannet mellom mer toksisk u-ionisert ammoniakk-nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) og ionisert ammoniakk-nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), er avhengig av pH, temperatur, og saltholdighet. Målinger av total ammoniakk-nitrogen (TAN) uten kjennskap til de andre vannkvalitetsparameterne, vil ikke gi tilstrekkelig informasjon om ammoniakk sin toksisitet.

#### 4.1.7 Nitritt og nitrat

Nitritter er vanligvis ikke et problem i oppdrettsnæringen med gjennomstrømning hvor nitrogenholdige avfallsstoffer blir spylt bort. De er heller ikke noe problem i tilstrekkelig oksygenert vann, slik at oksidasjonshastigheten av nitritt overskrider oksidasjonshastigheten av ammoniakk. I RAS systemer vil nitrobacter bakterier i biofiltrene hurtig omdanne nitritt til den betydelig mindre toksiske nitrat (Lewis Jr. og Morris 1986). Nitritt bryter ned røde blodceller og oksyderer jernet i hemoglobinet som resulterer i redusert oksygenbærende kapasitet og medfører slapphet (EFSA 2008a). Nitritt kan være potensielt giftig for atlantisk laks i ferskvann, da nitritt har en høy affinitet til gjelle-klorid opptaksmekanismene. Dersom stoffet er tilstede i omgivende vann kan det bindes til klorid - bikarbonat ( $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ ) gjelle transportørene og utkonkurrere kloridioner (Jensen 2003). Dette kan føre til kloridunderskudd, påvirke gasstransport, ioneregulering, det kardiovaskulære-, endokrine- og ekskresjonssystemet. I tillegg kan det skape dannelse av methemoglobin, og gi redusert blodoksygentransport (Jensen 2003; Svobodová mfl. 2005). Tilsetning av klorid til ferskvann kan beskytte mot skadelige virkninger av nitritt toksisitet. Nitritt er derfor mindre toksisk i sjøvann hvor  $\text{Cl}^-$  konsentrasjonen naturligvis er høy. Det er foreslått at et 108: 1  $\text{Cl}^-$ :  $\text{NO}_2\text{-N}$ -forhold bør benyttes, for å beskytte atlantisk lakseyngel (Gutierrez mfl. 2011). De foreløpige retningslinjene for  $\text{Cl}^-$  krav i forhold til  $\text{NO}_2\text{-N}$  konsentrasjoner, er ikke spesifisert av det norske Mattilsynet.

Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) er sluttproduktet av nitrifikasjonsprosessen og kan ha ugunstige effekter på laks, men det anses å være mer ufarlig, og det anbefales å holde konsentrasjonen i oppdrettssystemene under 100 mg/l (Bregnballe 2010). Nitrat kan imidlertid nå høye nivåer i resirkuleringsanlegg og må overvåkes.

#### Anbefalte øvre konsentrasjoner

- **Nitritt: 0,1 mg/l (Wedemeyer 1996; Thorarensen og Farrell 2011).**
- **Nitrat: 100 mg/l (Bregnballe 2010).**

#### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Nitritt nitrogen ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) kan akkumuleres i systemer med lav vannutskifting (RAS), og kan være giftig for atlantisk laks. Derfor må  $\text{NO}_2\text{-N}$  overvåkes regelmessig. Nitrat nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) er ikke toksisk i dagens kommersielle system, hvis man har opptil 25% daglig utskifting av det totale vannvolumet. Dette er noe som vil fortynde  $\text{NO}_3\text{-N}$  tilstrekkelig. Begge nitrogenforbindelser er målt ved hjelp av fotometriske metoder og målt som ammoniakk. Ulike metoder bruker nitritt reaksjon med sulfanilamid som gir et fargeomslag ved 500-550 nm. Ved nitrat analyse, blir prøven redusert til nitritt med Cd. Det vil si en høy bakgrunn av nitritt kan gi en feil. Høyere presisjon av nitritt målinger finnes ved bruk av automatiserte kolorimetri metoder (0,005 til 10 mg/l). Følgende anbefalinger bør følges ved måling av nitritt: 1) for å være sikker på å vite hvilken nitrittforbindelse som måles (nitritt eller nitrat nitrogen); 2) standardkurve bør gjøres ved anvendelse av kjente konsentrasjoner; 3) prøvene skal filtreres hvis TSS er høy; 4), sulfid og metaller kan forstyrre målingene. For nitrat målinger: 1) standardkurve bør brukes; 2) prøver skal filtreres hvis TSS er høy; 3) nitritt og  $\text{Cl}^-$  kan forstyrre målingene noe som er viktig å ta hensyn til ved analyse av sjøvann.

#### Styrke til indikatoren

Nitritt er giftig for atlantisk laks og kan føre til dødelighet. Nitrat indikerer effektiviteten og status for nitrifikasjonsprosessen i bioreaktorene i RAS-system.



### Svakhet til indikatoren

Høyere konsentrasjoner enn anbefalt kan tolereres av laks når adekvate nivåer av klorid er tilgjengelige. Derfor bør klorid måles sammen med nitritt for å kunne gi et fullstendig bilde av de produksjonsforhold som er relatert til den potensielle toksisiteten nitritt.

#### 4.1.8 Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS)

Turbiditet er et mål på vann sin klarhet. Økt turbiditet hindrer observasjon av fisken i oppdrettsenhetene, og kan potensielt gi negativ effekt på fôring. Turbiditet kan også påvirke vannkvaliteten, og vann med høye turbiditetsnivåer har mindre oppløst oksygen. De optimale nivåer av turbiditet for laks er ikke spesifisert. Totalt suspendert tørrstoffkonsentrasjon (TSS) er definert som massen av partikler av både organiske og uorganiske opphav over 1 µm i diameter i et gitt volum av vann (Timmons og Ebeling 2007). Suspenderte tørrstoffer bidrar til økt oksygenforbruk i kar med biologisk forurensning og slamavsetninger. Fint suspenderte tørrstoffer kan ha negativ virkning på generell gjellehelse og -funksjon, i det det påvirker oksygenopptaket. Dette gir grobunn for vekst av patogener (Timmons og Ebeling 2007). En definitiv grense for akseptabel TSS konsentrasjon er enda ikke avklart (Timmons og Ebeling 2007), men en øvre grense på 15 mg/l er blitt foreslått (Thorarensen og Farrell 2011).

- **Anbefalt øvre konsentrasjon av totalt suspenderte tørrstoffer: 15 mg/l (Thorarensen og Farrell 2011).**

### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Turbiditet er et mål på hvor mye materiale som er suspendert i vann (partikler i størrelsesområdet mellom 0,004 nm - 1,0 mm). Dette reduserer passasjen av lys gjennom vannet. Turbiditet kan måles ved hjelp av: 1) Secchi-disk eller transparente rør i merdene eller ved hjelp av 2) turbiditetsmålere (optoelektroniske meter) som måler intensiteten av det spredte lys i en vinkel på 90°, og uttrykkes i nefelometrisk turbiditetsenhet (NTU). Prøvene bør holdes på et mørkt sted før analyse og turbiditetsmåler bør kalibreres før prøveanalysen. Turbiditet kan måles i henhold til US EPA metode 180.1 "Bestemmelse av turbiditet ved nefelometri": [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_180-1\\_1993.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_180-1_1993.pdf)

TSS måles etter ESS Metode 340.2: Totalt suspendert tørrstoff, (tørket ved 103-105 °C): [http://www.cyanopros.com/refs/epa\\_tss.pdf](http://www.cyanopros.com/refs/epa_tss.pdf). Store flytende partikler og sjøvann kan interferere med nøyaktige målinger av TSS. Analytiske paralleller anbefales derfor.

### Styrke til indikatoren

Turbiditet i vann er korrelert med andre vann kvalitetsparametere. For eksempel så avtar oppløseligheten av oksygen i vannet ved økt turbiditet og temperatur. TSS i vann kan gi dårligere vannkvalitet, tette til utstyr og kan være skadelig for fiskene sine gjeller, og bør derfor måles.

### Svakhet til indikatoren

De optimale eller maksimum tillatte turbiditetsnivå som fremmer god laksevelferd, er ukjente. Akseptable TSS verdier er artsspesifikke, og for laks er de ikke spesifisert.

## 4.2 Velferdsindikatorer som beskriver oppdrettssystemer eller -håndtering

### 4.2.1 Vannstrømhastighet

Vannstrømhastigheten påvirker graden av vannutskifting i merder, og kan derfor være av betydning for vannkvaliteten i oppdrettsenheten. Hypoksi er korrelert med lav strømhastighet som fører til lav vannutveksling (Vigen 2008). I hvilken grad en gitt strømhastighet påvirker vannkvaliteten avhenger av flere faktorer slik som størrelsen på merden, biomasse og grad av groe på merdnota.

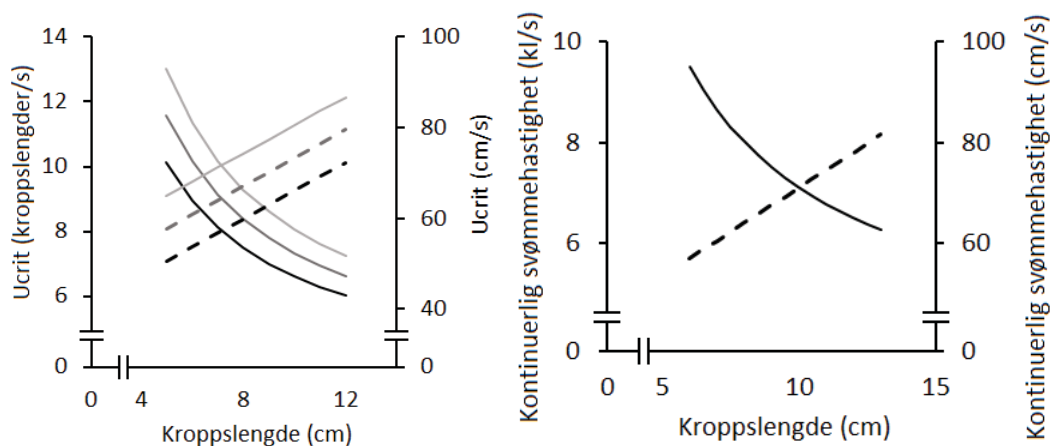
Strømhastigheten kan også påvirke volumet av merden, f.eks ved at høy strøm presser nettveggen sammen eller skaper en deformasjon av merden. I kar kan for lav strømhastighet være begrensende for selvreising av fôravfall og feces.

Vannstrømhastigheten påvirker svømmekapasiteten hos fisk. Fisk kan opprettholde sin posisjon i forhold til bunnen (parr i kar) eller svømme mot vannstrømmen. Fritt svømmende fisk, som fisk i merder, beveger seg både i forhold til vannstrømmen og bunnen. Strømhastigheten som overstiger fiskens svømmekapasitet hindrer fisk i å opprettholde sin posisjon i karet eller i å kunne bevege seg fritt i vannet. Strømhastigheten i vann er ofte uttrykt i relasjon til fiskelengden (kroppslengde/sek) i stedet for absolutte verdier (cm/s). Mens den absolutte svømmehastighet (cm/s) øker med størrelsen, avtar den relative svømmekapasiteten (kroppslengde/s) generelt med fiskens kroppslengde. Svømmehastigheten vil øke med stigende temperatur opp til en viss termisk optimal; for så å avta (Brett 1964, 1965; Peake 2008).

Den kritiske svømmehastighet ( $U_{crit}$ ) er et mål på den maksimale aerobe ytelse, og det måles ved en skrittvis økning i vannstrømhastigheten i svømmetunneler tilknyttet et respirometer inntil fisken settes ut (Brett 1964; Beamish 1978; Hammer 1995; Farrell 2007). Fisken er bare i stand til å opprettholde  $U_{crit}$  for en kort tid (minutter), noe som betyr at langvarig svømming bare er mulig ved betydelig lavere hastigheter ( $<70\% U_{crit}$ ) hvor den anaerobe kostnaden ikke blir for høy (Burgetz mfl. 1998).  $U_{crit}$  er et standardisert mål på svømmeytelsen målt i laboratorium. Det er derfor ikke direkte relevant til bruk ved merdkanten, men kan likevel gir en indikasjon på hvordan miljøvariabler og fiskestørrelse påvirker svømmeferdighet for fisk, og er derfor presentert her. For korte perioder av gangen (sekunder) kan fisk spurtsvømme betydelig raskere enn  $U_{crit}$ .

For laksefisk har svømming som en form for trening positive effekter på fisken. Positive effekter er økt vekst, proteinavsetning, sterkere hjerte, høyere blodstrøm og ulike forskjellige fysiologiske forbedringer. For høye strømhastigheter, selv om de er godt under  $U_{crit}$ , kan ha negative effekter på ytelse, og det samme gjelder for lave strømhastigheter (Solstorm mfl. 2015, 2016a).

**Parr:** Lakseyngel kan ligge på bunnen og bruke brystfinnene for ved hjelp av vannstrømmen å bli presset mot bunnen (Arnold mfl. 1991). Parr kan derfor tolerere relativt høyere strømhastigheter enn fritt svømmende fisk, og kan holde sin posisjon mot vannstrømmen i ubestemt tid inntil en terskel der strømmen blir for sterk, og de tvinges til å svømme aktivt. Tretthet opptrer da i løpet av noen få minutter, noe som resulterer i at fisk vil bli drevet bakover med strømmen (Arnold mfl. 1991; Peake mfl. 1997). Kritiske svømmehastigheter for lakseparr i temperaturområdet 12,5 til 19°C er gitt i figur 4.2.1-1 A), og maksimal vedvarende svømmehastighet i figur 4.2.1-1 B). Parr uten brystfinner har redusert svømmeevne (Arnold mfl. 1991), og det kan antas at evnen til å opprettholde posisjonen for parr med defekte brystfinner og parr uten tilgang til bunnen, er lavere enn det som er rapportert her.



**Figur 4.2.1-1.** A) Den kritiske relative (kroppsledder/s, heltrukne linjer) og absolutte (cm/s, stiplede linjer) svømmehastigheten av atlantisk lakseparr som en funksjon av fiskelengden ved 12°C (lys grå), 16°C (mørk grå) og 20°C (svart). Data fra Peake mfl. (1997). B) Maksimal kontinuerlig svømmehastighet hos parr som en funksjon av kroppslengde i temperaturområdet 12,5 til 19°C. Heltrukket linje indikerer relativ hastighet (kroppsledder/s) og stiplet linje absolutt hastighet (cm/s). Data fra Peake mfl. (1997).

**Smolt:** Laksesmolt svømmer mer fritt i vannet enn parr, og prøver i mindre grad å opprettholde en posisjon i forhold til bunnen (Peake mfl., 1997). Effekten av kroppslengde og temperatur på absolutt kritisk svømmehastighet varierer mellom ulike studier (Peake mfl., 1997; Booth mfl. 1997). For oppdrettssmolt som varierer forholdsvis lite i størrelse, er effekten av kroppslengden mindre interessant. En lineær økning i den absolutte kritiske svømmehastigheten fra 64 til 109 cm/s har blitt påvist på smolt (lengde 16,5 cm) i temperaturområdet 5-19°C (Booth mfl. 1997).

Absolutte vedvarende svømmehastigheter for smolt har blitt funnet å være ca 50 cm/s, og var ikke tydelig påvirket av temperatur (Tang og Wardle 1992; Booth mfl. 1997).

- **Absolutt kritisk svømmehastighet for laksesmolt: 64-109 cm/s, øker med kroppslengde og temperaturen.**
- **Absolutte vedvarende svømmehastighet for laksesmolt: 50 cm/s.**

**Post-smolt:** Absolutt kritisk svømmehastighet for post-smolt er funnet å være henholdsvis 81 cm/s (4,1 kroppsledder/s) for fisk på 20 cm, 91 cm/s (3,2 kroppsledder/s) for fisk av 29 cm, omkring 100 cm/s for både fisk både på 38 cm (2,6 kroppsledder/s, Wagner mfl. 2003) og for fisk på 51 cm ca. 1,9 kroppsledder/s (Remen mfl. 2016b).

Den maksimale vedvarende svømmehastighet for post-smolt med en kroppslengde på 30-50 cm er ca. 90 cm/s (2 kroppsledder/s) ved 11°C. Imidlertid bør det merkes at liten (22 cm) post-smolt, som er tvunget til å svømme mot en strøm med en hastighet lavere enn dette nivået (1,5 kroppsledder/s) i 6 uker, er blitt funnet å ha begrenset vekst sammenlignet med fisk holdt ved 0,8 eller 0,2 kroppsledder/s (Solstorm mfl. 2015, 2016).

For lave strømhastigheter kan også ha negative effekter vedrørende laks sin helse. Post-smolt tvunget til å svømme ved en strømningshastighet på 0,2 kroppsledder/s i 6 uker, fikk mer fett og mindre protein i muskulaturen (Solstorm mfl. 2015). Fisken viste også en høyere frekvens av urolig bevegelse i oppdrettsheten, og det ble funnet flere interaksjoner og observert økt aggresjon mellom enkeltindivider (Solstorm mfl. 2016).

- **Relativt kritisk svømmehastighet av post-smolt: 2-4 kroppslengder/s**
- **Relativt vedvarende svømmehastighet av post-smolt: 2 kroppslengder/s**
- **Velferden kan bli negativt påvirket ved langvarige hastigheter på 1,5 kroppslengder/s**
- **Lave strømhastigheter kan øke negative interaksjoner mellom individene og kan derfor svekke velferden.**

### **Prøvetaking og analytiske betraktninger**

I kar varierer strømhastigheten med avstanden til veggen, med høyest hastighet nær veggen, og lavere inn mot midten av karet. Vannet er ofte turbulent og kan være vanskelig å måle med strømmålere. Et alternativ er å legge et objekt som så vidt flyter i karet og måle rundetiden på det for å beregne hastigheten. Under målingen må en se at objektet holder noenlunde konstant avstand fra veggen under hele runden. En tommelfingerregel for vannstrøm i kar er at fisken skal holde posisjonen sin i forhold til karet, og hvis de svømmer fremover er strømmen for lav, hvis de driver bakover er strømmen for sterk. I sjø vil strømhastigheten variere med blant annet tidevannet, og er ikke mulig å justere. Strømmen inni merden er som regel lavere enn utenfor (Johansson mfl. 2014), og graden av demping avhenger blant annet av begroing. Strømhastighet og -retning bør derfor ikke bare måles utenfor merden, men også i merdene.

### **Styrke til indikatoren**

Vannstrømhastigheten kan ha stor betydning for laksen sin velferd, særlig i merd hvor vannstrømmen er viktig for vannutskiftingen, og hvor den kan variere mye i tid. Ved for lav vannhastighet kan det føre til hypoksi, særlig ved høy tetthet og høye temperaturer. Tilsvarende ved for stor vannhastighet kan det føre til påvirkning på merdutforming, volum og utmattelse av fisken, noe som særlig påvirker mindre fisk som har lavere absolutt svømmekapasitet.

### **Svakhet til indikatoren**

Vannstrøm bør måles på riktig sted til riktig tid. Den varierer gjennom dagen med tidevannssyklusen, mens styrken på tidevannet varierer gjennom månefasen og er sterkest ved springflo. Strømstyrken kan i tillegg påvirkes av vind. Å få presise mål på kritiske vannstrømhastigheter i anlegget kan derfor være krevende.

## **4.2.2 Belysning**

### **Ferskvann**

Lys påvirker flere endokrine prosesser i laksefisk, inkludert smoltifisering (Berge mfl. 1995), og kjønnsmodning (Hansen mfl. 1992). For å kontrollere og synkronisere tidspunktene for smoltifisering og for å frembringe høstmolt («0+»), blir laks vanligvis holdt ved simulerte lange dager (konstant lys) fra førstegangs fôring. For å starte smoltifiseringsprosessen, reduseres dagslengden til 12:12 (lys: mørke) for å simulere en vinter («vintersignal» i minimum fire uker). Dette etterfølges av en ny periode med lange dager med lys som simulerer vår, for å igangsette smoltifisering (Berge mfl. 1995; Stefansson mfl. 1991). For vellykket smoltifisering må parren nå en viss størrelse før initiering av vinterensignal (Skilbrei 1991; Handeland mfl. 2013.). Denne terskelstørrelsen kan variere mellom populasjoner. Ved studier gjort av Skilbrei (1991) var minimumsstørrelsen rundt 75 mm. Den egnede varigheten av de forskjellige lysregimene er avhengig av vanntemperaturen (Handeland mfl. 2004, 2013), men vintersignalet er vanligvis 4-6 uker etterfulgt av en periode med tilsvarende varighet med konstant lys (24L:0M). Lysregimer for styring av smoltifisering må gjennomføres på riktig måte, da en fisk som ikke er helt smoltifisert eller har begynt å reversere smoltifiseringsprosessen ikke er tilpasset til sjøvann. Usmoltifisert laks kan dermed lide under osmotisk ubalanse (se avsnitt 3.2.8

Smoltifiseringsstatus). Konstant lys er funnet å kunne ha negative effekter på nevrologiske utvikling av parr (Ebbesson mfl. 2007). Hos karpe har konstant lys vist å forstyrre «soverytmen» til fisken (g. Flik mfl. upubliserte data), men det er ikke kjent om konstant lys har noen negative konsekvenser for velferden hos laksefisk. Ved overgangen lys/mørke, i det lyset plutselig blir skrudd på, kan denne plutselige endringen i lysintensiteten lede til en akutt stressrespons som involverer panikkatferd (Mork og Gulbrandsen 1994) og økt oksygenforbruk (Folkedal mfl. 2010). Laks synes imidlertid å tilvenne seg disse endringene i forhold til lys innen en uke etter overgangen til lys/mørke (Folkedal mfl. 2010).

### Sjøvann

Omgivende lys er sammen med temperatur er en av de viktigste parameter for vertikal posisjonering i en laksemerd. Avveiningen mellom de vertikale gradienter av lysintensitet og temperatur vil bestemme den optimale svømmedybden (se Oppedal mfl. 2011a for gjennomgang). I naturlige lysforhold trekker laksen vanligvis ned ved daggry og svømmer dypere i løpet av dagen, for så å stige opp i skumringen og svømme nærmere overflaten om natten (Oppedal mfl. 2011a). Bruk av kunstig lys under vann kan brukes til å direkte påvirke svømmeatferden (Juell mfl. 2003; Juell og Fosseidengen 2004), og kan dermed benyttes for å redusere lusebelastning ved å dirigere fisk dypere ned i merden (Frenzl mfl. 2014.). Undervannslys blir også brukt til å forhindre seksuell modning i oppdrettssenheten. Høyintensitetslys benyttes fra midtvinters og 4-6 måneder fremover for å redusere forekomsten av kjønnsmodning (Hansen mfl. 1992; Porter mfl. 1999; Oppedal mfl. 1997, 2006). Kunstig forlengelse av sommeren ved bruk av lys med høy intensitet i løpet av høsten har imidlertid motsatt virkning og induserer seksuell modning (Duncan mfl. 1999; Oppedal mfl. 2006). Lys med lavere intensitet har vist seg tilstrekkelig for å kontrollere laksens svømmedybde i løpet av natten (Stien mfl. 2014), og svakt fiolett lys fremkalte ikke kjønnsmodning.

Laks går inn i en appetittdepresjon som varer i 6-8 uker etter overgangen til et kontinuerlig lysregime, noe som resulterer i redusert vekst (Oppedal mfl. 2003; Hansen mfl. 1992; Oppedal mfl. 2006.). Dette kan skyldes en stressrespons i fisken i forhold til det endrede miljøet. Det kan også skyldes en eventuell postulert fase hos fisken framprovosert av en circannual vekstrytme, som innebærer redusert vintervekst justert av en kunstig fotoperiode (Oppedal mfl. 2006 og referanser deri).

**Tabell 4.2.2-1.** Benyttede lysregimer for å styre utviklingen av smoltifisering og kjønnsmodning i laksefisk

Stadium	Lysregime	Tid av året	Effekt	Referanse
<b>Parr</b>	Økt daglengde	Variable	Hindrer smoltifisering	Berge mfl. 1995
<b>Pre-smolt</b>	Redusert daglengde	Variable	Initierer smoltifisering	Berge mfl. 1995
<b>Pre-smolt-smol</b>	Økt daglengde	Variable	Fullfører smoltifisering	Berge mfl. 1995
<b>Post smolt</b>	24:0	Midtvinter og vår	Hindrer kjønnsmodning	Oppedal mfl. 2006
<b>Post smolt</b>	Naturlig	Sommer–midtvinter	Hindrer kjønnsmodning	Oppedal mfl. 2006

## Prøvetaking og analytiske betraktninger

Fisken sin oppfatning av døgnlengden har stor innflytelse på hormonell utvikling så som smoltifisering og kjønnsmodning, og det er derfor viktig å bruke lysregimer som ikke påvirker fisken i feil retning. Hvis hensikten med kunstig lys er å påvirke atferd, f.eks. svømmedyp, må lyset være av svak nok intensitet og fargespektrumet riktig for å unngå kjønnsmodning (Stien mfl. 2014). For at kunstig lys skal gi en positiv effekt på vekst må intensiteten være høy nok for at ikke det naturlige lyset skal overskygge effekten (Hansen mfl. 2017).

### Styrke til indikatoren

Lysintensitet kan manipuleres ved å tilsette eller fjerne antall lys i oppdrettsenheten, eller endre styrke og/eller fargen på lysene.

### Svakhet til indikatoren

Lysintensiteten fisken opplever avhenger, i tillegg til naturlig lys og effekten på kunstig lys, på avstand fra fisk til lyskilde, vannets klarhet, og fisketettheten i enheten (hvor mye fiskestimen skygger for lyset). Fisken sin opplevelse av daglengden ved bruk av kunstig lys er også avhengig av effekten av lyset i forhold til det naturlige lyset (Hansen mfl. 2017).

### 4.2.3 Produksjonstetthet

Tetthet er vanligvis angitt som "fisketetthet til en gitt tid" i et oppdrettssystem (Ellis mfl. 2002). Dette uttrykkes som  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Den ideelle tettheten for atlantisk laks avhenger av flere variabler, som livsfase, vannkvalitet, vannhastighet, sosiale interaksjoner, førtilgang, oppdrettspraksis og valg av oppdrettssystem (f.eks. Turnbull mfl. 2008). Interaksjoner mellom disse faktorene gjør det vanskelig å definere en bestemt optimal tetthet, men det er liten tvil om at både for lav og for høy tetthet kan svekke velferden (Adams mfl. 2007). Negative effekter av tetthet trenger ikke alltid være forårsaket av tettheten i seg, men snarere fra redusert vannkvalitet (Boujard mfl. 2002; Hosfeld mfl. 2009; Thorarensen og Farrell 2011) og redusert førtilgang forårsaket av tetthet. Hygiene, god vannkvalitet, atferdskontroll, sosial kontakt og hvile er velferdsbehov som kan bli direkte eller indirekte berørt av tetthet. Eksempler på effekter av tetthet på velferd fra ulike studier er gitt i tabell 4.2.3-1.

**Yngel og parr:** Lav tetthet ( $8 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) reduserte aggresjon og finneskader sammenliknet med yngel holdt på  $30 \text{ kg}/\text{m}^3$  (Cañon Jones mfl. 2011). Vekst og allmenntilstanden var imidlertid lavere ved  $8 \text{ kg}/\text{m}^3$  sammenliknet med  $30 \text{ kg}/\text{m}^3$ , og den totale graden av aggressive interaksjoner var høyere ved lavere tetthet. Dette antyder at effekten av tettheten på velferd også er avhengig av hvilke indikatorer som er valgt for å vurdere velferden. I den andre enden av skalaen har man påvist redusert ytelse ved en tetthet på  $146 \text{ kg}/\text{m}^3$  og høyere (Soderberg mfl. 1993). Ved tettheter i området 21 til  $86 \text{ kg}/\text{m}^3$  ble det ikke vist noen negative effekter på velferden så lenge vannkvaliteten og ernæringsrasjoner ble holdt som anbefalt (Hosfeld mfl. 2009).

**Smolt og post-smolt i kar:** Som med parr kan lave tettheter øke aggresjonen også hos post-smolt, og både hud og finneskader var høyest ved  $15 \text{ kg}/\text{m}^3$  og mer alvorlig ved  $35 \text{ kg}/\text{m}^3$  enn  $25 \text{ kg}/\text{m}^3$  (Adams mfl. 2007). Vekst og kondisjonsfaktor av stor post-smolt holdt i tettheter på 35 til  $125 \text{ kg}/\text{m}^3$  ble ikke signifikant påvirket av tetthet. Dette antyder at det ikke var noen effekt på kroniske stressfaktorer eller velferdstrusler i relasjon til de målte tetthetene (Kjartansson mfl. 1988). Veksthastigheten var lavere og kortisol høyere i fisk som er oppdrettet på  $30\text{-}61 \text{ kg}/\text{m}^3$  sammenliknet med lavere tettheter (Liu mfl. 2015).

**Post-smolt i merd:** I merder vil suboptimale omgivelsesfaktorer slik som vanntemperatur gjøre at stimende laks samles ved mye høyere lokale tettheter (opp til  $190 \text{ kg}/\text{m}^3$ ), selv om



gjennomsnittstettheten (biomasse/merdvolum) er moderat (32 kg/m<sup>3</sup>). Dette kan resultere i lokal hypoksi (Oppedal mfl. 2011b). En studie i et kommersielt oppdrettsanlegg (Turnbull mfl. 2005) viste at det ikke finnes noen klar sammenheng mellom tetthet og velferd opp til ca. 22 kg/m<sup>3</sup>, men en økning i over 22 kg/m<sup>3</sup> ble korrelert med dårligere velferd.

**Tabell 4.2.3-1.** Effekter av fisketettheten på velferd hos atlantisk laks ved forskjellige livsstadier og i ulike produksjonssystemer.

	Tetthet	Kommentarer	Referanser
<b>Parr</b>	146 kg/m <sup>3</sup>	Opptil 146 kg/m <sup>3</sup> : Ingen effekt på dødelighet eller vekt. Over 146 kg/m <sup>3</sup> : redusert vekst og fôrfaktor var høyere	Soderberg mfl. (1993)
<b>Parr</b>	21, 43, 65, 86 kg/m <sup>3</sup>	Ingen negative effekter så lenge vannkvalitet og matrasjoner ble holdt som anbefalt	Hosfeldt mfl. (2009)
<b>Parr</b>	250 ind/m <sup>2</sup>	Ingen effekt på svømming, maks O <sub>2</sub> -forbruk, eller relativ ventrikkel masse. Økte finneskader	Hammenstig mfl. (2014)
<b>Parr</b>	83 ind/m <sup>2</sup>	Lavere Hemoglobin (Hb) og hematokrit (Hct)	Hammenstig mfl. (2014)
<b>Parr</b>	30 kg/m <sup>3</sup>	Bedre vekst og allmenntilstand. Lavere totale aggressive interaksjoner (i forhold til 8 kg/m <sup>3</sup> )	Cañon Jones mfl. (2011)
<b>Parr</b>	8 kg/m <sup>3</sup>	Færre finneskader og mindre åpen aggresjon (i forhold til 30 kg/m <sup>3</sup> )	Cañon Jones mfl. (2011)
<b>Smolt</b>	100-125 kg/m <sup>3</sup>	Forhøyet hematokrit (Hct) og laktat. Ingen effekt på kortisol, vekst eller kondisjonsfaktor (sammenlignet med 35-45 og 65-85 kg/m <sup>3</sup> )	Kjartansson mfl. (1988)
<b>Post-smolt, tank</b>	30.18–61.34 kg/m <sup>3</sup>	Økt kortisol, ALP aktivitet og maleinsyre dialdehyd einnhold. Lavere sirkulerende immunoglobulin M nivå og SOD-aktivitet (i forhold til lavere tettheter). Ingen effekt på kondisjonsfaktor eller dødelighet.	Liu mfl. (2015)
<b>Smolt</b>	25 kg/m <sup>3</sup>	Bedre velferd enn 15 eller 35 kg/m <sup>3</sup> .	Adams mfl. (2007)
<b>Post-smolt</b>	15 kg/m <sup>3</sup>	Høyere aggresjon etter fôring (sammenlignet med 25 og 35 kg/m <sup>3</sup> )	Adams mfl. (2007)
<b>Post-smolt, kar</b>	5 kg/m <sup>3</sup>	Høyere dødelighet etter AGD utbrudd (sammenlignet med 1,7 kg/m <sup>3</sup> )	Crosbie mfl. (2010)
<b>Voksen (13 kg), merd</b>	27 kg/m <sup>3</sup>	Redusert fôrintak, vekst og fôrutnyttelse. Økt grad av katarakt, hud- og finneerosjoner	Oppedal mfl. (2011b)
<b>Voksen, kar</b>	22 kg/m <sup>3</sup>	Grense tetthet for god velferd	Turnbull mfl. (2005)

### Prøvetaking og analytiske betraktninger

Gjennomsnittlig tetthet i oppdrettsenheten beregnes enkelt som biomasse (kg)/volum (m<sup>3</sup>). Fisken er imidlertid ofte ujevnt fordelt i volumet, og lokale tettheter kan være vesentlig høyere enn det gjennomsnittlige (Oppedal mfl. 2011b). I merd kan tettheten i et gitt dybdeintervall estimeres med hydroakustikk (Bjordal mfl. 1993).

### Styrke til indikatoren

Produksjonstettheten er som regel kjent, gitt tilstrekkelig biomassekontroll og kjent vannvolum. Tettheten kan være avgjørende for blant annet for vannkvaliteten, og høyere tetthet krever større vannomsætning for å opprettholde vannkvalitet og oksygennivå.

### **Svakhet til indikatoren**

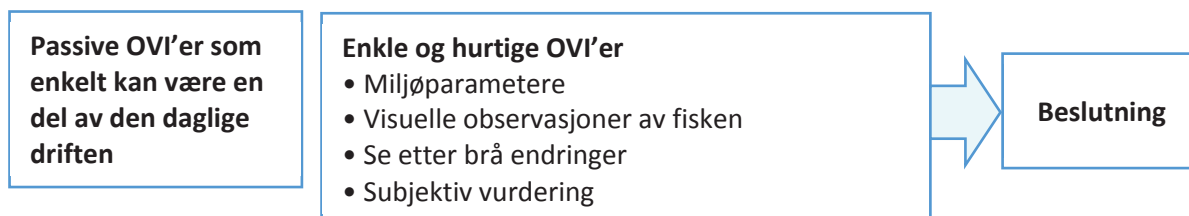
Det er et komplekst forhold mellom fiskevelferd og fisketetthet, og dette forholdet påvirkes av mange faktorer, blant annet vannkvalitet, sosiale interaksjoner og fôrtilgjengelighet o.l. (se Turnbull mfl. 2008). Videre kan tettheten vise store lokale variasjoner i oppdrettsenheten, og en moderat gjennomsnittlig tetthet kan derfor gi høye lokale tettheter med risiko for lokal hypoksi (Vigen 2008). Derfor bør ikke fisketetthet vurderes alene når man vurderer fiskevelferd (Turnbull mfl. 2005).

## 5 OVI og LABVI som verktøy i oppdrett

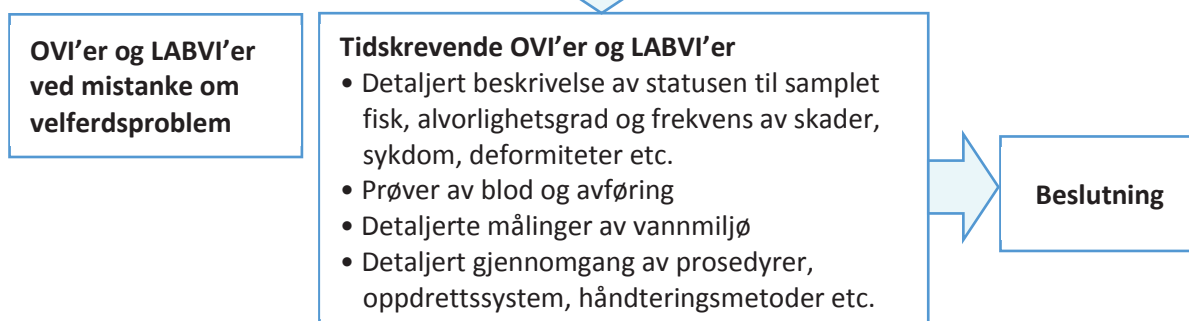
### 5.1 Hvordan bruke OVI og LABVI i forbindelse med vurdering av velferd

Operasjonelle velferdsindikatorer (OVI'er) er velferdsindikatorer (VI'er) som er praktisk for oppdretter å registrere og bruke i den daglige driften av et anlegg. Laboratoriebaserte velferdsindikatorer (LABVI'er) er VI'er som krever at en prøve blir sendt til et laboratorium, men hvor svaret på prøven gir oppdretteren en robust indikator på velferdstatusen til fisken innen rimelig tid. Dessverre er det ingen enkelt OVI eller LABVI som alene er tilstrekkelig til å dokumentere god fiskevelferd. En behøver derfor et sett av OVI'er og LABVI'er som til sammen gir et helhetlig bilde av velferden til fisken. Hvis en eller flere av disse indikerer redusert velferd er dette signal til oppdretter om at det er tid for å reagere før situasjonene eskalerer. Figur 5.1-1 viser hvordan en ser for seg prosessen med å bruke OVI'er og LABVI'er på merdkanten. Hensikten er å kunne gjenkjenne negative endringer i OVI'er og LABVI'er så tidlig som mulig, og, hvis mulig, gjøre de endringene i produksjonen som må til før det blir et alvorlig fiskevelferdsproblem.

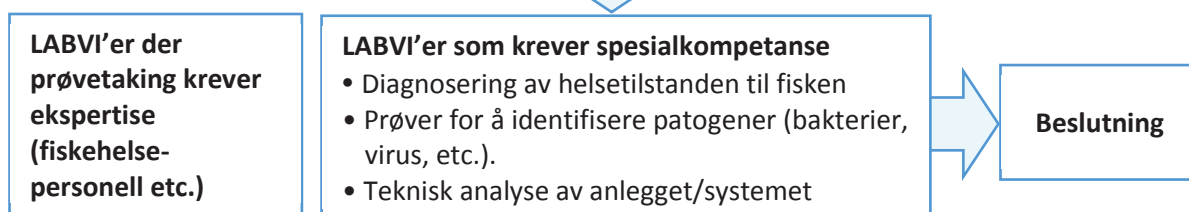
#### Trinn 1



#### Trinn 2



#### Trinn 3



**Figur 5.1-1.** Hvordan bruke OVI'er og LABVI'er som et tidlig varselsystem for kompromittert velferd (Figur: C. Noble og M. H. Iversen).

## 5.2 Vurdering av VI'er sin grad av funksjonalitet

For å klassifisere en VI enten som en OVI eller LABVI, har vi laget et forenklet poengsystem basert på prøvetaking og analysehensyn til hver VI vurdert i kapittel 3 og 4. Disse er: 1 = kan gjøres på anlegget av oppdretter, 2 = kan gjøres ved anlegget, men trenger ekspertise, videre analyse av data eller spesialutstyr, 3 = prøvetaking kan gjennomføres på anlegget, men må analyseres i et laboratorium innen en tidsramme akseptabel for oppdretter, og 4 = kan ikke måles ved anlegget eller krever for tiden en for lang periode med analyse i et laboratorium. VI'er med score på 2 (eller mindre) og 3 ble klassifisert som henholdsvis en OVI og LABVI.

Tabell 5.2-1 viser scoring av miljøbaserte VI'er, tabell 5.2-2 gruppebaserte VI'er og tabell 5.2-3 Individbaserte VI'er. Hver tabell inneholder også VI'er som ble diskutert som mulige VI'er, men som verken ble inkludert i del B (produksjonssystemer) eller del C (håndteringspraksis) av håndboken, og er derfor heller ikke har blitt vurdert i del A (se siste kolonne).

Vanntemperatur, saltholdighet, oksygen, CO<sub>2</sub>, pH, turbiditet, belysning, tetthet og spesifikk vannstrømningshastighet av vannet, ble alle vurdert til relativt lette å måle (tabell 5.2-1). Turbiditet måles ofte ved hjelp av spesielle sonder som trenger mye vedlikehold, men turbiditet kan også måles ved å senke en standardisert hvit disk (Secchi-skive; siktedyp) i vannet, og notere den dybden disken så vidt kan skimtes.

**Tabell 5.2-1.** Oversikt over miljøbaserte VI'er og om de er OVI'er eller LABVI'er. Scoresystemet var som følgende; 1 = kan gjøres av personalet ved anlegget, 2 = kan gjøres ved anlegget, men nødvendig med ekstra opplæring, krever videre analyse av data eller spesialutstyr, 3 = prøvetaking kan gjennomføres på anlegget, men må analyseres i et laboratorium innen en tidsramme akseptabel for oppdretter, 4 = kan ikke måles ved anlegget eller krever for tiden en lengre periode med analyse i et laboratorium. VI'er med score på 2 (eller mindre) og 3, ble klassifisert som henholdsvis en OVI og LABVI. Score 4 er verken eller. Brukt = benyttet i del B (produksjonssystemer) eller del C (håndteringspraksis) av håndboken.

VI	Score					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Temperatur	■					×		×
Salinitet	■					×		×
Oksygen	■					×		×
CO <sub>2</sub>	■					×		×
pH og alkalinitet	■					×		×
Total ammonium nitrogen	■	■				×		×
Nitritt og Nitrat	■	■				×		×
Turbiditet	■	■				×		×
Vannstrømhastighet	■	■				×		×
Belysning	■	■				×		×
Produksjonstetthet	■	■				×		×
Ammoniakk	■	■				×		×
Spesifikk vannhastighet	■	■				×		×
Totalt suspendert tørrstoff	■	■	■				×	×
Tungmetaller	■	■	■				×	

Dødelighet, overflateaktivitet, øyerulling, appetitt, fôr i tarmen og «rødt vann» (blod i vann) og skjell i vann ble alle vurdert som å være relativt enkle å bruke (tabell 5.2-2), selv om for eksempel grad av skjelltap i vann kan være vanskelig å kvantifisere. Observasjon av atferden kan gjøres via kamera og til en viss grad også fra overflaten. Men å nøyaktig kategorisere og kvantifisere atferd krever erfaring.

**Tabell 5.2-2.** Oversikt over alle gruppebasert VI'ene, og vurdering om de er OVI eller LABVI. Se figur 5.1-1 for nærmere forklaring på forenklet scorings system.

VI	Score					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Dødelighetsrate	■					x		x
Atferd	■	■				x		x
• Unormal atferd	■	■				x		x
• Aggressjon	■	■				x		x
• Minkende ekko	■	■				x		x
Overflate aktivitet	■					x		x
Appetitt	■					x		x
Vekst	■	■				x		x
Sykdom/helse	■	■	■				x	x
Avmagret fisk	■	■				x		x
Skjell og blod i vann	■					x		x
Bulk oksygen opptak	■	■				x		x
Slakt (EEG, ECG)	■	■	■	■	■			

De fleste individuelle VI'er er relativt lette å vurdere på fisken (tabell 5.2-3). Imidlertid er alle kardiovaskulære responser, som NKA1a og NK1b, magnesium, natrium, klorid og osmolalitet, vurdert som LABVI og blir heller ikke brukt i de senere delene av håndboken (tabell 5.2-3). Å bestemme optimal slaktemetode ved elektroencefalografi (EEG) eller elektrokardiogram (EKG) krever avansert vitenskapelig utstyr og/eller ekspertkunnskap. Disse indikatorene er derfor ikke operative i den daglige driften ved et slakteri.

**Tabell 5.2-3.** Oversikt over alle individbaserte velferdsindikatorer og vurdering om de er OVI eller LABVI. Se figur 5.1-1 for nærmere forklaring på forenklet scoring system.

VI	Score					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Gjellelokkrate	■					x		x
Øyerulling (VER)	■					x		x
EEG og ECG	■							
Sjølus	■					x		x
Blekhete av gjeller og status	■					x		x
Tilstandsindeks	■					x		x
• Kondisjonsfaktor	■					x		x
• Hepo-somatisk indeks	■					x		x
• Kardio-somatisk indeks	■					x		x
Ytre morfologi.	■							
• Grad av avmagring	■					x		x
• Grad av kjønnsmodning	■					x		x
• Smoltifiseringsstatus	■					x		x
• Rygggraddeformitet	■					x		x
• Finneskade og -status	■					x		x
• Skjelltap og hudtilstand	■					x		x
• Snute- og kjeveskader	■					x		x
• Øyebledninger og -status	■					x		x
• Gjellelokkskader	■					x		x
• Håndteringsskader	■					x		x
Hudforandringer (farge)	■					x		x
Fôr i tarm	■					x		x
Indre organer	■					x		x
Vaksinerelatert patologi	■					x		x
Blod – Kortisol	■						x	x
Blod – Ionesammensetning	■						x	x
Glukose	■					x		x
Blod- laktat	■					x		x
Blod- pH	■					x		x
Muskel pH	■					x		x
Muskel laktat	■					x		
Muskel glukose	■							
Rigor mortis (tid og varighet)	■					x		x
Micro morfologi	■						x	
Kardiovaskulære responser	■						x	
NKA1a og NK1b	■						x	
Magnesium og natrium	■						x	
Klorid	■						x	
Osmolalitet	■						x	
Hematokrit	■						x	



## 5.3 Et eksempel på hvordan en kan tolke OVI'er og LABVI'er

Når oppdretter begynner å observere utmagret fisk med i) hemmet vekst, ii) meget lav kondisjonsfaktor (tynn), iii) allment dårlig utseende, iv) atferdsmessige forstyrrelser som langsom svømming i nærheten av nettet ved overflaten, og isolasjon fra hovedgruppe), skal oppdretter reagere. Som nevnt i kapittel 3.2.6 er det mange mulige grunner for at dette kan skje i et oppdrettsanlegg. Det første oppdretter trenger å gjøre er å prøve å identifisere kilden for dette velferdsproblemet. Spørsmål som trenger å bli stilt er: i) er fisken fullt smoltifisert; ii) skjedde dette rett etter transport til sjøen (stress relatert). Hvis oppdretter er i stand til å finne den sannsynlige kilden for velferdsproblemet, vil en korleksjon av dette, bedre velferden i anlegget ved en reduksjon av antall avmagrede fisk. Men hvis problemet vedvarer eller øker, må oppdretteren gjennomføre en videre evaluering, som innebærer en aktiv undersøkelse av fisken. Dette stadiet innebærer håndtering av en rekke avmagrede fisk for å vurdere alvorlighetsgrad og frekvens, noe som vil gi oppdretter bedre kvantitative data for å få en bedre oversikt over velferdsproblemet. Hvis dette ikke er nok og de tiltakene som er gjort av oppdretter på dette framskredne nivået ikke forbedret velferden, blir neste nivå å involvere ekspertise utenfor anlegget. Dette kan innebære obduksjon, forskjellige prøver for forskjellige laboratorier, og helsepersonell som kan implementere avanserte endringer og behandlinger for å korrigere problemet (se figur 5.3.1).

### Trinn 1

Passive OVI'er som enkelt kan være en del av den daglige driften

- Visuelle observasjoner av fisken



Nok til å gjennomføre en velferds korrigering?

Beslutning

### Trinn 2

OVI'er og LABVI'er som krever inngående analyse

- Detaljert beskrivelse av statusen til samplet fisk, alvorlighetsgrad og frekvens av skader, sykdom, deformiteter etc.



Ikke tilstrekkelig?

Nok til å gjennomføre en velferds korrigering?

Beslutning

### Trinn 3

LABVI'er der prøvetaking krever ekspertise (fiskehelse-personell etc.)

- Analyse av helsetilstanden til fisken
- Prøver for å identifisere patogener (bakterier, virus, etc.).

Ikke tilstrekkelig?

Beslutning

**Figur 5.3.1.** Bruk av OVI og LABVI ved anlegget i tidlige varselsystem: eksempel grad av avmagring (figur: C. Noble, bilder: O. Folkedal).

## 5.4 OVI'er og LABVI'er i framtiden.

I denne håndboka har vi forsøkt å gi en helhetlig forståelse av hvordan VI'er kan brukes til å vurdere fiskevelferd hos atlantisk laks i oppdrett. Til tross for omfanget av OVI'er og LABVI'er som er tilgjengelige for å måle og vurdere fiskevelferd, kan nyvinninger fortsatt gjøres.

For eksempel, hva skal til for å snu en eksisterende tidkrevende eller spesialistbasert LABVI til en OVI? Og hvordan kan allerede eksisterende OVI'er bli mer fisk- og brukervennlige? Kan nye velferdsindikatorer bli basert på eksempelvis genomikk, proteomikk eller metabolomikk? Eller via operative vurdering av metabolsk status eller fjernmåling av hjerteaktivitet?

Noen svært verdifulle individbasert OVI'er som er basert på scoring av ytre skader eller fiskehelse krever fortsatt at man fanger og håndterer fisk, og potensielt også stresser andre fisk i oppdrettsenheten. Dette kan bidra til å påvirke fisken sin velferd, både de som blir vurdert og de som er igjen i oppdrettssystemet. I noen tilfeller må fisk avlives for å fullføre analyseprosedyren. Er det en måte å gjøre disse analysene passiv og håndteringsfrie? Teknologiske fremskritt i maskinsyn kan for eksempel medføre at ytre tegn til nedsatt velferd som sår og lakselus kan bli vurdert og dokumentert automatisk uten behov for håndtering av fisken.

Kvantitativ analyse av atferds indikatorer kan også være kompliserte og svært tidkrevende. Håndteringsfrie, passive observasjons- eller akustiskebaserte (ekkoloddd) overvåkingssystemer kan potensielt overvåke endringer i fiskens atferd i nåtid. Telemetribaserte systemer kan også gi informasjon om fiskens atferd. For eksempel evaluere motorisk aktivitet og energetikk til frittstående fisk ved hjelp av akselerometere og ulike type biologgere, selv om disse involverer merking av fisken. Disse teknologiene kan finjusteres hvis biologer, veterinærer og teknologer jobber sammen for å gi teknologiutviklere VI'er egnet til formålet. Algoritmer som blir utviklet kan også ha potensial til å identifisere atferd som er indikativ for velferdstilstand, men som en manuell observatør ikke er i stand til å identifisere. Eksisterende, men sjeldent brukte atferds VI'er som evalueringen av refleksstatus for fisk, kan også videreutvikles og gjøres mer oppdrettsvennlig.

Fysiologiske VI'er, slik som glukose og laktat kan måles ute på anlegget ved hjelp av håndholdte verktøy. Selv om tiden for å registrere og måle fysiologisk stress respons i fisken kan være noen få timer etter at belastningen har funnet sted). Den videre utvikling og bruk av hurtig håndholdte målere for måling av blodkjemi kan utvide antall fysiologiske indikatorer som er egnet som OVI'er, ved å gjøre eksisterende LABVI'er enda mer oppdrettsvennlig. Andre fysiologiske VI'er som kortisol kan bli mer robust for feltvurdering ved å vurdere å måle kortisol i skjell eller feces (se del A, seksjon 3.2.16).

Noen av disse mulige fremtidige velferdsindikatorerne kan inngå i fremtidige utgaver av denne håndboken.

## 5.5. Oversikt over OVI'er omtalt i del A, og brukt i del B og C av håndboken

Figuren under oppsummerer all VI'er, OVI'er og LABVI'er dekket i del A av håndboken. Disse er fordelt ut på relevante oppdrettssystem i del B av håndboken, og ut på relevante håndteringsprosedyrer i del C av håndboken. Målet er å gi oppdretter spesifikke sett av egnede OVI'er for de ulike bruksområdene.

Velferdsindikatorer(VI)						
Miljøbaserte VI	Dyrebaserte VI					
	Gruppebaserte VI	Individbaserte VI				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur</li> <li>• Salinitet</li> <li>• Oksygen               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Total gass</li> </ul> </li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• pH og alkalinitet</li> <li>• Total ammonium nitrogen</li> <li>• Nitritt og Nitrat</li> <li>• Turbiditet and susp. tørrstoff</li> <li>• Vannstrømhastighet</li> <li>• Belysning</li> <li>• Biomasse tetthet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dødelighetsrate</li> <li>• Atferd</li> <li>• Avtagende ekko</li> <li>• Reflekser, øyerulling</li> <li>• Appetitt</li> <li>• vekst</li> <li>• Fôr i tarm</li> <li>• Sykdom/helse               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avmagret fisk</li> </ul> </li> <li>• Vannobservasjoner</li> <li>• Bulk oksygenopptak</li> <li>• Overflateaktivitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gjellelokkrate</li> <li>• Sjølus</li> <li>• Bleking av gjeller og tilstand</li> <li>• Tilvekstfaktorer               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondisjonsfaktor</li> <li>• HSI</li> <li>• CSI</li> </ul> </li> <li>• Grad av avmagring</li> <li>• Grad av kjønnsmod.</li> <li>• smoltifiseringsstatus</li> <li>• Ryggraddeformitet</li> <li>• Finneskade og-status</li> <li>• Skjelltap og hudtilstand               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Snute- og kjeveskade</li> </ul> </li> </ul>				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Blod</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kortisol</li> <li>• ioner</li> <li>• Glukose</li> <li>• Laktat</li> <li>• pH</li> </ul> </td> </tr> <tr> <th>Muskel</th> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Rigor mortis</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Blod	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kortisol</li> <li>• ioner</li> <li>• Glukose</li> <li>• Laktat</li> <li>• pH</li> </ul>	Muskel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Rigor mortis</li> </ul>
Blod						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kortisol</li> <li>• ioner</li> <li>• Glukose</li> <li>• Laktat</li> <li>• pH</li> </ul>						
Muskel						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Rigor mortis</li> </ul>						

**Figur 5.5-1.** VI', OVI' og LABVI'er dekket i del A av håndboken. Indikatorene er delt opp i miljøbaserte og dyrebaserte VI'er. Dyrebaserte VI'er er videre delt opp i gruppebaserte og individbaserte VI'er. De som er sortert under blod eller muskel medfører at det må taes henholdsvis en blod eller muskelprøve av fisken.

## 6 Sammendrag av scoreskjemaene

Følgende avsnitt er et sammendrag av scoreskjemaene som er brukt i denne håndboken.

Denne håndboken vil foreslå et enhetlig scoresystem (Tabell 6.1-1, 6.1-2, 6.1-3) som kan brukes av oppdrettere, fiskehelsepersonell og forskere til å vurdere velferden ute på anleggene.

Vi har brukt et 0-3 scoresystem for:



















i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) skader/sår, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) ryggrad-deformiteter, ix) overkjevemisdannelser, x) underkjevemisdannelser, xi) lakselusinfeksjoner, xii) aktiv og helbredete finneskader.

Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av en eksisterende og mye brukt 0-4 scoreordning (reprodusert etter Wall og Bjerkås 1999, Figur 6.2). Skåringsmetoden kvantifiserer relativ kataraktareal i forhold til linsestørrelse (som sett gjennom pupillen langs optisk akse). En kan raskt vurdere et stort antall fisk manuelt for å få et inntrykk av utbredelse og alvorlighetsgrad i populasjonen. Hvis mulig, kan en gå gjennom et mindre antall fisk for en mer presis beskrivelse av kataraktet sin posisjon i linsen, type, utviklingsgrad og mulig årsak. Dette må gjøres under redusert belysning og krever eget utstyr og trening. Skåringsmetoden for katarakt tar ikke hensyn til hvor gjennomiktig kataraktområdet er, dette er en viktig parameter som også bør bli notert (T. Wall pers. kom.).



















Graden av vaksinebivirkninger i individuelle fisk evalueres ofte i henhold til "Speilberg skalaen" (Midtlyng mfl. 1996), se tabell 6.3 og figur 6.4. Speilbergskalaen er mye brukt som velferdsindikator i norsk akvakultur. Skalaen er basert på en visuell vurdering av omfanget og plasseringen av de patologiske endringene i bukholen til fisken, og den beskriver endringer relatert til peritonitt; sammenvoksing mellom organer og bukvegg' og melaninavsetning. En Speilberg-poengsum på 3 og over anses som uønsket.



**Tabell 6.1-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
Øyeblodning, skade	 Mindre blødninger	 Større blødninger eller traumatisk skade	 Store blødninger/ traume. Kan ha «punkttert» øye og avlives
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne

**Tabell 6.1-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)

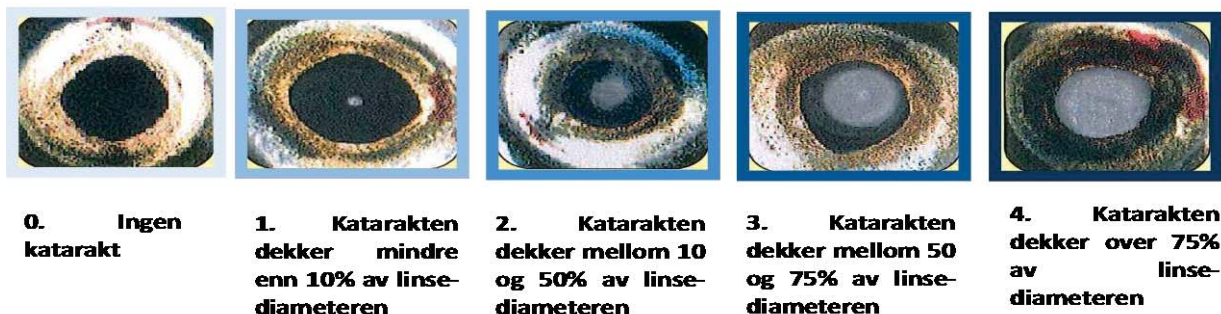
	1	2	3
Gjellelokk-skade	 Gjellelokkene dekker bare delvis gjellene	 Gjellelokket på en side er fraværende (gjellene eksponert)	 Begge gjellelokkene er fraværende (gjellene eksponert)
Snuteskade	 Liten skade på snuten (over-/underkjeven)	 Skade og sår på snuten	 Store dype skader og sår, så alvorlige at 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 6.1-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	 Meste av finnen er inntakt	 Halve finnen er inntakt	 Lite av finnen er inntakt, huden er avhelet
Aktiv finneskade*	 Lett splitting og/eller blødende sår, splittingen er bare ytre deler av finnelengden	 Tydelig splitting og/eller blødende sår, splittingen er halvdelen av finnelengden	 Ekstrem splitting og/eller blødende sår, splittingen går ned til finnebasis. Deler kan være borte.

\*Splitting og/eller blødende sår



**Figur 6.2.** Morfologisk skåresystem for diagnostikk og klassifisering av katarakt hos laks. Tekst gjengitt fra "Wall, T. & Bjerkås, E. 1999, A simplified method of scoring cataracts in fish. Bulletin of the European Association of Fish Pathologists 19(4), 162-165. Copyright, 1999" med tillatelse fra European Association of Fish Pathologists. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto gjengitt fra "Bass, N. and T. Wall (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland, 2s." med tillatelse fra T.Wall.

**Tabell 6.3.** Speilberg Skala, gjengitt fra "Midtlyng mfl. 1996, *Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (Salmo salar L.) against furunculosis. Fish & Shellfish Immunology 6, 335–350. Copyright 1996.*" med tillatelse fra Elsevier. Resultatene baserer seg på det visuelle inntrykket av bukhulen og alvorlighetsgrad av lesjoner.

Score	Visuelt inntrykk av bukhulen	Alvorlighetsgrad av lesjoner
0	Ingen tydelige skader	Ingen
1	Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig at disse blir lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Ingen eller liten grad av opasitet (ugjennomsiktighet) av bukhinne etter sløyting
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Bare opasitet av bukhinnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremredeler av bukhulen, kan involvere sammenvoksning av blindsekker, lever eller magesekk til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Mindre men synlige lesjoner etter sløyting, som kan fjernes manuelt
4	Store sammenvoksninger med granulomer, omfattende sammenvokste indre organer, som fremstår som en enhet. Sannsynligat dette blir lagt merke til av ufaglærte under sløyting	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle organ i bukhulen. I store områder er bukhinnen fortykket og ugjennomsiktig. Fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer	Etterlater synlige skader etter sløyting og fjerning av lesjonene.
6	Enda mer alvorlig enn 5 ofte med betydelige mengder melanin. Innvollene kan ikke fjernes uten skader på fileten	Etterlater store skader etter sløyting



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 6.4.** Speilbergsskala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto: Lars Speilberg. Tekst gjengitt fra "Midtlyng mfl. 1996, *Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (Salmo salar L.) against furunculosis*. *Fish & Shellfish Immunology* 6, 335–350. Copyright 1996" med tillatelse fra Elsevier.

## 7 Referanser

- Aamelfot, M., Dale, O. B., & Falk, K. (2014) Infectious salmon anaemia–pathogenesis and tropism. *Journal of fish diseases* **37**(4), 291-307.
- 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.
- 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 Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64**(2), 336-344.
- Agius, C. & Roberts, R. J. (2003) Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. *Journal of Fish Diseases* **26**, 499–509.
- Aksnes, A., Gjerde, B. & Roald, S. O. (1986) Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* **53**, 7-20.
- 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.
- Anil, M. H. (1991) Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science* **30**(1), 13-21.
- Anon (2014) A Review of Farm Animal Welfare in the UK. Freedom Foods, Farm animal welfare: Past, present and future-Report, September 2014. [https://www.rspcaassured.org.uk/media/1041/summary\\_report\\_aug26\\_low-res.pdf](https://www.rspcaassured.org.uk/media/1041/summary_report_aug26_low-res.pdf) (Accessed 2016)
- Arnesen, A. M., Johnsen, H. K., Mortensen, A. & Jobling, M. (1998) Acclimation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts to 'cold' sea water following direct transfer from fresh water. *Aquaculture*, **168**, 351-367.
- Arnold, G. P., Webb, P. W. & Holford, B. H. (1991) Short communication: the role of the pectoral fins in station-holding of Atlantic salmon parr (*Salmo Salar* L.). *Journal of Experimental Biology* **156**(1), 625-629.
- ASC (2012) Aquaculture Stewardship Council (ASC). Salmon Standard Version 1.0 June 2012. [http://www.asc-aqua.org/upload/ASC%20Salmon%20Standard\\_v1.0.pdf](http://www.asc-aqua.org/upload/ASC%20Salmon%20Standard_v1.0.pdf) (Accessed 2016)
- Ashley, P. J. (2007) Fish welfare: current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* **104**(3), 199-235.
- Ashley, P. J., Sneddon, L. U. & McCrohan, C. R. (2007) Nociception in fish: stimulus–response properties of receptors on the head of trout *Oncorhynchus mykiss*. *Brain research* **1166**, 47-54.
- Aunsmo, A., Larssen, R. B., Valle, P. S., Sandberg, M., Evensen, O., Midtlyng, P. J., Ostvik, A. & Skjerve, E. (2008a) Improved field trial methodology for quantifying vaccination side-effects in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **284**(1-4), 19-24.
- Aunsmo, A., Guttvik, A., Midtlyng, P. J., Larssen, R. B., Evensen, O., & Skjerve, E. (2008b). Association of spinal deformity and vaccine-induced abdominal lesions in harvest-sized Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **31**(7), 515-524.
- Austreng, E., Storebakken, T. & Åsgård, T. (1987) Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture* **60**, 157-160.
- Bæverfjord, G. & Krogdahl, A. (1996) Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *Journal of Fish Diseases* **19**, 375-387.
- Bæverfjord, G., Asgard, T. & Shearer, K. D. (1998) Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts. *Aquaculture Nutrition* **4**(1), 1-12.
- Balcombe, J. (2016). What a fish knows: The inner lives of our underwater cousins. Scientific American/Farrar, Straus and Giroux.
- BAP (2016). Best Aquaculture Practices (BAP). Standards and Guidelines for Salmon Farms. <http://bap.gaalliance.org/bap-standards/> (Accessed 2016)



- Barnes, R. K., King, H. & Carter, C. G. (2011) Hypoxia tolerance and oxygen regulation in Atlantic salmon, *Salmo salar* from a Tasmanian population. *Aquaculture* **318**(3), 397-401.
- Barton, B. A. (2002) Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology* **42**, 517-525
- Barton B. A. & Iwama, G. K. (1991) Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases* **1**, 3-26.
- Barton, B. A., Ribas, L., Acerete L. & Tort, L. (2005) Effects of chronic confinement on physiological responses of juvenile gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., to acute handling. *Aquaculture Research* **36**, 172-179.
- Barton, B. A. & Zitzow, R.E. (1995) Physiological-Responses of Juvenile Walleyes to Handling Stress with Recovery in Saline Water. *Progressive Fish-Culturist* **57**, 267-276.
- Bass, N. & Wall, T. (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland, 2p.
- Beamish, F. W. H. (1978). Swimming capacity. In: *Fish Physiology Vol. 7 Locomotion*. Hoar, W. S., Randall, D. J. (Eds.). Academic Press Inc., New York, 101-187.
- Becerra, J., Montes, G. S., Bexiga, S. R. R. & Junqueira, L. C. U. (1983) Structure of the tail fin in teleosts. *Cell and tissue research* **230**(1), 127-137.
- Beitinger, T. L., Bennett, W. A. & McCauley, R. W. (2000) Temperature Tolerances of North American Freshwater Fishes Exposed to Dynamic Changes in Temperature. *Environmental Biology of Fishes* **58**, 237-275.
- Bellgraph, B. J., McMichael, G. A., Mueller, R. P. & Monroe, J. L. (2010) Behavioural response of juvenile Chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* during a sudden temperature increase and implications for survival. *Journal of Thermal Biology* **35**, 6-10.
- Berg, A., Rødseth, O. M., Tangeras, A. & Hansen, T. J. (2006) Time of vaccination influences development of adherences, growth and spinal deformities in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Diseases of Aquatic Organisms* **69**, 239-248.
- Berge, Å. I., Berg, A., Fyhn, H. J., Barnung, T., Hansen, T. & Stefansson, S. O. (1995) Development of salinity tolerance in underyearling smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared under different photoperiods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**, 243-251.
- Bergheim, A., Seymour, E. A., Sanni, S., Tyvold, T. & Fivelstad, S., (1991) Measurements of oxygen-consumption and ammonia excretion of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-scale, single-pass fresh-water and seawater landbased culture systems. *Aquacultural Engineering* **10**, 251-267.
- Bergheim, A., Forsberg, O. I. & Sanni, S. (1993). Biological Basis for Landbased Farming of Atlantic Salmon: Oxygen Consumption. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Berntssen, M. H. G., Kroglund, F., Rosseland, B. O. & WendelarBonga, S. E. (1997) Responses of skin mucous cells to aluminium exposure at low pH in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**, 1039-1045.
- Birkeland, K. & Jakobsen, P. J. (1997) Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, infestation as a causal agent of premature return to rivers and estuaries by sea trout, *Salmo trutta*, juveniles. *Environmental Biology of Fishes* **49**, 129-137
- Bito, M., Yamada, K., Mikumo, Y. & Amano, K. (1983) Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method. *Bulletin-Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* **109**, 89-93.
- Bjerkås, E. & Bjørnstad, E. (1999) Is there a connection between rapid fluctuation in water temperature and cataract development in the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)? *Bulletin-European Association of Fish Pathologists* **19**, 166-169.
- Bjerkås, E. & Sveier, H. (2004) The influence of nutritional and environmental factors on osmoregulation and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **235**, 101-122.
- Bjerkås, E., Bjørnstad, E., Breck, O. & Waagbø, R. (2001) Water temperature regimes affect cataract development in smolting Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **24**, 281-291.

- Bjerkås, E., Holst, J. C., Bjerkås, I. & Ringvold, A. (2003) Osmotic cataract causes reduced vision in wild Atlantic salmon postsmolts. *Diseases of Aquatic Organisms* **55**, 151–159.
- Bjerknes, V., Duston, J., Knox, D. & Harmon, P. (1992) Importance of body size for acclimation of underyearling Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) to seawater. *Aquaculture* **104(3-4)**, 357-366.
- Bjørge, M. H., Nordgreen, J., Janczak, A. M., Poppe, T., Ranheim, B. & Horsberg, T. E. (2011) Behavioural changes following intraperitoneal vaccination in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Applied Animal Behaviour Science* **133(1-2)**, 127-135.
- Björnsson, B. T., Stefansson, S. O. & McCormick, S. D. (2011) Environmental endocrinology of salmon smoltification. *General and Comparative Endocrinology*, **170**, 290-298.
- Bjordal, Å., Juell, J. E., Lindem, T. & Fernö, A. (1993) Hydroacoustic monitoring and feeding control in cage rearing of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). In: *Fish Farming Technology* (Reinertsen, H., Dahle, L. A., Jørgensen, L. & Tvinnereim, K., eds.), pp. 203–208. Trondheim, Norway: Balkema.
- Blackburn, J. & Clarke, W. C. (1989) Revised procedures for the 24 hour seawater challenge test to measure seawater adaptability of juvenile salmonids. *Canadian Technical Report for Fisheries and Aquaculture*, **1515**.
- Boeuf, G. & Payan, P. (2001) How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* **130(4)**, 411-423.
- Boglione, C., Gagliardi, F., Scardi, M. & Cataudella, S. (2001) Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758). *Aquaculture* **192**, 1-22.
- Bolger, T. & Conolly, P.L. (1989) The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology* **34**, 171–182.
- Booth, R. K., Bombordier, E. B., McKinley, R. S., Scruton, D. A. & Goosney, R. F. (1997) Swimming performance of post spawning adult (kelts) and juvenile (smolts) Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* **No 2406**.
- Bornø, G. & Linaker, L. (2015) Fiskehelserapporten 2014, Harstad: Veterinærinstituttet 2015.
- Boujard, T., Labbé, L. & Aupérin, B. (2002) Feeding behaviour, energy expenditure and growth of rainbow trout in relation to stocking density and food accessibility. *Aquaculture Research* **33(15)**, 1233-1242.
- Bowers, J. M., Mustafa, A., Speare, D. J., Conboy, G. A., Brimacombe, M., Sims, D. E. & Burka, J. F. (2000) The physiological response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., to a single experimental challenge with sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*. *Journal of Fish Diseases* **23(3)**, 165-172.
- Boxaspen, K. (2006) A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science* **63**, 1304–1316.
- Boyd, C.E. (2000) Water Quality — an Introduction. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- Braithwaite, V. A. & Huntingford, F. A. (2004) Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering? *Animal Welfare* **13**, 87-92.
- Branson, E. J. (2008) *Fish Welfare*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, U.K, 300 pp.
- Branson, E.J. & Turnbull, T. (2008) Welfare and deformities in fish. In: *Fish welfare*. Branson E. J. (ed.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 202-216.
- Bratland, A., Stien, L. H., Braithwaite, V. A., Juell, J. –E., Folkedal, O., Nilsson, J., Oppedal, F., Fosseidengen, J. E. & Kristiansen, T. S. (2010) From fright to anticipation: using aversive light stimuli to train reward conditioning in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture International* **18**, 991-1001.
- Breck O. & Sveier, H. (2001) Growth and cataract development in two groups of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post smolt transferred to sea with a four week interval. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **21**, 91–103.
- Breck, O., Bjerkås, E., Campbell, P., Arnesen, P., Haldorsen, P. & Waagbø, R. (2003) Cataract preventative role of mammalian blood meal, histidine, iron and zinc in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of different strains. *Aquaculture Nutrition* **9**, 341–350.



- Breck, O., Bjerkås, E., Campbell, P., Rhodes, J. D., Sanderson, J. & Waagbø, R. (2005) Histidine nutrition and genotype affect cataract development in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **28**, 357–371.
- Bregnballe, J. (2010) A guide to recirculation aquaculture. Copenhagen, Denmark: Eurofish
- Brett, J. R. (1964) The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **21(5)**, 1183-1226.
- Brett, J. R. (1965). The relation of size to rate of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Journal of the Fisheries Board of Canada* **22**, 1491-1501.
- Brett, J. R. (1979) Environmental factors and growth. In *Fish Physiology, Vol. VIII*. Hoar, W. S., Randall, D. J. & Brett, J.R. (eds.). New York: Academic Press, 599-675.
- Brett, J. R. & Groves, T. D. D. (1979) Physiological energetics. *Fish physiology* **8(6)**, 280-352.
- Broom, D. M. (1986) Indicators of poor welfare. *British veterinary journal* **142(6)**, 524-526.
- Broom, D. M. (2016) Fish brains and behaviour indicate capacity for feeling pain. *Animal Sentience: An Interdisciplinary Journal on Animal Feeling* **1(3)**, 4.
- Brown, C. (2015) Fish intelligence, sentience and ethics. *Animal Cognition* **18**, 1-17.
- Brown, C., Laland, K. & Krause, J. (2011) *Fish Cognition and Behaviour*. John Wiley & Sons, Oxford, UK.
- Buckler, D. R., Cleveland, L., Little, E. E. & Brumbaugh, W. G. (1995) Survival, sublethal responses, and tissue residues of Atlantic salmon exposed to acidic pH and aluminum. *Aquatic toxicology* **31(3)**, 203-216.
- Bui, S., Oppedal, F., Korsøen, Ø. J., Sonny, D. & Dempster, T. (2013) Group behavioural responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to light, infrasound and sound stimuli. *PLOS ONE* **8**, e63696
- Bui, S., Dempster, T., Remen, M. & Oppedal, F. (2016) Effect of ectoparasite infestation density and life-history stages on the swimming performance of Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions* **8**, 387-395
- Burgetz, I. J., Rojas-Vargas, A. N. I. B. A. L., Hinch, S. G. & Randall, D. J. (1998) Initial recruitment of anaerobic metabolism during sub-maximal swimming in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Experimental Biology* **201(19)**, 2711-2721.
- Burnley, T. A., Stryhn, H., Burnley, H. J. & Hammell, K. L. (2010) Randomized clinical field trial of a bacterial kidney disease vaccine in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **33**, 545-557.
- Cahu, C., Infante, J. Z. & Takeuchi, T. (2003) Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture* **277**, 245-248.
- 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.
- Cañon Jones, H. A., Noble, C., Damsgård, B. & Pearce, G. P. (2011) Social network analysis of the behavioural interactions that influence the development of fin damage in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) held at different stocking densities. *Applied Animal Behaviour Science* **133(1)**, 117-126.
- 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**, 35-45.
- Carey, J. B. & McCormick, S. D. (1998) Atlantic salmon smolts are more responsive to an acute handling and confinement stress than parr. *Aquaculture* **168**, 237–253.
- Carragher, J. F. & Sumpter, J. P. (1991) The mobilization of calcium from calcified tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) induced to synthesize vitellogenin. *Comparative Biochemistry and Physiology* **99**, 169-172.
- Castro, R. & Tafalla, C. (2015) Overview of fish immunity. In: *Mucosal health in Aquaculture*. Beck, B. H. & Peatman, E. (eds.). Academic Press, Oxford, UK. p. 3-55.
- Chandroo, K. P., Duncan, I. J. H. & Moccia, R. D. (2004a) Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stress. *Applied Animal Behaviour Science* **86**, 225-250.

- Chandroo, K. P., Yue, S. & Moccia, R. D. (2004b) An evaluation of current perspectives on consciousness and pain in fishes. *Fish and Fisheries* **5**, 281-295.
- Chervova, L. (1997) Pain sensitivity and behavior of fishes. *Journal of Ichthyology* **37**, 98-102.
- Costello, M. J. (2006) Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends in parasitology* **22(10)**, 475-483.
- Coyne, R., Smith, P., Dalsgaard, I., Nilsen, H., Kongshaug, H., Bergh, Ø. & Samuelsen, O. (2006) Winter ulcer disease of post-smolt Atlantic salmon: An unsuitable case for treatment? *Aquaculture* **253(1)**, 171-178.
- Craik, J. C. A. & Harvey, S. M. (1988) A preliminary account of metal levels in eggs of farmed and wild Atlantic salmon and their relation to egg viability. *Aquaculture* **73(1-4)**, 309-321.
- 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.
- Crosbie, P. B., Bridle, A. R., Leef, M. J. & Nowak, B. F. (2010) Effects of different batches of *Neoparamoeba perurans* and fish stocking densities on the severity of amoebic gill disease in experimental infection of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* **41(10)**, e505-e516.
- Dabrowski, K., El-Fiky, N., Köck, G., Frigg, M. & Wieser, W. (1990) Requirement and utilization of ascorbic acid and ascorbic sulfate in juvenile rainbow trout. *Aquaculture* **91**, 317-337.
- Damsgård, B. & Huntingford, F. A. (2012) Fighting and Aggression. In: *Aquaculture and Behavior*. Huntingford, F. A., Jobling, M., Kadri, S. (Eds). Wiley-Blackwell West Sussex, UK, 248-285.
- Damsgård, B., Mortensen, A., & Sommer, A. I. (1998) Effects of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) on appetite and growth in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture* **163(3)**, 185-193.
- Damsgård, B., Sørum, U., Ugelstad, I., Eliassen, R. A. & Mortensen, A. (2004) Effects of feeding regime on susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to cold water vibriosis. *Aquaculture* **239(1)**, 37-46.
- Davis, K. B. (2006) Management of Physiological Stress in Finfish Aquaculture. *North American Journal of Aquaculture* **68**, 116-121.
- Davis, M. W. (2010) Fish stress and mortality can be predicted using reflex impairment. *Fish and Fisheries* **11**, 1-11.
- Davis, M. W., Olla, B. L. & Schreck, C. B. (2001) Stress induced by hooking, net towing, elevated sea water temperature and air in sablefish: lack of concordance between mortality and physiological measures of stress. *Journal of Fish Biology* **58(1)**, 1-15.
- Dawkins, M. S. (1983) Battery hens name their price: Consumer demand theory and the measurement of ethological 'needs'. *Animal Behaviour* **31**, 1195-1205.
- Dawkins, M. S. (1990) From an animal's point of view: Motivation, fitness, and animal welfare. *Behavioral and Brain Sciences* **13**, 1-9.
- Daye, P. G. & Garside, E. T. (1980) Structural alterations in embryos and alevins of the Atlantic salmon, *Salmo salar* L., induced by continuous or short-term exposure to acidic levels of pH. *Canadian Journal of Zoology* **58(1)**, 27-43.
- Dempster, T., Korsøen, Ø., 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(3)**, 254-263.
- Dempster, T., Kristiansen, T. S., Korsøen, Ø. J., Fosseidengen, J. E. & Oppedal, F. (2011) Modifying Atlantic salmon (*Salmo salar*) jumping behavior to facilitate innovation of parasitic sea lice control techniques. *Journal of animal science* **89(12)**, 4281-4285.
- Divanach, P., Papandroulakis, N., Anastasiadis, P., Koumoundouros, G. & Kentouri, M. (1997) Effect of water currents on the development of skeletal deformities in sea bass (*Dicentrarchus Labrax* L.) with functional swimbladder during postlarval and nursery phase. *Aquaculture* **156**, 145-155.
- Duncan, I. J. H. (1993) Welfare is to do with what animals feel. *Journal of agricultural and environmental ethics* **6 (Suppl. 2)**, 8-14.

- Duncan, I. J. H. (1996) Animal welfare defined in terms of feelings. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A. Animal Science. Supplementum* **27**, 29–35.
- Duncan, I. J. H. (2005) Science-based assessment of animal welfare: farm animals. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* **24(2)**, 483–92.
- Duncan, N., Mitchell, D. & Bromage, N. (1999) Post-smolt growth and maturation of out-of-season 0+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Aquaculture* **177(1)**, 61-71.
- Duston, J. (1994) Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. *Aquaculture* **121(1-3)**, 115-124.
- Duston, J., Saunders, R. L. & Knox, D. E. (1991) Effects of increases in freshwater temperature on loss of smolt characteristics in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48(2)**, 164-169.
- Easy, R. H. & Ross, N. W. (2009) Changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) epidermal mucus protein composition profiles following infection with sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics* **4(3)**, 159-167.
- Easy, R. H. & Ross, N. W. (2010) Changes in Atlantic salmon *Salmo salar* mucus components following short-and long-term handling stress. *Journal of fish biology* **77(7)**, 1616-1631.
- Ebbesson, L. O., Ebbesson, S. O., Nilsen, T. O., Stefansson, S. O. & Holmqvist, B. (2007) Exposure to continuous light disrupts retinal innervation of the preoptic nucleus during parr–smolt transformation in Atlantic salmon. *Aquaculture* **273(2)**, 345-349.
- Ebbesson, L. O. E., Björnsson, B. T., Ekström, P. & Stefansson, S. O. (2008) Daily endocrine profiles in parr and smolt Atlantic salmon. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* **151**, 698-704.
- EFSA (2008a) 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
- EFSA (2008b) Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Animal Welfare on a request from the European Commission on the Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed trout. *The EFSA Journal* **796**, 1-22.
- EFSA (2009a) Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on welfare aspect of the main systems of stunning and killing of farmed Atlantic salmon. *The EFSA Journal* **1012**, 1-77.
- EFSA (2009b) Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed rainbow trout. *The EFSA Journal* **1013**, 1-55
- Einen, O., Waagan, B. & Thomassen, M. S. (1998) Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture* **166**, 85–104.
- Einen, O., Mørkøre, T., Rørå, A. M. B. & Thomassen, M. S. (1999) Feed ration prior to slaughter – a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* **178**, 149–169.
- Elliott, J. M. (1991) Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology* **25(1)**, 61-70.
- Elliott, D.G., (2011) The skin. Functional Morphology of the Integumentary System in Fishes A2 - Farrell, Anthony P, Encyclopedia of Fish Physiology. Academic Press, San Diego, pp. 476-488.
- Elliott, J. M. & Elliott, J. A. (1995) The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout. *Journal of Fish Biology* **47(5)**, 917-919.
- Elliott, J. M. & Hurley, M. A. (1997) A functional model for maximum growth of Atlantic Salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England. *Functional Ecology* **11**, 592-603.
- Elliott, J. M. & Elliott, J. A. (2010) Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology* **77(8)**, 1793-1817.

- Elliott, S. R., Coe, T. A., Helfield, J. M. & Naiman, R. J. (1998) Spatial variation in environmental characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(S1), 267-280.
- 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.
- Ellis, T., Oidtmann, B., St-Hilaire, S., Turbull, J. F., North, B. P., MacIntyre, C. M., Nikolaidis, J., Hoyle, I., Kestin, S. C. & Knowles, T. G. (2008) Fin erosion in farmed fish. In: *Fish welfare*. Branson E. J. (ed.). Blackwell Publishing. pp. 121-149.
- Ellis, T., Berrill, I., Lines, J., Turnbull, J. F. & Knowles, T. G. (2012a) Mortality and fish welfare. *Fish physiology and biochemistry* **38**(1), 189-199.
- Ellis, T., Yildiz, H. Y., López-Olmeda, J., Spedicato, M. T., Tort, L., Øverli, Ø. & Martins, C. I. (2012b) Cortisol and finfish welfare. *Fish physiology and biochemistry* **38**(1), 163-188.
- Ellis, T., Sanders, M.B. & Scott, A.P. (2013) Non-invasive monitoring of steroids in fishes. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* **100**, 255-269.
- Endal, H. P., Taranger, G. L., Stefansson, S. & Hansen, T. (2000) Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, reared in sea cages. *Aquaculture* **191**, 337-349.
- Eriksen, M. S., Espmark, Å., Braastad, B. O., Salte, R. & Bakken, M., (2007) Long-term effects of maternal cortisol exposure and mild hyperthermia during embryogeny on survival, growth and morphological anomalies in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* offspring. *Journal of Fish Biology* **70**, 462-473.
- Erikson, U., Gansel, L., Frank, K., Svendsen, E. & Digre, H. (2016) Crowding of Atlantic salmon in net-pen before slaughter. *Aquaculture* **465**, 395-400.
- Ersdal, C., Midtlyng, P.J. & Jarp, J. (2001) An epidemiological study of cataracts in seawater farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms* **45**, 229-236.
- Espmark, Å. M., Kolarevic, J., Aas-Hansen, Ø. & Nilsson, J. (2015) Pumping og håndtering av smolt. *Rapport 6/2015*, Nofima.
- Evans, D. H. (2008) Teleost fish osmoregulation: what have we learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* **295**, R704-R713.
- Evans, D. H. & Hyndman, K. A. (2006) Paracrine control of fish gill perfusion and epithelial transport. *Journal of Experimental Zoology Part a-Comparative Experimental Biology* **305A**, 125-125.
- Evans, D. H., Piermarini, P. M. & Choe, K. P. (2005) The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews* **85**, 97-177.
- Evans, D. H. C., Claiborne, J. B. & Currie, S. (2006) The physiology of fishes. CRC Taylor & Francis.
- Evensen, O. (2009) Development in fish vaccinology with focus on delivery methodologies, adjuvants and formulations. *Options Mediterraneennes Serie A, Seminaires Mediterraneens* **86**, 177-186.
- Fagan, M. S., O'Byrne-Ring, N., Ryan, R., Cotter, D., Whelan, K. & Mac Evilly, U. (2003) A biochemical study of mucus lysozyme, proteins and plasma thyroxine of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during smoltification. *Aquaculture* **222**(1-4), 287-300.
- Fardon, D. F. & Milette, P. C. (2001) Nomenclature and classification of lumbar disc pathology. *Spine* **26**, E93-E113.
- Farmer, G. J., Ritter, J. A. & Ashfield, D. (1978) Seawater adaptation and parr-smolt transformation of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **35**(1), 93-100.
- Farrell, A. P. (2006) Bulk oxygen uptake measured with over 60,000 kg of adult salmon during live-haul transportation at sea. *Aquaculture* **254**(1), 646-652.
- Farrell, A. P. (2007) Cardiorespiratory performance during prolonged swimming tests with salmonids: a perspective on temperature effects and potential analytical pitfalls. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **362**(1487), 2017-2030.
- Farrell, A. P., Johansen, J. A., Suarez, R. K. (1991) Effects of exercise-training on cardiac performance and muscle enzymes in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiology and Biochemistry* **9**, 303-312.



- Farrell, A. P., Lee, C. G., Tierney, K., Hodaly, A., Clutterham, S., Healey, M. C., Hinch, S. G. & Lotto, A. (2003). Field-based measurements of oxygen uptake and swimming performance with adult Pacific salmon (*Oncorhynchus* sp.) using a mobile respirometer swim tunnel. *Journal of Fish Biology* **62**, 64-84.
- Fast, M. D., Hosoya, S., Johnson, S. C. & Afonso, L. O. (2008) Cortisol response and immune-related effects of Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus) subjected to short-and long-term stress. *Fish & shellfish immunology* **24(2)**, 194-204.
- Ferguson, H. W., Speare, D. J. (2006) Gills and Pseudobranchs. In: *Systemic Pathology of Fish: A Text and Atlas of Normal Tissues in Teleosts and their Responses in Disease*. Ferguson, H. W. (ed). Scotian Press, London. 25–63.
- Fernö, A., Holm, M. (1986) Aggression and growth of Atlantic salmon parr. I. Different stocking densities and size groups. *Fiskeridirektoratets Skrifter (Havunders)* **14(3)**, 113–122.
- Fiess, J. C., Kunkel-Patterson, A., Mathias, L., Riley, L. G., Yancey, P. H., Hirano, T. & Grau, E. G. (2007) Effects of environmental salinity and temperature on osmoregulatory ability, organic osmolytes, and plasma hormone profiles in the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **146(2)**, 252-264.
- Finstad, B., Staurnes, M. & Reite, O. B. (1988) Effect of low temperature on sea-water tolerance in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* **72(3-4)**, 319-328.
- Finstad, B., Bjørn, P. A., Grimnes, A. & Hvidsten, N. A. (2000) Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture Research* **31(11)**, 795-803.
- Finstad, B., Bjørn, P. A., Todd, C. D., Whoriskey, F., Gargan, P. G., Forde, G. & Revie, C. W. (2011) The effect of sea lice on Atlantic salmon and other salmonid species. In: *Atlantic Salmon Ecology*. Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A., Skurdal, J. (Eds.), Blackwell Publishing, Oxford. 253–276.
- Fitzsimmons, S. D. & Perutz, M. (2006) Effects of egg incubation temperature on survival, prevalence and types of malformations in vertebral column of Atlantic Cod (*Gadus morhua*) larvae. *Bulletin-European Association of Fish Pathologists* **26**, 80-86.
- Fivelstad, S. (2013) Long-term carbon dioxide experiments with salmonids. *Aquacultural Engineering* **53**, 40-48.
- Fivelstad, S., Schwarz, J., Strømsnes, H. & Olsen, A. B. (1995) Sublethal effects and safe levels of ammonia in seawater for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.). *Aquacultural Engineering* **14(3)**, 271-280.
- Fivelstad, S., Haavik, H., Løvik, G. & Olsen, A. B. (1998) Sublethal effects and safe levels of carbon dioxide in seawater for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.): ion regulation and growth. *Aquaculture* **160(3)**, 305-316.
- Fivelstad, S., Olsen, A. B., Kløften, H., Ski, H. & Stefansson, S. (1999) Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater. *Aquaculture* **178(1)**, 171-187.
- Fivelstad, S., Waagbø, R., Zeitz, S. F., Hosfeld, A. C. D., Olsen, A. B., & Stefansson, S. (2003) A major water quality problem in smolt farms: combined effects of carbon dioxide, reduced pH and aluminium on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts: physiology and growth. *Aquaculture* **215(1)**, 339-357.
- Fivelstad, S., Waagbø, R., Stefansson, S. & Olsen, A. B. (2007) Impacts of elevated water carbon dioxide partial pressure at two temperatures on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and haematology. *Aquaculture* **269(1)**, 241-249.
- Fjelldal, P. G. & Hansen, T. J. (2010) Vertebral deformities in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) underyearling smolts. *Aquaculture* **309**, 131-136.
- Fjelldal, P. G., Lock, E. J., Grotmol, S., Totland, G. K., Nordgarden, U., Flik, G. & Hansen, T. (2006) Impact of smolt production strategy on vertebral growth and mineralisation during smoltification and the early seawater phase in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) *Aquaculture* **261**, 715-729.

- Fjelldal, P. G., Hansen, T. J. & Berg, A. E. (2007) A radiological study on the development of vertebral deformities in cultured Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **273**, 721-728.
- Fjelldal, P. G., Hansen, T., Breck, O., Sandvik, R., Waagbø, R., Berg, A. & Ørnstrud, R. (2009a) Supplementation of dietary minerals during the early seawater phase increase vertebral strength and reduce the prevalence of vertebral deformities in fast-growing under-yearling Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolt. *Aquaculture Nutrition* **15(4)**, 366-378.
- Fjelldal, P. G., van der Meeren, T., Jørstad, K.E. & Hansen, T.J. (2009b) A radiological study on vertebral deformities in cultured and wild Atlantic cod (*Gadus morhua*, L.). *Aquaculture* **289**, 6-12.
- Fleming, I. A. & Reynolds, J. D. (2004) Salmonid breeding systems. In: *Evolution illuminated, Salmon and their relatives*. Hendry, A. P., Stearns, S. C. (Eds.). Oxford University Press, Oxford, UK. 264-294.
- Fleming, I. A. & Einum, S. (2011) Reproductive Ecology: A tale of two sexes. In: *Atlantic Salmon Ecology*. Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A., Skurdal, J. (Eds.), Blackwell Publishing, Oxford. 33-66.
- Folkedal, O., Torgersen, T., Nilsson, J. & Oppedal, F. (2010) Habituation rate and capacity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr to sudden transitions from darkness to light. *Aquaculture* **307**, 170-172.
- Folkedal, O., Torgersen, T., Olsen, R. E., Fernö, A., Nilsson, J., Oppedal, F., Stien, L. H. & Kristiansen, T. S. (2012a) Duration of effects of acute environmental changes on food anticipatory behaviour, feed intake, oxygen consumption, and cortisol release in Atlantic salmon parr. *Physiology & Behavior* **105**, 283-291.
- Folkedal, O., Stien, L. H., Torgersen, T., Oppedal, F., Olsen, R. E., Fosseidengen, J. E., Braithwaite, V. A. & Kristiansen, T. S. (2012b) Food anticipatory behaviour as an indicator of stress response and recovery in Atlantic salmon post-smolt after exposure to acute temperature fluctuation. *Physiology & Behavior* **105**, 350-356.
- Folkedal, O., Pettersen, J. M., Bracke, M. B. M., Stien, L. H., Nilsson, J., Martins, C., Breck, O., Midtlyng, P. J. & Kristiansen, T. S. (2016) On-farm evaluation of the Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0) - Theoretical and practical considerations. *Animal Welfare* **25**, 135-149.
- Folmar, F. C., Dickhoff, W. W. (1980) The parr-smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids: a review of selected literature. *Aquaculture* **21**, 1-37.
- FOR (2004) Regulations relating to Operation of Aquaculture Establishments (Aquaculture Operation Regulations). FOR 2004-12-22 no. 1785, § 19. Norwegian Ministry of Fisheries and Coastal Affairs.
- Forsberg, O. I. (1997) The impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* **28(1)**, 29-41.
- Fraser, T. W. K., Fjelldal, P. G., Hansen, T. & Mayer, I. (2012) Welfare considerations in of triploid fish. *Reviews in Fisheries Science* **20**, 192-211.
- Fraser, T. W. K., Hansen, T., Fleming, M. S. & Fjelldal, P. G. (2015) The prevalence of vertebral deformities is increased with higher egg incubation temperatures and triploidy in Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **38**, 75-89.
- 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**, 183-188.
- Fry, F. E. J. (1971) The effect of environmental factors on the physiology of fish. *Fish Physiology* **6**, 1-98.
- Furevik, D. M., Bjordal, Å., Huse, I. & Fernö, A. (1993) Surface activity of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in net pens. *Aquaculture* **110**, 119-128.
- Gansel, L. C., Rackebrandt, S., Oppedal, F. & McClimans, T. A. (2014) Flow fields inside stocked fish cages and the near environment. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* **136(3)**, 031201.
- Geist, D. R., Brown, R. S., Cullinan, V. I., Mesa, M. G., Venderkooi, S. P. & McKinstry, C. A. (2003) Relationships between metabolic rate, muscle electromyograms and swim performance of adult chinook salmon. *Journal of Fish Biology* **63**, 970-989.



- Gismervik, K., Østvik, A. & Viljugrein, H. (2016) Pilotflåte Helixir - dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus. Del 1 uten legemiddel. *Rapport 15, 2016. Veterinærinstituttets rapportserie*. Veterinærinstituttet, Oslo, Norge.
- Gismervik, K., Nielsen, K. V., Lind, M. B. & Viljugrein, H. (2017) Mekanisk avlusing med FLS-avlusersystem- dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus. In: *Veterinærinstituttets rapportserie 6-2017*. Veterinærinstituttet, Oslo, pp. 41.
- GLOBALG.A.P. (2016) The GLOBALG.A.P. Aquaculture Standard. [http://www.globalgap.org/uk\\_en/for-producers/aquaculture/](http://www.globalgap.org/uk_en/for-producers/aquaculture/) (accessed 2016)
- Gorman, K. F. & Breden, F. (2007) Teleosts as models for human vertebral stability and deformity. *Comparative Biochemistry & Physiology Part C* **145**, 28-38.
- 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.
- Grøntvedt, R. N., Nerbøvik, I. -K. G., Viljugrein, H., Lillehaug, A., Nilsen, H. & Gjerve, A. -G. (2015) Termisk avlusing av laksefisk – dokumentasjon av fiskevelferd og effekt. *Rapport 13, 2015. Veterinærinstituttets rapportserie*. Veterinærinstituttet, Oslo, Norge.
- 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.
- Halver, J. E., Ashley, L. M. & Smith, R. R. (1969) Ascorbic acid requirements of coho salmon and rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society* **98(4)**, 762-771.
- Hammenstig, D., Sandblom, E., Axelsson, M. & Johnsson, J. I. (2014) Effects of rearing density and dietary fat content on burst-swim performance and oxygen transport capacity in juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **85(4)**, 1177-1191.
- Hammer, C. (1995) Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **112(1)**, 1-20.
- Hamre, K., Christiansen, R., Waagbø, R., Maage, A., Torstensen, B. E., Lygren, B., Lie, Ø., Wathne, E. & Albrektsen, S. (2004) Antioxidant vitamins, minerals and lipid levels in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.): effects on growth performance and fillet quality. *Aquaculture Nutrition* **10**, 113-123.
- Handeland, S. O., Berge, Å., Björnsson, 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(1)**, 289-302.
- Handeland, S. O., Berge, Å., Björnsson, B. T., Lie, Ø., Stefansson, S. O. (2000) Seawater adaptation by out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at different temperatures. *Aquaculture* **181**, 377-396.
- Handeland, S. O., Arnesen, A. M. & Stefansson, S. O. (2003) Seawater adaptation and growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) of wild and farmed strains. *Aquaculture* **220(1)**, 367-384.
- Handeland, S. O., Wilkinson, E., Sveinsbø, B., McCormick, S. D. & Stefansson, S. O. (2004) Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture* **233(1)**, 513-529.
- 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(1)**, 36-42.
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., Björnsson, B. T. & Stefansson, S. O. (2013) Long-term effects of photoperiod, temperature and their interaction on growth, gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity, seawater tolerance and plasma growth-hormone levels in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **83(5)**, 1197-1209.
- Hansen, T., Stefansson, S. & Taranger, G. L. (1992) Growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reared in sea cages at two different light regimes. *Aquaculture Research* **23(3)**, 275-280.

- Hansen, T., Fjellidal, P. G., Yurtseva, A. & Berg, A. (2010) A possible relation between growth and number of deformed vertebrae in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Applied Ichthyology* **26(2)**, 355-359.
- Hansen, T. J., Fjellidal, P. G., Folkedal, O., Vågseth, T. & Oppedal, F. (2017) Effects of light source and intensity on sexual maturation, growth and swimming behaviour of Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture Environment Interactions* **9**, 193-204.
- Hatløy, T. (2015) Effekten av akutt allostatisk belastning på hypothalamus–hypofyse - interrenal akselen, og dets betydning på dyrevelferden hos diploid og triploid atlantisk laksesmolt (*Salmo salar* L.). M.sci thesis, Nord Universitet, 2015.
- Haugarvoll, E., Bjerkas, I., Szabo, N.J., Satoh, M. & Koppang, E.O., (2010) Manifestations of systemic autoimmunity in vaccinated salmon. *Vaccine* **28**, 4961-4969
- Havas, M. & Rosseland, B. O. (1995) Response of zooplankton, benthos, and fish to acidification: an overview. *Water, Air, & Soil Pollution* **85(1)**, 51-62.
- Henriksen, A., Skogheim, O. K. & Rosseland, B. O. (1984) Episodic changes in pH and aluminium-speciation kill fish in a Norwegian salmon river. *Vatten* **40**, 255-260.
- 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)**, 1-14.
- Hevrøy, E. M., Waagbø, R., Torstensen, B. E., Takle, H., Stubhaug, I., Jørgensen, S. M., Torgersen, T., Tvenning, L., Susort, S., Breck, O. & Hansen, T. (2012) Ghrelin is involved in voluntary anorexia in Atlantic salmon raised at elevated sea temperatures. *General and Comparative Endocrinology* **175**, 118–134.
- Hjeltnes, B., Walde, C., Bang Jensen, B. & Haukaas, A. (Eds) (2016). Fiskehelse rapporten 2015. *Veterinærinstituttet*, p 74.
- Hjeltnes, B., Bornø, G., Jansen, M. D., Haukaas, A., & Walde, C (Eds) (2017). Fiskehelse rapporten 2016. Oslo, *Veterinærinstituttet*, p. 121.
- Holmer, M. (2010) Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions* **1**, 57-70.
- Holst, J. C., Jakobsen, P., Nilsen, F., Holm, M., Asplin, L. & Aure, J. (2003) Mortality of seaward-migrating post-smolts of Atlantic salmon due to salmon lice infection in Norwegian salmon stocks. In: *Salmon at the Edge*. Mills, D. (ed.). Blackwell Science, Oxford. 136–137.
- Hosfeld, C.D., Engevik, A., Mollan, T., Lunde, T.M., Waagbø, R., Olsen, A.B., Breck, O., Stefansson, S. & Fivelstad, S. (2008) Long-term separate and combined effects of environmental hypercapnia and hyperoxia in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* **280(1)**, 146-153.
- Hosfeld, C. D., Hammer, J., Handeland, S. O., Fivelstad, S. & Stefansson, S. O. (2009) Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **294(3)**, 236-241.
- Howes, G.B. (1894) On synostosis and curvature of the spine in fishes, with special reference to the sole. *Proceedings of the Zoological Society of London* 95-101.
- Hulland, T. J. (1992) Muscles-II. General Reactions of Muscle. In: *Pathology of Domestic Animals: v.1 (Pathology of Domestic Animals Series)*. Jubb, K. V. F., Kennedy, P. C. & Palmer, N. (Eds). Academic Press Inc., London, UK, 190-191.
- Huntingford, F. A., & Kadri, S. (2009) Taking account of fish welfare: lessons from aquaculture. *Journal of Fish Biology* **75(10)**, 2862-2867.
- Huntingford, F. A., & Kadri, S. (2014) Defining, assessing and promoting the welfare of farmed fish. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* **33(1)**, 233-244.
- 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* **68(2)**, 332-372.
- Iversen, M. & Eliassen, R. (2012) Stressovervåkning av settefiskproduksjonen i Mainstream Norway AS 2009 - 2011. Stresskartlegging av laksesmolt (*Salmo salar* L.), og effekten av stressreducerende tiltak på stressnivå, dyrevelferd og produksjonsresultatet. *UiN-rapport nr 05/2012*. 54 pp.

- Iversen, M. H. & Eliassen, R. A. (2014) The effect of allostatic load on hypothalamic-pituitary-interrenal (HPI) axis before and after secondary vaccination in Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.). *Fish physiology and biochemistry* **40**, 527-538.
- Iversen, M., Finstad, B., Nilssen, K. J. (1998) Recovery from loading and transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* **168**, 387-394.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R. S. & Eliassen, R. A. (2003) The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S (TM) and Benzoak (R) as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture* **221**, 549-566.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S., Eliassen, R.A., Carlsen, K. T. & Evjen, T. (2005) Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea. *Aquaculture* **243**, 373– 382.
- Iversen, M., Eliassen, R. A. & Finstad, B. (2009) Potential benefit of clove oil sedation on animal welfare during salmon smolt, *Salmo salar* L. transport and transfer to sea. *Aquaculture Research* **40**, 233-241.
- Iwata, M., Komatsu, S., Collie, N. L., Nishioka, R. S. & Bern, H. A. (1987) Ocular cataract and seawater adaptation in salmonids. *Aquaculture* **66**, 315–327.
- Jason, T., Quigley, J. T. & Hinch, S. G. (2006) Effects of rapid experimental temperature increases on acute physiological stress and behaviour of stream dwelling juvenile chinook salmon. *Journal of Thermal Biology* **31**, 429–441
- Jensen, F. B. (2003) Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **135(1)**, 9-24.
- Jensen, L. B., Wahli, T., McGurk, C., Eriksen, T. B., Obach, A., Waagbø, R., Handler, A. & Tafalla, C. (2015a) Effect of temperature and diet on wound healing in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish physiology and biochemistry* **41(6)**, 1527-1543.
- Jensen, L. B., Boltana, S., Obach, A., McGurk, C., Waagbø, R. & MacKenzie, S. (2015b) Investigating the underlying mechanisms of temperature-related skin diseases in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., as measured by quantitative histology, skin transcriptomics and composition. *Journal of fish diseases* **38(11)**, 977-992.
- Jin, C., Padra, J. T., Sundell, K., Sundh, H., Karlsson, N. G. & Lindén, S. K. (2015) Atlantic salmon carries a range of novel O-glycan structures differentially localized on skin and intestinal mucins. *Journal of proteome research* **14(8)**, 3239-3251.
- Jobling, M. (1983) Growth studies with fish—overcoming the problems of size variation. *Journal of Fish Biology* **22(2)**, 153-157.
- Jobling, M. (1994) *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hall, London (1994) 309 pp.
- Jobling, M., Alanärä, A., Noble, C., Sánchez-Vázquez, J., Kadri, S. & Huntingford, F. (2012) Appetite and Feed Intake. In: *Aquaculture and Behavior*. Huntingford, F. A., Jobling, M., Kadri, S. (Eds.). Wiley-Blackwell, Oxford. ISBN: 978-1-4051-3089-9. 183-219.
- Johansen, S. J. S. & Jobling, M. (1998) The influence of feeding regime on growth and slaughter traits of cage-reared Atlantic salmon. *Aquaculture International* **6**, 1–17.
- 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(1)**, 594-605.
- 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(3)**, 296-303.
- Johansson, D., Laursen, F., Fernö, A., Fosseidengen, J. E., Klebert, P., Stien, L. H., Vågseth, T. & Oppedal, F. (2014) The interaction between water currents and salmon swimming behaviour in sea cages. *PloS one* **9(5)**, p.e97635.
- Jones, M. (2004) Cultured Aquatic Species Information Programme. *Salmo salar*. Cultured Aquatic Species Information Programme. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department*. [Online]. Available: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo\\_salar/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo_salar/en) [Accessed 28.09. 2016].

- Jonsson, N. & Finstad, B. (1995) Sjøørret: økologi, fysiologi og atferd (Sea trout: ecology, physiology and behaviour). *NINA Fagrapport 6* (1995), pp. 1–32 (In Norwegian with English summary)
- Jonsson, B. & Ruud-Hansen, J. (1985) Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42**(3), 593-595.
- Jovanović, V., Risojević, V., & Babić, Z. (2016) Splash detection in surveillance videos of offshore fish production plants. *2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Bratislava, 23-25 May 2016
- Juell, J. –E. (1995) The behaviour of Atlantic salmon in relation to efficient cage-rearing. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **5**, 320–335.
- Juell, J. -E. & Fosseidengen, J. E. (2004) Use of artificial light to control swimming depth and fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in production cages. *Aquaculture* **233**(1), 269-282.
- Juell, J. –E., Furevik, D. M. & Bjordal, Å. (1993) Demand feeding in salmon farming by hydroacoustic food detection. *Aquacultural Engineering* **12**, 155-167.
- Juell, J. –E., Bjordal, Å. , Fernö, A. & Huse, I. (1994) Effect of feeding intensity on food intake and growth of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management* **25**, 453–464.
- 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 Research* **34**(6), 469-478.
- Kadri, S., Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A. & Thorpe, J. E. (1991) Daily feeding rhythms in Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture* **92**, 219-224.
- Kadri, S., Mitchell, D. F., Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A. & Thorpe, J. E. (1996) Differential patterns of feeding and resource accumulation in maturing and immature Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* **142**(3), 245-257.
- Kaplan, K.M., Spivak, J.M. & Bendo, J.A. (2005) Embryology of the spine and associated congenital abnormalities. *The Spine Journal* **5**, 564-576.
- Karlsbakk, E. (2015) Amøbisk gjellesykdom (AGD) – litt om den nye plagen. *Havforskningsrapporten* **2015**, 32-35.
- Kent, M. L., Groff, J. M., Morrison, J. K., Yasutake, W. T. & Holt, R. A. (1989) Spiral swimming behavior due to cranial and vertebral lesions associated with *Cytophaga psychrophila* infections in salmonid fishes. *Diseases of Aquatic Organisms* **6**, 11-16.
- Kestin, S. C. (1994) Pain and stress in fish. RSPCA, Horsham, West Sussex UK. 36 pp.
- Kestin, S. C., Van de Vis, J. W. & Robb, D. H. F. (2002) Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *Veterinary Record* **150**(10), 302-307.
- Key, B. (2016) Why fish do not feel pain. *Animal Sentience* 2016.003
- Kittilsen, S., Schjolden, J., Beitnes-Johansen, I., Shaw, J. C., Pottinger, T. G., Sorensen, C., Braastad, B.O., Bakken, M. & Øverli, O. (2009) Melanin-based skin spots reflect stress responsiveness in salmonid fish. *Hormones and Behavior* **56**, 292-298.
- Kjartansson, H., Fivelstad, S., Thomassen, J. M. & Smith, M. J. (1988) Effects of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in circular tanks. *Aquaculture* **73**(1), 261-274.
- Knoph, M. B. (1996) Gill ventilation frequency and mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to high ammonia levels in seawater. *Water Research* **30**, 837-842
- 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.
- Koppang, E. O., Haugarvoll, E., Hordvik, I., Poppe, T. T. & Bjerkas, I. (2004) Granulomatous uveitis associated with vaccination in the Atlantic salmon. *Veterinary Pathology* **41**, 122-130.
- Koppang, E. O., Bjerkas, I., Haugarvoll, E., Chan, E. K. L., Szabo, N. J., Ono, N., Akikusa, B., Jirillo, E., Poppe, T. T., Sveier, H., Torud, B. & Satoh, M. (2008) Vaccination-induced systemic autoimmunity in farmed Atlantic salmon. *Journal of Immunology* **181**, 4807-4814.



- Koppang, E. O., Kvellestad, A. & Fischer, U. (2015). Fish mucosal immunity: gill. In *Mucosal Health in Aquaculture*. Beck, B. H. & Peatman, E. (eds.). Academic Press, Oxford, UK. p. 93-133.
- Korsøen, Ø. J., Dempster, T., Fjellidal, P. G., Oppedal, F. & Kristiansen, T. S. (2009) Long-term culture of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in submerged cages during winter affects behaviour, growth and condition. *Aquaculture* **296**, 373–381.
- Korsøen, Ø. J., Dempster, T., Oppedal, F. & Kristiansen, T. S. (2012) Individual variation in swimming depth and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) subjected to submergence in sea-cages. *Aquaculture* **334-337**, 142–151.
- Kotrschal, K., Whitear, M. & Finger, T. E. (1993) Spinal and facial innervation of the skin in the gadid fish *Ciliata mustela* (Teleostei). *Journal of Comparative Neurology* **331(3)**, 407-417.
- Koumoundouros, G., Oran, G., Divanach, P., Stefanakis, S. & Kentouri, M. (1997) The opercular complex deformity in intensive gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larviculture. Moment of apparition and description. *Aquaculture* **156**, 165–177.
- 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.
- Kristiansen, T. S., Stien, L. H., Fjellidal, P. G. & Hansen, T. (2014) Dyrevelferd i lakseoppdrett (eng: Animal welfare in salmon aquaculture). In: Taranger, G. L., Svåsand, T., Kvamme, B. O., Kristiansen, T. & Boxaspen, K. K., *Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013, Fisken og havet særnr 2-2014*, 145-154.
- Kristoffersen, S., Tobiassen, T., Steinsund, V. & Olsen, R. L. (2006) Slaughter stress, postmortem muscle pH and rigor development in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *International Journal of Food Science + Technology* **41**, 861-864
- Krogdahl, Å., Sundby, A. & Olli, J.J. (2004) Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effects of water salinity and dietary starch level. *Aquaculture* **229**, 335–360.
- Kvellestad, A., Høie, S., Thorud, K., Tørud, B. & Lyngøy, A. (2000) Platyspondyly and shortness of vertebral column in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in Norway-Description and interpretation of pathological changes. *Diseases of Aquatic Organisms* **39**, 97-108.
- Lacroix, G. L. (2013) Population-specific ranges of oceanic migration for adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) documented using pop-up satellite archival tags. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **70**, 1011-1030.
- Lacroix, G. L., Gordon, D. J. & Johnston, D. J. (1985) Effects of low environmental pH on the survival, growth, and ionic composition of post emergent Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42(4)**, 768-775.
- Ladeira-Dabarca, A., Álvarez, M. & Molist, P. (2014) Food deprivation causes rapid changes in the abundance and glucidic composition of the cutaneous mucous cells of Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **37**, 899–909.
- Leclercq, E., Taylor, J. F., Fison, D., Fjellidal, P. G., Diez-Padrisa, M., Hansen, T. & Migaud, H. (2011) Comparative seawater performance and deformity prevalence in out-of-season diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* **158**, 116-125.
- Ledy, K., Giamberini, L. & Pihan, J. C. (2003) Mucous cell responses in gill and skin of brown trout *Salmo trutta fario* in acidic, aluminium-containing stream water. *Diseases of aquatic organisms* **56(3)**, 235-240.
- Lee, C. G., Farrell, A. P., Lotto, A., MacNutt, M. J., Hinch, S. G. & Healey, M. C. (2003) The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon stocks. *Journal of Experimental Biology* **206**, 3239–3251.
- Lekang, O.-I., (2007) *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 432 pp.
- Levsen, A. & Maage, A. (2015) Nasjonal undersøkelse av forekomst av *Anisakis* i norsk oppdrettslaks. Rapport NIFES, 2015 10 pp. (<http://nifes.no/wp-content/uploads/2015/12/sluttrapportfhnifesanisakisioppdrettslaks151216.pdf>)

- Lewis Jr, W. M. & Morris, D. P. (1986) Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* **115**(2), 183-195.
- Liebert, A. M. & Schreck, C. B. (2006) Effects of acute stress on osmoregulation, feed intake, IGF-1, and cortisol in yearling steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) during seawater adaptation. *General and Comparative Endocrinology* **148**, 195-202.
- Lightfoot, G. (2008) The thermal biology of brown trout and Atlantic salmon [Online]. Available: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/291742/scho1008boue-e-e.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291742/scho1008boue-e-e.pdf) [Accessed 06.10. 2016].
- Ligon, F., Rich, A., Rynearson, G., Thornburgh, D. & Trush, W. (1999) Report of the scientific review panel on California forest practice rules and salmonid habitat. *Prepared for the Resources Agency of California and the National Marine Fisheries Service. Sacramento, CA, 2.*
- Liu, B., Liu, Y. & Wang, X. (2015) The effect of stocking density on growth and seven physiological parameters with assessment of their potential as stress response indicators for the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* **48**(3), 177-192.
- Llewellyn, M. S., Leadbeater, S., Garcia, C., Sylvain, F. E., Custodio, M., Ang, K. P., Powell, F., Carvalho, G. R., Creer, S., Elliot, J. & Derome, N. (2017). Parasitism perturbs the mucosal microbiome of Atlantic Salmon. *Scientific reports* **7**, p.43465.
- Lumsden, J. S. (2006) Gastrointestinal tract, swimbladder, pancreas and peritoneum. In: *Systemic Pathology of Fish: A Text and Atlas of Normal Tissues in Teleosts and their Responses in Disease*. Ferguson, H.W. (ed.). Scotian Press, London. 169–199.
- Løvoll, M., Wiik-Nielsen, C. R., Tunsjø, H. S., Colquhoun, D., Lunder, T., Sørum, H. & Grove, S. (2009) Atlantic salmon bath challenged with *Moritella viscosa*—pathogen invasion and host response. *Fish & shellfish immunology* **26**(6), 877-884.
- MacLean, A., Metcalfe, N. B. & Mitchell, D. (2000) Alternative competitive strategies in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): evidence from fin damage. *Aquaculture* **184**(3), 291-302.
- Manteifel, Y.B. & Karelina, M. A. (1996) Conditioned food aversion in the goldfish, *Carassius auratus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **115**, 31-35.
- Marine Harvest, 2016 <http://hugin.info/209/R/2023118/751659.pdf>
- Marschall, E. A., Quinn, T. P., Roff, D. A., Hutchings, J. A., Metcalfe, N. B., Bakke, T. A., Saunders, R. L. & Poff, N. L. (1998) A framework for understanding Atlantic salmon (*Salmo salar*) life history. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(S1), 48-58.
- Martins, C. I. M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgard, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J. C., Carter, T., Planellas, S. R. & Kristiansen, T. (2012) Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry* **38**, 17-41.
- Maule, A. G., Schreck, C. B. & Kaattari, S. L. (1987) Changes in the immune system of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the parr-to-smolt transformation and after implantation of cortisol. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**, 161–166.
- Maule, A. G., Tripp, R. A., Kaattari, S. L. & Schreck, C. B. (1989) Stress alters immune function and disease resistance in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Journal of Endocrinology* **120**, 135-142.
- McCormick, S. D. (1994) Opercular membranes and skin. *Analytical Techniques* **3**, 231.
- McCormick, S. D. (2013) Smolt Physiology and Endocrinology. In: *Euryhaline Fishes*. McCormick, S. D., Farrell, A. P. & Brauner, C. J. (eds.). Academic Press, USA, 199-251.
- McCormick, S. D., Saunders, R. L. & MacIntyre, A. D. (1989) The effect of salinity and ration level on growth rate and conversion efficiency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Aquaculture* **82**(1-4), 173-180.
- 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**(1), 221-235.
- McCormick, S. D., Keyes, A., Nislow, K. H. & Monette, M. Y. (2009) Impacts of episodic acidification on in-stream survival and physiological impairment of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **66**(3), 394-403.



- McDonald, G. & Milligan, L. (1997) Ionic, osmotic and acid-base regulation in stress. In: *Stress and Health in Aquaculture*. Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press. 119-145.
- McKinnon, B. M. (1993) Host response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to infection by sea lice (*Caligus elongatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **50**, 789-792.
- McNeill, B., Perry, S. F. (2006) The interactive effects of hypoxia and nitric oxide on catecholamine secretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of experimental biology* **209**, 4214–4223.
- Mejdell, C., Lund, V. & Håstein, T. (2007) Fish welfare in aquaculture. *Journal of Commonwealth Veterinary Association* **23(2)**, 21-26.
- Mellor, D. J., Patterson-Kane, E. & Stafford, K. J. (2009) *The Sciences of Animal Welfare*. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, UK, 212 pp.
- Merker, B.H. (2016) The line drawn on pain still holds. *Animal Sentience* **2016.090**
- Merkin, G. V., Roth, B., Gjerstad, C., Dahl-Paulsen, E. & Nortvedt, R. (2010) Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and some quality parameters in sea-farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **309**, 231–235.
- Metcalfe, N. B. & Thorpe, J. E. (1992) Anorexia and defended energy levels in over-wintering juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology* **61**, 175-181.
- Micallef, G., Cash, P., Fernandes, J. M., Rajan, B., Tinsley, J. W., Bickerdike, R., Martin, S. A. & Bowman, A. S. (2017) Dietary yeast cell wall extract alters the proteome of the skin mucous barrier in Atlantic Salmon (*Salmo salar*): increased abundance and expression of a calreticulin-like protein. *PLoS one* **12(1)**, p.e0169075.
- Midtlyng, P. J. (1997) Vaccinated Fish Welfare: Protection Versus Side-Effects. In: *Fish Vaccinology*. Gudding, R., Lillehaug, A., Midtlyng, P. J. & Brown, F. (eds): Dev Biol Stand. Basel, Karger, vol 90, 371-379.
- Midtlyng, P. J., Reitan, L. J. & Speilberg, L. (1996) Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* **6**, 335–350.
- Midtlyng, P.J. & Lillehaug, A. (1998) Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. *Diseases of Aquatic Organisms* **32**, 91-97.
- Midtlyng P. J., Ahrend M., Bjerås E., Waagbø, R. & Wall T. (1999). Current research on cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **19**, 299-301.
- Milligan, C. L. & Girard, S. S. (1993) Lactate metabolism in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* **180**, 175-193.
- Millot, S., Nilsson, J., Fosseidengen, J. E., Bégout, M. –L., Fernö, A., Braithwaite, V. A. & Kristiansen, T. S. (2014) Innovative behaviour in fish: Atlantic cod can learn to use an external tag to manipulate a self-feeder. *Animal Cognition* **17**, 779-785.
- Mommsen, T. P., Vijayan, M. M. & Moon, T. W. (1999) Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **9**, 211-268.
- Mork, O. I. & Gulbrandsen, J. (1994) Vertical activity of four salmonid species in response to changes between darkness and two intensities of light. *Aquaculture* **127(4)**, 317-328.
- Mørkøre, T., Tahirovic, V. & Einen, O. (2008) Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **277(3)**, 231-238.
- Munday, B. L., Foster, C. K., Roubal, F. R. & Lester, R. J. G. (1990) Paramoebic gill infection and associated pathology of Atlantic salmon, *Salmo salar* and rainbow trout, *Salmo gairdneri* in Tasmania. In *Pathology in marine science. Proceedings of the Third International Colloquium on Pathology in Marine Aquaculture, held in Gloucester Point, Virginia, USA, October 2-6, 1988*. (pp. 215-222). Academic Press Inc.
- Murray, R. K. (1999) Muscle and the Cytoskeleton. In: *Harper's Biochemistry*. Murray R. K., Grannder D. K., Mayes, P. A. & Rodwell, V. W. (eds.). Appleton and Lange, Connecticut, USA, 715-736.
- Murray, A. G. & Peeler, E. J. (2005) A framework for understanding the potential for emerging diseases in aquaculture. *Preventive veterinary medicine* **67(2-3)**, 223-235.

- Nash, R. D. M., Valencia, A. H. & Geffen, A. J. (2006) The origin of Fulton's condition factor-setting the record straight. *Fisheries* **31**, 236–238.
- Neill, W. H. & Bryan, J. D. (1991) Responses of fish to temperature and oxygen, and response integration through metabolic scope. In: *Aquaculture and Water Quality, Advances in World Aquaculture*. Brune, D. E. & Tomasso, J. R. (eds.). Baton Rouge, LA: The World Aquaculture Society 30–57.
- Neves, K.J. & Brown, N.P. (2015) Effects of Dissolved Carbon Dioxide on Cataract Formation and Progression in Juvenile Atlantic Cod, *Gadus morhua* L. *Journal of the World Aquaculture Society* **46**, 1: doi: 10.1111/jwas.12166
- Nilsson, J., Kristiansen, T. S., Fosseidengen, J. E., Stien, L. H., Fernö, A., van den Bos, R. (2010) Learning and anticipatory behaviour in a “sit-and-wait” predator: The Atlantic halibut. *Behavioural Processes* **83**, 257–266
- 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.
- 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* **257**, 163-168.
- Noble, C., Berrill, I. K., Waller, B., Kankainen, M., Setälä, J., Honkanen, P., Mejdell, C. M., Turnbull, J. F., Damsgård, B., Schneider, O. & Toften, H. (2012a). A multi-disciplinary framework for bio-economic modeling in aquaculture: a welfare case study. *Aquaculture economics & management* **16**(4), 297-314.
- Noble, C., Cañon Jones, H. A., Damsgård, B., Flood, M. J., Midling, K. Ø., Roque, A., Sæther, B. -S. & Cottee, S. Y. (2012b) Injuries and deformities in fish: their potential impacts upon aquacultural production and welfare. *Fish physiology and biochemistry* **38**(1), 61-83.
- Noble, C., Flood, M. J. & Tabata, M. (2012c) Using rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* as self-feeding actuators for white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis*: Implications for production and welfare. *Applied Animal Behaviour Science* **138**, 125-131.
- Nolan, D. T., Reilly, P. & Bonga, S. E. W. (1999) Infection with low numbers of the sea louse, *Lepeophtheirus salmonis*, induces stress-related effects in post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**, 947–959.
- Nordgreen, J., Garner, J. P., Janczak, A. M., Ranheim, B., Muir, W. M. & Horsberg, T. E. (2009) Thermnociception in fish: effects of two different doses of morphine on thermal threshold and post-test behaviour in goldfish (*Carassius auratus*). *Applied Animal Behaviour Science* **119**(1), 101-107.
- NVI (2017). Veterinærinstituttets faktabank. <http://www.vetinst.no/sykdom-og-agens>, accessed 04.05.17.
- Nylund, A., Hovland, T., Hodneland, K., Nilsen, F. & Lovik, P. (1994) Mechanisms for transmission of infectious salmon anaemia (ISA). *Diseases of Aquatic Organisms* **19**, 95-95.
- O'Byrne-Ring, N., Dowling, K., Cotter, D., Whelan, K. & MacEvilly, U. (2003) Changes in mucus cell numbers in the epidermis of the Atlantic salmon at the onset of smoltification. *Journal of fish biology* **63**(6), 1625-1630.
- OIE (2015a) Aquatic Animal Health Code. <http://www.oie.int/international-standard-setting/aquatic-code/> (accessed 2016)
- OIE (2015b). Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. <http://www.oie.int/international-standard-setting/aquatic-manual/access-online/> accessed 19.02.16
- Oldham, T., Rodger, H. & Nowak, B. F. (2016) Incidence and distribution of amoebic gill disease (AGD)—an epidemiological review. *Aquaculture* **457**, 35-42.
- Olsen, A. B., Birkbeck, T. H., Nilsen, H. K., MacPherson, H. L., Wangel, C., Myklebust, C., Laidler, L. A., Aarflot, L., Thoen, E., Nygård, S. & Thayumanavan, T. (2006) Vaccine-associated systemic

- Rhodococcus erythropolis* infection in farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of aquatic organisms* **72(1)**, 9-17.
- Olsen, R. E., Sundell, K., Hansen, T., Hemre, G. -I., Myklebust, R., Mayhew, T. M. & Ringø, E. (2003) Acute stress alters the intestinal lining of Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: An electron microscopical study. *Fish Physiology and Biochemistry* **26**, 211–221.
- Olsen, Y. A., Einarsdottir, I. E. & Nilssen, K. J. (1995) Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress. *Aquaculture* **134**, 155-168
- Oppedal, F., Taranger, G. L., Juell, J. E., Fosseidengen, J. E. & Hansen, T. (1997) Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. *Aquatic Living Resources* **10(6)**, 351-357.
- Oppedal, F., Taranger, G. L. & Hansen, T. (2003) Growth performance and sexual maturation in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in seawater tanks exposed to continuous light or simulated natural photoperiod. *Aquaculture* **215(1)**, 145-162.
- 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(1)**, 396-410.
- Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011a) Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture* **311(1)**, 1-18.
- Oppedal, F., Vågseth, T., Dempster, T., Juell, J.E. & Johansson, D. (2011b). Fluctuating sea-cage environments modify the effects of stocking densities on production and welfare parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **315**, 361–368.
- Pagnotta, A. & Milligan, C. L. (1991) The role of blood glucose in the restoration of muscle glycogen during recovery from exhaustive exercise in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *Journal of Experimental Biology* **161**, 489–508.
- Pall, M., Norberg, B., Andersson, E. & Taranger, G. L. (2006) Kjønnsmodning hos atlantisk laks (*Salmo salar*). In: *Kyst og havbruk 2006*. Svåsand, T., Boxaspen, K., Dahl, E., Jørgensen, L.L. (eds.). *Fisken og havet, særnr. 2–2006*.
- Panksepp, J. (2005) Affective consciousness: Core emotional feelings in animals and humans. *Consciousness and Cognition* **14**, 30-80.
- Panksepp, J. & Biven, L. (2012) The archaeology of mind: Neuroevolutionary origins of human emotions. WW Norton & Company, NY, 562 pp.
- Peake, S. J. (2008) Swimming performance and behaviour of fish species endemic to Newfoundland and Labrador: A literature review for the purpose of establishing design and water velocity criteria for fishways and culverts. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* No. 2843.
- Peake, S. J., McKinley, R. S. & Scruton, D. A. (1997) Swimming performance of various freshwater Newfoundland salmonids relative to habitat selection and fishway design. *Journal of Fish Biology* **51**, 710-723.
- Pérez-Sánchez, J., Terova, G., Simó-Mirabet, P., Rimoldi, S., Folkedal, O., Calduch-Giner, J. A., Olsen, R. E. & Sitjà-Bobadilla, A. (2017) Skin mucus of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Protein mapping and regulation in chronically stressed fish. *Frontiers in physiology* **8**, 34.
- Persson, P., Sundell, K. & Björnsson, B.T. (1994) Estradiol-17b-induced calcium uptake and resorption in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiology and Biochemistry* **13**, 379-386.
- Persson, P., Sundell, K., Björnsson, B. T. & Lundqvist, H. (1998) Calcium metabolism and osmoregulation during sexual maturation of river running Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **52**, 334–349.
- Peterson, R. H. & Anderson, J. M. (1969) Influence of Temperature Change on Spontaneous Locomotor Activity and Oxygen Consumption of Atlantic Salmon, *Salmo salar*, Acclimated to Two Temperatures. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **26**, 93-109.
- Peterson, R. H., Spinney, H. C. E. & Sreedharan, A. (1977) Development of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs and alevins under varied temperature regimes. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **34(1)**, 31-43.

- Peterson, T. S. (2015) Overview of mucosal structure and function in teleost fishes. In: *Mucosal health in Aquaculture*. Beck, B. H. & Peatman, E. (eds.). Academic Press, Oxford, UK. 55-67.
- Pettersen, J. M., Bracke, M. B. M., Midtlyng, P. J., Folkedal, O., Stien, L. H., Steffenak, H. & Kristiansen, T. S. (2014) Salmon welfare index model 2.0: an extended model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon, based on a review of selected welfare indicators and intended for fish health professionals. *Reviews in Aquaculture* **6**, 162–179.
- Phuong, L. M., Damsgaard, C., Huong, D. T. T., Ishimatsu, A., Wang, T. & Bayley, M. (2017) Recovery of blood gases and haematological parameters upon anaesthesia with benzocaine, MS-222 or Aquis in the air-breathing catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Ichthyological Research* **64**, 84-92.
- Pickering, A.D. & Pottinger, T.G. (1989) Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry* **7**, 253–258.
- Pittman, K., Sourd, P., Ravnøy, B., Espeland, Ø., Fiksdal, I. U., Oen, T., Pittman, A., Redmond, K. & Sweetman, J. (2011) Novel method for quantifying salmonid mucous cells. *Journal of fish diseases* **34(12)**, 931-936.
- Pittman, K., Pittman, A., Karlson, S., Cieplinska, T., Sourd, P., Redmond, K., Ravnøy, B. & Sweetman, E. (2013) Body site matters: an evaluation and application of a novel histological methodology on the quantification of mucous cells in the skin of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of fish diseases* **36(2)**, 115-127.
- Poppe, T. T. (2000) Husbandry diseases in fish farming – an ethical challenge to the veterinary profession. *Norsk Veterinaer Tidsskrift* **112**, 91-96.
- Poppe, T. T. & Breck, O. (1997) Pathology of Atlantic salmon *Salmo salar* intraperitoneally immunized with oil-adjuvanted vaccine. A case report. *Diseases of Aquatic Organisms* **29**, 219-226.
- Poppe, T., Bergh, Ø., Espelid, S. & Nygaard, S. (1999) Fiskehelse og fiskesykdommer, Universitetsforlaget, Oslo.
- Porter, M. J. R., Duncan, N. J., Mitchell, D. & Bromage, N. R. (1999) The use of cage lighting to reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. *Aquaculture* **176(3)**, 237-244.
- Pörtner, H. O. (2010) Oxygen-and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. *Journal of Experimental Biology* **213(6)**, 881-893.
- Pörtner, H. O. & Farrell, A. P. (2008) Physiology and climate change. *Science* **322(5902)**, 690-692.
- Powell, M. D., Jones, M. A. & Lijalad, M. (2009) Effects of skeletal deformities on swimming performance and recovery from exhaustive exercise in triploid Atlantic salmon. *Diseases of Aquatic Organisms* **85**, 59-66.
- Poxton, M. G. (1991) Incubation of salmon eggs and rearing of alevins: natural temperature fluctuations and their influence on hatchery requirements. *Aquacultural Engineering* **10(1)**, 31-53.
- Provan, F., Jensen, L. B., Uleberg, K. E., Larssen, E., Rajalahti, T., Mullins, J. & Obach, A. (2013) Proteomic analysis of epidermal mucus from sea lice-infected Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of fish diseases* **36(3)**, 311-321.
- Raby, G. D., Clark, T. D., Farrell, A. P., Patterson, D. A., Bett, N. N., Wilson, S. M., Willmore, W. G., Suski, C. D., Hinch, S. G. & Cooke, S. J. (2015) Facing the river gauntlet: understanding the effects of fisheries capture and water temperature on the physiology of coho salmon. *PLoS One* **10(4)**, p.e0124023.
- Randall, D. J. & Wright, P.A. (1995) Circulation and gas transfer. In: *Physiological Ecology of Pacific Salmon*. Groot, G., Margolis, L., Clarke, W. C. (eds.). UBC Press, Vancouver, 441–458.
- Redding, M. J. & Schreck, C. B. (1983) Influence of Ambient Salinity on Osmoregulation and Cortisol Concentration in Yearling Coho Salmon during Stress. *Transactions of the American Fisheries Society*, **112**, 800–807.
- Reeb, S. G. (2002). Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **12(4)**, 349-371.



- Reebs, S.G. (2008-2014) Sleep in fishes. Retrieved 24 July 2014. <http://www.howfishbehave.ca/pdf/sleep%20in%20fishes.pdf>
- Remen, M. (2012) The oxygen requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the on-growing phase in sea cages. *Doctoral thesis*, University of Bergen
- Remen, M., Oppedal, F., Torgersen, T., Imsland, A. K. & Olsen, R. E. (2012) Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: initial responses and acclimation. *Aquaculture* **326**, 148-155.
- Remen, M., Oppedal, F., Imsland, A. K., Olsen, R. E. & Torgersen, T. (2013) Hypoxia tolerance thresholds for post-smolt Atlantic salmon: dependency of temperature and hypoxia acclimation. *Aquaculture* **416**, 41-47.
- 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.
- Remen, M., Sievers, M., Torgersen, T. & Oppedal, F. (2016a) The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture* **464**, 582-592.
- Remen, M., Solstorm, F., Bui, S., Klebert, P., Vågseth, T., Solstorm, D., Hvas, M. & Oppedal, F. (2016b) Critical swimming speed in groups of Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions*, **8**, 659-664.
- Remø, S. C., Olsvik, P. A., Torstensen, B. E., Amlund, H., Breck, O. & Waagbø, R. (2011) Susceptibility of Atlantic salmon lenses to hydrogen peroxide oxidation ex vivo after being fed diets with vegetable oil and methylmercury. *Experimental Eye Research* **92**, 414-424.
- Revie, C. W., Gettinby, G., Treasurer, J. W. & Rae, G. H. (2002) The epidemiology of the sea lice, *Caligus elongatus* Nordmann, in marine aquaculture of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Scotland. *Journal of Fish Diseases* **25**, 391-399.
- Rimstad, E., Dale, O. B., Dannevig, B. H. & Falk, K. (2011) Infectious Salmon Anaemia. In: *Fish diseases and disorders. Volume 3*. Woo, P. & Bruno, D. (eds.). Oxfordshire, UK: CAB International, 143-165.
- Robb, D. H. F. (2001) The Relationship Between Killing Methods and Quality. In: *Farmed Fish Quality*. Kestin, S. D. & Warris, P. D. (eds.). Fishing News Books. Cornwall, UK, 220-233.
- Roberts, R. J. & Rodger, H. D. (2012) The pathophysiology and systematic pathology of teleosts. In: *Fish Pathology*. Roberts, R. J. (ed.). Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, 62-143.
- Rose, J. D. (2002) The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Reviews in Fisheries Science* **10**, 1-38.
- Ross, N. W., Firth, K. J., Aniping, W., Burka, J. F. & Johnson, S. C. (2000) Changes in hydrolytic enzyme activities of naïve Atlantic salmon *Salmo salar* skin mucus due to infection with the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* and cortisol implantation. *Diseases of Aquatic Organisms* **41**, 44-51.
- Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B.O. & Braathen, B.R. (2004) Vannkvalitet relatert til dyrevelferd. In: Mattilsynet (Ed.). KPMG Senter for havbruk og fiskeri, Trondheim, pp. 89.
- RSPCA (2015). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon> (Accessed 2016)
- RSPCA (2014). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed 2016)
- Sadler J., Pankhurst, P. M. & King, H. R. (2001) High prevalence of skeletal deformity and reduced gill surface area in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **198**, 369-386.
- Salama, N. K. G., Murray, A. G., Christie, A. J. & 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.
- Salinas, I. & Parra, D. (2015) Fish mucosal immunity: intestine. In *Mucosal health in aquaculture*. Beck, B. H. & Peatman, E. (eds.). Academic Press, Oxford, UK. p. 136-70.
- Sambraus, F., Glover, K. A., Hansen, T., Fraser, T. W. K., Solberg, M. F. & Fjellidal, P. G. (2014) Vertebra deformities in wild Atlantic salmon caught in the Figgjo River, southwest Norway. *Journal of Applied Ichthyology* **30**, 777-782.



- Sambraus, F., Olsen, R. E., Remen, M., Hansen, T. J., Torgersen, T. & Fjellidal, P. G. (2017) Water temperature and oxygen: The effect of triploidy on performance and metabolism in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture* **473**, 1–12.
- Samsing, F., Solsorm, D., Oppedal, F., Solstorm, F. & Dempster, T. (2015) Gone with the flow: current velocities mediate parasitic infestation of an aquatic host. *International Journal for Parasitology* **45**: 559–565
- Sanahuja, I. & Ibarz, A. (2015) Skin mucus proteome of gilthead sea bream: a non-invasive method to screen for welfare indicators. *Fish & shellfish immunology* **46(2)**, 426-435.
- Sandnes, K, Lie, Ø & Waagbø, R. (1988) Normal ranges of some blood chemistry parameters in adult farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **32**, 129-136.
- Sapolsky, R. M. (2000) Stress hormones: Good and bad. *Neurobiology of diseases* **7(5)**, 540-542.
- Saunders, R. L., Henderson, E. B., Harmon, P. R., Johnston, C. E. & Eales, J. G. (1983) Effects of low environmental pH on smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **40(8)**, 1203-1211.
- Saunders, R.L. (1965) Adjustment of buoyancy in young Atlantic salmon and brook trout by changes in swimbladder volume. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **22**, 335-352.
- Sauter, S. T., Crawshaw, L. I. & Maule, A. G. (2001) Behavioral Thermoregulation by Juvenile Spring and Fall Chinook Salmon, *Oncorhynchus Tshawytscha*, during Smoltification. *Environmental Biology of Fishes* **61**, 295–304.
- Schmidt-Nielsen, K. (1997) *Animal Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp- 405-424.
- Schreck, C. B. (1981) Stress and compensation in teleostean fishes: responses to social and physical factors. In: *Stress and fish* Pickering, A. D. (ed.). Academic Press, London, 295– 321.
- Schreck, C. B. (2010) Stress and fish reproduction: the roles of allostasis and hormesis. *General and comparative endocrinology* **165(3)**, 549-556.
- Schreck, C. B., Whaley, R. A., Bass, M. L., Maughan, O. E., Solazzi, M. (1976) Physiological responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to electroshock. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **33**, 76–8
- Scottish Salmon Producers Organisation (2016) Code of Good Practice for Scottish Finfish Aquaculture. <http://thecodeofgoodpractice.co.uk/chapters/> (Accessed 2016)
- Segner, H., Sundh, H., Buchmann, K., Douxfils, J., Sundell, K. S., Mathieu, C., Ruane, N., Jutfelt, F., Toften, H. & Vaughan, L. (2012) Health of farmed fish: its relation to fish welfare and its utility as welfare indicator. *Fish physiology and biochemistry* **38(1)**, 85-105.
- Selye, H. (1950) Stress and the general adaption syndrome. *British Medical Journal* **1 (4667)**, 1383-1392.
- Selye, H. (1973) Homeostasis and heterostasis. *Perspectives of Biological Medicine* **16**, 441-445.
- Sfakianakis, D. G., Georgakopoulou, E., Papadakis, I. E., Divanach, P., Kentouri, M. & Koumoundouros, G. (2006) Environmental determinants of haemal lordosis in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus. 1758). *Aquaculture* **254**, 54-64.
- Shephard, K. L. (1994) Functions for fish mucus. *Reviews in fish biology and fisheries* **4(4)**, 401-429.
- Sigholt, T. & Finstad, B. (1990) Effect of low temperature on seawater tolerance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) Smolts. *Aquaculture* **84**, 167-172.
- Skilbrei, O. T. (1991) Importance of threshold length and photoperiod for the development of bimodal length–frequency distribution in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48(11)**, 2163-2172.
- Skjervold, P. O., Fjæra, S. O., Østby, P. B. & Einen, O. (2001) Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* **192**, 265-280.
- Skugor, S., Glover, K. A., Nilsen, F. & Krasnov, A. (2008) Local and systemic gene expression responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to infection with the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*). *BMC Genomics* **9**, 498.

- Sloman, K. A., Motherwell, G., O'Connor, K. & Taylor, A. C. (2000) The effect of social stress on the standard metabolic rate (SMR) of brown trout, *Salmo trutta*. *Fish Physiology and Biochemistry* **23**(1), 49-53.
- Smith, P. A., Pizarro, P., Ojeda, P., Contreras, J., Oyanedel, S. & Larenas, J. (1999) Routes of entry of *Piscirickettsia salmonis* in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of aquatic organisms* **37**(3), 165-172.
- Sneddon, L. U. (2003) The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science* **83**, 153-162.
- Sneddon, L.U. (2006) Ethics and welfare: Pain perception in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **26**, 6-10
- Sneddon, L. U. (2009) Pain Perception in Fish: Indicators and Endpoints. *Ilar Journal* **50**, 338-342.
- Sneddon, L. U., Wolfenden, D. C. C. & Thomson, J. S. (2016) Stress management and welfare. In: *Biology of stress in fish. Fish physiology volume 35*. Schreck, C. B., Tort, L., Farrell, A. P. & Brauner, C. J. (eds.). Academic Press, 464-521.
- 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.
- Soares S., Murray A. G., Crumlish M., Turnbull J. F. & Green D. M. (2013) Factors affecting variation in mortality of marine Atlantic salmon *Salmo salar* in Scotland. *Diseases of Aquatic Organisms* **103**, 101–109.
- Soderberg, R. W., Meade, J. W. & Redell, L. A. (1993) Growth, survival, and food conversion of Atlantic salmon reared at four different densities with common water quality. *The Progressive Fish-Culturist* **55**(1), 29-31.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Fernö, A., Fraser, T. W. K. & Olsen, R. E. (2015) Fast water currents reduce production performance of post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions* **7**, 125–134.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Olsen, R. E., Stien, L. H. & Fernö, A. (2016a) 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.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F. & Fjellidal, P. G. (2016b) The vertebral column and exercise in Atlantic salmon — Regional effects. *Aquaculture* **461**, 9–16.
- Sommerset, I., Krossøy, B., Biering, E. & Frost, P. (2005) Vaccines for fish in aquaculture. Expert review of vaccines **4**(1), 89-101.
- Sopinka, N. M., Donaldson, M. R., O'Conner, C. M., Suski, C. D. & Cooke, S. J. (2016) Stress indicators in fish. In: *Biology of stress in fish. Fish physiology volume 35*. Schreck, C. B., Tort, L., Farrell, A. P. & Brauner, C. J. (eds.). Academic Press, 405-462.
- Spruijt, B. M., van den Bos, R. & Pijlman, F. T. (2001) A concept of welfare based on reward evaluating mechanisms in the brain: anticipatory behaviour as an indicator for the state of reward systems. *Applied Animal Behaviour Science* **72**(2), 145-171.
- Standal, M. & Gjerde, B. (1987) Genetic variation in survival of Atlantic salmon during the sea-rearing period. *Aquaculture* **66**, 197–207.
- Staurnes, M., Sigholt, T., Åsgård, T. & Baevefjord, G. (2001) Effects of a temperature shift on seawater challenge test performance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt. *Aquaculture* **201**, 153-159.
- Stefansson, S. O., Björnsson, B. T., Hansen, T., Haux, C., Taranger, G. L. & Saunders, R. L. (1991) Growth, parr-smolt transformation, and changes in growth hormone of Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48**, 2100-2108.
- Steinum, T., Kvellestad, A., Rønneberg, L., Nilsen, H., Asheim, A., Fjell, K., Nygård, S., Olsen, A. & Dale, O. (2008) First cases of amoebic gill disease (AGD) in Norwegian seawater farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and phylogeny of the causative amoeba using 18S cDNA sequences. *Journal of fish diseases* **31**, 205–214.

- Steinum, T. M., Brun, E., Colquhoun, D., Gjessing, M., Lie, K. L., Olsen, A. B., Tavornpanich, S. & Gjevre, A.G. (2015) Proliferativ gjellebetennelse hos oppdrettslaks i sjøvann - patologi, utvalgte agens og risikofaktorer. Veterinærinstituttets rapportserie 8-2015. Oslo: Veterinærinstituttet; 2015
- Stevens, E. D., Sutterlin, A. & Cook, T. (1998) Respiratory metabolism and swimming performance in growth hormone transgenic Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55(9)**, 2028-2035.
- Stien, L. H., Hirmas, E., Bjørnevik, M., Karlsen, Ø., Nortvedt, R., Rørå, A. M. B., Sunde, J. & Kiessling, A. (2005) The effects of stress and storage temperature on the colour and texture of pre-rigor filleted farmed cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture research* **36(12)**, 1197-1206.
- Stien, L. H., Bracke, 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.
- Stien, L. H., Fosseidengen, J. E., Malm, M. E., Dveier, H., Torgersen, T., Wright, D. W. & Oppedal, F. (2014) Low intensity light of different colours modifies Atlantic salmon depth use. *Aquacultural Engineering* **62**, 42-48.
- Stien, L. H., Oppedal, F., Kristiansen, T. S. (2016) Dødelighetsstatistikk for lakseproduksjon (eng: Mortality statistics for salmon production). In: *Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016*. Svåsand, T., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Stien, L. H., Taranger, G. L., Boxaspen, K.K. (eds.). Havforskningsinstituttet, Fisken og Havet, særnr; 2-2016, 129-134.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B. J. & Piedrahita, R. H. (2000) Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural engineering* **22(1)**, 87-108.
- Sutton, S. G., Bult, T. P. & Haedrich, R. L. (2000) Relationships among fat weight, body weight, water weight, and condition factors in wild Atlantic salmon parr. *Transactions of the American Fisheries Society* **129**, 527-538.
- Sveen, L. R., Timmerhaus, G., Torgersen, J. S., Ytteborg, E., Jørgensen, S. M., Handeland, S., Stefansson, S. O., Nilsen, T. O., Calabrese, S., Ebbesson, L. & Terjesen, B.F. (2016) Impact of fish density and specific water flow on skin properties in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture* **464**, 629-637.
- Svendsen, Y. S. & Børgwald, J. (1997) Influence of artificial wound and non-intact mucus layer on mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) following a bath challenge with *Vibrio anguillarum* and *Aeromonas salmonicida*. *Fish & shellfish immunology* **7(5)**, 317-325.
- Svobodova, Z., Machova, J., Poleszczuk, G., Hůda, J., Hamáčková, J. & Kroupova, H. (2005) Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. *Acta Veterinaria Brno* **74(1)**, 129-137.
- Sweetman, J. W., Torrecillas, S., Dimitroglou, A., Rider, S., Davies, S. J. & Izquierdo, M. S. (2010) Enhancing the natural defences and barrier protection of aquaculture species. *Aquaculture Research* **41(3)**, 345-355.
- Sørum, U. & Damsgård, B. (2004) Effects of anaesthetisation and vaccination on feed intake and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **232(1-4)**, 333-341.
- Tait, J. S. (1960) The first filling of the swim bladder in salmonids. *Canadian Journal of Zoology* **38**, 179-187.
- 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(1)**, 33-46.
- Tang, S., Brauner, C. J. & Farrell, A. P. (2009) Using bulk oxygen uptake to assess the welfare of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, during commercial live-haul transport. *Aquaculture* **286**, 318-323.
- Taranger, G. L. & Hansen, T. (1993) Ovulation and egg survival following exposure of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., broodstock to different water temperatures. *Aquaculture Research* **24(2)**, 151-156.
- Taranger, G. L., Carrillo, M., Schulz, R. V., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F. -A., Dufour, S., Karlsen, Ø., Norberg, B., Andersson, E. & Hansen, T. (2010) Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology* **165**, 483-515.

- Taylor R. S., Muller, W. J., Cook, M. T., Kube, P. D. & Elliott, N. G. (2009) Gill observations in Atlantic salmon (*Salmon salar*) during repeated amoebic gill disease (AGD) field exposure and survival challenge. *Aquaculture* **290**, 1-8.
- Thorarensen, H., Gallagher, P. E., Kiessling, A. K. & Farrell, A. P. (1993) Intestinal blood flow in swimming chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* and the effects of haematocrit on blood flow distribution. *Journal of Experimental Biology* **179**, 115-129.
- Thorarensen, H. & Farrell, A. P. (2011) The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture* **312(1)**, 1-14.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Rikardsen, A. H. & Aarestrup, K. (2011) Aquatic Nomads: In: *Atlantic salmon ecology*. Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (eds.). Blackwell Publishing, Oxford, UK 1–32.
- Timmons, M.B. & Ebeling, J.M., (2007) Recirculating Systems. *Northeastern Regional Aquaculture Center*, Ithaca, NY.
- Torgersen, T., Bracke, M. B. M. & Kristiansen, T. S. (2011) Reply to Diggles et al. (2011): Ecology and welfare of aquatic animals in wild capture fisheries. *Reviews in fish Biology and Fisheries* **21**, 767-769.
- Tornberg, E., Wahlgren, M., Brøndum, J. & Engelsen, S. B. (2000) Pre-rigor conditions in beef under varying temperature-and pH-falls studied with rigometer, NMR and NIR. *Food Chemistry* **69(4)**, 407-418.
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O. T., Nilsen, F., Horsberg, T. E. & Jackson, D. (2013) Salmon lice–impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of fish diseases* **36(3)**, 171-194.
- Tørud, B. & Håstein, T. (2008) Skin lesions in fish: causes and solutions. *Acta Veterinaria Scandinavica* **50**, 1.
- Totland, G. K., Hjeltnes, B. K. & Flood, P. R. (1996) Transmission of infectious salmon anemia (ISA) through natural secretions and excretions from infected smolts of Atlantic salmon *Salmo salar* during their presymptomatic phase. *Diseases of Aquatic Organisms* **26**, 25–31.
- Tröbse, C., Waagbø, R., Breck, O., Stavrum, A. K., Petersen, K. & Olsvik, P. A. (2009) Genome-wide transcription analysis of histidine-related cataract in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Molecular Vision* **15**, 1332-1350.
- Turnbull, J. F., Richards, R. H. & Robertson, D. A. (1996) Gross, histological and scanning electron microscopic appearance of dorsal fin rot in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr. *Journal of Fish Diseases* **19(6)**, 415-427.
- Turnbull, J. F., Bell, A., Adams, C., Bron, J. & Huntingford, F. (2005) Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. *Aquaculture* **243(1)**, 121-132.
- Turnbull, J. F., North, B. P., Ellis, T., Adams, C. E., Bron, J., MacIntyre, C. M. & Huntingford, F. A. (2008) Stocking Density and the Welfare of Farmed Salmonids. In: *Fish Welfare*. Branson, E. J. (ed.). Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. doi: 10.1002/9780470697610.ch8
- Vaagsholm, I. & Djupvik, H. O. (1998). Risk factors for skin lesions in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of fish diseases* **21(6)**, 449-454.
- Valdenegro-Vega, V. A., Crosbie, P., Bridle, A., Leef, M., Wilson, R. & Nowak, B. F. (2014) Differentially expressed proteins in gill and skin mucus of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affected by amoebic gill disease. *Fish & shellfish immunology* **40(1)**, 69-77.
- van den Thillart, G. & van Waarde, A. (1985) Teleosts in hypoxia-aspects of anaerobic metabolism. *Molecular Physiology* **8**, 393-409.
- van der Marel, M., Caspari, N., Neuhaus, H., Meyer, W., Enss, M. L. & Steinhagen, D. (2010) Changes in skin mucus of common carp, *Cyprinus carpio* L., after exposure to water with a high bacterial load. *Journal of fish diseases* **33(5)**, 431-439.
- van Raaij, M. T., Pit, D. S., Balm, P. H., Steffens, A. B. & van den Thillart, G. E. (1996) Behavioral strategy and the physiological stress response in rainbow trout exposed to severe hypoxia. *Hormones and Behavior* **30(1)**, 85-92.



- Van Zwol, J. A., Neff, B. D. & Wilson, C. C. (2012) The influence of non-native salmonids on circulating hormone concentrations in juvenile Atlantic salmon. *Animal Behaviour* **83**(1), 119-129.
- Varsamos, S., Nebel, C. & Charmantier, G. (2005) Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* **141**, 401-429.
- Varsamos, S., Flik, G., Pepin, J. F., Bonga, S. W. & Breuil, G. (2006) Husbandry stress during early life stages affects the stress response and health status of juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Fish & shellfish immunology* **20**(1), 83-96.
- Vatsos I. N., Kotzamanis Y., Henry M., Angelidis P. & Alexis M. N. (2010) Monitoring stress in fish by applying image analysis to their skin mucous cells. *European Journal of Histochemistry* **54**, 107–111.
- Veiseth, E., Fjæra, S. O., Bjerkeng, B. & Skjervold, P. O. (2006) Accelerated recovery of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from effects of crowding by swimming. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* **144**(3), 351-358.
- Videler, J. J. (1993). Fish swimming (Vol. 10). Springer Science & Business Media.
- Vigen, J. (2008) Oxygen variation within a seacage. Master Thesis, Department of Biology, University of Bergen, Norway, 73 p.
- Vilhunen, S. & Hirvonen, H. (2003) Innate antipredator responses of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) depend on predator species and their diet. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **55**(1), 1-10.
- Vindas, M. A., Johansen, I. B., Folkedal, O., Høglund, E., Gorissen, M., Flik, G., Kristiansen, T. S. & Øverli, Ø. (2016) Brain serotonergic activation in growth-stunted farmed salmon: adaption versus pathology. *Royal Society open science* **3**, 160030.
- von Uexküll J (1921). Umwelt und Innenwelt der Tiere. 2. verm. u. verb. Aufl. Berlin: J. Springer.
- Waagbø, R., Hamre, K., Bjerkås, E., Berge, R., Wathne, E., Lie, Ø. & Torstensen, B. (2003) Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt relative to dietary pro-and antioxidants and lipid level. *Journal of fish diseases* **26**(4), 213-229.
- Waagbø, R., Trøße, C., Koppe, W., Fontanillas, R., Breck, O. (2010) Dietary histidine supplementation prevents cataract development in adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in seawater. *British Journal of Nutrition* **104**, 1460–1470.
- Wagner, G.N., McKinley, R.S., Bjørn, P.A. & Finstad, B. (2003). Physiological impact of sea lice on swimming performance of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **62**, 1000–1009.
- Wall, T. & Bjerkås, E. (1999) A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **19**(4), 162-165.
- Warburton K. (2003) Learning of foraging skills by fish. *Fish and Fisheries* **4**(3), 203-215.
- Wargelius, A., Fjellidal, P. G., Grini, A., Gil-Martens, L., Kvamme, B. -O. & Hansen, T. (2010) MMP-13 (Matrix MetalloProteinase 13) expression might be an indicator for increased ECM remodeling and early signs of vertebral compression in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Applied Ichthyology* **26**, 366–371.
- Webb, P. W. (1975) Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* **190**, 1-159.
- Weber, M. L. (1997) Farming Salmon: A briefing book [Online]. Available: <https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi-dCAuZzUAhUGECwKHZ9hD7sQFggkMAA&url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F454d%2Ffc717e88cf583cdac24be817ea85cc040b.pdf&usq=AFQjCNGGgTVSFOYDCDaf4q5HuK1yzi3-9g&sig2=Mhbz0BIL100k3EaSazOEDw> [Accessed 28.09. 2016].
- Wedemeyer, G. (1996) Physiology of fish in intensive culture systems. Springer Science & Business Media.
- Wedemeyer, G. A. (1997). Effect of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P., Schreck, C. B. (Eds.). Fish Stress and Health in Aquaculture: 35-72.
- Weitkamp, D. E. & Katz, M. (1980) A review of dissolved gas supersaturation literature. *Transactions of the American Fisheries Society* **109**, 659-702.



- Wells, R. M. G. & Pankhurst, N. W. (1999) Evaluation of simple instruments for the measurement of blood glucose and lactate, and plasma protein as stress indicators in fish. *Journal of the World Aquaculture Society* **2**, 276-284.
- Wendelaar Bonga, S. E. W. (1997) The stress response in fish. *Physiological Reviews* **77**, 591-625.
- Wendelaar Bonga, S.E.W. (2011) Hormonal responses to stress. In: *Encyclopaedia of Fish Physiology*. Anthony, P. F. (ed.). Academic Press, San Diego, USA. 1515-1523
- Witten, P. E., Gil-Martens, L., Hall, B. K., Huysseune, A. & Obach, A. (2005) Compressed vertebrae in Atlantic salmon (*Salmo salar*): evidence for metaplastic chondrogenesis as a skeletogenic response late in ontogeny. *Diseases of aquatic organisms* **64(3)**, 237-246.
- Witten, P. E., Gil-Martens, L., Huysseune, A., Takle, H. & Hjelde, K. (2009) Towards a classification and an understanding of the developmental relationships of vertebral body malformations in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **295**, 6-14.
- Wood, C. M. & Jackson, E. B. (1980) Blood acid-base regulation during environmental hyperoxia in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Respiration physiology* **42(3)**, 351-372.
- Wood, C. M., Walsh, P. J., Thomas, S. & Perry, S. F. (1990) Control of red blood cell metabolism in rainbow trout after exhaustive exercise. *Journal of experimental biology* **154(1)**, 491-507.
- 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. In: *Abstracts Aquaculture Europe 2013*. European Aquaculture Society, Trondheim, pp. 465
- Yue S., Moccia R. D. & Duncan I. J. H. (2004) Investigating fear in domestic rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using an avoidance learning task. *Applied Animal Behaviour Science* **87**, 343-354.
- Ørnsrud, R., Wargelius, A., Sæle, Ø., Pittman, K. & Waagbø, R., (2004a) Influence of egg vitamin A status and egg incubation temperature on subsequent development of the early vertebral column in Atlantic salmon fry. *Journal of Fish Biology* **64**, 399-417.
- Ørnsrud, R., Gil, L. & Waagbø, R. (2004b) Teratogenicity of elevated egg incubation temperature and egg vitamin A status in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **27**, 213-223.



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

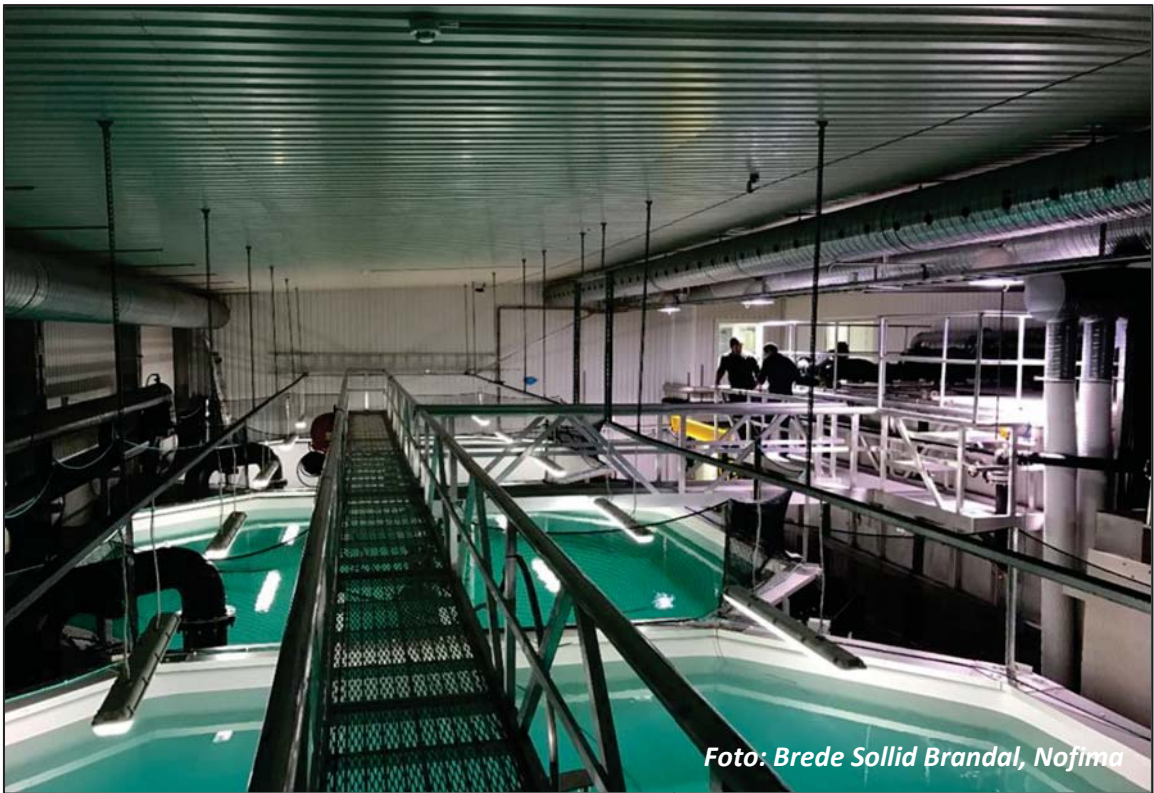
## Innholdsfortegnelse

1	Oppdrett basert på gjennomstrømmingssystem .....	145
1.1	Lakseproduksjon på land med vanngjennomstrømming .....	146
1.2	Velferdsutfordringer.....	146
1.3	Operative velferdsindikatorer .....	148
1.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	149
1.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	153
1.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	154
1.7	Vurdering av velferd. Scenario: hyperoksi hos lakseparr .....	156
2	Resirkuleringssystem for oppdrett av fisk (RAS) .....	157
2.1	Lakseproduksjon i landbaserte RAS .....	158
2.2	Utfordringer for fiskens velferd.....	159
2.3	Operative velferdsindikatorer .....	160
2.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	160
2.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	167
2.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	168
2.7	Vurdering av velferd. Scenario: Produksjon av parr i høy tetthet og temperatur i RAS-system med ferskvann.....	170
3	Merder i sjø .....	171
3.1	Oppdrett av laks i merd.....	172
3.2	Velferdsutfordringer.....	172
3.3	Operative velferdsindikatorer .....	175
3.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	175
3.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	179
3.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	182
3.7	Vurdering av velferd. Scenario: Periode med høy dødelighet og sår.....	183
4	Nedsenkede sjømerder .....	185
4.1	Produksjon av laks i nedsenkede merder.....	186
4.2	Velferdsutfordringer.....	186
4.3	Operative velferdsindikatorer .....	186
4.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	187
4.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	187
4.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	188
4.7	Vurdering av velferd. Scenario: Langvarig nedsenkning uten tilgang til luft .....	188

5	Snorkelmerd .....	190
5.1	Oppdrett av fisk i snorkelmerder .....	191
5.2	Velferdsutfordringer.....	191
5.3	Operative velferdsindikatorer .....	193
5.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	193
5.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	193
5.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	194
5.7	Vurdering av velferd scenario .....	194
6	Semi-lukkede anlegg (SLA) .....	195
6.1	Oppdrett av fisk i semi-lukkede anlegg .....	196
6.2	Velferdsutfordringer.....	196
6.3	Operative velferdsindikatorer .....	198
6.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	198
6.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	201
6.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	201
6.7	Vurdering av velferd. Scenario: Massiv forekomst av maneter .....	202
7	Luseskjørt .....	203
7.1	Oppdrett av fisk i merder med luseskjørt .....	204
7.2	Velferdsutfordringer.....	204
7.3	Operative velferdsindikatorer .....	204
7.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer .....	205
7.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer .....	205
7.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	205
8	Morfologiske skårssystem for vurdering av fiskevelferd i ulike oppdrettssystemer .....	206
9	Sammendrag som viser hvor operative velferdsindikatorer og laboratorium baserte velferdsindikatorer er egnet for ulike oppdrettssystemer.....	211
10	Referanser .....	212



# 1 Oppdrett basert på gjennomstrømmingsystem



## 1.1 Lakseproduksjon på land med vanngjennomstrømming

I dette kapitlet vil vi ta for oss hvilke operative velferdsindikatorer (OVI'er) som passer til formålet for landbaserte intensive gjennomstrømningsanlegg (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 før det slippes tilbake til vannmiljøet. Alt vann i anlegget fornyes minst en gang per dag ved bruk av gjennomstrømningssystemer generelt [1], men det er vanlig å gjenbruke varmeenergien i avløpsvannet til å varme opp inntaksvannet. 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> føre til en rask reduksjon av vannets pH-verdi. Dette er noe som øker risikoen for metalltoksisitet, eksempelvis av aluminium. 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 [6], oksygenbehov og behov for selvrensing i karene [8]. 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.
- **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

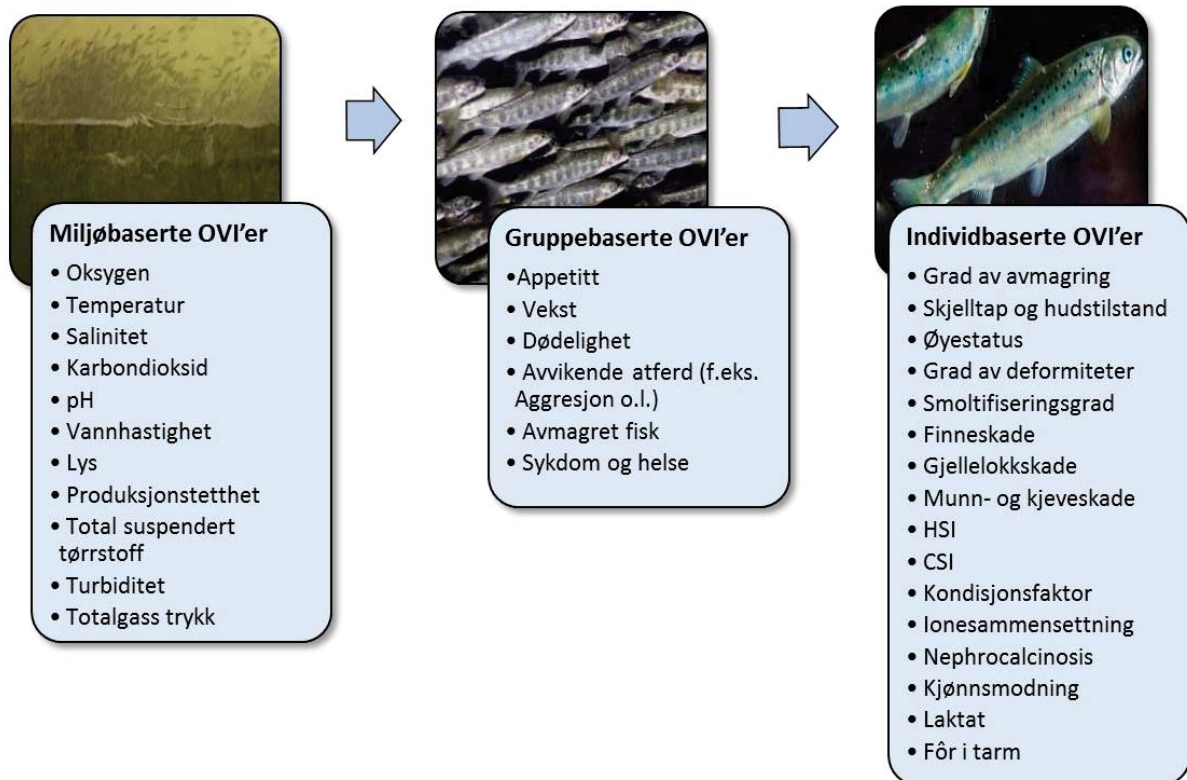
- **Mangel på biosikkerhet.** GS-systemer er åpne systemer med store mengder vann som føres gjennom karene daglig. Og selv om inntaksvannet behandles til en viss grad med UV og filtre, er ikke dette nok til å hindre inntreden av patogener eller svingninger i vannkvaliteten som kan være skadelig for fisken. 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 trening, 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 [https://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/akvakultur/drift\\_av\\_akvakulturanlegg/vedlegg\\_til\\_horingsbrev\\_vurdering\\_av\\_vannkvalitet\\_etter\\_22.22205/binary/Vedlegg%20til%20h%C3%B8ringsbrev%20-%20vurdering%20av%20vannkvalitet%20etter%20%C2%A7%2022](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/akvakultur/drift_av_akvakulturanlegg/vedlegg_til_horingsbrev_vurdering_av_vannkvalitet_etter_22.22205/binary/Vedlegg%20til%20h%C3%B8ringsbrev%20-%20vurdering%20av%20vannkvalitet%20etter%20%C2%A7%2022)

Vannkvalitetsparameter	Grenseverdier
pH (inntak)	6.2 – 7.8
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 (labil) og < 20 µg/g gjellelev

**Temperatur.** Den optimale tilvekst temperaturen for laks varierer med ulike stadier. Dette gjelder også fiskens toleranse; 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 embryonal utvikling i egg er 4-8°C [13], for tilvekst hos parr er 12-14°C, mens post-smolt fisk synes å foretrekke 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 mfl. [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 kroppsstørrelse, temperatur, trykk, aktivitet (svømming, fôring) og livsstadium. Anbefalt minimum oksygenmetning i avløp for Atlantisk laks er 80% av fullmettet inntaksvann [19], ved lavere oksygentilgang vil hhv. fôrutnyttelse og tilvekst kunne kompromitteres. Data tyder også på at minimum 85%, og muligens opp til 120% metning, er nødvendig for å opprettholde maksimal vekst av atlantisk laks [20].

- For egg, gir oksygenmetning over 66% ved en temperatur >12.5°C og hastighet på 100 cm/h, en god overlevelse [21].
- For parr er minimum O<sub>2</sub> metning for å opprettholde aerob metabolisme 39% ved 12.5°C [22].
- For postsmolt ved 7 og 19°C er den minimale metningen henholdsvis 24% og 40% [23].
- Både hypoksi [24] og hyperoksi [25,26] kan forårsake alvorlige velferdsproblemer hos laks.
- I de fleste tilfeller hvor oksygen doseres inn automatisk i inntaksvannet for å opprettholde oksygenmetning > 80% (optimale velferdsbetingelser) [19], 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 ‰ [27]. Smolt viser preferanse for haloklin (< 20‰ i topplaget av vannsøylen og > 30‰ under [28]), og kan dra nytte av tilgang til brakkvann (28‰; [29]). Særlig gjelder dette når vanntemperaturen er lav (4°C). Postsmolt foretrekker 33-34 ‰ [19], mens stamfisk bør ha vann med en saltholdighet lavere enn 10 ‰ inn mot den siste fasen av modningen.

**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 [21]. 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°C, er mellom 6-10 BL/sek. Tilsvarende er absolutt vedvarende svømmehastighet hos laksesmolt fra 12 til 18 cm i temperaturområdet 13-17,5°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 [30].

**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	Egg, yngel, parr og smolt. 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	Yngel, parr og smolt

**Karbondioksid** er et spesielt problem i ferskvannsproduksjonen av laks i GS-systemer. Dets løselighet reduseres proporsjonalt med temperatur og saltholdighet, og laks sin følsomhet for CO<sub>2</sub> varierer med ulike livsstadier [31]. 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 [20]. 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 [31], 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 gjennomstrømmingssystemer. 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,  $O_2$ :  $N_2$  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 %  $N_2$ . Tilsvarende  $N_2$  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 gjennomstrømmingssystemer, og vil være styrt av valgt oksygeneringsteknologi, fjerning av  $CO_2$ , 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  $75 \text{ kg/m}^3$ , uten at det går utover ytelsen og velferden [32].

**Belysning.** Optimal lyskvalitet (intensitet og bølgelengde) for optimal ytelse og velferd av atlantisk laks i GS-systemer, er fortsatt uklar. En studie av Handeland mfl. [33] 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.

**Turbiditet** er et mål på vannklarhet. 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. Totalt suspendert tørrstoffkonsentrasjon (TSS), er definert som massen av partikler av både organiske og uorganiske opphav over  $1 \mu\text{m}$  i diameter i et kjent volum av vann [34]. 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 [34].

### 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 føring.
- 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.** Nedgang 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 [35]. 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.

**Avmagrede fisk** nær overflaten isolerer seg selv fra stimen. 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 [19]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig. Forekomsten av døende eller avmagrede fisk bør overvåkes [19], og enhver forandring i frekvensen av avmagrede fisk bør reageres på så tidlig mulig. Dette kan benyttes som en tidlig OVI som varslings om redusert velferd.

**Vekst** kan påvirkes av flere faktorer, som for eksempel ernæring, sykdom, sosial interaksjon [36], vannkvalitet og kronisk stress [37]. 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 [38]. Derfor er det viktig å vite hva som er forventet 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 [39], vannkvalitet [28] eller andre stressfaktorer. Dessuten kan belastning forårsake luftsnapping i overflaten. Aggresjon kan være et problem hos lakseparr [40] 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 ryggfinnskade, da det er en klar sammenheng mellom biting og ryggfinnskade hos lakseparr [40]. Plutselige 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 ryggfinnskader, er sannsynligvis relatert til feil fôringsregimer eller underfôring [40,41,42], 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.** Grupperbaserte operative velferdsindikatorer som er egnet for bruk i GS-systemer.

OVI	Relevante livsstadier
<b>Appetitt og fôringsatferd</b>	Yngel, parr og smolt
<b>Vekst</b>	Yngel, parr og smolt
<b>Atferd (svømmeatferd og aggresjon)</b>	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 avliving 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 uspesifikt 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 [43] og temperatur [17]. Se Fjelldal mfl. [44] 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 [45]. Det er en klar sammenheng mellom aggresjon og ryggfinneskader hos parr [40]. Hos smolt og postsmolt kan ferske finneskader medføre at fisken utsettes for osmoregulatoriske problemer [46].



**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 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).

**Sammensetting av ioner i blodplasma** forandrer seg hos laks som endres fra ferskvannslevende parr til en sjøvannstilvendt smolt. Rapportert normalverdier av ionesammensetningen i blodplasma hos laks i ferskvann er mellom 130 til 150 mmol/l Na<sup>+</sup>, 111 til 135 mmol/l Cl<sup>-</sup>, 2,9 mmol/l K<sup>+</sup>, 0,9-1,5 mmol/l Mg<sup>2+</sup>, 2,7 mmol/l Ca<sup>2+</sup>. Tilsvarende verdier hos laks i sjøvann er rapportert mellom 140 til 175 mmol/l Na<sup>+</sup>, 135 til 160 mmol/l Cl<sup>-</sup>, 3,4 mmol/l K<sup>+</sup>, 1,6-2,0 mmol/l Mg<sup>2+</sup>, 3,3 mmol/l Ca<sup>2+</sup>.

**Fôr i tarm.** Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager, men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Kontroll av fôrrester i mage og tarm ved obduksjon kan brukes til å evaluere fôrinntak (indirekte appetitt).

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

**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.

Laks kan **kjønnsmodne** i ferskvann før smoltifisering (tidlig kjønnsmodning) eller etter overgangen til sjø. Tidlig kjønnsmodning på parrstadiet oppstår bare hos hanner, hemmer smoltifisering og dermed sjøvannstoleransen, og er også assosiert med økt aggresjon. Endringer i aktiviteten av ulike hormoner i forbindelse med reproduksjon, som kjønns hormoner, kortisol og veksthormon, kan påvirke immunforsvaret til den kjønnsmodne fisken. Dette er noe som kan resultere i økt sykdomsmottakelighet og en generell redusert helsetilstand (Se Del A for referanser).

**Nefrokalsinose** er en patologisk tilstand relatert til høye konsentrasjoner av oppløst CO<sub>2</sub> [47], som innebærer dannelse av store kalsiummineralavleiringer 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 [31]. 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.

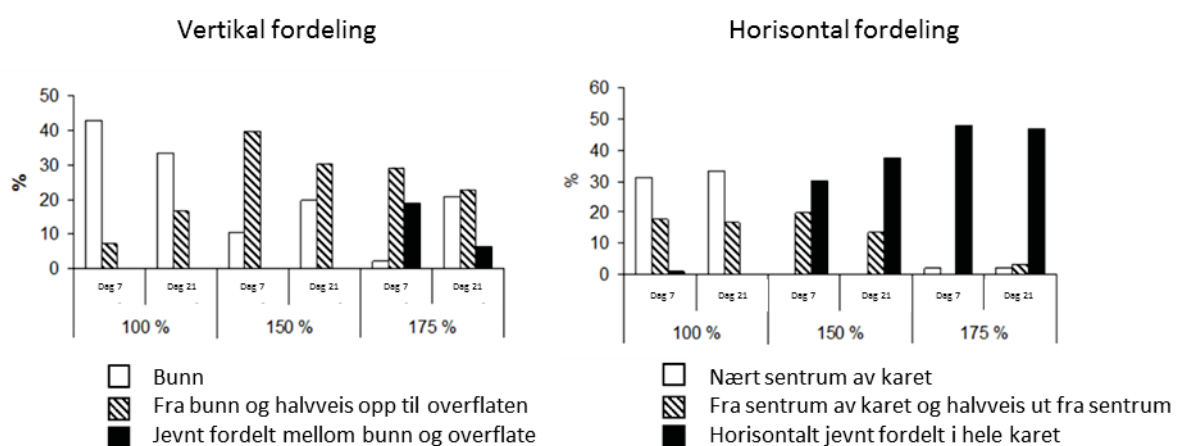
**Laktat** øker med anaerob muskelaktivitet og bør holde seg under 6 mmol/L [48]. Dette måles lett med håndholdt apparat, men prøvene bør tas omtrent én time etter muskelaktivitet (f.eks. ved håndtering).

**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. Lakseparr 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 kontrollfisken som ble eksponert for 100% O<sub>2</sub> [25]. På syvende dagen av eksponering viste den hyperoksiske fisken større individuell variasjon i svømmeaktivitet sammenlignet med kontrollfisken (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 [25].



**Figur 1.7-1.** Adferd hos lakseparr eksponert for hyperoksi, målt ved dag 7 og dag 21, gjengitt fra "Espmark Å. & Bæverfjord G. (2009). Effects of hyperoxia on behavioural and physiological variables in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Aquaculture International* 17, 341-353. Copyright 2009." med tillatelse fra Springer Nature.

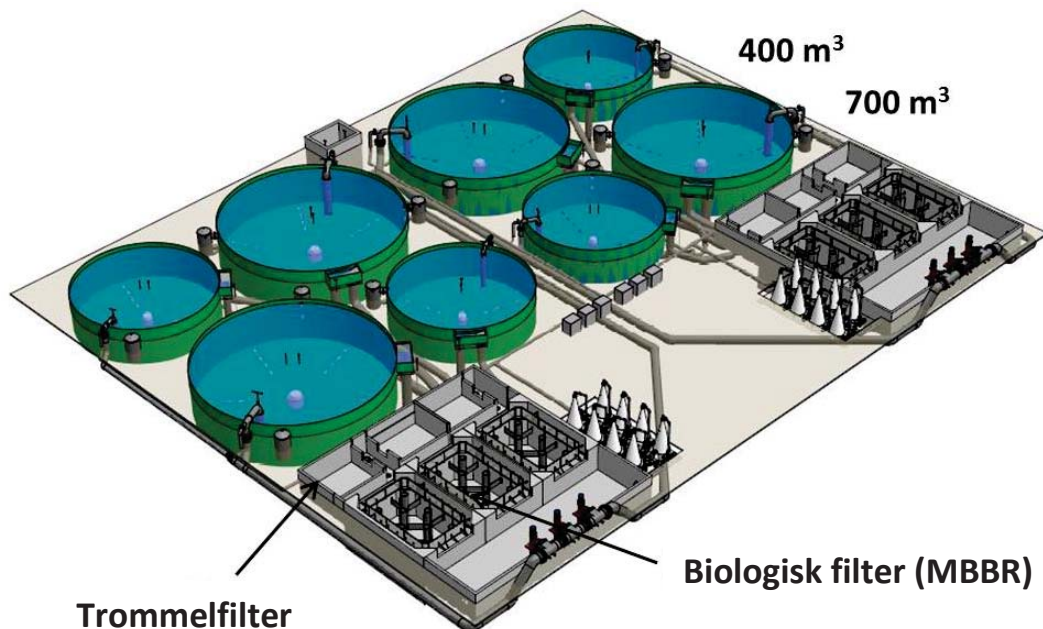
## 2 Resirkuleringsystem for oppdrett av fisk (RAS)



## 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 [49]. 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 [50]. I motsetning til de mer tradisjonelle gjennomstrømningssystemene med et høyt forbruk av vann, gjør resirkuleringen av vann det mulig med en 100-ganger eller større reduksjon i vannbehovet [51]. I tillegg kan RAS gi mer stabile og kontrollerbare miljøbetingelser for oppdrett, bedre sykdomshåndtering [52], forbedret biosikkerhet [53], reduksjon i karbonavtrykk relatert til fisketransport og reduksjon i forurensende utslipp til miljøet [49].

På den andre siden har denne teknologien en rekke utfordringer, for eksempel mer kompleks kontroll, økte investeringer, driftskostnader og behov for mer fagutdannet personell [54]. 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 [55]. Dette kan medføre bruk av høyere fisketettheter, vanntemperaturer og O<sub>2</sub>-konsentrasjoner i inntaksvannet, som igjen kan føre til forringelse av vannkvaliteten [20]. 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, gjengitt med tillatelse).

## 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 [56].
- 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].

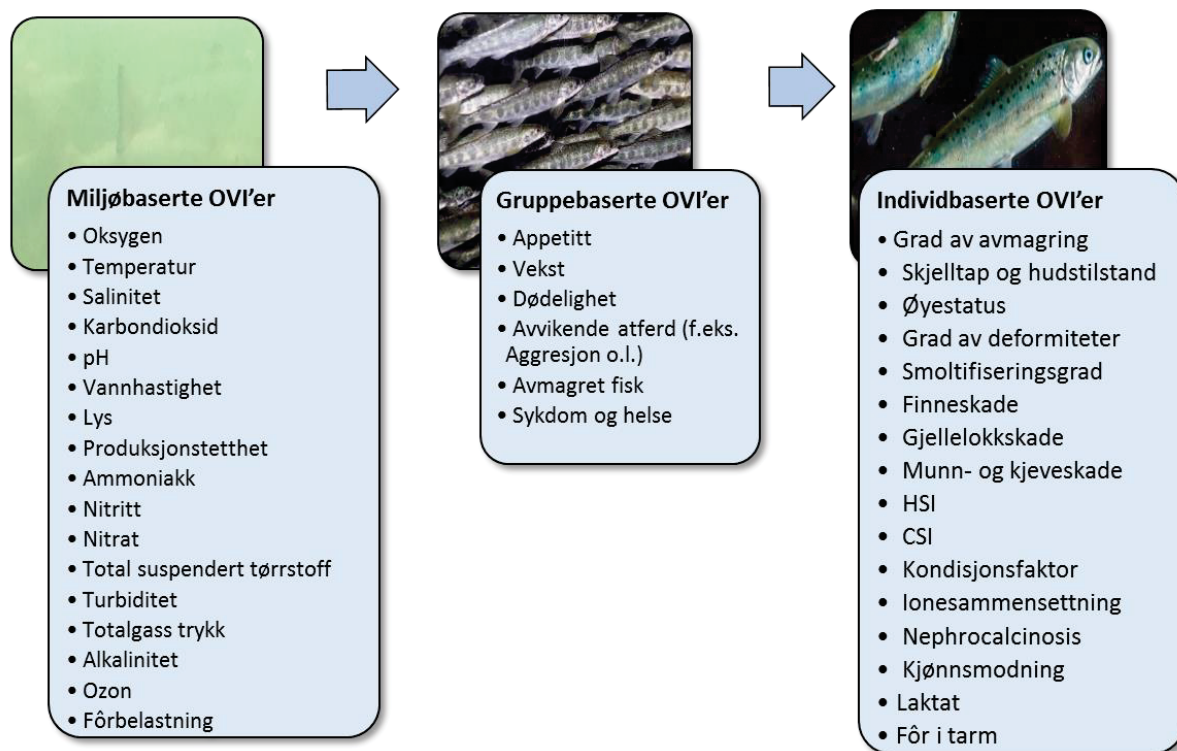
### Oppdrettsprosedyrer

- 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-fisk [57], 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 [58]. 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 vannkvalitetsparameterne 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 [34]. Oksygenbehovet varierer mellom ulike livsstadier og er avhengig av forskjellige forhold, som temperatur og saltholdighet. De viktigste faktorene som avgjør oksygenforbruk er kroppsstørrelse, temperatur, trykk, aktivitet (svømming, fôring) og livsstadium. Anbefalt minimum oksygenmetning i avløp for Atlantisk laks er 80% av fullmettet inntaksvann [19], ved lavere oksygentilgang vil hhv. fôrutnyttelse og tilvekst kunne kompromitteres [19]. Data tyder også på at minimum 85%, og muligens opp til 120% metning, er nødvendig for å opprettholde maksimal vekst av atlantisk laks [20].

- For egg, gir oksygenmetning over 66% ved en temperatur  $>12.5^{\circ}\text{C}$  og hastighet på 100 cm/h, en god overlevelse [21].

- For parr er minimum O<sub>2</sub> metning for å opprettholde aerob metabolisme 39% ved 12.5°C [22].
- For postsmolt ved 7 og 19°C er den minimale metningen henholdsvis 24% og 40% [23].
- Både hypoksi [24] og hyperoksi [25,26] kan forårsake alvorlige velferdsproblemer hos laks.
- I de fleste tilfeller hvor oksygen doseres inn automatisk i inntaksvannet for å opprettholde oksygenmetning > 80% (optimale velferdsbetingelser) [19], 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.

**Tabell 2.4-1.** Forskjellen i vannkvaliteten mellom ferskvannsresirkuleringssystem (RAS) og gjennomstrømningssystem (GS) under produksjon av atlantisk laksesmolt [59] (gjengitt med tillatelse fra J. Kolarevic). Vannkvalitetsparametere er presentert som middelerverdier ± SD (n = 4 kar for hvert produksjonssystem).

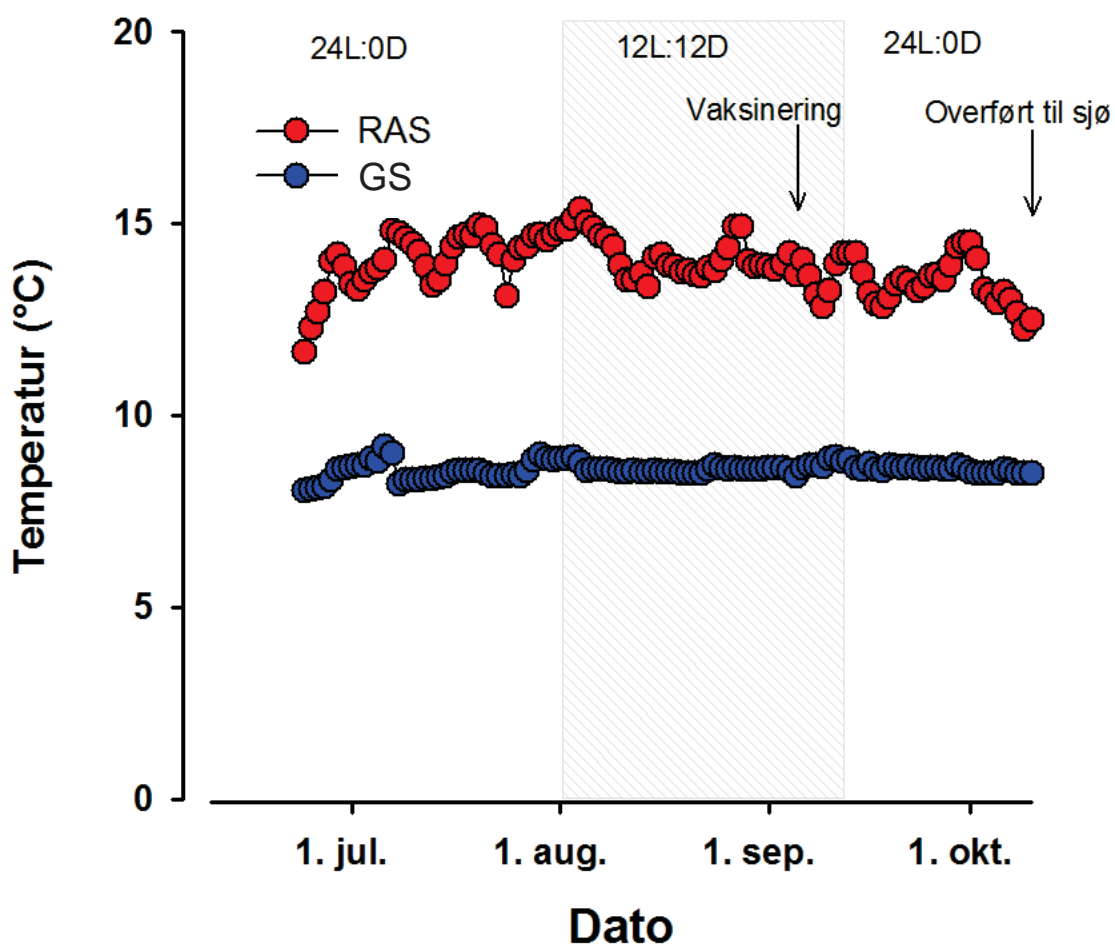
Vannkvalitetsparameter	Produksjonssystem	
	GS	RAS
pH	6,68 ± 1,16	7,28 ± 0,12
ΔH <sup>+</sup> (μmol/L)	0,15 ± 0,09	0,04 ± 0,02
Alkalinitet (mg/L)	17,0 ± 1,7	48,0 ± 6,6
CO <sub>2</sub> (mg/L)	4,8 ± 1,3	4,6 ± 1,2
TSS (mg/L)	0,7 ± 0,3	3,4 ± 1,2
Turbiditet (NTU)	0,42 ± 0,18	1,38 ± 0,43
TAN (mg/L)	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,1
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,04
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0,46 ± 0,04	22,73 ± 3,43

- Lufting av 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.

**Temperatur** i RAS som ligger inne i isolerte bygninger kan være over 5°C høyere enn temperaturen i råvannet (figur 2.4-1; [59]). Dette er på grunn av den varmen som frigjøres gjennom fiskens metabolisme, bakteriell aktivitet i biofilter og varme fra friksjonen i pumper og rør [60].

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

- Det er en økt risiko for rygggradsdeformiteter i ferskvann ved temperaturer over 12°C [61]. 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 [60].
- 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 [30,58].



**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 [59] (gjengitt med tillatelse fra J. Kolarevic).

**Total ammonium-nitrogen (TAN)/ikke-ionisert ammoniakk (NH<sub>3</sub>).** Uionisert ammoniakk er det viktigste nitrogenholdige avfallsproduktet fra laksefisk, og det er giftig. Det skiller ut over gjellene til det omgivende vannet hvor det bindes til et proton og danner ammonium ion (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), eller det forekommer i en ionisert form som er mindre toksisk. Enhver opphopning av NH<sub>3</sub> i det omgivende vannet vil øke partialtrykket for NH<sub>3</sub> og dermed medføre reduksjon i diffusjonsraten av NH<sub>3</sub> over gjellene og føre til opphopning av NH<sub>3</sub> i blodplasma hos fisken.

- I vann foreligger total ammoniakk som summen av NH<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-former, hvor likevekten mellom dem varierer med pH, temperatur og saltholdighet. Ammoniakk bør holdes ved ønsket lave konsentrasjoner i riktig utformet RAS; hvor systemet drives ved en pH verdi, temperatur og saltholdighet som fremmer optimal nitrifikasjon i biofiltrene og hydrauliske retensjonstider i karene tillater fjerning av metabolitter.
- Hvis disse betingelsene ikke er oppfylt, kan laks i RAS bli utsatt for akutt ammoniakkgiftning, noe som kan føre til reduksjon i appetitt, redusert svømmekapasitet, økt pustefrekvens, uberegnelige og raske svømmebevegelser, kramper, tap av likevekt og dødelighet [20]. I tillegg kan perioder med kronisk ammoniakk-eksponering også forekomme, noe som fører til økt metabolisme, redusert vekst, sykdomsresistens og kjønnsmodning [20].
- Atlantisk laks har evne til å tilpasse seg stabilt kronisk høye nivåer av ammoniakk uten langvarig negativ effekt på ytelse og velferd [62]. 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 [20].

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 [63]. 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 [63,64]. Tilsetning av klorid til ferskvann kan beskytte mot skadelige virkninger av nitritt-toksisitet. Nitritt er derfor mindre toksisk i sjøvann ettersom Cl<sup>-</sup> konsentrasjonen 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 [65].

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 [60]. 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 resirkuleringssystemene 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 hope seg opp i produksjonsvannet og ha negativ innvirkning på fiskens ytelse og velferd. Aktiv fjerning av CO<sub>2</sub> via gassutveksling må være en del av vannbehandlingsprosessen i RAS. Den maksimale CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner for yngel og postsmolt i RAS er fortsatt ukjent. I RAS kan CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i vann påvirkes ved tilsetning av sterke baser, som ikke inneholder karbon (for eksempel lut (NaOH)) eller baser som inneholder karbon (f.eks NaHCO<sub>3</sub>) [34]. Tilsetning av baser resulterer ikke i 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>.

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

**pH** i RAS må reguleres for å ta hensyn til nitrifikasjonsprosessen i biofilter som medfører forsurening 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 [60]. Anbefalt pH i innløpet er i henhold til Mattilsynet mellom 6,2 og 7,8. Imidlertid er dette under pH (7.0 til 9.0) som er nødvendige for optimal nitrifikasjon [34]. Det anbefales å holde pH ved den nedre 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 [34].

**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: Akseptable nivå for turbiditet 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 [34]. 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 [34]. Akseptable TSS konsentrasjoner er ikke blitt definert for RAS [34]. Imidlertid er det blitt fastslått at TSS i RAS bør holdes under 15 mg/L [20]. Det finnes noen eksperimentelle bevis på at mikrofilm og kolloider (små partikler) kan være negativt for postsmolts velferd, helse og ytelse i RAS [66].

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



**Alkaliteten** i råvann er generelt lav i Norge og mye bruk av råvann kan vaske ut tilsatt base i RAS slik at de operative kostnader ved å opprettholde nødvendig alkalitet og pH for optimal nitrifikasjon øker [67]. **Anbefalt alkalitet for produksjon av atlantisk laksesmolt i RAS er rundt 70 mg/L [67].**

**Saltholdigheten** påvirker direkte en rekke andre vannkvalitetsparametere (ammoniakk, oppløst oksygen etc.) så vel som effektiviteten av vannbehandlingen i RAS, for eksempel nitrifikasjon [68,69]. I tillegg avtar CO<sub>2</sub>-fjerningseffektiviteten med økt saltinnhold [70]. Saltholdighet er spesielt viktig i produksjonen av postsmolt for å hindre desmoltifisering og for å gjøre laksen klar for overføring til sjøvann. Ytrestøyl mfl. [71] viste at ved bruk av en saltholdighet på 12 ‰ for produksjon av postsmolt i RAS sammenlignet med 22 og 32 ‰, gav både bedre vannkvalitet, bedre vekst, FCR, overlevelse, hudhelse og rødfarge 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 [30,71]. 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 [30].

**Tetthet** i RAS må bestemmes ut fra systemdesign, maksimal daglig fôringsbelastning og effektiv vannbehandling for å oppnå optimale vekstbetingelser og velferd. For parr i RAS bør tettheten holdes under 100 kg/m<sup>3</sup>, spesielt hvis høyere temperaturer (> 13°C) blir brukt [30]. For postsmolt 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 [72].

**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 maksimal 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 [10,34]. Det anbefales å holde dag-til-dag variasjonen i fôrbelastningen forholdsvis konstant, selv under 10-15% kan kortvarige variasjoner i utfôringen påvirke biofilterets rens evne [10,73]. Dette medfører risiko for økte nitritt konsentrasjoner. Dette kan være en utfordring ettersom fisken bør føres etter appetitt for å øke sjansen for at all fisk får tilgang til mat ved hvert måltid, og det er kjent at dag til dag variasjonen i appetitt kan variere betydelig mer enn 15% [74].

**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,  $O_2$ :  $N_2$  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 [75]. 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 svømmeatferd, 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, laborieutstyr 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,  $NO_2$ -N eller  $NO_3$ ,  $NH_4^+$ -N eller  $NH_4^+$ ,  $NH_3$ -N eller  $NH_3$ ).
- Måle og holde kontroll på biofilteret sin nitrifiseringseffektivitet.
- 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

**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.

**Sykdom/helsestatus.** OVI og laboratoriebaserte 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 karkanten 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.

**Avmagrede fisk** nær overflaten isolerer seg selv fra stimen. Slik fisk assosieres ofte med sykdom og er vanligvis døende. Disse fiskene kan oppleve dårlig velferd i lang tid før de dør, og de kan også være en vektor for overføring av sykdommer til resten av bestanden [19]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig. Forekomsten av døende eller avmagrede fisk bør overvåkes [19], 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.

**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 fôropptak i RAS er viktig for å optimalisere fôringen i systemet.

**Veksten** kan påvirkes av flere faktorer, som appetitt, næringsinnholdet i fôr, sykdommer, sosial interaksjon, vannkvalitet og stress [36,76,77,78]. 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 [57].

**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 nåtidsovervåking av laksenes svømmeaktivitet i RAS [50]. 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, ryggraddeformiteter og munn- og kjeveskader.

**Grad av avmagring** er relevant for deler av fersk- og sjøvannsproduksjonen. Fisk med redusert vekst og som kan være døende 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.

**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).

**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.

**Ryggraddeformiteter.** Ryggraddeformiteter kan være forårsaket av underernæring [43] og temperatur [17]. Se Fjelldal mfl. [44] 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 [45]. Det er en klar sammenheng mellom aggresjon og ryggfinneskader hos parr [40]. Hos smolt og postsmolt kan ferske finneskader medføre at fisken utsettes for osmoregulatoriske problemer [46].

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.

**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.

**Fôr i tarm.** Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager, men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Kontroll av fôrrester i mage og tarm ved obduksjon kan brukes til å evaluere fôrinntak (indirekte appetitt).

**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 CO<sub>2</sub> [47], 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 CO<sub>2</sub> > 30 mg/L i 47 dager ikke viste noen tegn på nefrokalsinose [31]. 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 mg/L) av oppløst CO<sub>2</sub>, ved kommersiell produksjon.

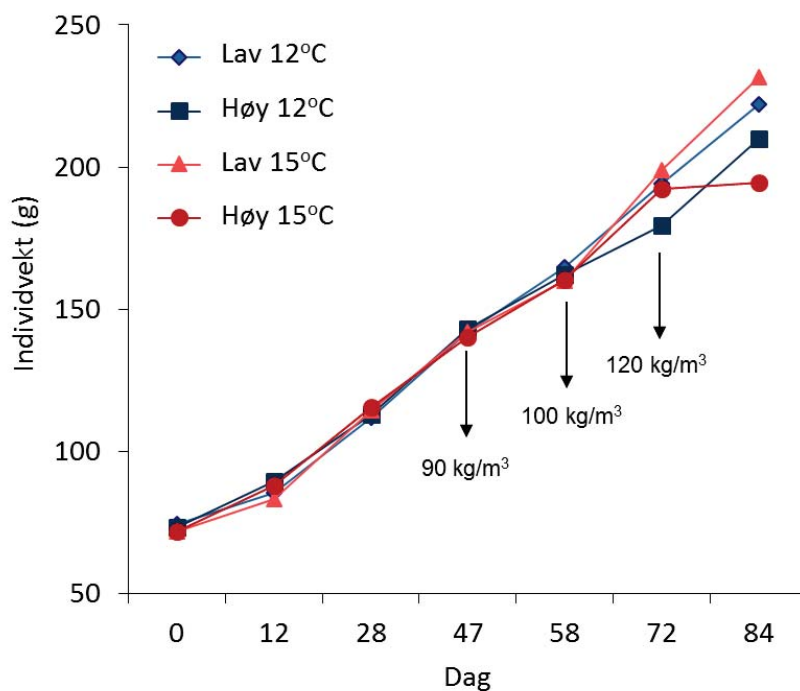
**Laktat** øker med anaerob muskelaktivitet og bør holdes under 6 mmol/L [48]. Dette måles lett med håndholdt apparat, men prøvene bør tas omtrent én time etter muskelaktivitet (f.eks. ved håndtering).

Laks kan kjønnsmodne i ferskvann før smoltifisering (tidlig kjønnsmodning) eller etter overgangen til sjø. Tidlig kjønnsmodning på parrstadiet oppstår bare hos hanner, hemmer smoltifisering og dermed sjøvannstoleransen og er også assosiert med økt aggresjon. Endringer i aktiviteten av ulike hormoner i forbindelse med reproduksjon, som kjønnsormoner, kortisol og veksthormon, kan påvirke immunforsvaret til den kjønnsmodne fisken. Dette er noe som kan resultere i økt sykdomsmottakelighet og en generell redusert helsetilstand (Se Del A for referanser). Tidlig kjønnsmodning kan være en utfordring for produksjon i RAS



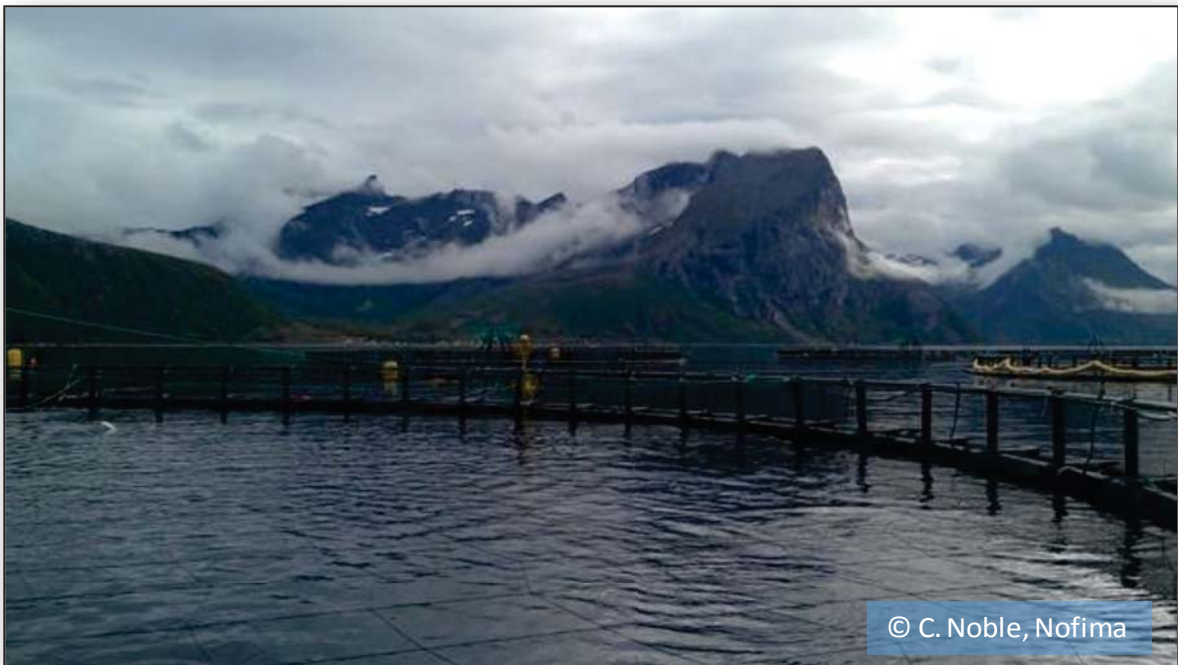
## 2.7 Vurdering av velferd. Scenario: Produksjon av parr i høy tetthet og temperatur i RAS-system med ferskvann

I dette scenariet ble store lakseparr (~ 80 g) satt i RAS kar ved 30 og 60 kg/m<sup>3</sup>, 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 vektutvikling inntil gruppen med høy tetthet nådde 100 kg/m<sup>3</sup>. Etter dette begynte de første tegnene på redusert vekst å fremtre (figur 2.7-1). I det tettheten nådde 120 kg/m<sup>3</sup> i gruppen som ble holdt ved 15°C, så stoppet fôrinntaket helt opp og endringer i atferden ble observert. Fisken svømte urolig ved 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 adferd 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 grupper. 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 [30].



**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 kg/m<sup>3</sup> over tid. Tettheten av grupper med høy tetthet er angitt i diagrammet fra 90 til 120 kg/m<sup>3</sup>. Gjengitt med tillatelse fra J. Kolarevic [30].

### 3 Merder i sjø



© C. Noble, Nofima

### 3.1 Oppdrett av laks i merd

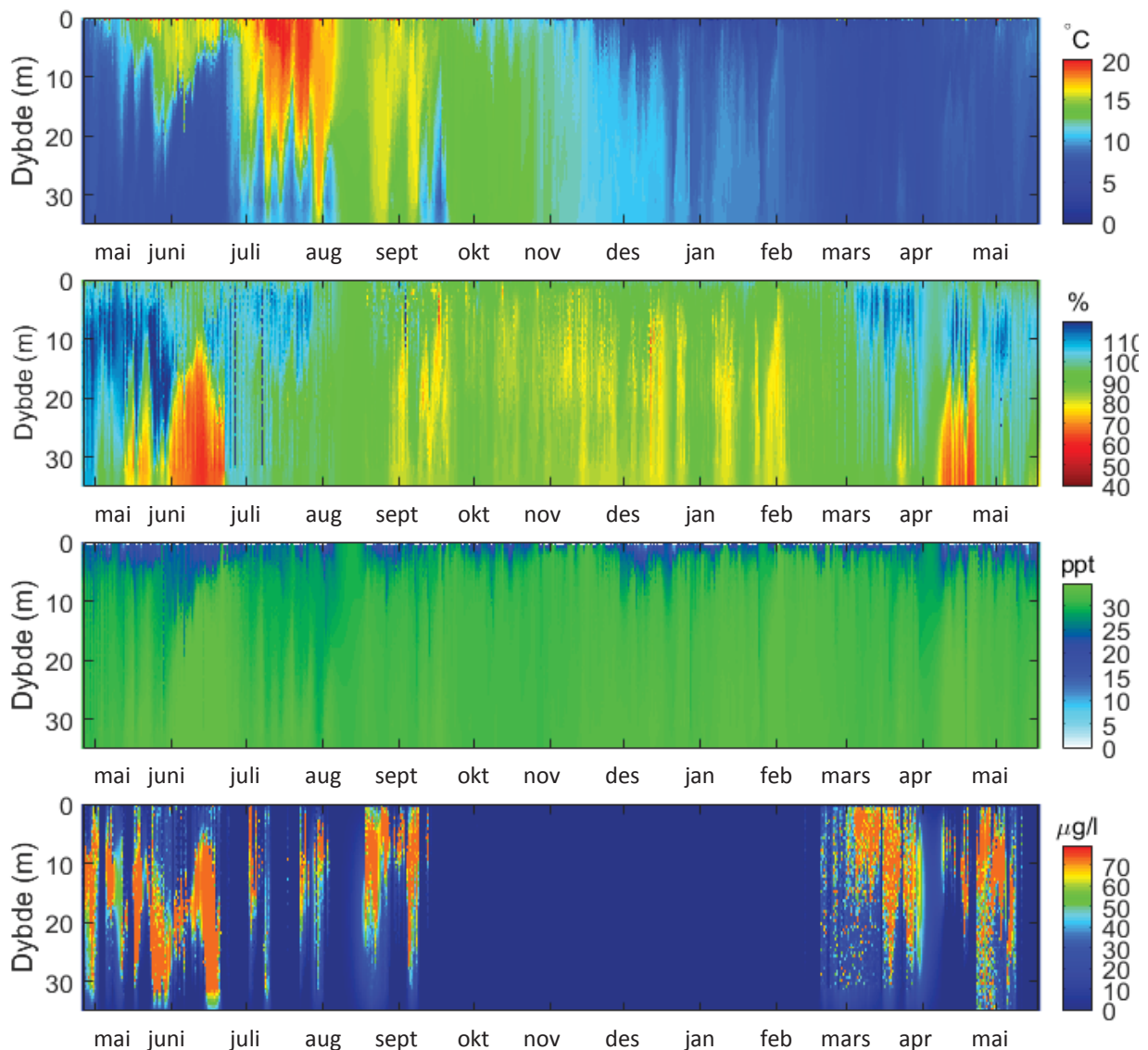
Å produsere laks og ørret i sjømerder har vært en stor suksess, både når det gjelder produksjon og lønnsomhet. Hvert år blir det høstet mer enn 1.2 millioner tonn, eller 250 millioner oppdrettslaks og ørret, fra norske oppdrettsanlegg [79]. Dette utgjør en verdi på mer enn 40 milliarder kroner. Lignende 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 fôrpakler 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 [28]. 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

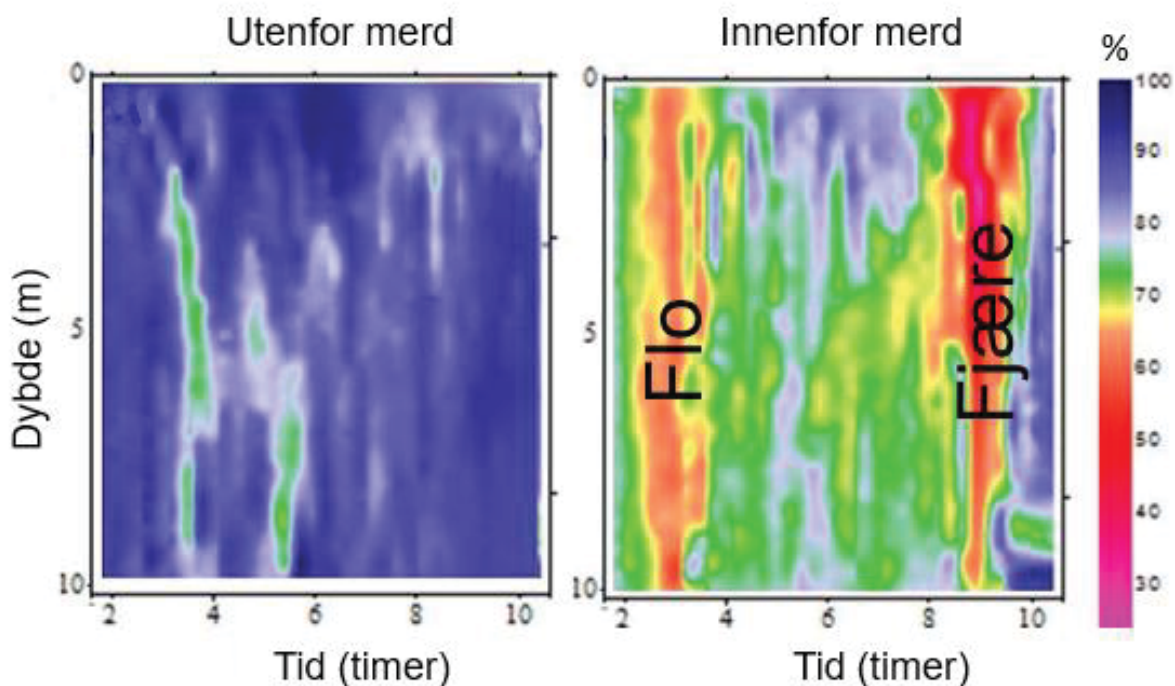
**Utfordringer i vannmiljøet:** Smolt blir vanligvis transportert til merder i brønnbåter, og satt ut gjennom rør inn i merdene. Her må de mestre helt nye omgivelser og utfordringer, og de første ukene etter overføring er ofte forbundet med økt dødelighet [80]. Spesielt gjelder dette hvis fisken blir smittet med sykdom, har gjennomgått en «hard transport» [81], 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 [82], 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 [83]. 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 [80]. 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 plantep plankton (målt som fluorescens) 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 Fraffjord- Ewos Innovation). Figur Lars H. Stien, ikke publisert, gjengitt med tillatelse.



**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 [84].

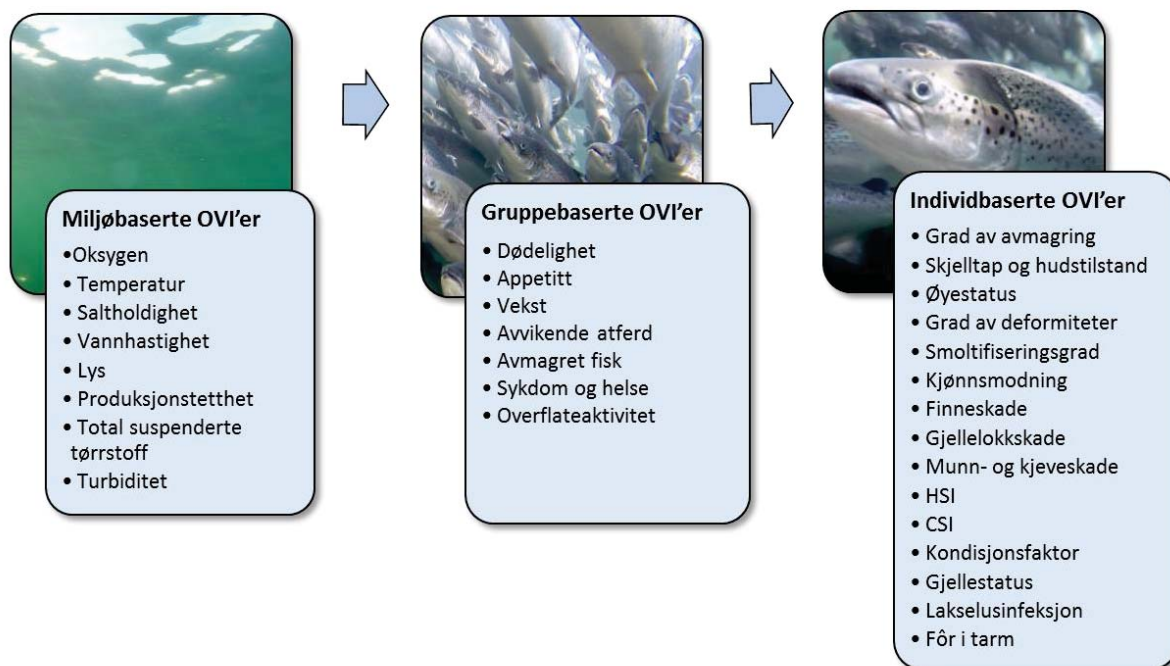
**Farlig miljø:** Oppdrett i et naturlig miljø gjør laksen sårbar for rovdyr som sel, fugler og større villfisk. I tilfelle av sterke strømmer og utilstrekkelig vekting av nettet, kan nettet bli deformert, noe som vil medføre redusert nettvolum og at det kan oppstå lommer hvor fisken kan bli fanget og 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 [85]. 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 [28]. Gitt et valg vil laks oppsøke temperaturer rundt 17°C, og aktivt å unngå temperaturer høyere enn 18°C og under 12°C [14,86]. 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 [87], men laks kan tilpasse seg temperaturer fra 0 til 23°C, forutsatt at oksygenivået er tilstrekkelig høyt og at det er en gradvis overgang i temperatur [88]. Både høye og lave temperaturer er imidlertid forbundet med høyere risiko for sykdomsutbrudd, og forlenget sårhelings tid [85,89].

**Oksygen** 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) [23]. 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 [19]. Ved å ta i bruk en restriktiv tilnærming foreslo Stien mfl. [19], 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%

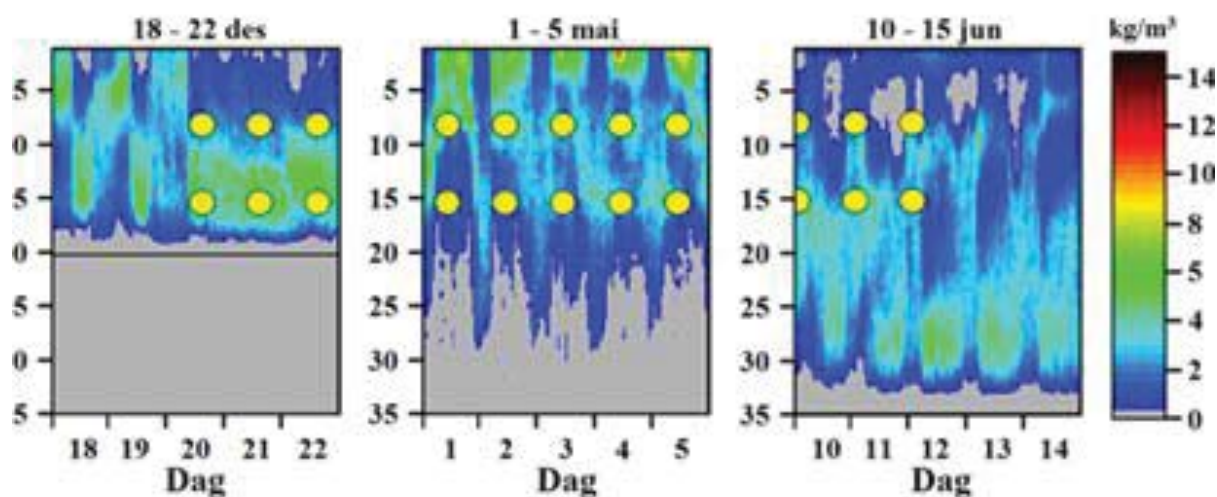
**Tabell 3.4-1.** Nedre grense for oksygenmetning med maksimalt fôrinntak ( $DO_{maxFI}$ ) og begrensende oksygenmetning (LOS) for atlantisk postsmolt på 300-500 g [23].

**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 [14,86,90], med mindre skader på huden og sykdom svekker deres osmoregulatoriske-evner [91,92]. 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 [93] og unngå lakselus [94].

**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 [82]. 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.

**Vannhastigheten** 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 [95]. 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 [96], men ytelsen kan bli negativt påvirket allerede ved 1,5 kroppslengder/s [97,98].

**Tetthet** 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 [99], men hva som er optimal tetthet er avhengig av en rekke variabler, inkludert livsstadium, vannkvalitet, strømhastighet, fôrtilgang, fôrregime, oppdrettssystem, oppdrettsrutiner og -praksiser [100]. Men produksjonstettheter under 25 kg/m<sup>3</sup> antas å ikke påvirke fisken sin velferd (gjennomgått i [19]). 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 [28]. De gule sirklene indikerer posisjonen av lys. I den første perioden er det foretrukne vannmiljø 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. Gjengitt fra "Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011) Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture* 311, 1–18. Copyright 2011." med tillatelse fra Elsevier.

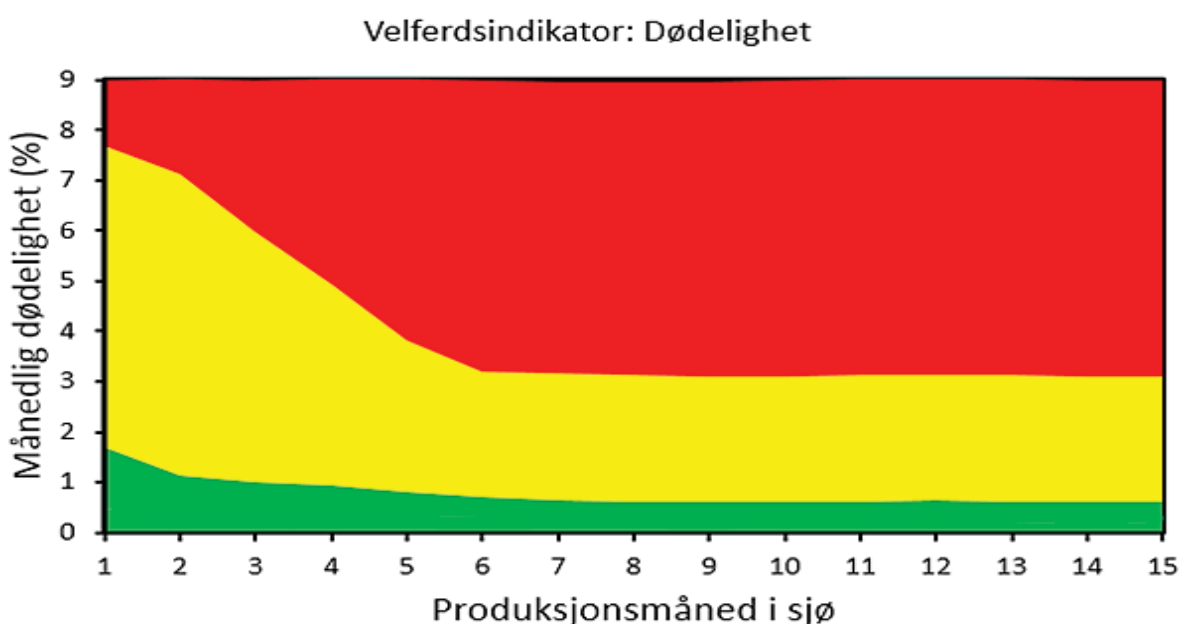
**Belysning.** Lysforhold i en merd varierer med dybde, tid på dagen, vær og årstid. Laks stimer typisk hurtig rundt og rundt om dagen [28]. I skumringen reduseres svømmehastigheten og stimen stiger mot overflaten som en respons på det avtagende naturlige lyset, før stimen tilslutt oppløser seg når lysnivået har falt til et minimum [28]. Laks har en tendens til å unngå sterkt overflatedagslys, men søker overflatelys 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 overflatelys kan dette føre til at de samles med svært høye tettheter nær overflaten [101]. Ved bruk av undervannslis 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 [19]. 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 [102].

### 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 [81,103,104]. 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.



**Figur 3.5-1.** Standard dødelighetskurve for de første 15 måneder etter sjø utsett [80], 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. Lars H. Stien ikke publiserte data

**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 [19]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig. Forekomsten av døende eller avmagrede fisk bør overvåkes [19], 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.



**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.

#### 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 [28].
- 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 [28]. 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 [105]. Selve fôringsatferden er svært avhengig av fôrregime. Studier [106,107] 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 appetittatferd i forbindelse med foringstid [108]. Forutseende fôringsatferd kan læres og utløses via utilsiktede signaler som bråk forårsaket av fôringssystemet eller personalet.

**Appetitt** eller en fisk sin tilbøyelighet eller vilje til å spise [19,109], er en robust, passiv OVI for merder. Dette kan være et tidlig varsel-signal på potensielle problemer for velferden [77]. Blant en rekke faktorer, kan appetitt undertrykkes ved i) overføring til sjøvann [110,111], ii) dårlig vannkvalitet og miljøbetingelser [112], iii) oppdrettsrutiner [113] og iv) etter utbrudd av en infeksjon eller sykdom [114]. 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 spisemønstre, 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 (strømshastighet - om dette er tilgjengelig).

**Vekst** kan være dårlig eller varierende, men selv om man i korte perioder kan hå på dårlig vekst under «normalt», så vil dette variere fra lokalitet til lokalitet og brukes som en OVI [77]. Kvaliteten på vekst som OVI, er imidlertid avhengig av robuste og jevnlig veiinger 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 fôringsregime hos postsmolt i merdanlegg [28,106,107]. 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 [115]. 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 mfl. [116] 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 [117; (NB: Oppdatert versjon av forskriften forventes i løpet av 2018)]. 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) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) rygggraddeformiteter, 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.**

**Gjellestatus** til fisken kan forringes pga. bakterielle infeksjoner, parasitter, virus, sopp eller dårlig vannkvalitet. Nedsatt gjellestatus og dermed evne til å ta opp oksygen fra vannet gjør fisken mer følsom overfor stress og fisken kan i verste fall dø på grunn av kvelning. Manuell skåring av slim og hvite flekker på gjellene benyttes blant annet til å overvåke amøbisk gjellesykdom (AGD).

**Lakselus** irriterer fisken og store antall pre-adult og adulte lus kan føre til sår og alvorlige inflammatoriske reaksjoner. Mindre enn 0,05 lus per hud cm<sup>2</sup> anses som relativt lite skadelig, ved høyere nivåer vill lusen gradvis påvirke fisken mer og mer, og ved nivåer over 0,12 lus per cm<sup>2</sup> anses tettheten av lus på fisken som potensielt dødelig [19].

**Smoltifiseringsgrad** er svært viktig ved sjøutsett. Fisk som ikke er, eller som er ufullstendig, smoltifisert vil få problemer med osmoreguleringen, hemmet vekst, og i verste fall dø. Mye av den forøkte dødeligheten som noen ganger observeres de første ukene etter utsett tilskrives at deler av populasjonen ikke har vært fullstendig smoltifisert.

**Fôr i tarm.** Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager, men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Kontroll av fôrrester i mage og tarm ved obduksjon kan brukes til å evaluere fôrintak (indirekte appetitt).

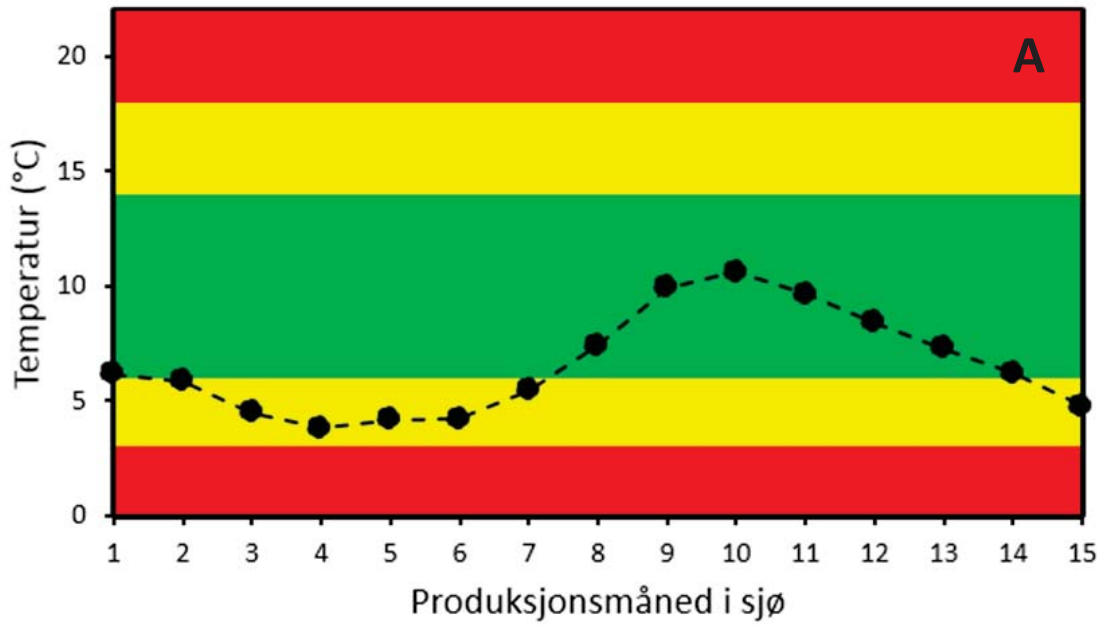
**Kjønnsmodning** hos laks i sjø kan skje hos hanner rett etter sjøutsett, men skjer hovedsakelig hos etter ca. 1,5 år. Hunnene modner senere og der er normalt ikke et stort problem med modnende hunner i oppdrett. Under modning benytter laksen store deler av energireservene sine til å bygge opp gonader og forberede vandringen tilbake til elvene. Dette inkluderer tilpassing til ferskvann og endret osmoregulatorisk kapasitet. Modne og modnende individer i sjømerder har derfor generelt lavere motstandskraft og kan være mer utsatt for sykdom. Kjønnsmodne individer kan identifiseres basert på at hunnene blir mer gråaktig i fargen og at hannene blir mer rustrøde og utvikler en karakteristisk krokformet underkjeve. Andre mer usikre tegn inkluderer endring i adferd som aggresjon og at de ofte står høyt i vannet mot strømmretningen.

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

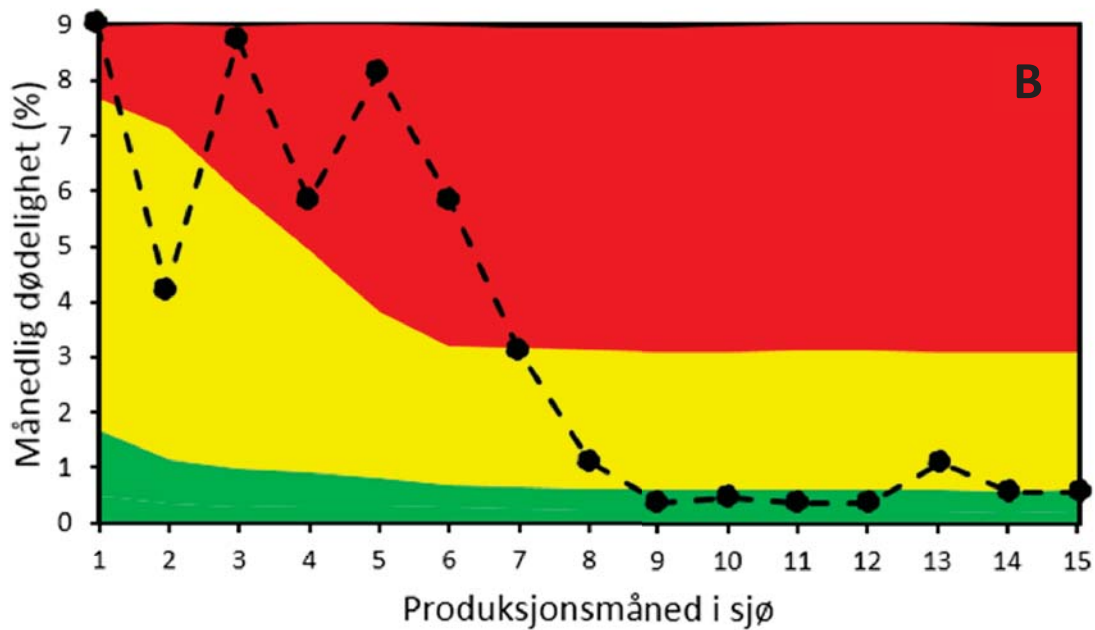
I dette eksempelet startet fisken med en 6-måneders periode med svært høy dødelighet, etterfulgt av god velferdsperiode før slakt. Fisken hadde en gjennomsnittlig vekt på 100 g idet de ble overført til sjøen i november. Den forhøyede dødeligheten den første måneden etter utsett ble forklart med dårlig 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) 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.

### Velferdsindikator: Temperatur



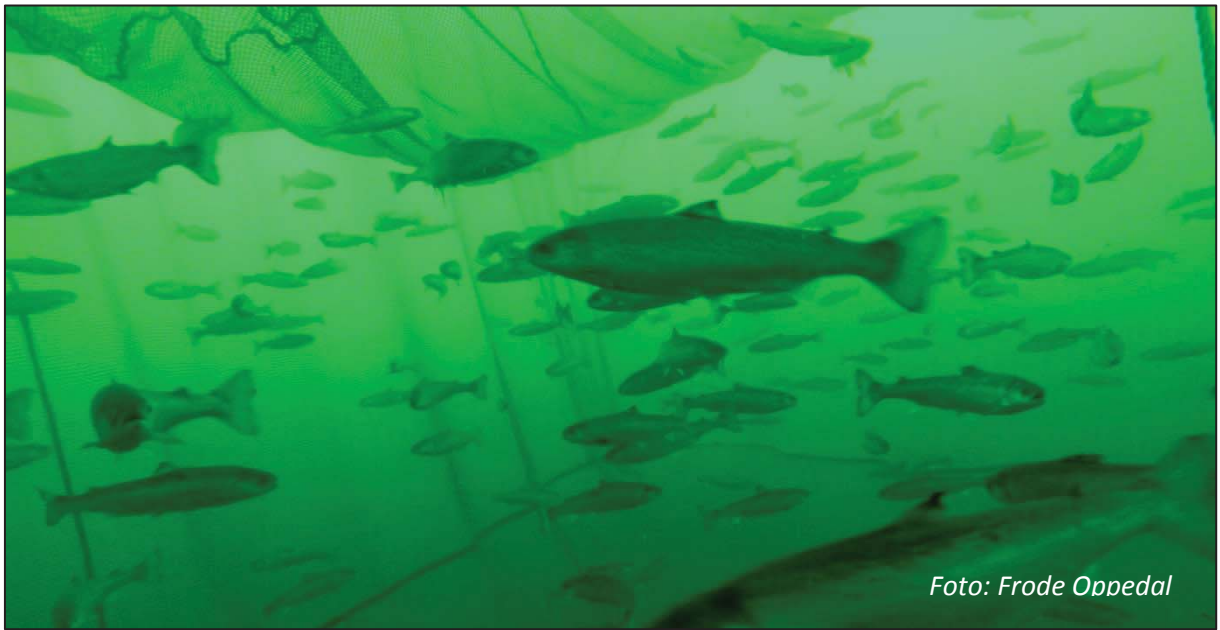
### Velferdsindikator: Dødelighet



**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 velferdsindikatorerne. Lars H. Stien ikke publiserte data



## 4 Nedsenkede sjømerder



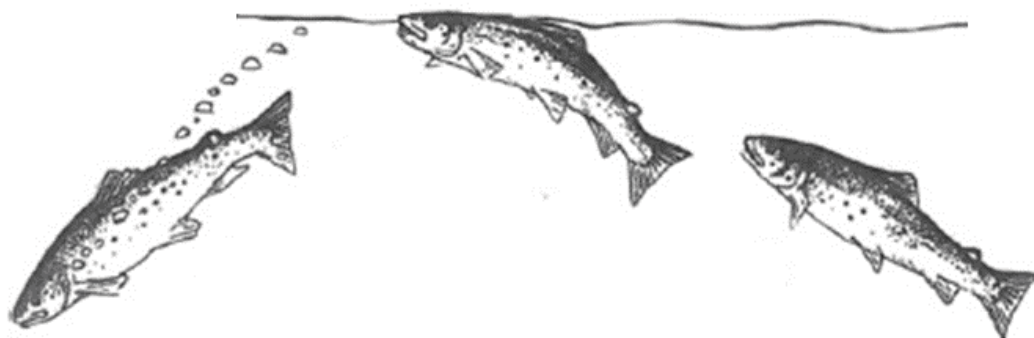
*Foto: Frode Obpedal*

## 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

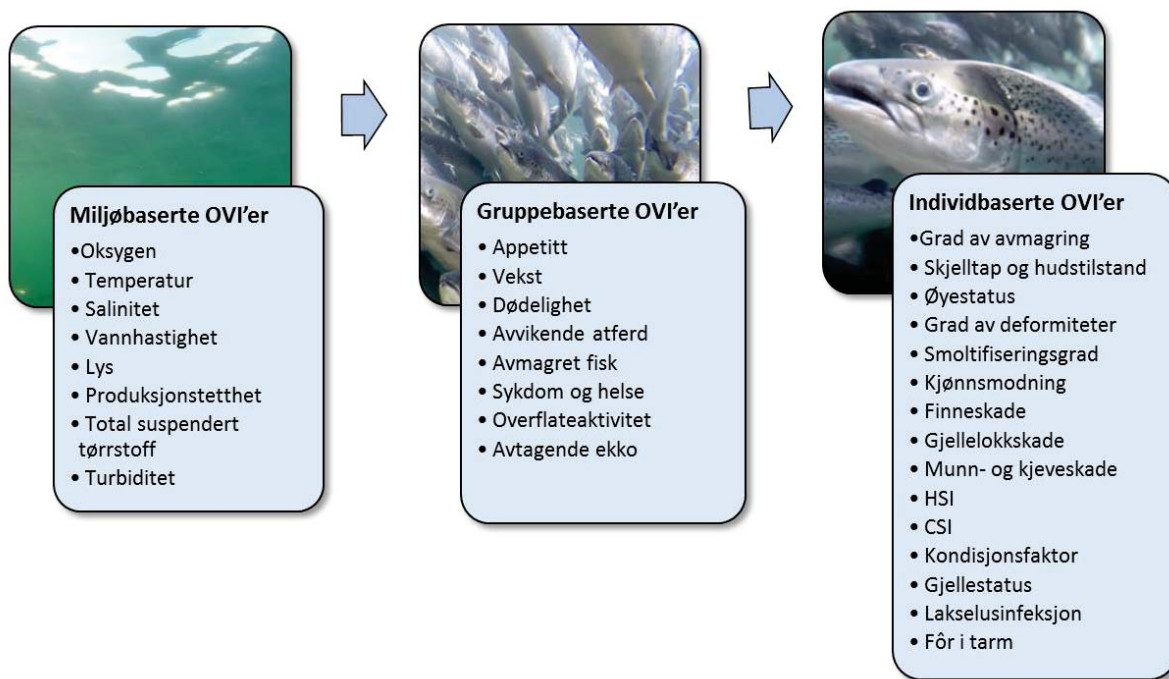
Oppdrett i nedsenkede merder bidrar til ytterligere velferdsutfordringer i forhold til standard merder, særlig for laksefisker som har en fysostom svømmeblære og må gå til overflaten for å svelge luft for å fylle svømmeblæren og opprettholde oppdrift i dypet [118] (figur 4.2- 1). Typiske tegn på tom svømmeblære hos neddykket laks omfatter skråstilt posisjon med «hale ned og hode opp»-svømming, utmattede fisk og nedsatt appetitt [119,120,121]. 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 nattsinking kan ha skadelige effekter på laks som tap av appetitt, redusert vekst, økt grad av ryggdeformiteter og finneslitasje [122].



**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 [122].

**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 [122].

**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 [123].

**Økt svømmehastighet** er en vanlig reaksjon for å kompensere for tap av oppdrift på grunn av manglende luft i svømmeblæren [122].

## 4.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

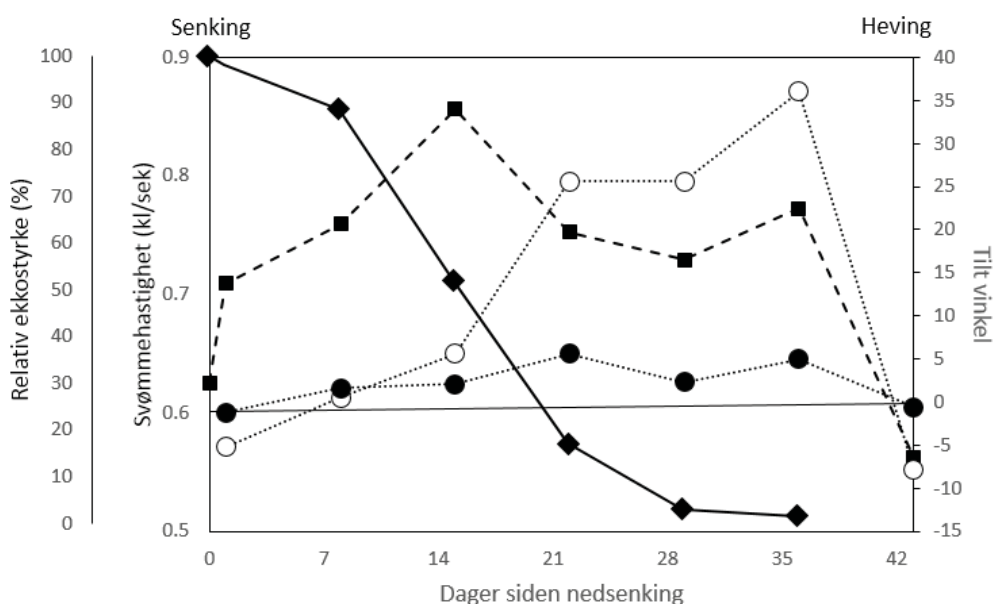
De individbaserte OVI'er for overflatemerder kan også anvendes for nedsenkbare merder, med spesiell oppmerksomhet på ryggdeformitet, snutesår og finneslitasje

Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyblødninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) rygggraddeformiteter, ix) overkjeve misdannelser, x) nedre kjeve misdannelse, xi) lakselusinfeksjon, xii) aktive og helbredete finneskader, xiii) katarakter og xiv) Spielberg 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

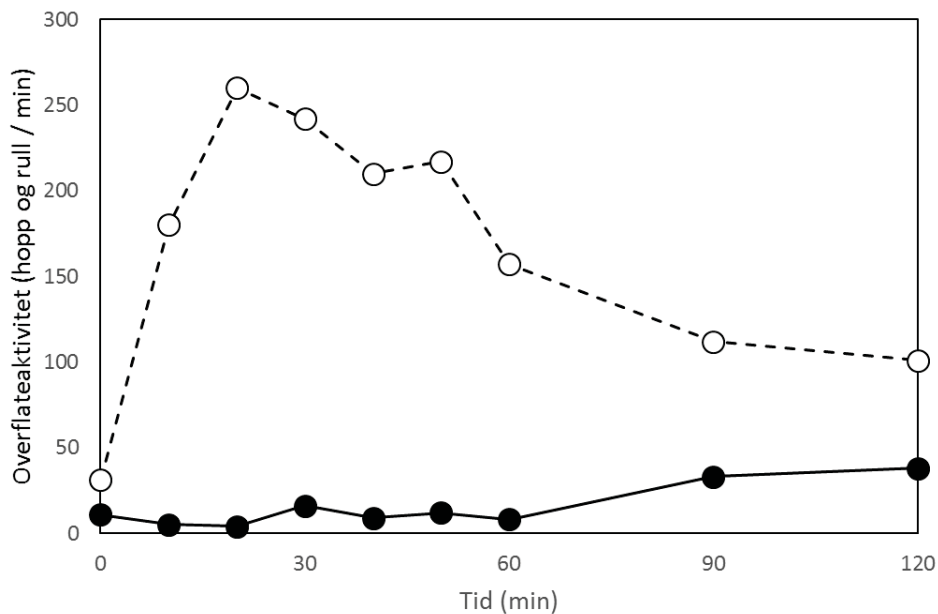
I dette forsøket ble fisken senket i seks uker før buret ble løftet opp og laksen igjen fikk adgang til overflaten [122]. Den første umiddelbare reaksjon etter nedsenkning var at fisken begynte å svømme raskere (figur 4.7-1). Dette kan antagelig forklares med at fisken måtte opprettholde oppdrift ved 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), figur basert på data fra [122]. 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 fylte 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). Lars H. Stien ikke publiserte data



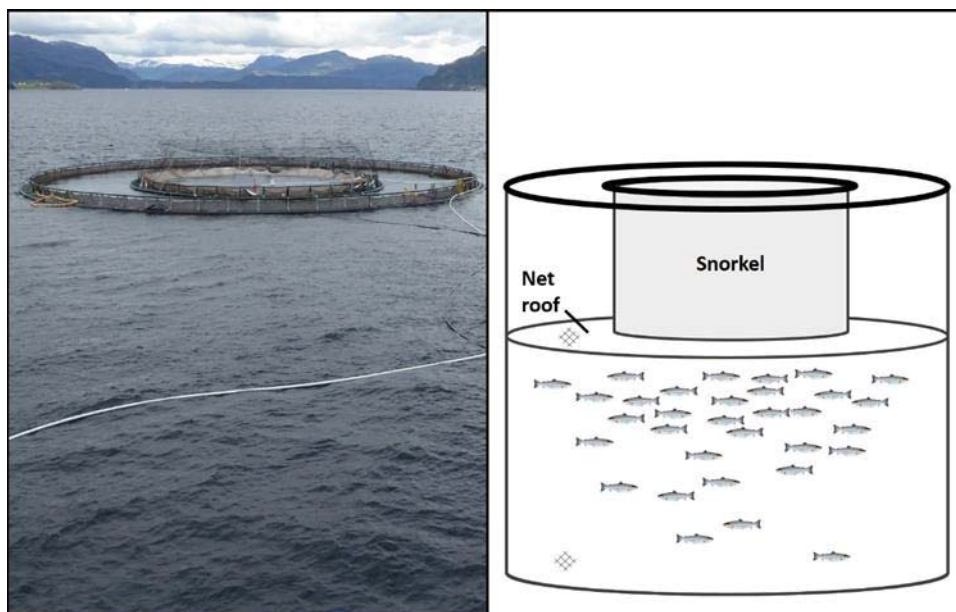
## 5 Snorkelmerd



*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.

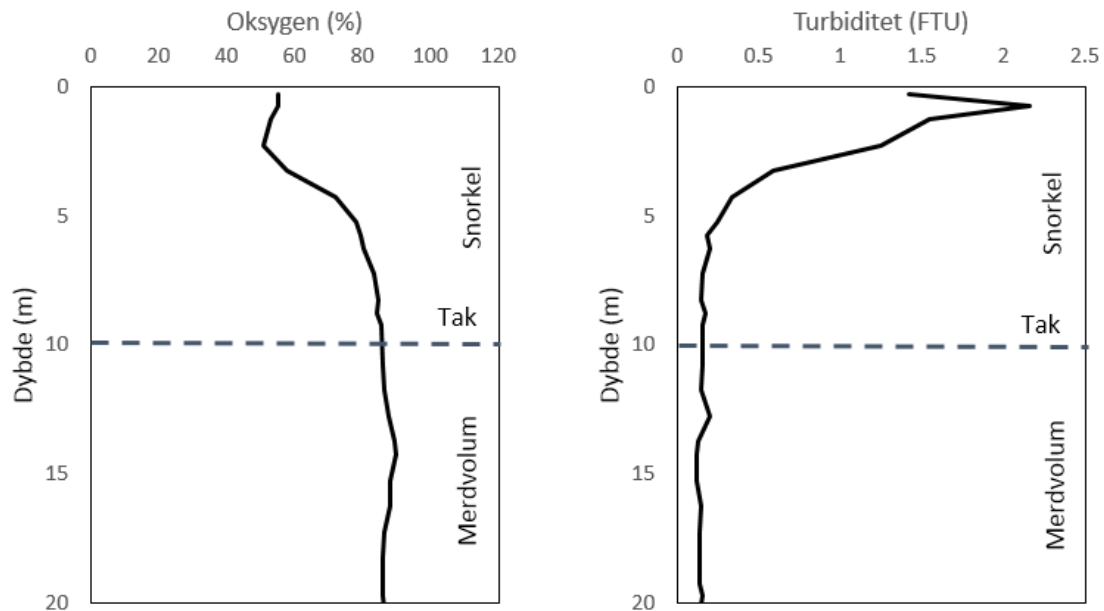


**Figur 5.1-1.** Bilde (venstre) og tegning (til høyre) viser snorkelmerd i kommersiell skala. Hensikten med snorkelmerder er å hindre laks i komme i kontakt med overflatevann, men fortsatt gi dem overflateadgang via «snorkelen» slik at de kan fylle svømmeblæren og regulere oppdriften sin i dypet [124]. De kommersielle snorkelmerdene 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. Tilpasset og gjengitt fra "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. Copyright 2017" med tillatelse fra Elsevier.

## 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 [125], 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 [93]. Ved utbrudd av AGD (*Neoparamoeba perurans*) kan det være nødvendig å fjerne snorkelstrukturen for å utføre ferskvanns- eller hydrogenperoksidbadebehandling [126,127,128,129]. 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 [124].

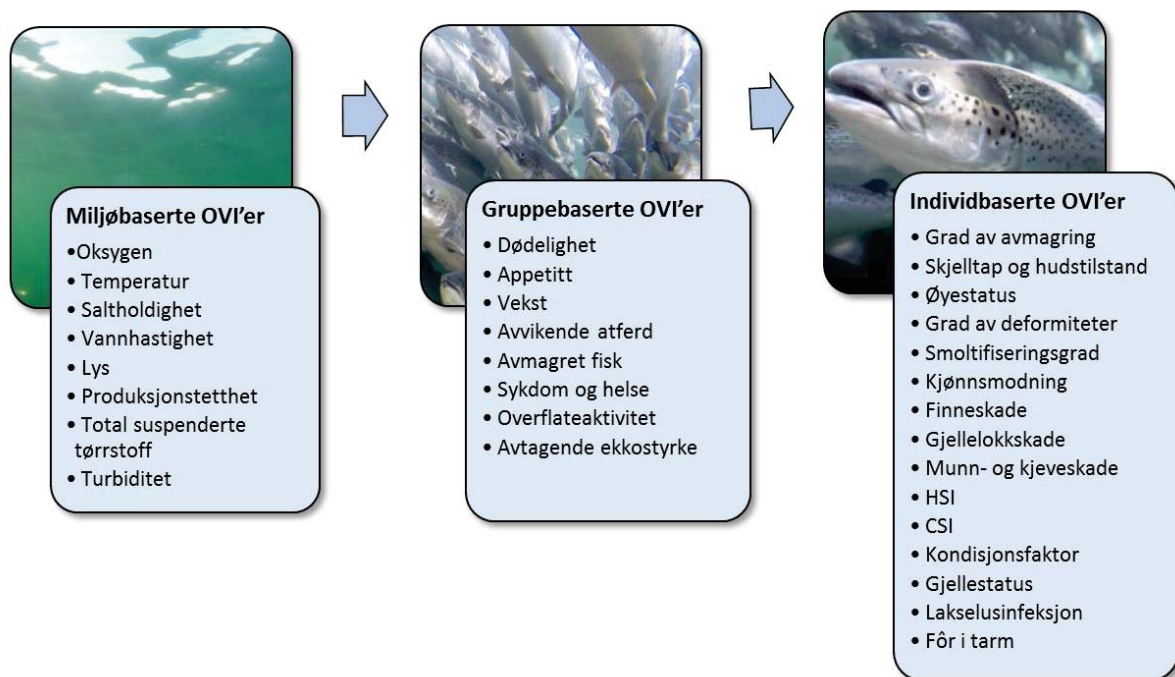


**Figur 5.2-1.** Oksygen og turbiditet målt i en kommersiell 10 m dyp snorkel, og i merden under. Legg merke til nedgangen i oksygen i toppen av snorkelen og økningen i turbiditet. Lars H. Stien ikke publiserte data

I en vår-sommerstudie reduserte snorkelmerder antallet nye lakselusinfeksjoner med 84% [93]. 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 [93].



**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

De individbaserte OVI'er for overflatemerder kan også anvendes for snorkelmerder, med spesiell oppmerksomhet på ryggdeformitet, snutesår, finneslitasje og gjellestatus.

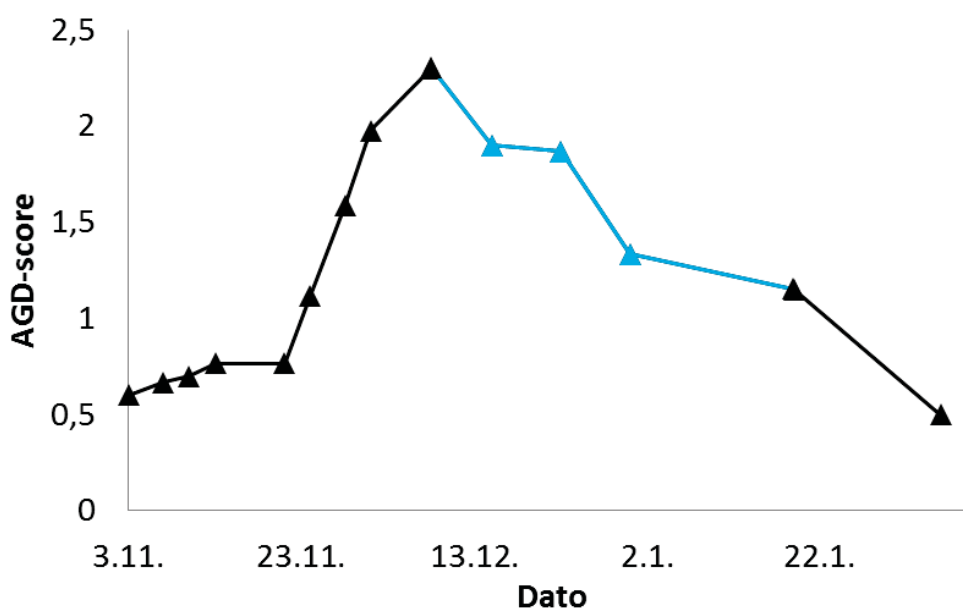
**Gjellebleking og -status.** Fisk i snorkelmerder synes å ha større risiko for AGD enn fisk i standard merder på samme lokalitet [93]. Hvordan snorkelmerder påvirker nivåene av AGD i oppdrettspopulasjoner er imidlertid ukjent.

**Skåreskjema for i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) sår og skader, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) rygggraddeformiteter, ix) overkjevne misdannelser, x) nedrekjevne 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 mfl. [93] 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 [130] 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. Lars H. Stien ikke publiserte data



## 6 Semi-lukkede anlegg (SLA)



*Foto: Jelena Kolarevic, Nofima*

## 6.1 Oppdrett av fisk i semi-lukkede anlegg.

Semi-lukkede anlegg (SLA) i sjøen er produksjonssystemer som gir en tett eller relativt tett fysisk barriere mellom vannmiljøet der fisken oppholder seg og omgivelsene [131]. Bruk av SLA kan være en løsning på en rekke utfordringer som laksindustrien står overfor i dag [132]. 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 [133]. Nilsen mfl. [134] dokumenterte at oppdrett av laks i SLA gir en effektiv beskyttelse mot lusinfeksjoner, 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 [132,133].

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 [135].
- 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 [135].
- Periodisk forekomst av patogener i sjøen på grunn av eksempelvis bakteriell- eller algeoppblomstring, kan også påvirke helse og velferd på post-smolt i SLA.

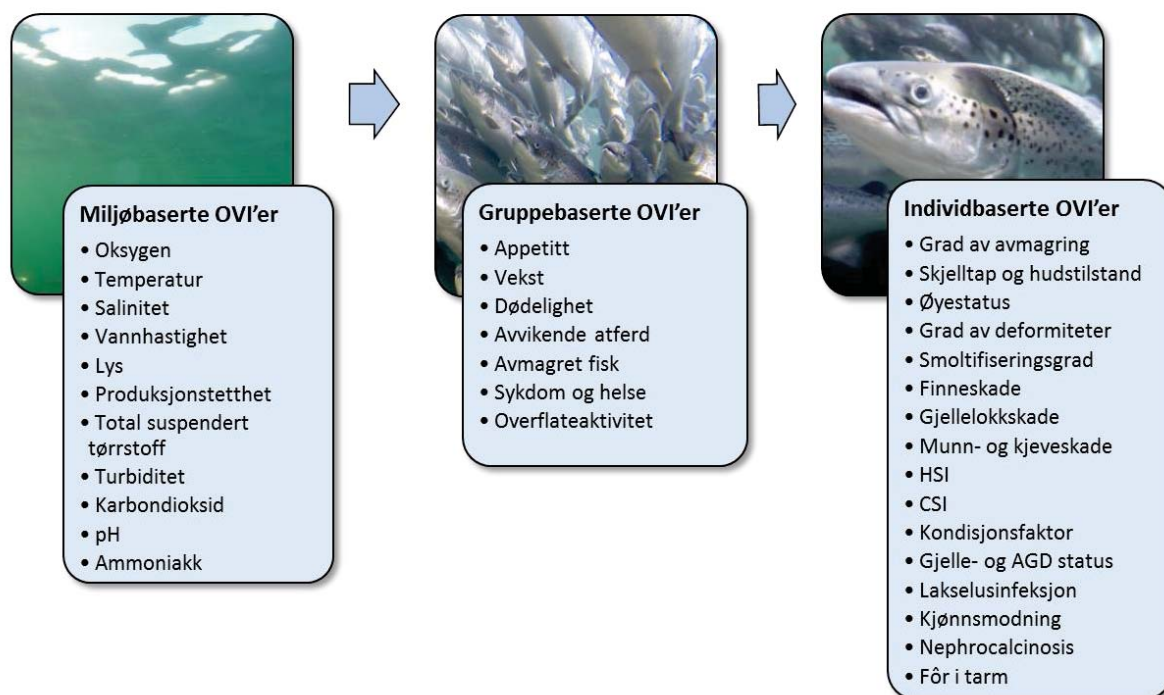


**Figur 6.1-1.** Ulike typer delvis lukkede anlegg: A) «Salmon Home #1» betongmerd (foto: Jelena Kolarevic, Nofima); B) Neptun (foto: Jelena Kolarevic); C) Preline (foto: Lerøy); D) AgriMarine (foto: Per Gunnar Kvenset); E) FlexiBag (foto: Nekton havbruk AS); F) AquaDesign (foto: AquaDesign AS). Foto C) gjengitt med tillatelse fra Klemet Steen, Lerøy, D) og E) gjengitt med tillatelse fra Maria Sørøy, Smøla Klekkeri og Settefiskanlegg AS og F) gjengitt med tillatelse fra Anders Næss, 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 [136].

**Karbondioksid** kan akkumuleres i SLA hvis vannstrømningshastigheten i systemet er utilstrekkelig eller hvis biologisk belastning til systemet ikke støttes av systemdesign og dimensjonering [136]; CO<sub>2</sub> konsentrasjoner over 15 mg / L kan forårsake nefrokalsinose [136]; (Fig.6.4-1). Foreslått CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er <8-10 mg/L [136].

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 [136]; Foreslått pH er > 7,2-7,4 [136].



*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 [136].

**Saltholdigheten** i SLA 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 [137], 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 [138], forbedre hjertehelsen og immunresponsen [139,140]. Spesifikk vannutskiftning (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> [20]; Tilstrekkelig vannhastighet er også viktig for fjerning av metabolitter og partikler.

**Tetthet** i SLA må være større enn 25 kg/m<sup>3</sup> for å gjøre denne teknologien kostnadseffektiv [141]. 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 [32]. 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.

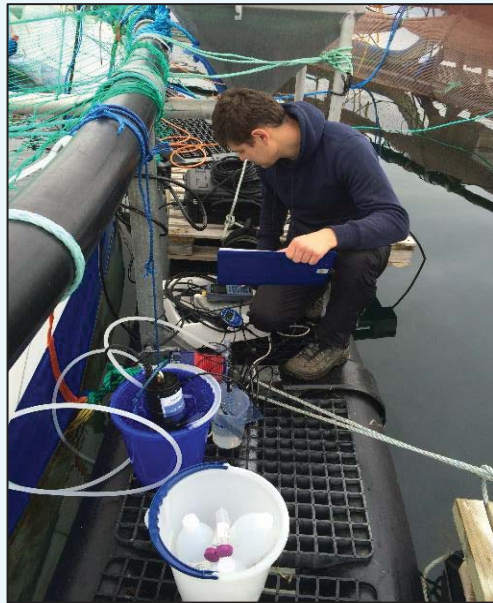
**Belysning** for maksimal vekst av SLA er ukjent.



**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 fôrbelastningen 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

De samme gruppebaserte OVI'ene som gjelder for vanlige sjømerder, kan brukes til SLA. 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 [138]. Man bør merke seg at atferden i sirkulære SLA kan være forskjellig fra Preline.

## 6.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

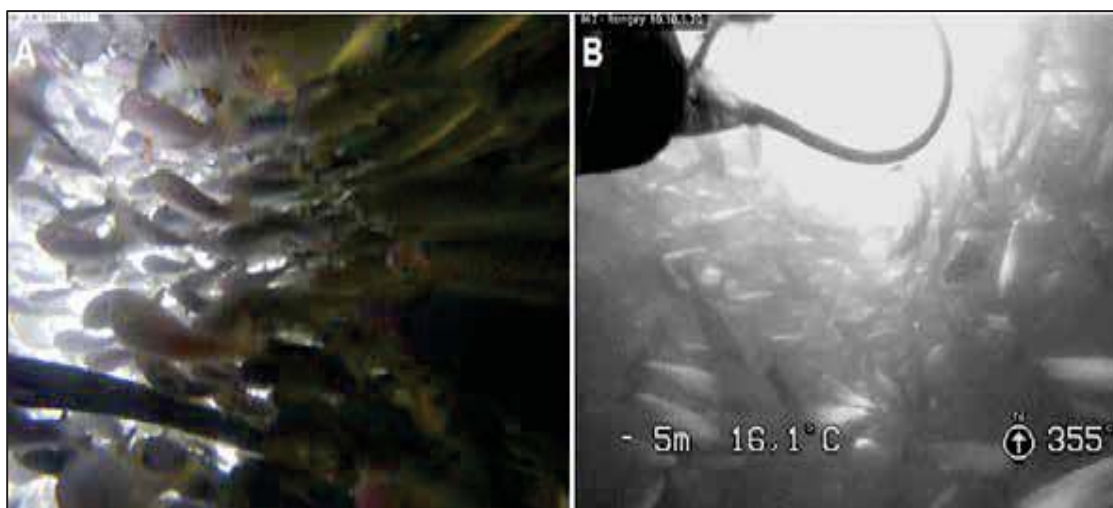
De samme individbaserte OVI'ene som gjelder for vanlige sjømerder, kan brukes til SLA. I tillegg har studie på kommersielle SLA vist at nefrokalsinose (Figur 6.4.1) er individbasert OVI som er viktig å overvåke i SLA [136].

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) øyebledninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) rygggraddeformiteter, 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.**

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



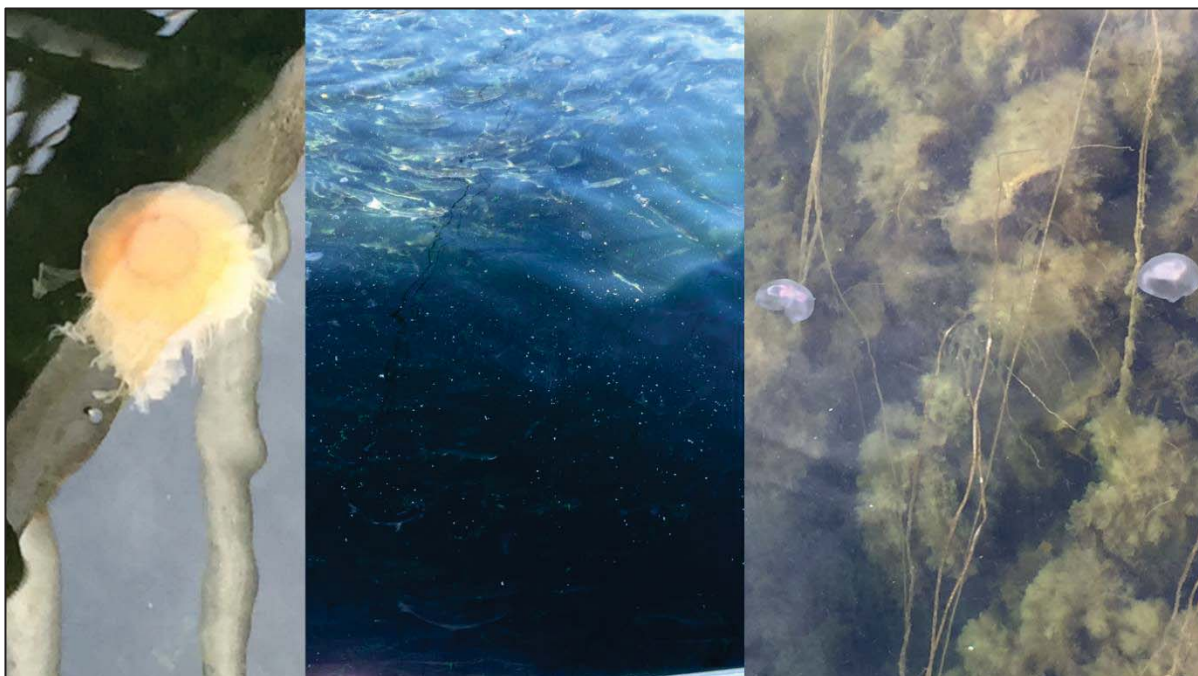
**Figur 6.5-1** Fra [138]: Undervannsfoto fra videoopptak som viser generelt svømmemønster i semilukkede anlegg «Preline» (A) og regulære åpne sjømerder (B). Gjengitt med tillatelse fra Å. Espmark

## 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 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. Oksygennivået 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 filtrene 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 pumpeinntaksfiltrene ble gjort med jevne mellomrom, så lenge det var maneter tilstede i sjøvannet rundt SLA og i selve systemet (Figur 6.7-1).



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

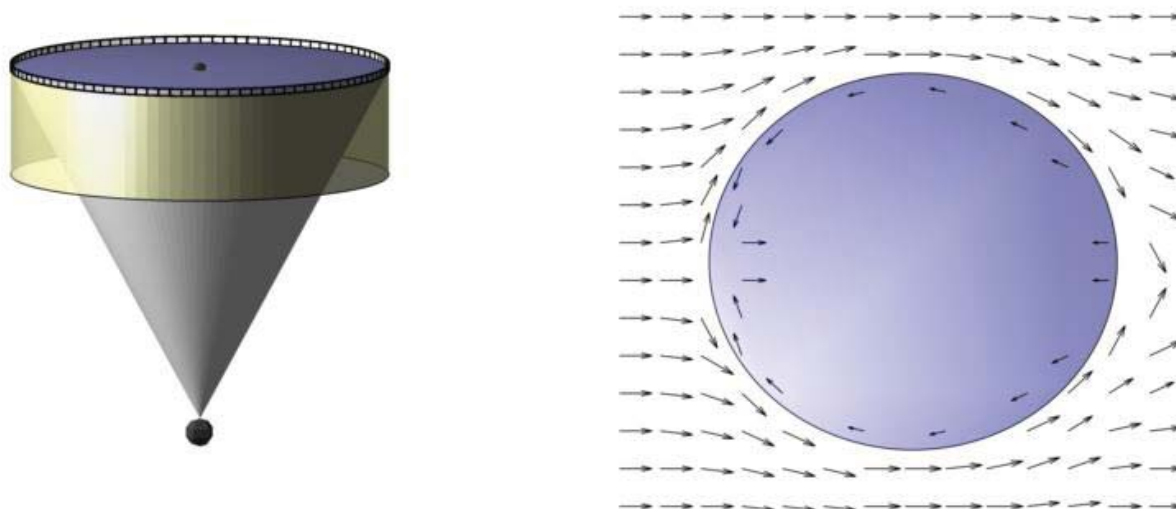


## 7 Luseskjørt



## 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 [142,143]. 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 [144] og dybden til lusebarrieren [145]. 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 [146], og sterke strømmer kan tvinge skjørtene oppover og redusere effektiviteten [147].



**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 [148]. (Illustrasjoner: Lars H. Stien.)

## 7.2 Velferdsutfordringer

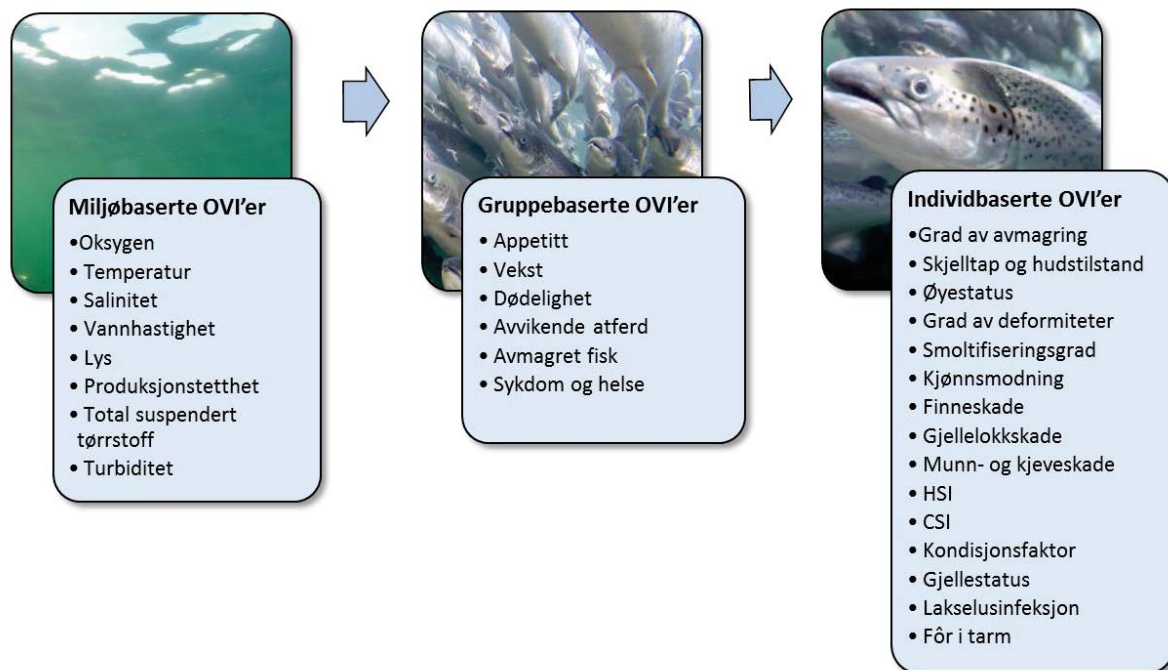
Både presenningskjørt og planktonnett plassert rundt en merd reduserer vannstrømmen og vannutvekslingen betraktelig [149,150]. Dermed øker risikoen for dårlig vannkvalitet og opphoping av partikler og patogener [151]. Studier som inkluderer både 10 m dypt planktonnett [150,152] og 3 og 5 m dype presenningskjørt [149,153] viser perioder med markert reduksjon i oksygenivåene innenfor skjørtet. Laks svømmer ofte under skjørtet hvis de har nok plass [148], men dette er ikke alltid tilfelle [153]. Økt turbiditet øker faren for gjelleskader og muligens AGD [151]. En annen fare er at i perioder med sterke strømmer kan det bli ekstra press på skjørtene som fører til betydelig deformasjon av notvolumet [149]. 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

De samme gruppebaserte OVI'ene som gjelder for overflate merder, kan brukes til merder med skjørt, med ekstra fokus på hvor mye fisk som oppholder seg i skjørtvolumet.

**Store mengder fisk som samler seg i overflaten** er en tydelig indikator på redusert velferd [153]. Det kan også være selvforsterkende, fordi sammenstillingen av fisk nær overflaten inni et skjørt kan føre til ytterligere redusert oksygenivå, som igjen vil svekke fiskene ytterligere.

## 7.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

De individbaserte OVI'er for overflatemerder kan også anvendes for merder med skjørt, med ekstra fokus på gjellestatus.

**Gjellebleking og -status.** Fisk i merder med skjørt kan ha større risiko for gjelleinfeksjoner [151]. Hvordan skjørtene påvirker nivået av gjelleinfeksjon i oppdrett er imidlertid fortsatt ukjent.

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














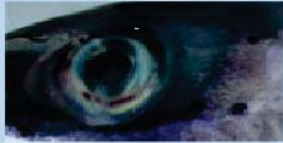




Kvantitative vurderinger av morfologiske OVI'er er mulig å gjennomføre relativt raskt ved merdkanten, men er avhengig av prøvetaking og manuell håndtering av fisken. Prøvetakingen må gjøres forsiktig for å ikke skade fisken, slik at den fangede fisken er representativ for populasjonen i merden eller 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) øyebledninger 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 [154]. Skåringsmetoden kvantifiserer relativ kataraktareal i forhold til linsestørrelse (som sett gjennom pupillen langs optisk akse). En kan raskt vurdere et stort antall fisk manuelt for å få et inntrykk av utbredelse og alvorlighetsgrad i populasjonen. Hvis mulig, kan en gå gjennom et mindre antall fisk for en mer presis beskrivelse av kataraktet sin posisjon i linsen, type, utviklingsgrad og mulig årsak. Dette må gjøres under redusert belysning og krever eget utstyr og trening. Skåringsmetoden for katarakt tar ikke hensyn til hvor gjennomiktig kataraktområdet er, dette er en viktig parameter som også bør bli notert (T Wall pers. kom.).

**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 «punkttert» 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)

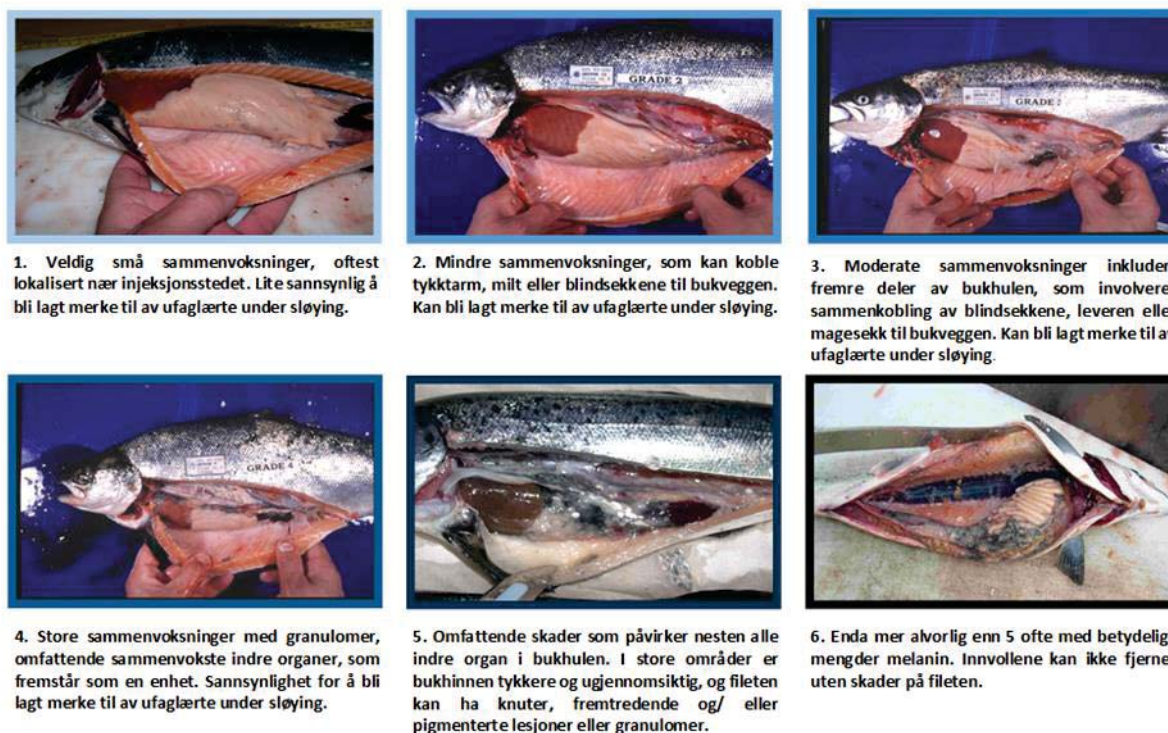
	1	2	3
Helbredet finneskader	 <p>Meste av finnen er inntakt</p>	 <p>Halve finnen er inntakt</p>	 <p>Lite av finnen er inntakt, huden er avhelet</p>
Aktiv finneskade*	 <p>Lett splitting og/eller blødende sår, splittingen er bare ytre deler av finnelengden</p>	 <p>Tydlig splitting og/eller blødende sår, 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





**Figur 8-2.** Morfologisk skåresystem for diagnostikk og klassifisering av katarakt hos laks. Tekst gjengitt fra "Wall, T. & Bjerkås, E. 1999, A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 19(4), 162-165. Copyright, 1999" med tillatelse fra European Association of Fish Pathologists. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto gjengitt fra "Bass, N. and T. Wall (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. *BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland*, 2s." med tillatelse fra T.Wall. [154, 155]



**Figur 8-3.** Spielbergsskala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto: Lars Spielberg. Tekst gjengitt fra "Midtlyng mfl. 1996, Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* 6, 335–350. Copyright 1996" med tillatelse fra Elsevier [156].

## 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	OVI	Produksjonssystem						
		GS-system	RAS	Sjømerder	Sjømerder med skjørt	Nedsenkede merder	Snorkelmerder	SLA
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					
	Turbiditet og suspendert tørrstoff (TSS)	x	x	x	x	x	x	x
	Fôrbelastning		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	
	Appetitt	x	x	x	x	x	x	x
	• Vekst	x	x	x	x	x	x	x
	Sykdom og helse	x	x	x	x	x	x	x
Avmagret fisk	x	x	x	x	x	x	x	
Overflate aktivitet			x		x	x		
Individbaserte OVI'er	Gjellelokkrate	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
	Fôr i tarm	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
	Smoltifiseringsgrad	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
	Snute- og kjeveskade	x	x	x	x	x	x	x
Slim	x	x	x	x	x	x	x	
Laktat	x	x						
Øyblødninger og -status	x	x	x	x	x	x	x	
Gjellelokk deformiteter	x	x	x	x	x	x	x	

## 10Referanser

- [1] FEAP website: <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., Kankainen, M., Setälä, J., Berrill, I. K., Ruohonen, K., Damsgård, B. & Toften, H. (2012) The bio-economic costs and benefits of improving productivity and fish welfare in aquaculture: Utilizing CO<sub>2</sub> stripping technology in Norwegian Atlantic salmon smolt production. *Aquaculture Economics & Management* **16(4)**, 414-428.
- [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] Elliott, 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] 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.
- [20] Thorarensen, H. & Farrell, A. (2011) The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture* **312**, 1-14.
- [21] 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.
- [22] Stevens, E. D., Sutterlin, A. & Cook, T. (1998) Respiratory metabolism and swimming performance in growth hormone transgenic Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55(9)**, 2028-2035.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Espmark Å. & Bæverfjord G. (2009). Effects of hyperoxia on behavioural and physiological variables in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Aquaculture International* **17**, 341-353.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011) Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture* **311**, 1–18.
- [29] Handeland, S. O., Berge, A., Björnsson, 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.



- [30] 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.
- [31] Fivelstad, S., Wågbø, 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Timmons, M. & Ebeling, J. (2007) Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] Peakall, D. (1994) Animal Biomarkers as Pollution Indicators. London: Chapman and hall, Chapter 7.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] Fjelldal, P. G., Hansen, T., Lock, E. J., Wargelius, A., Fraser, T. W. K., Sambraus, F., El-Mowafi, A., Albrektsen, S., Waagbo, R. & Ørnsrud, R. (2016) Increased dietary phosphorous prevents vertebral deformities in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture nutrition* **22**, 72-90.



- [44] Fjelldal, P. G., Hansen, T., Breck, O., Ørnstrud, 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.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] Espmark, Å. M., Kolarevic, J., Hansen, Ø. A. & Nilsson, J. (2015) Pumping og håndtering av smolt. Nofima rapport nr. 6/2015.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] Summerfelt, S., Bergheim, A. & Colt, J. (2009b) Preface. *Aquacultural Engineering* **41**, 45.
- [54] Hofseth, K. (2008) Erfaring med resirkulering i smoltproduksjon of viktigerammevilkår for resirk i Norge. Presentation at Seminar on Recirculation of Water in Aquaculture.
- [55] 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.
- [56] 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.

- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] Bregnballe, J. (2010) A guide to recirculation aquaculture. Copenhagen, Denmark: Eurofish.
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] Jensen, F. (2003) Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology* **135**, 9-24.
- [64] 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.
- [65] 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, 1080-1081.
- [66] 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.
- [67] 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.
- [68] Chen, S., Ling, J. & Blancheton, J. -P. (2006) Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering* **34**, 179-197.
- [69] Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y. & Lygren, E., (2006) Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering* **34**, 322–331.
- [70] 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.

- [71] 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.
- [72] 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.
- [73] Emparanza, E. J. M. (2009) Problems affecting nitrification in commercial RAS with fixed-bed biofilters for salmonids in Chile. *Aquacultural Engineering* **41**, 91-96.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] 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.
- [77] 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.
- [78] Jobling, M. (1983) Growth studies with fish—overcoming the problems of size variation. *Journal of Fish Biology* **22(2)**, 153-157.
- [79] Fiskeridirektoratet. <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur>.
- [80] Stien, L. H., Oppedal, F. & Kristiansen, T. S. (2016) Dødelighetsstatistikk for lakseproduksjon (eng: Mortality statistics for salmon production). 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*, 129-134.
- [81] Iversen, M. H., Jakobsen, R. & Eliassen, R. (2015) Stress; en viktig bidragsyter til svinn i sjø. In: Norsk Fiskeoppdrett, 22-27.
- [82] Rodger, H., Henry, L. & Mitchell, S. (2011) Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **21**, 423–440.
- [83] 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.
- [84] Vigen, J. (2008) Oxygen variation within a sea cage. Master thesis. Department of Biology, University of Bergen, Bergen, 73 pp.
- [85] 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.

- [86] 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.
- [87] 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.
- [88] Priede, M. (2002) Biology of salmon. In: Handbook of Salmon Farming. Stead, S. & Laird, L. (eds.), Springer-Praxis, United Kingdom, 1–35.
- [89] 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.
- [90] 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.
- [91] 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.
- [92] Boxaspen, K. (2006) A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science* **63**, 1304–1316.
- [93] 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
- [94] 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. *Diseases of Aquatic Organisms* **71**, 201–212.
- [95] 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, 150–168.
- [96] 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.
- [97] 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.
- [98] Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Olsen, R. E., Stien, L. H. & Fernø, 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.
- [99] 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.
- [100] 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.

- [101] 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.
- [102] 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.
- [103] 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.
- [104] 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.
- [105] 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.
- [106] 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.
- [107] 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.
- [108] 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.
- [109] Jobling, M., Alanärä, A., Noble, C., Sánchez-Vázquez, J., Kadri, S. & Huntingford, F. (2012) Appetite and feed intake. In: *Aquaculture and behaviour* (Huntingford, F., Jobling, M. & Kadri, S.). Wiley-Blackwell, West Sussex, UK, p. 183–219
- [110] 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.
- [111] 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.
- [112] Jobling, M. (1994) *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hall, London (1994) 309 pp.
- [113] 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.
- [114] 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.



- [115] Martins, C. I., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J. C., Carter, T. & Planellas, S. R. (2012) Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry* **38**(1), pp.17-41.
- [116] 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.
- [117] Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg, FOR -2012-12-05-1140.
- [118] Bond, C. E. (1996) *Biology of fishes*, 2nd ed. Sanders College Publishing, Fort Worth, USA. 576 pp.
- [119] 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.
- [120] Korsøen, 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.
- [121] Korsøen, O. J., Fosseidengen, 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.
- [122] Korsøen, 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.
- [123] 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
- [124] Dempster, T., Kristiansen, T. S., Korsøen, 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.
- [125] 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.
- [126] 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.
- [127] 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.
- [128] 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.
- [129] Rodger, H. D. (2013) Amoebic gill disease (AGD) in farmed salmon (*Salmo salar*) in Europe. *Fish Veterinary Journal* **14**, 16–26.

- [130] Taylor, R. S., Muller, W. J., Cook, M. T., Kube, P. D. & Elliott, 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.
- [131] 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.
- [132] 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.
- [133] 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.
- [134] 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.
- [135] Rud, I., Kolarevic, J., Holan, A. B., Berget, I., Calabrese, S. & 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* **78**, 50-62.
- [136] 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
- [137] Kolarevic, J., Iversen, R., Terjesen, B. F. & Kvenseth, P. G. (2015) Water quality in Flexibag semi-closed system for post-smolts. CtrIAQUA annual report, p.56-59.
- [138] 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). CtrIAQUA annual report, 60-64.
- [139] 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.
- [140] 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.
- [141] 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.
- [142] 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.

- [143] 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.
- [144] 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.
- [145] 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.
- [146] 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.
- [147] Frank, K. & Lien, A. M. (2015) Permaskjørt og merdmiljø. SINTEF rapport A26686. ISBN 978-82-14-05867-3.
- [148] 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.
- [149] 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.
- [150] 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).
- [151] Stien, L. H., Oppedal, F., Folkedal, O., Mangor-Jensen, A. & Kristiansene, 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.
- [152] Næs, M., Heuch, P. A. & Mathisen, R. (2012) Bruk av «luseskjørt» for å redusere påslag av lakselus *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) på oppdrettslaks. Vesterålen fiskehelsetjeneste.
- [153] 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.
- [154] Wall, T. & Bjerkås, E. (1999) A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **19(4)**, 162-165.
- [155] Bass, N. & Wall, T. (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland, 2p.
- [156] Midtlyng, P. J., Reitan, L. J. & Speilberg, L. (1996) Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* **6**, 335–350.



# Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd – Del C. Bruk av operative velferdsindikatorer i forbindelse med ulike håndteringsprosedyrer

Kristine Gismervik<sup>1</sup>, James F. Turnbull<sup>2</sup>, Kristoffer Vale Nielsen<sup>1</sup>, Martin H. Iversen<sup>3</sup>, Jonatan Nilsson<sup>4</sup>, Åsa M. Espmark<sup>5</sup>, Cecilie M. Mejdell<sup>1</sup>, Bjørn-Steinar Sæther<sup>5</sup>, Lars H. Stien<sup>4</sup>, David Izquierdo-Gomez<sup>5</sup>, Jelena Kolarevic<sup>5</sup>, Kjell Ø. Midling<sup>5</sup>, Kristian Ellingsen<sup>1</sup> og Chris Noble<sup>5</sup>

1. Veterinærinstituttet, Pb. 750 Sentrum, NO-0106 Oslo, Norge
2. University of Stirling, Institute of Aquaculture, School of Natural Sciences, Stirling, FK9 4LA, United Kingdom
3. Nord Universitet, Fakultet for biovitenskap og akvakultur, 8049 Bodø, Norge
4. Havforskningsinstituttet, Pb. 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen, Norge
5. Nofima, Pb. 6122 Langnes, NO-9291 Tromsø, Norge





## Innholdsfortegnelse

1 Hvorfor og hvordan overvåke velferd under håndteringsoperasjoner .....	226
1.1 Trenging.....	227
1.2 Pumping.....	234
1.3 Bedøving og avliving i forbindelse med slakting .....	239
1.4 Human avliving av individer og grupper med fisk på anlegget .....	245
1.5 Bade- og medisinbehandlinger.....	250
1.6 Bedøvelse .....	255
1.7 Vaksinerings .....	259
1.8 Transport .....	264
1.9 Fôrstyring, underfôring og sulting.....	269
1.10 Renhold og smittehygiene i forbindelse med f.eks. kar og utstyrvasking .....	275
1.11 Sortering.....	277
1.12 Undersøkelse av levende fisk .....	281
1.13 Sammendrag og oversikt over OVI'er og LABVI'er egnet til ulike håndteringsprosedyrer .....	286
2 Hvorfor og hvordan overvåke velferd under utvikling av ny teknologi.....	288
2.1 De første overveielser og en OVI/LABVI verktøykasse for ny teknologi .....	288
2.2 Beskrivelse av ny teknologi og passende OVI'er for måling og skåring .....	291
2.2.1 Mekanisk og termisk avlusing .....	291
2.2.2 Behandlingsflåte (badebehandling) .....	300
2.2.3 Laser .....	307
2.2.4 Notvask.....	309
3 Morfologiske skåringssystemer for vurdering av fiskevelferd ved ulike oppdrettssystemer og håndteringsteknologier .....	313
4 Referanser .....	318

# 1 Hvorfor og hvordan overvåke velferd under håndteringsoperasjoner

Formålet med denne delen av håndboken er å:

- Oppsummere og gjennomgå de viktigste vitenskapelige funnene med hensyn til OVI'er som er egnet til bruk under håndteringsoperasjoner.
- Gi pragmatisk og praktisk informasjon om optimal bruk av OVI'ene, inkludert erfaringsbasert kunnskap.



Overvåking av trenging av fisk. Foto: Gismervik©

## 1.1 Trenging

Laks blir trengt gjentatte ganger gjennom produksjonssyklusen ved ulike håndteringsprosedyrer som vaksinerings, transport og slakting. I kar trenges fisken sammen ved å tappe ned vannvolumet (figur 1.1-1). Så lenge vanntilførselen opprettholdes, vil ikke vanntilgangen per biomasse bli forandret. Likevel kan risikoen for lokal oksygenmangel øke ved høye fisketettheter, siden et lavere vannvolum vil begrense fiskens bevegelsesfrihet. Generelt gir også stress økt oksygenbehov. I sjømerder trenges fisken ved å trekke inn nota eller ved å tvinge fisken til et mindre område inne i merden f.eks. ved bruk av orkastnot eller kulerekke. Siden området hvor vannet passerer inn i merden reduseres, medfører det redusert vannutveksling per biomasse. Risikoen for oksygenmangel vil derfor øke med mindre oksygen blir tilsatt vannet [1].



*Figur 1.1-1. Smolt trengt i kar før pumping til transport. (Foto: J. Nilsson).*

### Velferdsutfordringer

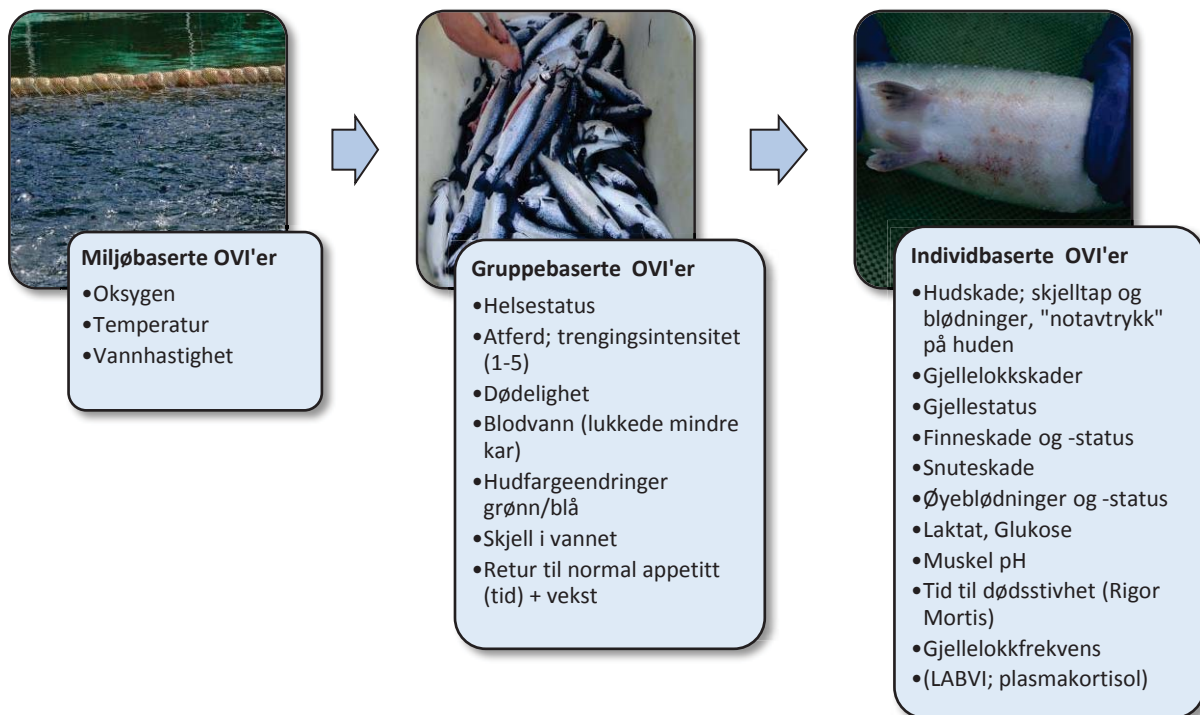
- **Svømming og atferdskontroll.** Trengt fisk har begrenset bevegelsesfrihet og mister kontrollen over egen atferd, noe som kan føre til stressrespons. Oksygennivåene i vannet kan falle mens oksygenbehovet for fisk øker med aktivitetsnivået. Fysisk kontakt med andre individer og not- eller karvegg kan føre til skader på finner og hud, inkludert skjelltap [2].
- **Stress.** Alle disse effektene er potensielt stressende. Trenging resulterer i stressrelaterte fysiologiske responser som økning i kortisol [2, 3], glukose [2], laktat [2, 4] og redusert pH i blod [2] og muskler [4].
- **Pre-rigor tid og slaktekvalitet.** Høyt stressnivå og muskelaktivitet under trenging kan gi dårligere slaktekvalitet, som splittet filet (gaping) og bløt filet [5]. Dessuten forkortes tiden til dødsstivheten inntretr (såkalt pre-rigor tid) og vanskeliggjør pre-rigor filetering [4, 6].
- **Sår og dødelighet.** Smolt med hudskader som følge av trenging og pumping i ferskvannsstadiet, kan få flere sår og høyere dødelighet etter overføring til kaldt sjøvann (5°C), enn ved høyere sjøtemperatur (8°C)[2].
- **Strømforhold.** Trenging i merder med svært lav vanngjennomstrømming øker risikoen for oksygenmangel [1]. Sterk strøm kan deformere notveggene og slik endre formen og volumet på merda. Da bevegelsesfriheten reduseres under trenging, kan fisken ha redusert evne til å håndtere sterk strøm og den kan bli klemt mot notveggen.

## Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Stressnivåer og tiden det tar for å hente seg inn etter stress øker vanligvis med trengetiden. [2]. Trengetiden bør derfor være så kort som mulig. I RSPCA standarden er det oppgitt at trengetiden ikke må overstige 2 timer [7].
- Trenging og annen håndtering som kan føre til skader på huden, bør unngås spesielt ved lave vanntemperaturer for å redusere risikoen for å utvikle vintersår og høyere dødelighet [8].
- Under trenging bør operasjonen overvåkes nøye og justeres basert på velferdsindikatorer som atferd [9] og oksygenmåling (se figur 1.1-2 for flere OVI).
- For å redusere risikoen for oksygenmangel, kan oksygen tilsettes i vannet under trenging.
- Ved oppliving av nota er det viktig å unngå lommer eller grunne områder hvor fisken kan gå seg fast [10].

## Hvordan vurdere velferd under trenging

Fysiologiske mål som glukose (blodsukker) og laktat (melkesyre) har begrensninger som velferdsindikatorer, siden endringene først kan være målbare en tid etter (minutter-timer) at stress er påbegynt og verdiene påvirkes av fiskens status og kondisjon i utgangspunktet (se del A kapittel 3). Målinger av laktat og pH kan gi en indikasjon på stressbelastningen dersom man tar gjentatte målinger under hele trengeprosessen [2]. Fysiologiske målinger kan bidra til å finne fremtidige «beste praksis» prosedyrer men er lite egnet til å overvåke velferd under pågående operasjoner.



**Figur 1.1-2.** Oversikt over OVI'er som er egnet for trenging av fisk. Miljøbaserte OVI'er angår oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er gjelder enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik).



## Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** Under trenging økes fiskens stoffskifte pga. stress og økt muskelaktivitet, noe som gir en høyere risiko for oksygenmangel. Oksygenmangel kan også opptre uten trenging eller annen form for stress, hvis merdene ligger i lagdelte fjorder. Fisken samles her ved høye tettheter i det foretrukne vannlaget [11], og det gir stor risiko å trenge fisken ytterligere under slike forhold. Hvilket oksygennivå i sjøen som vil være kritisk i forhold til å få nok oksygen er temperaturavhengig. For parr- og smolt finnes det ikke detaljerte data om hvilke oksygenkonsentrasjoner som trengs for å opprettholde optimal appetitt og aerobt (oksygenavhengig) stoffskifte ved forskjellige temperaturer. Erfaring tyder likevel ikke på at det er dramatiske forskjeller sammenlignet med postsmolt (se tabell 1.1-1). For eksempel er det funnet at en oksygenmetning (LOS) på 39 % O<sub>2</sub> ved 12,5°C virker begrensende for parr [12]. For postsmolt er oksygennivåer som er høye nok til ikke å påvirke appetitt (over DO<sub>maxFi</sub>) alltid trygge, mens nivåene aldri må nærme seg den begrensende oksygenmetningen (limiting oxygen saturation, LOS) (Tabell 1.1-1). Som en generell retningslinje brukes ofte oksygenmetninger på > 80 % [13] og RSPCA- standarden anbefaler en minimumsgrense på 7 mg /L [7].

**Tabell 1.1-1.** Viser sikre (over DO<sub>maxFi</sub>) og kritiske (under LOS) oksygenmetninger for postsmolt ved forskjellige temperaturer i henhold til Remen mfl. [14].

Temperatur °C	SIKRE OKSYGENMETNINGER (over DO <sub>maxFi</sub> )	KRITISKE OKSYGENMETNINGER (under LOS)
7	42 %	24 %
11	53 %	33 %
15	66 %	34 %
19	76 %	40 %

**Temperatur.** Stoffskiftet til vekselvarme dyr som fisk avhenger av omgivelsestemperaturen. Enhver organisme trenger en viss energi til å opprettholde kroppsfunksjon og dermed overleve («vedlikeholdsbehov»). I tillegg til dette kreves energi til andre prosesser som fysiske anstrengelser, å håndtere endringer i miljøet osv. Dette kalles metabolsk spillerom (på engelsk metabolic scope), og forteller hvor store «energireserver» som er igjen til annen aktivitet. «Energireservene» hos fisk er høyest ved optimal temperatur, men reduseres kraftig når en går mot nedre og øvre kritiske temperaturområde [15], som for postsmolt ligger rundt 6°C og 18°C. Det er derfor ekstra utfordrende for fisken å øke stoffskiftet under trenging eller annet stress nær disse temperaturområdene. Oppløseligheten av oksygen avtar også med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metningsgrad. Lav temperatur øker risikoen for utvikling av sår. Skader fra håndtering er ofte inngangsporten for sekundære infeksjoner med bakterier som *Moritella viscosa* og andre vintersårbakterier (se tabell 3.1.5-2 i del A for mer informasjon om vintersår) [16, 17].



## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus skal være kjent før trenging for å sikre at den tåler håndteringsbelastningen.

**Atferd.** Det finnes lite litteratur som beskriver atferden til fisk under vannoverflaten ved trenging. Derimot har både Mejdell mfl. [9] og RSPCA [7] utviklet en intensitetsskala basert på hva som kan sees fra overflaten (figur 1.1-3). Målet er å ha rolig svømmeaktivitet hvor ingen ryggfinner bryter vannoverflaten. Nivå 4 og 5 er fra norske myndigheters side klassifisert som uakseptable og ikke i samsvar med forskrift [10]. I en studie av en kommersiell trenging før slakting [3], observerte man ingen panikkatferd. Studien brukte også et fjernstyrt undervannsfartøy (ROV) for å overvåke atferden under overflaten, i tillegg til å ha kameraer i merdene og på overflaten. Studien konkluderte med at blodbaserte operasjonelle velferdsindikatorer som LABVI'er (kortisol og pH) og OVI'er (laktat), viste en akutt stressrespons som de ikke ville ha oppdaget ut i fra fiskens oppførsel alene. Forhøyede laktatnivåer i andre studier [2] tyder på høye aktivitetsnivåer under trenging. Panikkatferd og eksplosiv svømming påvirker de hvite musklene og produksjonen av laktat. Panikkatferd og rask svømming øker også risikoen for mekanisk skade, og er en indikator på for hard trenging.

**Dødelighet** bør følges nøye og regelmessig opp etter trenging, for å avdekke årsaksforhold og slik forebygge redusert velferd under denne prosedyren.

**Retur av appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere til normalt nivå bør overvåkes nøye etter trenging. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere til normalnivå etter eksempelvis håndtering kan derfor også brukes som OVI. Det kan gjenspeile hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt er lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når den tilbys mat.

**Vekst.** Veksten kan påvirkes av kortsiktig eller langvarig stress. Akutte endringer i veksten kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, spesielt når oppdretteren har et robust overvåkingssystem for vekst.

**Rødt vann (blodvann).** Erfaringsmessig kan trenging av postsmolt i lukkede og mindre kar gjøre det mulig å oppdage blødninger som fargeskift i vann, såkalt «rødt vann (blodvann)». Også i RSW-tanker til levendekjøling av fisk på slakterier observeres dette. Dette er aldri et godt tegn, og årsaken bør undersøkes (se 1.12 og del A kapittel 3 for mer informasjon).

**Skjelltap.** Skjell i vann indikerer skjelltap og skade på slim og hudlag, noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner. All skade under trenging indikerer nedsatt velferd og bør undersøkes nærmere. Hard håndtering og ødelagt utstyr med framstikkende og ru kanter kan være årsaker (se del A kapittel 3).

**Hudfargeendring.** Hudfargen kan endres til grønn/blå under stressende trenging, og man kan se etter om hudfargen endrer seg fra starten til slutten av trengingen [9].

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

Selv om disse parameterne måles på individnivå, må det også fattes en beslutning på gruppenivå ved å sammenligne data fra før og etter trening.

**Skjelltap og hudstatus.** Fysisk kontakt med andre individer, merd/kar eller annet utstyr, kan føre til ulike former for hudskader. Små blødninger i huden på buksiden kalles ofte for «rødbuk». Skjelltap kan observeres både som frie skjell i vannet og som områder på fisken hvor skjell mangler. Stressende og langvarig trening kan gi slimtap, og hudfargen kan endres til grønn/blå [9]. Siden slim og skjell beskytter fisken i miljøet og fungerer som barrierer, kan tap gi opphav til infeksjoner og problemer med å opprettholde saltbalansen. Man bør være spesielt oppmerksom ved trening av smolt, da erfaring har vist at de er spesielt sårbare for skjelltap under overføring til sjø [19]. Skjellene er løsere festet på grunn av smoltifiseringsprosessen, og konsekvensene av skjelltap kan være alvorlige på grunn av at saltbalansen i kroppen forstyrres [19].

**Gjellelokkskade og gjellestatus.** Gjellelokkskade inkluderer ødelagt, forkortet eller mangel på gjellelokk. Det er viktig å skille mellom akutte skader som kan ha oppstått under treningen, og andre lidelser som berører gjellelokkene og dermed gjør gjellene mer sårbare under trening. Ved å skåre forandringer på selve gjelleoverflaten (synlige som «hvite flekker») kan man få et mål på gjellestatus, såkalt total gjellescore. Ved mistanke om AGD kan det også være relevant med AGD skår. For langt kommet sykdom (målt i AGD skår) gir økt risiko for dødelighet under behandling [20]. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [21].

**Snuteskader** kan oppstå i forbindelse med håndteringer, der fisken presses mot not eller treffer harde flater med snuten.

**Øyeblødninger og -status.** Øyne er svært utsatt for mekaniske skader, og både blødninger og uttørking under håndtering i luft kan være en risiko. Utstående øyne blir sett på som et uspesifikt sykdomstegn som bør undersøkes nærmere (se del A, kapittel 3.2). Utstående øyne øker risikoen for mekaniske skader.

**Finneskade.** Fysisk kontakt kan også føre til skadede finner, spesielt finnesplitting. Som med andre skader er det viktig å differensiere mellom akutt skade som oppsto under treningen og gamle skader.

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktiv finneskader, er angitt på slutten av dette dokumentet.**

**Laktat (melkesyre).** Panikk og eksplosiv svømming øker den anaerobe muskelaktiviteten og øker dermed melkesyren (laktat) i blodet [2, 22, 23]. Blodlaktaten bør ligge under 6 mmol/L [2]. Dette er lett å måle med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet. Imidlertid fant Erikson mfl. [3] ingen signifikant korrelasjon mellom trengetid og laktatnivå.

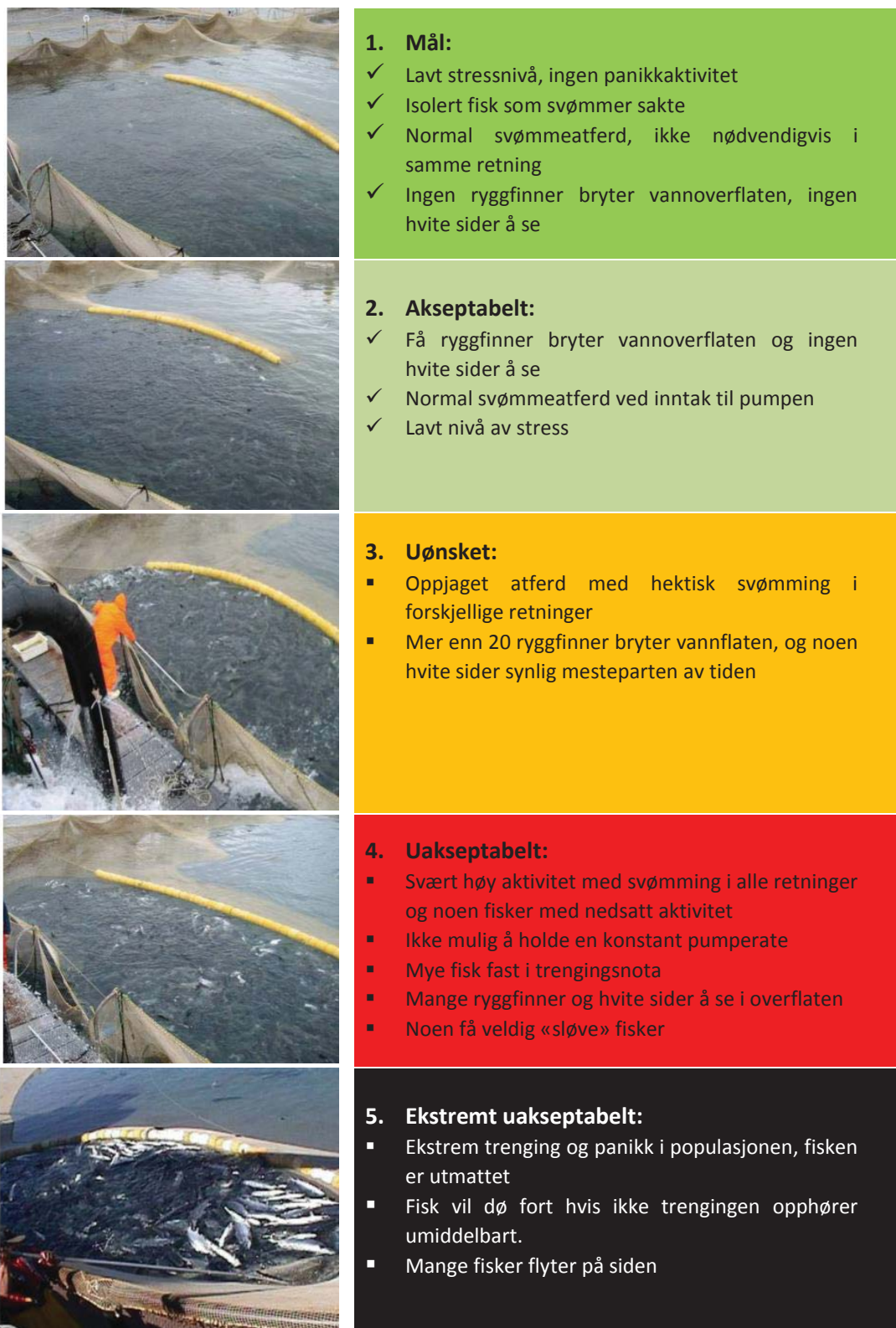
**Muskel pH.** Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i muskel på grunn av melkesyre, blant annet vist under både pumping og trening [24]. En pH-senkning i muskulaturen som skjer gradvis etter døden er derimot ønskelig, da det bidrar til økt holdbarhet.

**Glukose** kan brukes som en OVI ved trening [25]. Økningen i plasmaglukose foregår relativt langsomt og topper etter 3-6 timer på laks [26], selv om responsen også påvirkes av fôringsstatus, -type og andre faktorer. Glukosenivåene bør derfor sammenlignes med nivået før operasjonen i stedet for noen «standard stressnivåer». Gismervik mfl. [21] fant ingen endringer i glukose fra hvile til under trening.

**Tid til dødsstivhet (rigor mortis).** Høyt/langvarig stress under trenging kan gi kortere tid til rigor mortis (dødsstivhet) [4]. Veiseth mfl. [4] fant at en aktiv svømmeperiode etter trengingen bidro til å redusere stresseffekten og igjen øke tiden til dødsstivhet. Redusert tid til dødsstivhet benyttes mest i forbindelse med slakteprosesser.

**Gjellelokkfrekvens («pusting»)** øker naturlig etter hvert som fiskens oksygenbehov og stoffskifte stiger som følge av økt aktivitet og stress. Gjellelokkfrekvens har blitt brukt som en OVI under trenging [3]. Man fant en økning i gjellelokkfrekvensen fra 55-60 (før) til rundt 80 slag per minutt under trenging. Dette tilsvarer en økning på rundt 20-50 % under trenging. Vurdering av gjellelokkfrekvensen utføres best hvis fisken svømmer sakte eller står stille. Endringer i gjellelokkfrekvensen kan være synlig fra over vannet hvis sikten er god, eller ved bruk av undervannskameraer [3]. Det er likevel vanskelig å få tallfestet en endring i gjellelokkfrekvensen fra merdkanten, og man må vanligvis benytte videoopptak. Hvis fisken står relativt rolig er det mulig å telle manuelt fra merdkanten ved hjelp av en stoppeklokke, men da reduserer man ofte repeterbarheten og nøyaktigheten. Tallfesting av gjellelokkfrekvens er derfor en LABVI. Å bruke faktisk gjellelokkfrekvens kan være en problematisk LABVI, da forskjellig vannmiljø, strømhastighet og lignende faktorer kan påvirke verdiene. Vi foreslår derfor at man bruker den prosentvise endringen i gjellelokkfrekvensen målt før, under og etter en operasjon.

**LABVI: Plasmakortisol** er ikke en OVI, men en LABVI. Vi vet at trenging av fisk stresser fisken og fører til en stressrespons [4]. Plasmakortisolmålinger kan gjennomføres for å se hvor lenge fisken er påvirket av håndteringsstresset og når man er tilbake til hvilenivåer etter operasjonen [21] (se også del A kapittel 3.2).



**Figur 1.1-3.** Illustrasjon av ulike nivåer av trengingsintensitet, under overflateovervåking av atferd i henhold til Mejdell et. al [9] og RSPCA [7]. Nivå 1 er målet og nivå 4 og 5 er av norske myndigheter klassifisert som uakseptable og ikke i samsvar med forskrift [10]. (Figur: D. Izquierdo-Gomez, C. Noble og K. Gismervik. Bilder og tekst gjengitt med tillatelse fra Alistair Smart, Smart Aqua, Hazelwood Park, South Australia).

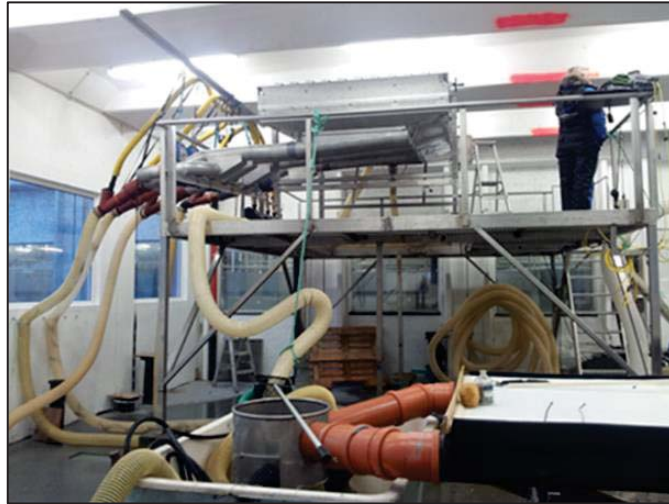
## 1.2 Pumping

Pumping er mye brukt under transport og flytting av fisk. I tillegg blir pumping i de fleste tilfeller utført i forbindelse med andre håndteringsprosedyrer som for eksempel trenging, sortering, vaksinerings, og flere typer lusebehandlinger. Dette er noe som resulterer i gjentatte stressbelastninger for fisken [24, 27]. Pumping av både unge og voksne fisk gjøres vanligvis med vakuumpumper. Fisken pumpes under trykk («vakuump») i et rør med dimensjon som skal justeres i forhold til fiskestørrelse. I røret er svømmeatferd og bevegelsen begrenset. Hvis pumpingen stopper, kan vannkvaliteten i røret raskt forringes. Vakuump (0,3 - 0,7 bar for voksenfisk) fortsetter til fisken er inne i pumpekammeret, hvorfra de skyves (ved 1,5 - 2,0 bar for voksenfisk) ut og inn i et rør igjen. Når korrekt prosedyre følges, er det få indikasjoner på at pumping skader fisken [22]. Erfaringsmessig er det imidlertid klart at under utvikling av ny teknologi skal man ha fokus på å unngå pumperelaterte skader [8, 28, 29].

### Velferdsutfordringer

- **Pumpehastighet** skal muliggjøre at fisken føres jevnt gjennom røret uten å slite. For lav hastighet vil gjøre det mulig for fisken å prøve å snu i røret for å svømme i feil retning, eller stå stille i røret med strømmen, mens for høy hastighet derimot kan føre til kollisjoner og tap av skjell [2, 30]. Pumpehastigheten skal være over  $U_{crit}$  som er kritisk svømmehastighet [31] (se del A, kapittel 4.2.1) for å hindre at fiskene står mot strømmen og blir utmattede i rørene.
- **Høyde.** Eksperimenter har ikke vist negative effekter av pumpehøyder [2, 22]. Imidlertid har de fleste oppdretterne i dag plassert pumpene nær pumpens innløp, med god effekt på velferden.
- **Utstyr.** Dårlig synkronisering mellom rørdiameter, fiskestørrelse, ventiler og rør-bøyer (Figur 1.2-1), kan føre til skader på gjellelokk og finner. Rør-bøyer kan også resultere i synlige ytre skader ved at fisken kolliderer med utstyret og med hverandre.
- **Gjentatt pumping og håndtering** kan øke stressbelastningen på fisken [22, 24, 27].
- **Pumping av svak fisk.** Pumping skal bare gjøres med fisk som er frisk, robust og klarer å håndtere den ekstra belastningen en pumping innebærer.
- **Undertrykk (vakuump).** Forsøk med undertrykk viste ingen negative effekter eller skader forårsaket av vakuump alene sammenliknet med andre pumpeprosedyrer [23]. Imidlertid kan blod (rødt vann) iblant observeres i pumpekamrene, og forfatterne konkluderte med at dette ikke var forårsaket av undertrykket alene, men heller fra mekaniske skader på gjellelokk og gjeller som følge av høy hastighet og kollisjoner. Da svømmeblæren utvides når det omkringliggende trykket faller i vakuumpumpen, frigjør laks luft fra blæren [23]. Mindre luft i svømmeblæren vil påvirke oppdriften negativt, til fisken har fylt blæren igjen.



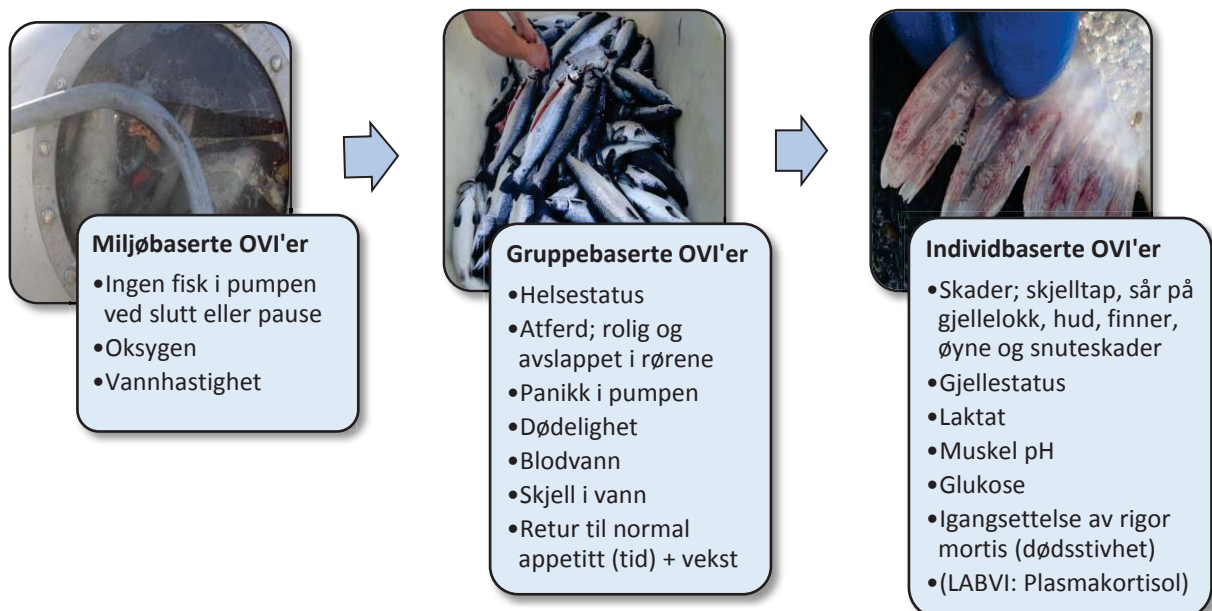


**Figur 1.2-1.** Rør-bøy kan forårsake skade på fisken. (Foto: Å. M. Espmark).

### Hvordan minimere velferdsutfordringene

De fleste risikofaktorene som er nevnt ovenfor kan reduseres med bedre kunnskap og bevissthet om hvordan pumpingen utføres på skadelig måte, eller hvordan dårlig tilpasset utstyr kan skade fisken. Noen av de beste måtene for å sikre jevn pumping av fisken på, er ved å sikre at: **i)** utstyret har blitt oppdatert og har gjennomgått service, **ii)** rørene passer for størrelsen på fisken som skal pumpes, **iii)** det er ingen ru overflater, rør-bøyer og ventiler inne i pumpen eller rørene som kan skade fisken når den kommer i høy fart, **iv)** sørge for at fisk ikke sitter fast inne i pumpen hvis den stopper og **v)** overvåke og justere pumpens hastighet for å sikre at fisken drives lett fremover gjennom pumpen.

### Hvordan vurdere velferd under pumping



**Figur 1.2-2.** Oversikt over OVI'er som egnet for pumpeprosedyrer. Miljøbaserte OVI'er gjelder oppdrettsmiljøet inkludert miljøet i teknologien, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er gjelder enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik, foto miljø: Å. M. Espmark).

## Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** Hvis pumpingen stopper vil oksygenivået synke inne i røret, noe som kan resultere i oksygenmangel. Et eksempel på gjentatte stopp under pumpeprosessen er under slakting. I noen tilfeller er kommunikasjonen mellom slaktelinjen og ventemerdene dårlig, og når slaktlinjen er ved full kapasitet, stoppes inntaket av fisk. Ofte skjer dette uten å rapportere til folk ved ventemerden eller med en tidsforsinkelse på rapporteringen. Dette resulterer i en opphopning av fisk i røret. Se avsnitt 1.1 trenging for anbefalte oksygenmetningsverdier. Mejdell mfl. [9] beskriver at laksefisk som en tommelfingerregel forbruker oksygenet i 0,5 liter vann per kg fisk per minutt.

**Ingen fisk igjen i pumpen under pauser eller ved slutt.** Pass på at fisk ikke er igjen inne i pumpen hvis man slutter å pumpe, da dette kan føre til oksygenmangel og til og med at fisken blir tørrlagt.

**Vannhastigheten** i pumpen skal være høy nok til å unngå at fisk svømmer mot strømmen slik at de blir utmattet. Hastigheten på vannet bør derfor være høyere enn kritisk svømmingshastighet [31] ( $U_{crit}$ , se del A, kapittel 4.2.1). På den annen side kan en vannhastighet som er for høy føre til fiskeeskader. Den øvre grensen for vannhastigheten avhenger av det utstyret som brukes, for eksempel rørvinkelens skarphet, risikoen for å treffe vegger når fisken føres gjennom pumpen og lignende faktorer. Måling av strømhastighet med en aktuell måler inne i slangen kan være vanskelig, men ved å anslå mengden av vann som går per sekund (tid for å fylle opp et kjent volum, strømningshastigheten i L/sek), kan nåværende hastighet beregnes etter følgende ligning:

$$V = \frac{10 * Flow}{(3.14 * (\frac{Diameter}{200})^2)}$$

Hvor  $V$  er vannhastigheten i cm/s,  $Flow$  er vannstrømmen i L/sek., og  $Diameter$  er den indre diameteren av røret i mm.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus bør være kjent før pumping for å sikre at den tåler håndteringsbelastningen.

**Dødelighet** bør følges nøye og regelmessig etter pumping for å evaluere mulige problemer eller velferdstrusler knyttet til prosedyren.

**Retur av Appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere, bør overvåkes. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av stress [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere etter håndtering kan derfor brukes som OVI, da dette kan gjenspeile hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt er lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når den tilbys mat.

**Vekst.** Veksten kan påvirkes av kortsiktig eller langvarig stress. Akutte endringer i veksten kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, spesielt når oppdretteren har et robust overvåkingssystem for vekst.

**Atferd.** Hvis røret er gjennomiktig, er det mulig å observere atferden inne i røret [23] (figur 1.2-3). Svømmingen skal være jevn og rolig. Uønsket atferd inkluderer fisk som forblir på ett sted, svømmer mot strømmen eller driver med strømmen bakover. Andre tegn på unormal svømmeaktivitet eller atferd kan være svømming på siden der buken vises eller gispning. Fisken bør heller ikke være svært sammentrengt. Det er også mulig å observere fisk i noen pumper (se figur 1.2-4). Fisk skal ikke slite.

**Rødt vann (blodvann).** Erfaring viser at blod (rødt vann) kan observeres i pumpekamrene, sannsynligvis som følge av gjelleblødninger. Rødt vann er urovekkende og årsaken bør undersøkes (se 1.12 og del A kapittel 3 for mer informasjon).

**Skjell i vann** indikerer tap av skjell og skade på slim og hudlag, noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner. All skade under pumping indikerer nedsatt velferd og bør undersøkes nærmere. Hard håndtering og ødelagt utstyr med framstikkende og ru kanter kan være årsaker (se del A kapittel 3).



**Figur 1.2-3.** Smoltens atferd under pumping kan overvåkes gjennom den gjennomsiktige slangen. (Foto: Å. M. Espmark).



**Figur 1.2-4.** Fiskens atferd i pumpen kan observeres. Det bør ikke være for mye panikkatferd i pumpen, og det skal ikke ses rødt vann (blodvann). (Foto: Å. M. Espmark).

### Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Skjelltap og hudstatus.** Laks kan miste skjell og få sår [2, 30], forårsaket av høy pumpehastighet og feil bruk av utstyr. Håndteringstraumer slik som kutt- eller klemskader er i noen tilfeller sett i utviklingsløp av ny teknologi, hvor pumpingen kan være årsak [8, 29]. Små blødninger i huden kan vanligvis ses på buken og kalles «rødbuk». Skjelltap kan observeres både som frie skjell i vannet og som områder på fisken hvor skjell mangler. Stressende og langvarig trenging i forbindelse med

pumpingen kan gi slimtap, og hudfargen kan endres til grønn/blå [9]. Sårheling er avhengig av temperatur og miljøforhold, og sår kan ta opptil 3 måneder å helbrede [19]. Man bør være spesielt oppmerksom ved pumping av smolt, da de erfaringsmessig er spesielt sårbare for skjelltap under overføring til sjø [19]. Skjellene er løsere festet på grunn av smoltifiseringsprosessene, og konsekvensene av skjelltap kan være alvorlige på grunn av at osmoreguleringen (saltbalansen) forstyrres [19].

**Gjellelokkskade og gjellestatus.** Gjellelokkskade inkluderer ødelagte, forkortede eller manglende gjellelokk. Det er viktig å skille mellom akutte skader som kan ha oppstått under pumpingen, og andre lidelser som berører gjellelokkene og dermed gjør gjellene mer sårbare under pumping. Ved å skåre forandringer på selve gjelleoverflata (synlige som «hvite flekker») kan man få et mål på gjellestatus, såkalt total gjelleskår. Ved mistanke om AGD kan det også være relevant med AGD skår. For langt kommet sykdom (målt i AGD skår) gir økt risiko for dødelighet under behandling [20]. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [21].

**Snuteskader** kan oppstå i forbindelse med håndtering, der fisken treffer harde flater med snuten.

**Øyeblikninger og -status.** Øyne er svært utsatt for mekaniske skader, og både blødninger og uttørking under håndtering i luft kan være en risiko. Utstående øyne blir sett på som et uspesifikt sykdomstegn som bør undersøkes nærmere (se del A, kapittel 3.2). Utstående øyne øker risikoen for mekaniske skader.

**Finneskade.** Fysisk kontakt kan også føre til skadede finner, spesielt finnesplitting og blødninger. Finneskader har blitt registrert under pumping, og kan skyldes kollisjoner og feil bruk av utstyr.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktiv og helbredet finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Laktat (melkesyre).** Panikk og eksplosiv svømming øker anaerob muskelaktivitet og øker dermed melkesyren (laktat) i blodet [2, 22, 23]. Blodlaktaten bør ligge under 6 mmol/L [2]. Dette er lett å måle med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet. Imidlertid fant Erikson et. al [3] en signifikant korrelasjon mellom pumping og laktatnivå.

**Muskel pH.** Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i muskel på grunn av melkesyre, blant annet vist under både pumping og trenging [24]. En pH-senkning i muskulatur som skjer gradvis etter døden er derimot ønskelig, da det bidrar til økt holdbarhet.

**Glukose** (blodsukker) kan brukes som en OVI ved pumping [25]. Økningen i plasmaglukose er en relativt langsomt og toppe seg etter 3-6 timer på laks [26] selv om responsen også påvirkes av fôringsstatus, -type og andre faktorer. Glukosnivåene bør derfor sammenlignes med nivåer før operasjonen i stedet for noen «standard stressnivåer».

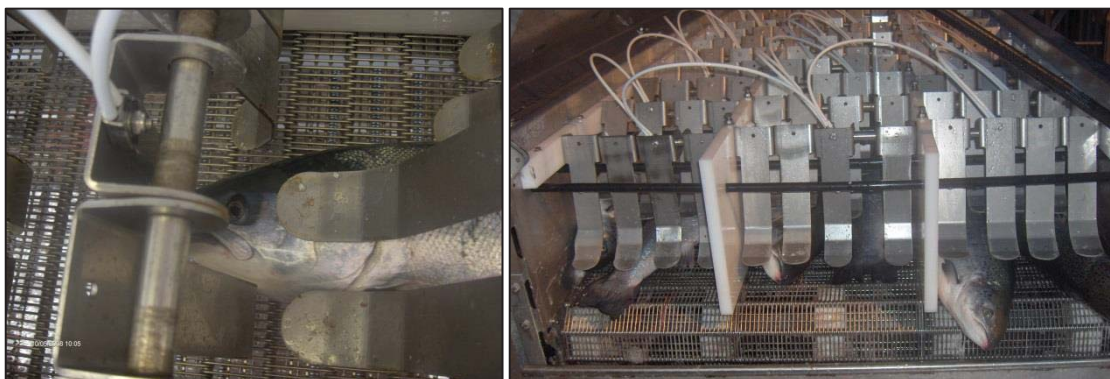
**Rigor mortis (dødsstivhet).** Pumping under slaktning kan forkorte tiden til igangsettelsen av rigor mortis (dødsstivhet) [23, 24].

**LABVI: Plasmakortisol** er ikke en OVI, men en LABVI. Vi vet at pumping av fisk stresser fisken og fører til en stressrespons. Plasmakortisolmålinger kan gjennomføres for å se hvor lenge fisken er påvirket av håndteringsstresset og når man er tilbake til hvilenivåer etter operasjonen [21] (se også del A kapittel 3.2).



### 1.3 Bedøving og avliving i forbindelse med slakting

Fisken skal være bedøvd når den bløgges og forbli bevisstløs inntil den er død. Hensikten er å unngå at fisken føler smerte og frykt i forbindelse med bløgging og under dødsprosessen. Men det som skjer med fisken i tiden mellom slaktemerd og bedøving er også viktig, både av hensyn til fiskevelferd og av hensyn til produktkvaliteten. Trenging, pumping og forflytning gjennom rør og renner, oksygenmangel og opphold ute av vann, påfører fisken stress og en risiko for skader. Hvis fisken passerer rørvinkler og lignende i stor fart, kan den få slagskader og blødninger. Regelverket setter krav om at utstyr skal være dokumentert ut fra dyrevelferd og funnet egnet til praktisk bruk. Bedøvings- og avlivingsutstyret skal betjenes, kontrolleres og vedlikeholdes av kompetent personale med tilstrekkelig opplæring. Fiskevelferden skal kunne dokumenteres gjennom internkontroll. To ulike metoder benyttes i dag til bedøving av laksefisk. Dette er henholdsvis elektrisk bedøving og slagbedøving. Disse metodene har litt ulike risikomomenter i forhold til fiskevelferd. Elektrisk bedøving bruker elektrisk strøm for å «kortslutte» hjerneaktiviteten, slik at fisken mister bevisstheten og dermed sanseevnen (figur 1.3-1). Elektrisk støt oppfattes av alle dyr som sterkt ubehagelig, og det er derfor viktig at strømmen straks ledes gjennom hjernen [9]. Prinsippet for slagbedøving er at et hardt slag mot skalletaket forårsaker hjernerystelse med bevissthetstap. Til laksefisk benyttes en ikke-penetrerende slagbolt [9]. Slagenergien bestemmes av boltens vekt og hastigheten den treffer med. Ofte vil fisken dø av hjerneskadene. En avlivingsklubbe eller «prest» bør være tilgjengelig som en back up til bruk ved nødstilfelle.



**Figur 1.3-1.** Illustrasjoner fra slakting ved hjelp av elektrisk bedøvelse, foto C. M. Mejdell [9]. Gjengitt med tillatelse fra C. M. Mejdell, Veterinærinstituttet. Elektrisitet går fra lamellene, gjennom fisken og til underlaget. Til venstre vises lamellene som berører fisken, til høyre kan du se et bilde der fisken ikke er retningsorientert før bedøving, og kommer både med hale og hodet først (ikke god nok velferd).



## Hvordan minimere velferdsutfordringene

- **Generell håndtering.** Under slaktehåndtering er fisken utsatt for skader som kan oppstå under trenging og pumping (se egne kapitler), samt fra rør (særlig krappe vinkler), skarpe kanter eller annet hvor fisk kan skade seg. Se individbaserte OVI for hvordan slike skader kan avdekkes.

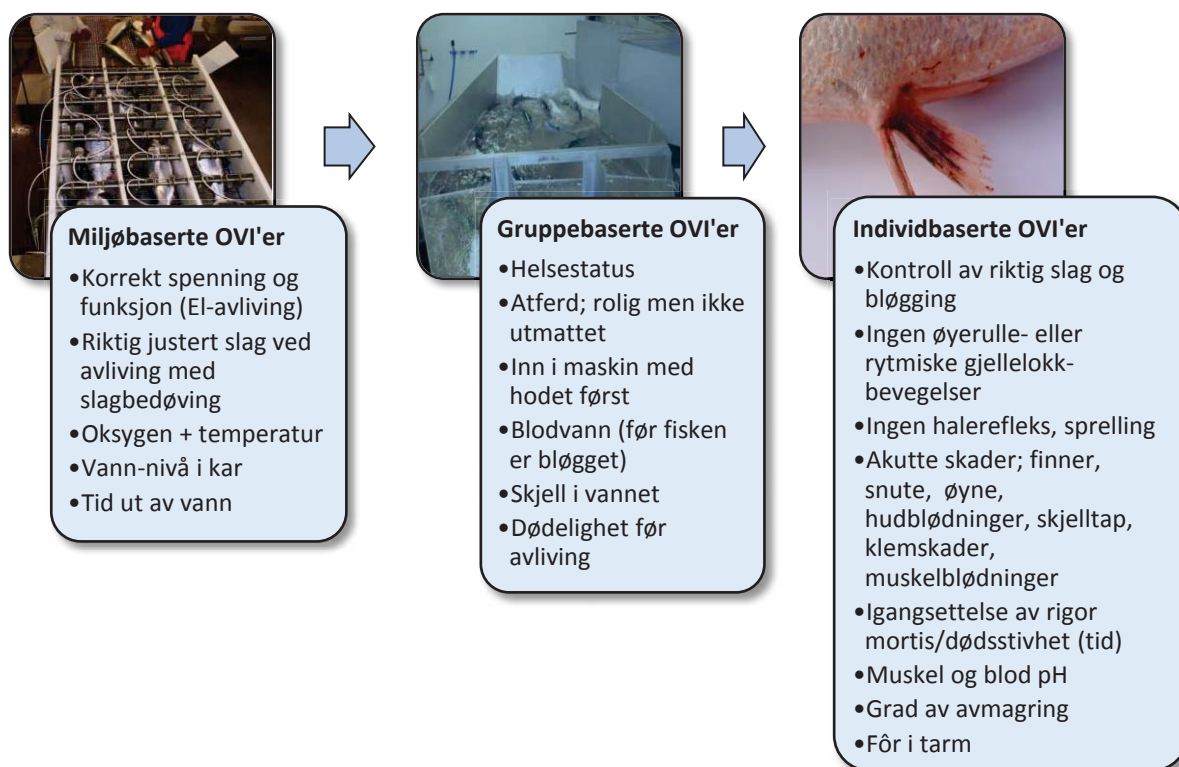
### Elektrisk bedøving

- I systemer som bedøver fisken ute av vann bør den retningsstyres slik at hodet går først inn i bedøveren [32]. Tiden ute av vann etter avsiling og før avliving, må være så kort som mulig [33]. Strømmen må ha tilstrekkelig styrke til å kunne forårsake den tilsiktede kortslutningen øyeblikkelig. Det er en balanse mellom effekten av bedøvelsen og potensielle skaden på kjøttet. Effektiv bedøvelse handler ikke kun om spenning og strømstyrke, men også andre parametere som frekvens (Hz) [10]. Elektrisk stimulering av muskulaturen forkorter pre rigor-tiden (tiden til dødsstivhet).
- Elektrisk bedøving er i prinsippet reversibel, det vil si at fisken vil kunne våkne opp igjen i løpet av sekunder til minutter. Det er derfor viktig at fisken bløgges riktig og innen få sekunder etter bedøving, slik at fisken dør av blodtapet før bedøvingseffekten av strømmen opphører [9, 33].
- Systemer der elektrisk strøm også passerer fiskens hjerte vil kunne forårsake hjerteflimmer og hjertestans. Elektrisk bedøving kan kombineres med slagmaskin for å øke sikkerheten for lang nok varighet av bedøvelsen [9].
- Ha kontroll og backup-utstyr klart for bedøving og bløgging, før overføring til utblødningssted.

### Slagbedøving

- Ved for svakt slag eller dårlig treff kan det hende at fisken ikke bedøves i det hele tatt eller våkner opp senere dersom den ikke bløgges [9].
- Slagmaskinen må justeres etter fiskens størrelse. Eventuelt kan man sortere fra fisk som er for stor/kjønnsmoden eller for liten.
- Sørg for at fiskene kommer én og én og riktig vei inn i slagmaskinen [9].
- «Svøm inn»- systemer krever at fiskene er i god kondisjon og ikke er utmattet. Det kan forventes veldig lang pre rigor-tid ved metoden om fisken behandles skånsomt [9].
- Ha kontroll og backup-utstyr for bedøving og bløgging klart, før overføring til utblødningssted.

## Hvordan vurdere velferd under slakting



**Figur 1.3-2.** Oversikt over OVI'er som egnet for slakteprosedyrer. Miljøbaserte OVI'er gjelder miljøet i teknologien, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik, foto: C. M. Mejdell).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Riktig elektrisk spenning og funksjon ved elektrisk bedøvelse.** Følg produsentens håndbøker og oppdater med egne erfaringer. Se også norske myndigheters veiledning og tolkning av slakteriforskriften [10].

**Riktig justert slag ved bedøvelse og avliving.** Følg produsentens håndbøker og oppdater med egne erfaringer. Pass på at maskinen er justert i forhold til fiskens størrelse.

**Oksygen og temperatur.** Vannkvaliteten under rørtransport av fisken og i oppholdstankene skal være god, og rutiner for overvåking av oksygenivået bør være på plass. Nivåer for oppløst oksygen som er høye nok til ikke å påvirke appetitt (over  $DO_{maxFI}$ ) ansees trygge, mens nivåene aldri må nærme seg den begrensende oksygenmetningen (LOS) (Tabell 1.1-1). Som en generell retningslinje anbefales oksygenmetninger på  $> 80\%$  [13]. RSPCA standarden anbefaler en minimumsgrense på 7 mg/L [7]. Oppløseligheten av oksygen avtar med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metningsgrad. Det er også viktig å være klar over at laks reagerer på akutte endringer i temperatur, og kanskje særlig økning i vanntemperatur [34], men selve håndteringen synes å forårsake mer stress enn et temperaturfall i seg selv [35]. Energireservene hos fisk er høyest ved optimal temperatur, men reduseres kraftig når en går mot nedre og øvre kritiske temperaturområde [15], som for postsmolt ligger rundt  $6^{\circ}C$  og  $18^{\circ}C$ . Det er derfor ekstra utfordrende for fisken å øke stoffskiftet under trenging eller annet stress nær disse temperaturområdene.

**Vann-nivå i oppholdskarene.** Vann-nivået i seg selv må også overvåkes for å sikre at fisken er dekket av vann, og at f.eks. kar som retningsstyrer laksen virker som de skal [32].

**Tid ut av vann.** Grad av lufteksponering bør minimeres. RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [7].

### Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus må være kjent før slakting. Dette for å sikre at syk og skadet fisk blir slaktet så snart det er mulig og ikke plasseres i ventemerde der dette vurderes som en dårlig velferdsmessig og smittevernmessig løsning [10]. Det kan også være aktuelt å tilpasse slaktetempo.

**Atferd.** Fiskene skal være rolige. De skal ikke vise atferd med plutselige slag med halen eller plutselige bevegelser. De skal ikke være utmattet eller ha problemer med balanse ved svømming. Laksen skal komme inn i maskinen i riktig retning, som er med hodet først ved slagbedøving eller elektrisk avliving ute av vann. Oppholdskarene før avlivingsmaskinene bør ikke være for overfylte, for å unngå at fiskene presses i feil retning av andre individer [32].

**Rødt vann (blodvann).** Pumping og annen håndtering av fisk før slakting kan gi gjelleskader eller sårskader som blør. En indikator for dette er rødfarget vann i oppholdskar for fisken før bedøving (levendekjøling, atferdskar osv.). Spesielt tydelig blir det i kar med resirkulering av vann. Rødt vann er aldri et godt tegn, og årsaken bør omgående undersøkes (se 1.12 og del A kapittel 3 for mer informasjon).

**Skjell i vann** indikerer tap av skjell og skade på slim og hud lag, noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner. All skade under slakteprosessen før bedøving indikerer nedsatt velferd og bør undersøkes nærmere. Hard håndtering og ødelagt utstyr med framstikkende og ru kanter kan være årsaker (se del A kapittel 3).

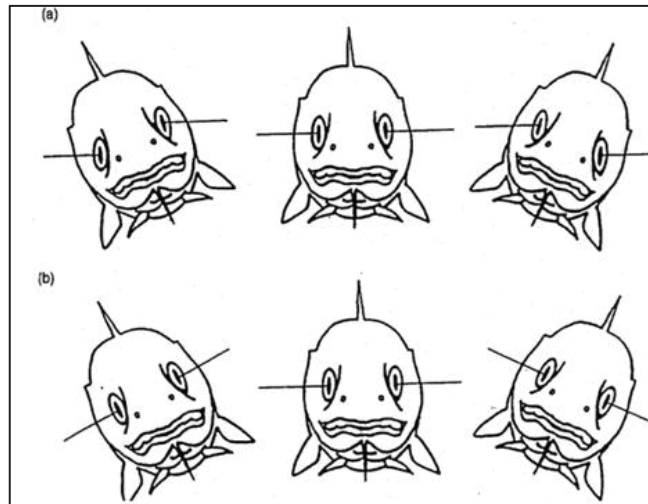
**Dødelighet før avliving.** Dersom man ser død eller døende fisk i prosesslinja før avliving bør man forsøke å finne årsaken, og eventuelt korrigerer håndteringen som f.eks. kan være trengeprosessen (se kapittel om trenging). Døende fisk bør tas ut så snart det er mulig og avlives manuelt der det er fare for at de ikke retningsstyrer slik tiltenkt (avhengig av teknologi).

### Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Kontroll av korrekt slag og bløgging.** Merket etter slagbolten skal være på toppen av hodet, i midtlinjen og litt bak øynene. Slaget skal ikke gi brudd på skallen, da energien av slaget absorberes i stedet for å gi hjernerystelse med tap av bevisstheten. Blødninger i sentrale deler av hjernen anses å være viktige for få ønsket effekt, og kan også sees makroskopisk ved å åpne hjernen for visuell inspeksjon av slagstedet [9, 10]. Kutting av aorta eller flere gjellebuer på begge sider betraktes som god praksis under bløgging [36].

**Kontroll av bevisstløshet.** Det skal kontrolleres at laksen er bevisstløs eller død før bløgging og andre slakteprosesser finner sted. Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [37]. Når alle reflekser er fraværende, kan det trygt konkluderes med at dyret ikke er i stand til å føle [38, 39]. «Øyerulling» (vestibulo-okulær refleks) er svært nyttig på laksefisk. Den er den siste refleksjonen som går tapt under anestesi, og den første som vises etter oppvåkning [40] (se figur 1.3-3). Det skal heller ikke observeres rytmiske gjellelokkbevegelser. Et og annet gisp kan være et tegn på en døende hjerne, men tiltak må settes inn hvis det er flere fisk som gisper eller en fisk gisper gjentatte ganger, da gispning også kan etterfølges av rytmisk respirasjon. En annen refleks er «hale-refleksjonen» (dvs. ta tak i halen og se om fisken slår med halen). Kontroll av reflekser krever

ikke spesialisert utstyr og gir en umiddelbar (<20 s) måling av fiskens tilstand. Man kan også vurdere om fisken reagerer på nåleprikking i leppe eller hud. Kvaliteten på bedøvelsen eller død kan kontrolleres om et antall fisk (før og / eller etter bløgging) overføres til en liten tank og observeres i noen minutter, der blant annet forsøk på å rette seg i normal stilling eller foreta svømmebevegelser registreres.



**Figur 1.3-3.** Illustrasjon av øyerulle refleks av a) levende og b) død torsk. Gjengitt fra "Kestin, S.C., J.W. Van de Vis og D.H.F. Robb (2002) Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *Veterinary Record*. 150(10): s. 302-307. Copyright 2002", gjengitt med tillatelse fra BMJ Publishing Group Limited [40]. Når en beveger fisken fra side til side vil fisken hvis den er bevisst, forsøke å holde øynene i horisontalplan (se a). Hvis fisken er død, kan ingen bevegelser i forhold til posisjon ses på øynene (se b).

**Akutte skader.** Indikatorer for utstyrsfeil eller hardhendt håndtering kan være gjelleblødninger (blodvann for eksempel i levendekjølingstank), ferske skader som finnesplitting, klemskader, blødninger, snuteskader, øyeskader og blåmerker under huden (ses etter at skinnen er tatt av) [9].

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Pre-rigor tid (tid til dødsstivhet).** Høyt/langvarig stress kan gi kortere tid til rigor (enn forventet utfra bedøvelsesmetoden), og også en sterkere rigor. Dette kan brukes som en indikator på at forhold før/under slaktning bør optimaliseres med tanke på fiskevelferd [9].

**Muskel- og blod pH.** Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i muskel på grunn av melkesyre. Ved langvarig aktivitet vil syreeffekten også kunne påvirke pH i blod, men blodet har god bufferkapasitet og en pH senkning vil først være synlig der når bufferkapasiteten overskrides [9]. Hvis fisken har vært stresset/utmattet før slaktning, vil den ha brukt opp energireservene i muskelen og får et raskt fall i muskel pH og sterk rigor mortis. En pH-senkning i muskulaturen som skjer gradvis etter døden er derimot ønskelig, da det bidrar til god kvalitet og økt holdbarhet. Man anbefaler ikke å benytte muskel pH etter slaktning som eneste velferdsindikator, og det er svært viktig å begynne overvåkingen med en gang for å få et korrekt nullpunkt [41] og å få registrert endelig pH-verdi. Mejdell mfl. [9] beskriver at pH i hvit muskulatur hos uthvilt laks ligger i området pH 7,4-7,6. Laveste mulige muskel-pH hos levende laks (in vivo) er pH 6,6-6,7. Blod kan forventes å normalt ha pH omkring 7,7-7,8 [9].

**Grad av avmagring.** Under slakteprosessen kan andel avmagret fisk avdekkes ved å se på størrelse, fasong, buk fett og fett rundt organer på individuelle fisk. Dette kan si noe retrospektivt om hvordan fisken har hatt det.

**Fôr i tarm.** Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager [42, 43], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. På slaktet fisk er det enkelt å kontrollere om det er fôrrester i mage og tarm. En slik kontroll kan benyttes til å evaluere om sultetiden er tilstrekkelig for å unngå kontaminering, men ikke lenger enn nødvendig av velferdsmessige hensyn [44]. Se også kapittel 1.9 om sulting.

### Velferdsmessige sjekkpunkter ved bruk av elektrisk bedøving og slagbedøving [9, 32]

Elektrisk bedøving:

- Sjekk at alle strømparametere er i henhold til produsentens anvisninger.
- Sjekk at ingen fisk kan få strømstøt før bedøvingsstrøm passerer fiskens hode.

Slagbedøving:

- Sjekk at fisk kommer riktig vei inn (eller ut) av slagmaskinen.
- Sjekk at merket etter slagbolten er på rett sted over hjernen.
- Registrer antall fisk som ikke er truffet eller feiltruffet. Sjekk og juster maskinen, forholdene i atferdskaret og/eller sett inn nok mannskap for retningsstyring.

Begge:

- Sjekk at fisken ligger rolig (ikke vedvarende sprelling), mangler øyerull-refleks og regelmessige gjellelokkbevegelser (pusting) etter bedøving, før bløgging (hvis det er mulig). Kontroller at den er korrekt bløgget før overføring til utblødningstanken.
- Sjekk: Ta ut 20 fisk etter bedøving og bløgging og legg disse over i et kar med vann. Observer fiskene i 10 minutter. Viser noen tegn til midlertidig oppvåkning i form av øyerull-refleks, regelmessige gjellelokkbevegelser, gjenoppretting av balanse, eller viljestyrt svømming, er bedøvelsen ikke tilfredsstillende. Kontroller også bløggesnittet. For slagbedøving kan testen eventuelt også gjøres med fisk som ikke er bløgget – som en kontroll av at bedøvingen er irreversibel.
- Før tilsyn med at fisk som kommer ut av utblødningstanken (før sløyging) faktisk er død.
- Før kontroll og ha tilstrekkelige back-up systemer/mannskap ved behov for manuell avliving.



## 1.4 Human avliving av individer og grupper med fisk på anlegget

For å hindre høyt stress eller stor lidelse hos fisk, er det noen ganger nødvendig å avlive dem. Det kan skyldes sykdom eller skader, avliving av utsorterte svake individer, avliving for å ta blodprøver eller avliving av stamfisk. Close mfl. [45] har listet opp 11 viktige kriterier for forsvarlig avliving av forsøksdyr (se tabell 1.4-1). De samme kriteriene er også viktige i kommersiell produksjon, men ofte er utfordringen større på grunn av stort volum av fisk. Før dyret avlives, må det gjøres bevisstløst og ufølsomt for smerte. Bevisstløshet må induseres uten smerte eller lidelse, og dyr må ikke gjenvinne bevisstheten før døden inntreffer.

**Tabell 1.4-1.** Kriterier for forsvarlig avliving. Teksten er oversatt, tilpasset og opplistet fra Close mfl. (1996) [45], "Close, B., Banister, K., Baumans, V., Bernoth, E.M., Bromage, N., Bunyan, J., Erhardt, W., Flecknell, P., Gregory, N., Hackbarth, H., Morton, D. & Warwick, C. (1996). *Recommendations for euthanasia of experimental animals: Part 1. Laboratory Animals, 30(4), s.293-316. Copyright 1996*", med tillatelse fra SAGE Publications.

### Kriterier for forsvarlig avliving i henhold til Close mfl. [45]

- Smertefritt
- Hurtig inntredelse av bevisstløshet og død
- Minst mulig håndtering og fastholding
- Unngå opphisselse
- Tilpasset livsstadium, art og helsetilstand
- Redusere redsel og psykisk stress
- Pålitelig og reproducerbar metode
- Irreversibel
- Lett å administrere (i små doser hvis mulig)
- Sikker for bruker og så estetisk som mulig
- Bruker må vite hva som skal gjøres gjennom riktig opplæring

Akseptable metoder for avliving ved ulike livsstadier er oppført nedenfor. Det finnes eldre referanser om bruk av avfallskvern for avliving av yngel <2 cm [45]. Men dette kan ikke betraktes som god praksis i dag, med mindre dette blir ytterligere velferdsmessig dokumentert. Direkte avliving med fiskekvern som metode for postsmolt er ikke akseptabelt [46]. Likevel kan oppkverning brukes som steg to i kombinasjon med elektrisk bedøvelse eller anestesimidler under nødslakting ved sykdomskontroll [33]. Hvis fisken ikke kan transporteres til slakteriet med brønnbåt, f.eks. av helsemessige eller smittehygieniske årsaker, finnes det spesielle båter for å utføre nødslakting på stedet. En utfordring kan være tilgjengeligheten av slike båter, hvis for eksempel en alvorlig sykdom rammer en hel region. Elektrisk avliving kan være det beste valget i slike båter [46]. Ved nødstilfeller kan man benytte avliving ved hjelp av overdoser av bedøvelsesmidler som metakain / benzokain, men fisken kan da ikke brukes til menneskemat etterpå [33].

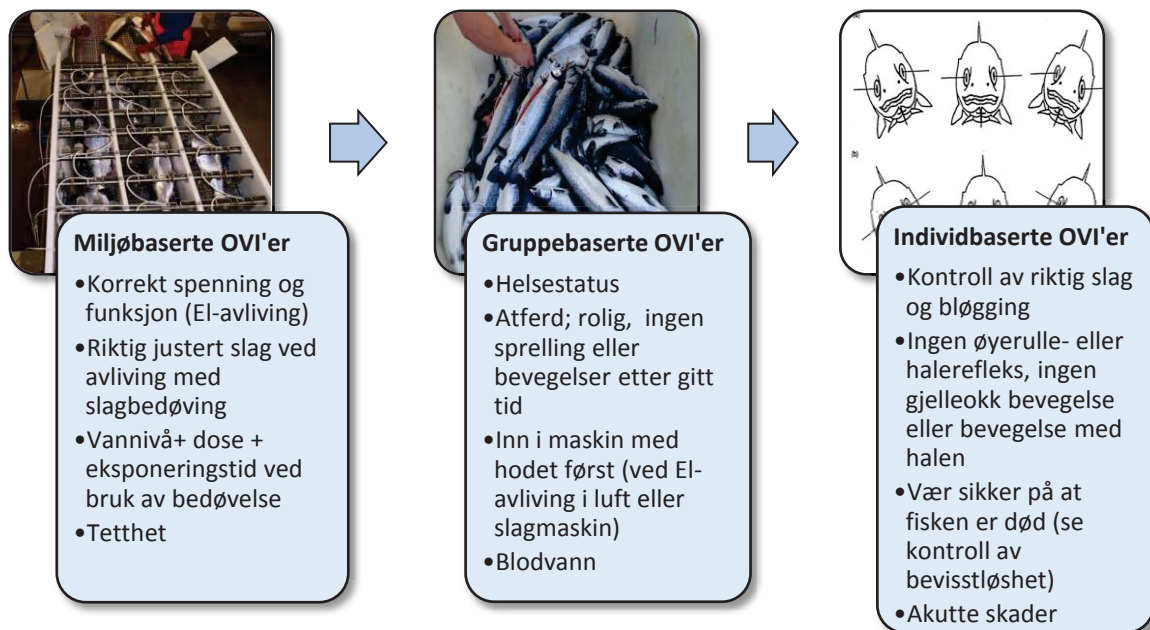
### Akseptable metoder for avliving av fisk ved ulike livsstadier

- Yngel – Overdose bedøvelse, enkeltindivid; slag i hodet.
- Parr – Overdose bedøvelse, eller slag i hodet (bak øynene) etterfulgt av bløgging eller hodeavkapping [46].
- Postsmolt – Overdose bedøvelse, slag i hodet og bløgging. Ved nødslaktning bruk slaktebåter (eks. elektrisk bedøvelse/avliving og fiskekvern) [33].
- Stamfisk – Bedøvelse og bløgging eller overdose bedøvelse.

### Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Dersom bedøvingen ikke utføres riktig, er det en risiko for at fisken er bevisst under bløgging. Ved manuell avliving av fisk med hodeslag er det viktig å slå hardt nok (helst brukes en «prest» som er en avlivingsklubbe). Slaget må treffe riktig på hodet, bak øynene (pass på å ikke treffe øynene). Bløgging bør gjøres umiddelbart etter slag for å sikre at fisken ikke våkner igjen, noe som kan være en risiko ved et ikke optimalt treff. Kutting av aorta eller de fleste gjellebuene på begge sider betraktes som god praksis under utblødning [36].
- Ved bruk av medisiner er det viktig å sikre riktig eksponeringstid, dose i henhold til temperatur og størrelse. Dette er spesielt viktig under nødslakting med mange individer, for å sikre at alle fiskene blir avlivet [36].
- Metoder som resulterer i dårlig velferd, og som ikke anses å være human avliving er: CO<sub>2</sub>-mettet vann, levende kjøling + moderat CO<sub>2</sub> og det å kutte gjellene på bevisst fisk (det kan ta 4,5-6 minutter før fisken er hjernedød) [36].
- Under daglige rutiner for å ta opp død fisk fra merd er det viktig å kontrollere at alle fisk virkelig er helt døde, ellers er det fare for at enkeltindivider kveles som følge av lufteksponering. Ved opptak av svimere (fisk som er døende eller har avvikende atferd), er en av de største risikoene for velferden selve innfangningen av fisken. Å fange dem fra store merder kan være en utfordring, spesielt når oppdretteren ikke vil stresse eller skade andre fisk under prosedyren. Små båter har blitt brukt inne i merden for å fange døende eller syke fisk under sykdomsutbrudd. Det er svært ønskelig med bedre tekniske løsninger for å sortere ut syke individer.

## Hvordan vurdere velferd under avlving



**Figur 1.4-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for avlving. Miljøbaserte OVI'er gjelder miljøet i teknisk utstyr og vann, gruppebaserte OVI'er gjelder oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik, øyerulle reflekskisse fra Kestin mfl. [40], gjengitt fra "Kestin, S.C., J.W. Van de Vis, og D.H.F. Robb (2002) Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. Veterinary Record. 150(10): s. 302-307. Copyright 2002", med tillatelse fra BMJ Publishing Group Limited).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Riktig elektrisk spenning og funksjon ved elektrisk bedøvelse.** Følg produsentens håndbøker og oppdater med egne erfaringer, forutsatt at virkningen av eventuelle endringer blir overvåket med tanke på fiskevelferd. Se også norske myndigheters veiledning og tolkning av slakteriforskriften [10].

**Riktig justert slag ved bedøvelse og avlving.** Følg produsentens håndbøker og oppdater med egne erfaringer, forutsatt at virkningen av eventuelle endringer blir overvåket med tanke på fiskevelferd.. Pass på at maskinen er justert til fiskens størrelse.

**Bedøvelsesdosering og vannivå, samt tetthet.** Ved bruk av bedøvelse er dosering eller mer korrekt overdosering, eksponeringstid og tilstrekkelig vannstand samt akseptabel fisketetthet viktig for effektivt å kunne avlive all fisk. Se kapittel 1.6 for ulike bedøvelsesmiddel.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Syk eller skadet fisk må håndteres i et forsvarlig tempo, og når det først er besluttet avliving bør dette gjennomføres så snart som mulig for å hindre ytterligere lidelser hos fisken.

**Atferd.** Fisk skal være rolig, ingen sprelling eller plutselige bevegelser. De skal ikke være utmattet eller ha problemer med balansen ved svømming. Laksen skal komme inn i maskinen i riktig retning med hodet først under slag eller elektrisk avliving i tørrluft. For å unngå at fiskene presses i feil retning av andre individer eller får forlenget oppholdstid i karet, må oppholdskarene før avlivingsmaskinen ikke være for overfylte [9].

**Blodvann.** Sterkt rødfarget avlivingsbad med mye skjell og annet organisk materiale er en indikator på at vannkvaliteten er redusert, fisken har fått skader eller også at legemiddel kan være forbrukt.

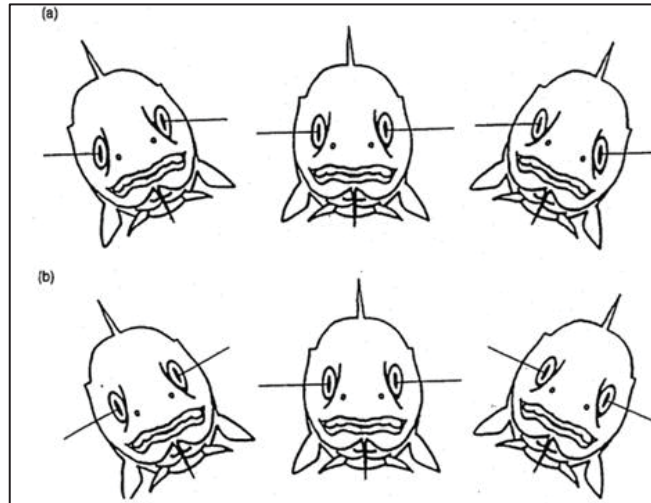
## Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Kontroll av korrekt slag og bløgging.** Slaget skal ikke gi brudd, da energien av slaget absorberes i stedet for å gi hjernerystelse med tap av bevisstheten. Blødninger i sentrale deler av hjernen anses for å være viktige for få ønsket effekt, og kan også sees makroskopisk ved å åpne hjernen for visuell inspeksjon av slagstedet [9, 10]. Kutting av aorta eller de fleste gjellebuer på begge sider betraktes som god praksis under bløgging [36].

**Kontroll av bevisstløshet.** Det skal kontrolleres at laksen er bevisstløs eller død før bløgging og andre slakteprosesser utføres. Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [37]. Når de er fraværende, kan det trygt konkluderes med at dyret ikke er følsomt [38, 39]. «Øyerulling» (vestibulo-okulær refleks) er svært nyttig på laksefisk. Den er den siste refleksjonen som går tapt under anestesi, og den første som vises etter oppvåkning [40] (se figur 1.4-2). Det skal heller ikke observeres rytmiske gjellelokkbevegelser. Et og annet gisp bedømmes mindre strengt. En annen refleks er «hale-refleksjonen» (dvs. ta tak i halen og se om fisken slår med halen). Kontroll av reflekser krever ikke spesialisert utstyr og gir en umiddelbar (<20 s) måling av fiskens tilstand. Man kan også vurdere om fisken reagerer på nåleprikking i leppe eller hud, og om den forsøker rette seg i normal positur eller gjør svømmebevegelser om den legges over i vann.

**Akutte skader.** Håndteringstraumer er akutte skader som skyldes håndteringer. Dette kan være for eksempel klem- og kuttskader, hudblødninger, skjelltap, snuteskader, øyeskader, finneskader og muskelblødninger. Av velferdsmessige hensyn er det viktig med skånsom håndtering også under avlivingsprosessen, og skåring av akutte skader på individuelle fisk kan si noe om man har lyktes i dette, eventuelt om utstyr eller prosedyre bør utbedres. Se for øvrig også blodvann.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyebledninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**



**Figur 1.4-2.** Illustrasjon av øyerulle refleks av a) levende og b) død torsk. Gjengitt fra “Kestin, S.C., J.W. Van de Vis, og D.H.F. Robb (2002) Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *Veterinary Record*. 150(10): s. 302-307. Copyright 2002”, med tillatelse fra BMJ Publishing Group Limited [40]. Når en beveger fisken fra side til side vil fisken hvis den er bevisst, forsøke å holde øynene i horisontalplan (se a). Hvis fisken er død, kan ingen bevegelser i forhold til posisjon ses på øynene (se b).



## 1.5 Bade- og medisinbehandlinger

God forebygging er som regel et bedre alternativ for fiskevelferden enn medikamentell behandling. Men dersom forebyggingen er mislykket og fisken infiseres av smittsomt agens, kan behandling være et aktuelt alternativ. Dette kapitlet beskriver medikamentell behandling og mulige bivirkninger av disse. Badebehandling i ferskvann mot lus og AGD er også inkludert. Lakselus kan også behandles med ikke-medikamentelle metoder og de mest aktuelle av disse metodene beskrives i kapittel 2.2.1. For vaksinasjon se 1.7 og 1.6 om bedøvelse. Mattilsynet har også laget en egen veileder om legemiddelbruk som retter seg mot fiskehelsepersonell [48].

Medikamentell behandling gjennomføres i norsk oppdrettsnæring i varierende omfang og mot ulike agens, i hele laksens livssyklus. Dette gjelder fra rognstadiet til slakting eller til den eventuelt blir stamfisk. I sammenheng med fiskevelferd er det relevant å dele opp temaet etter administrasjonsvei for legemiddelet; badebehandlinger, fôrbehandlinger og injeksjoner. Det er generelt lite kjente velferdsutfordringer forbundet med fôrbehandlinger og injeksjoner utføres bare i svært begrenset omfang. Dette kapitlet behandler derfor bare velferdsutfordringer forbundet med badebehandling.

### Velferdsutfordringer

*Legemiddelbivirkninger er skadelige eller utilsiktede effekter av legemidler anvendt i doser som normalt brukes ved behandling, profylakse eller i diagnostikk av sykdom, eller for å modifisere fysiologiske funksjoner [49].*

- I oppdrettssammenheng kan det være spesielt hensiktsmessig å skille mellom bivirkninger forårsaket av legemiddelet og bivirkninger som følge av svakheter ved metoden for administrasjonen av legemiddelet.
- Bieffekter av godkjente legemidler brukt på optimal måte er godt dokumentert gjennom godkjenningsordningen for legemidler. Godkjente legemidler er vurdert som forsvarlige for fiskevelferden. Likevel behandles ofte mange individer samtidig og i store enheter. Det er store krav til effektivitet og dermed er det også stor risiko for at de ulike individene kan få ulik behandling.
- Store enheter gir utfordringer forbundet med å få en jevn dose legemiddel i hele behandlingsvolumet. Noen legemidler kan feste seg til for eksempel plast eller kan «forbrukes» av organisk materiale i vannet og fisk kan unngå legemiddelet.
- For noen legemidler er det relativt stor forskjell på hvilken dose som gir effekt på agens og hvilken dose som er skadelig for fisken (stor terapeutisk bredde). Mens for andre legemidler er denne forskjellen mindre (liten terapeutisk bredde). I oppdrettsnæringen vil det være ekstra stor risiko forbundet med å benytte legemidler med liten terapeutisk bredde.
- I takt med utviklingen av redusert følsomhet for legemidler, slik det har blitt med de fleste lusemidlene, har det vært praktisert å bruke økte doser og/eller en kombinasjon av flere legemidler. Dette er en praksis som er mangelfullt dokumentert og som antakelig øker risikoen for bivirkninger. Avvik i bruken av et legemiddel fra preparatomtale, eksempelvis ved økt dose eller en kombinasjon med andre legemidler, stiller nå store krav til dokumentasjon av faglig forsvarlighet [48].
- Før badebehandling blir fisken trent sammen, hovedsakelig for å spare legemiddel og redusere miljøpåvirkning. Dette gjøres ved å line opp noten, ved å overføre fisken til brønnbåt eller ved å tappe ned karet i settefiskanlegget. Trenging kombinert med eventuell pumping kan påvirke

fiskevelferden negativt gjennom fysiologiske bivirkninger, finne- / hudskader, tap av appetitt og dårligere vekst [3, 22, 50]. (Se kapittel 1.1 og 1.2 om trenging og pumping).

- Økt ventilasjonsrate som følge av stress og/eller oksygenmangel kan medføre økt opptak av legemidler og dermed fare for forgiftning.
- Hydrogenperoksid har erfaringsmessig ført til episoder med høye dødelighetstall og dermed dårlig fiskevelferd, og både vanntemperatur og dose kan påvirke resultatet [51]. Nedsatt følsomhet er også et økende problem [52]. Det er utviklet egne sensitivitetstester til bruk på lus før behandling [53] for å ikke behandle fisk med suboptimale doser/utilstrekkelig effekt som vil gi ytterligere behov for nye behandlinger. På grunn av spalting av hydrogenperoksid, kan det være en risiko for overoksygenering under behandling.
- Ferskvannsbehandling mot lus har vist seg å ha få rapporterte negative konsekvenser for fiskevelferden [16, 54], men den relativt lange behandlingstiden på 6,5-8 timer som benyttes, kan gi økt risiko for skader relatert til håndteringen/trenging (se kapittel.1.1 og 1.2). I tillegg må det sørges for tilstrekkelig vannkvalitet (se tabell 1.5-1).
- Når det gjelder AGD behandling med ferskvann, er det sett at man få uker etter behandling kan få samme utgangsnivå som før behandling [55, 56], og det er også observert nedsatt følsomhet [57]. For langt kommet sykdom (målt i AGD skår) gir økt risiko for dødelighet under behandling [20].

**Tabell 1.5-1.** Anbefalte nivå i vannkilden og grenseverdier under behandling, for viktige vannkvalitetsparametere i forbindelse med ferskvannsbehandling av laks. Gjengitt fra "Powell, M.D., P. Reynolds, og T. Kristensen (2015) *Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea-lice in seawater salmon production: Considerations of water chemistry and fish welfare in Norway. Aquaculture. 448: s. 18-28. Copyright 2015*", med tillatelse fra Elsevier [20].

Vannkvalitetsparameter	Før behandling (anbefalt nivå)	Under behandling (grenseverdier)
Konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<500	<1000
pH	6.0-6.7	6.0-6.8
ORP (mV)	40-100	<350
TOC/DOC (mg/L)	<3	Hvis mulig prøvetak for senere analyse
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	<10	Hvis mulig prøvetak for senere analyse
Na <sup>+</sup> (mg/L)	<10	
O <sub>2</sub> (%)	90-110	90-110
CO <sub>2</sub> (mg/L)	<5	<25
Salinitet (‰)	<5	<5

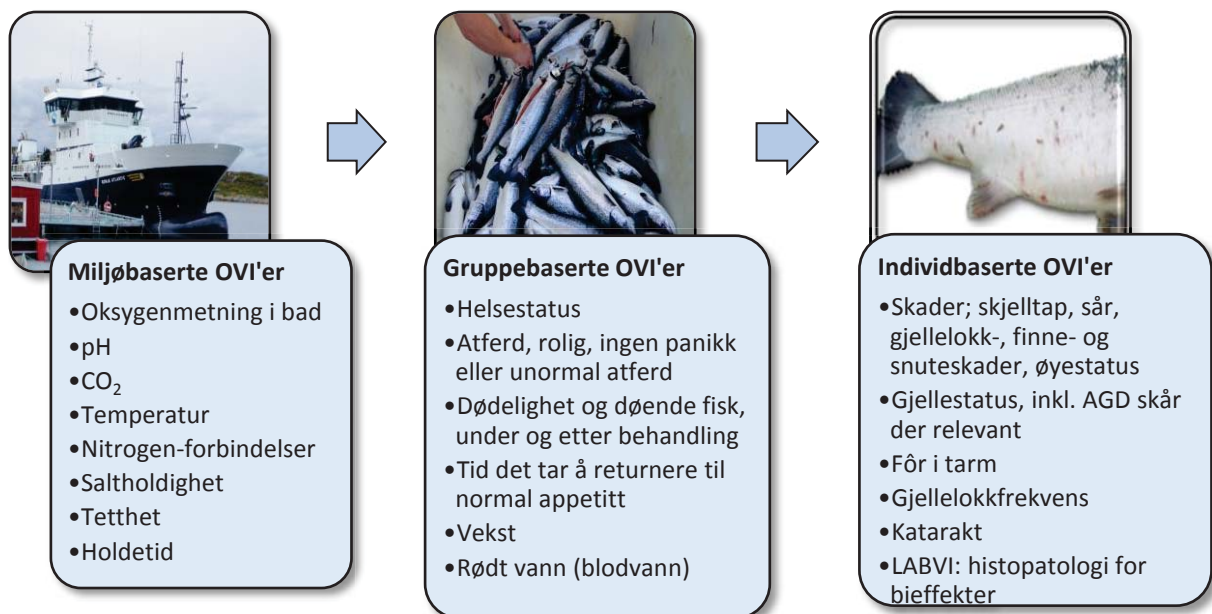
## Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Dyrevelferdsloven § 9 sier: Medisinsk og kirurgisk behandling skal utføres på en dyrevelferdsmessig forsvarlig måte og ivareta dyrets funksjonsevne og livskvalitet. Derfor må den forventede effekt/nytteverdi av en behandling settes opp mot risikoen for fiskevelferdsmessige negative konsekvenser av behandlingen. I noen tilfeller kan avliving eller slakting være et bedre alternativ enn behandling.
- En vurdering av om en skal gjennomføre medikamentell behandling eller ikke, bør inkludere kunnskap om:
  - ✓ Fiskens helsetilstand og sykdomshistorie (blant annet gjellestatus)
  - ✓ Vannkvalitet
    - Vannkjemi og temperatur
    - Alger, maneter, dyreplankton (sjøvann)

- ✓ Følsomhetsstatus (agens) for aktuelle legemidler
- ✓ Behandlingshistorikk – gjentatt behandling med samme virkestoff øker risikoen for utvikling av resistens, mislykket behandling og dermed unødvendig påvirkning på fisken.
- Når det er bestemt at behandlingen skal gjennomføres vil gode forberedelser øke sikkerheten ved behandlingen:
  - ✓ Relevant utstyr, kvalitet og kvantitet
  - ✓ Tilstrekkelig personale og gjerne erfarent personale
  - ✓ Behandlingsplan og prosedyrer
  - ✓ Pakningsvedlegg og anvisninger fra ansvarlig dyrehelsepersonell
  - ✓ Prøvebehandling av et mindre parti fisk (mest aktuelt for badebehandling i settefiskanlegg) for å sannsynliggjøre at behandlingen ikke har utilsiktede effekter
  - ✓ Ta ut vann- og gjelleprøver (backup)
  - ✓ Tilstrekkelig sulting av fisken
- Et viktig tiltak for å redusere eventuelle negative effekter på fiskevelferden, er å bare behandle en enhet den første behandlingsdagen. Denne behandlingen kan så evalueres helhetlig med hensyn til fiskevelferd, før resten av anlegget behandles.
- Føring av behandlingslogg med alle relevante data er påkrevd og vil sikre et nøyaktig grunnlag for evaluering av behandlingen.
- Det å avbryte en pågående behandling ved tegn på nedsatt fiskevelferd kan være en svært viktig løsning for å sikre fiskevelferden. I enhver prosedyre for behandling bør det derfor inngå hvordan en avbryter behandlingen og raskt får tynnet ut behandlingsmidlet, og det må være klare og konkrete kriterier for når en må avbryte behandlingen.

## Hvordan vurdere velferd under og etter badebehandling

Badebehandling involverer ofte både trenging og pumping av fisken og hver av disse prosedyrene har egne risikoer for redusert fiskevelferd og måter å måle denne på (se kapittel 1.1 og 1.2).



**Figur 1.5-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for badebehandlinger. Miljøbaserte OVI'er angår teknologien/badet, gruppebasert OVI'er gjelder oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik).

## Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen og andre vannparametere.** Badebehandling foregår oftest i et avgrenset volum uten vannutskifting innen holdetiden for legemiddelet. Dermed er det svært viktig å tilsette ekstra oksygen og å følge oksygenivået i badet. Dette både for å sikre at fisken får tilstrekkelig med oksygen, men også for å hindre økt ventilasjonsfrekvens som kan medføre økt legemiddelopptak og risiko for forgiftning. Moderne brønnbåter benyttes nå ofte til legemiddelbehandlinger, og disse har i tillegg til oksygenlogging også logging av CO<sub>2</sub>, pH, temperatur og total ammonium nitrogen (TAN). Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke NH<sub>3</sub>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk. Maksimale sikre nivå for kortvarig eksponering (4 t) av NH<sub>3</sub>-N (konsentrasjon av nitrogen bundet som NH<sub>3</sub>) er i følge Wedemeyer [58] 0,1 mg/l (for nærmere beskrivelse se Del A; kapittel 4.1.6). For å redusere risikoen for opphopingen av TAN, er det viktig at fisken sultes før behandling (se for øvrig kapittel 1.9 Sulting). I forbindelse med ferskvannsbehandling kan det være aktuelt å måle saltholdighet [20].

**Temperatur.** Vedrørende temperaturforhold er det viktig å lese pakningsvedlegget for legemiddelet for å se om det er gitt begrensninger i forhold til bruk eller blandingsstyrker. I tillegg kan sjøtemperatur være relevant for tilbakeholdelsestider i forhold til slakting.

**Legemiddelstyrke og holdetid.** Direkte måling av konsentrasjonen av virkestoffet kan være aktuelt for enkelte virkestoff, som for eksempel hydrogenperoksid. Det er også viktig å vite hvilke holdetider som er akseptable for det enkelte legemiddel, og at holdetiden overholdes og loggføres.

**Tetthet.** For høy tetthet i medisinske bad kan bidra til mer mekaniske skader (se trenging), men det må også gjøres en avveining opp mot legemiddelforbruk og utslipp.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Fiskens helsestatus** må være kjent før behandling for å sikre at den tåler håndterings- og legemiddelbelastningen. Veterinær eller annet fiskehelsepersonell vurderer dette.

**Atferd.** Det er viktig å overvåke fiskens atferd, både i overflaten men også i dypet på store enheter. Endret atferd eller utseende kan være indikasjoner på forgiftning eller skader som fisken har pådratt seg under behandlingen. Eksempler på endret atferd er balanseproblemer eller tap av likevekt, vising av buk, «gaping etter luft i overflaten», panikkatferd eller annen unormal svømming, vertikal svømming, hoderisting og sammenklumping. Det er også viktig å følge med på at fisken ikke trenges for mye sammen (se kapittel om trenging).

**Forhøyet dødelighet** eller døende fisk under behandling er en indikator på sterkt redusert fiskevelferd og bør resultere i stans i behandlingen. Forhøyet dødelighet etter behandling kan være relatert til denne og saken bør utredes nærmere av fiskehelsepersonell.

**Retur av Appetitt.** I etterkant av behandlingen kan tiden det tar før fisken igjen har normal matlyst, gi en god indikasjon på det totale skadeomfanget og stressbelastningen.

**Vekst.** Veksten kan påvirkes av kortsiktig eller langvarig stress. Akutte endringer i veksten kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, spesielt når oppdretteren har et robust overvåkingssystem for vekst.

**Rødt vann (blodvann).** Skadede gjeller eller akutte sårskader som blør kan gi rødfarget vann, særlig der vann resirkuleres. Rødt vann er aldri et godt tegn, og årsaken bør omgående undersøkes (se del A kapittel 3 for mer informasjon).

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Skader og bivirkninger.** I tillegg til stress og skader (for eksempel kuttsår, skjelltap, gjellelokk-, øye-, finne- og snuteskader) som kan oppstå i forbindelse med trenging og pumping (se kapittel 1.1 og 1.2), er det rapportert at enkelte legemidler kan gi andre typer skader på fisken. Slike skader oppstår for eksempel som følge av ujevn fordeling av legemiddelet i behandlingsvolumet. Hydrogenperoksid kan gi etseskader på hud, øyne og gjeller. Dette kan også påvirke slimcellene [59, 60]. Cypermetrin og deltametrin er rapportert å kunne gi endret pigmentering, og formalin kan gi gjelleskader [61]. I ekstreme tilfeller kan disse forandringen registreres makroskopisk, men i mildere former må en bruke histologi (LABVI).

**AGD skår og gjellestatus.** AGD skår [62] er relevant å benytte i forbindelse med behandling mot AGD, både for å se behandlingseffekt men også fordi man vet at langt kommet sykdom (målt i AGD skår) gir økt risiko for dødelighet under behandling [20]. Generelt kan det også være relevant å skåre forandringer på selve gjelleoverflaten (synlige som «hvite flekker») for å få et mål på gjellestatus, såkalt total gjelleskår.

**Fôr i tarm.** Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dagene [42, 43], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Hele fordøyelsessystemet, inkludert magesekk, bør kontrolleres for fôrrester. Fôr i mage og tarm kan brukes til å evaluere sulteperioden før behandling eller fôrintaket etter en behandling. Etter en behandling kan dette indirekte også si noe om appetitten (se også kapittel 1.9 om sulting).

**Gjellelokkfrekvens.** Tydelige endringer i gjellelokkfrekvens (som svært hurtige eller utydelige gjellelokkbevegelser) kan være tegn på at fisken sliter og dette sammen med andre vurderinger danner et beslutningsgrunnlag for om behandlingen må avbrytes.

**Øyestatus og katarakt (blakking av øyelinse).** Øyne er svært utsatt for kjemiske og mekaniske skader, og både etseskader, blødninger og uttørking under håndtering i luft kan være en risiko. Kataraktutbrudd hos oppdrettslaks har særlig vært knyttet til histidinmangel i fôr [63-65], men en rekke andre faktorer har også vært koblet til utvikling av katarakt; ernæringsmessige mangler, osmotisk ubalanse, svingninger i vanntemperaturer, parasittiske infeksjoner av øyet, toksiske miljøfaktorer, ultrafiolett stråling, oksidativt stress, genetisk predisposisjon, rask vekst og raske endringer i vannets saltinnhold [66] (se del A kapittel 3.2.12). Sterk kataraktutvikling påvirker synet, og kan slik også forklare nedsatt fôropptak. Dersom man gjennomfører en generell undersøkelse med tanke på øyestatus eller skader er det også lett og samtidig skåre katarakt [67, 68]. I pakningsvedlegget til et hydrogenperoksidpreparat til laks er det oppgitt at det kan forekomme hvite flekker i ett eller begge øyne etter behandling, men at disse normalt forsvinner i løpet av 24 timer etter behandling [69] (se del A, kapittel 3 for mer informasjon om øyestatus).

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyebledninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive finneskader og katarakt er gitt på slutten av dette dokumentet.**



## 1.6 Bedøvelse

Håndtering av fisk involverer nesten alltid fysisk kontakt med fisken. Fiskens karakteristiske kamp ved fangst og håndtering, påvirker både fysiologien og atferden. Det er derfor ofte nødvendig å immobilisere fisk man håndterer [70]. Kommersielt i lakseproduksjonen sederer eller bedøver man ikke fisk ofte. Imidlertid i en typisk produksjonsyklus benytter man bedøvelse under prosedyrer som vaksinerer, sortering, håndtering, transport og forskjellige sykdoms- eller parasittbehandlinger. Alle disse prosedyrene er potensielt stressende og kan gi en uønsket stressreaksjon [71-75].

Sedasjon og anestesi av fisk kan bli induert ved bruk av narkotiske stoffer, gasser, hypotermi og elektrisk strøm [70, 76]. Valget av bedøvelse kan avhenge av a) tilgjengelighet (hva som er lisensiert til bruk), b) kostnadseffektivitet, c) brukervennlighet, d) innholdet i studien (relevant for forskning) og e) brukeren sin sikkerhet [77].

**Marking og Meyer [78] produserte en liste med kjennetegn ved en ideell bedøvelse:**

1. Den har en induksjonstid på mindre enn 15 minutter og helst mindre enn 3 minutter
2. Oppvåkningstiden etter bruk er kort (5 min eller mindre)
3. Den er giftfri for fisk
4. Den er lett å håndtere og ikke skadelig for mennesker under normal bruk
5. Den har ingen vedvarende effekter på fiskefysiologi og atferden
6. Den skilles raskt ut av fisken eller metaboliseres, etterlater ingen rester og krever ikke tilbakeholdelsestid i forhold til konsum eller slakt.
7. Den gir ingen kumulative effekter eller problemer ved gjentatt eksponering
8. Den er billig

I tillegg til disse egenskapene

9. Et bedøvelsesmiddel bør ha en stressreduksjonskapasitet, som burde blokkere utskillelsen av kortisol (hypotalamus-hypofysen-interrenal (HPI) aksens) og gjøre fisken ute av stand til å reagere på ekstra stressorer [79-83].

I Europa er det tre bedøvelsesmiddel godkjent for bruk i kommersiell oppdrett **Benzoak vet**, **Finquel vet** og **Aqui-S vet**.

- **Benzoak Vet** inneholder den aktive substansen benzokain (etyl-4-aminobenzoat) ved et konsentrasjonsnivå på 20 % (200 g / l) og fortynnes i propylenglykol.
- **Finquel Vet** inneholder 100 % Trikainmesilat og har vært den vanligste anestesien siden innføringen i 1967 [84, 85]. En buffer (som natriumbikarbonat) under bruk i ferskvann er nødvendig for å oppnå en nøytral pH. Hvis ikke, kan en drastisk reduksjon i pH skade fisken. Trikain er ca. 250 ganger mer vannoppløselig enn den analoge benzokain og derfor må alle oppløsninger som inneholder benzokain, fremstilles i etanol, aceton eller propylenglykol [70, 73, 76]. Finquel Vet og Benzoak Vet er lokalbedøvende midler, selv om de opptre systemisk i fisk. Lokale anestetika blokker neuronale Na<sup>+</sup>-kanaler og reduserer overføring av nervevirkningspotensialer [86, 87].
- **AQUI-S vet** inneholder 54 % (0,540 g L<sup>-1</sup>) iso-eugenol (2-metoksy-4-propenylfenol) og 46 % polysorbat 80. AQUI-S vet har de siste par årene blitt testet på et bredt spekter av fiskearter, inkludert regnbueørret og atlantisk laks [88]. En ekstra positiv effekt av AQUI-S vet ble oppdaget av Iversen et al. [73], som viste at doser over 20 mg/L (iso-eugenol) blokkerte en ytterligere økning i plasmakortisol.

- Det eneste andre «bedøvelsesmiddelet» som har vist lignende effekter på plasmakortisol er etomidat/metomidat, men disse stoffene regnes ikke som bedøvelsesmiddel da de ikke har noen smertelindrende effekt [73, 82, 89].
- Finquel Vet og Benzoak Vet er begge potente stressorer som vil fremkalle stressrespons under bedøvelse [73].

## Velferdsutfordringer

- Feil bruk kan medføre både overdosering og negative effekter på fiskevelferden [70].
- Ved sedasjon av store enheter er det utfordringer forbundet med å få en jevn dose legemiddel i hele behandlingsvolumet, spesielt ved bruk av AQUI-S vet.
- Økt ventilasjonsrate som følge av stress og/eller oksygenmangel kan medføre økt opptak av legemidler og dermed fare for overdosering.
- Ved overdosering kan oppvåkningstiden bli for lang. Dette er spesielt kritisk i store enheter da bedøvd fisk kan risikere å bli liggende på bunnen over «rista» og tette avløpet med risiko for oksygensvikt. I tillegg kan fisken som blir liggende på «rista» få klem- og hudskader, med etterfølgende infeksjoner.
- Bruk av bedøvelse krever opplæring og erfaring, og feil bruk kan få fatale konsekvenser for fisken.

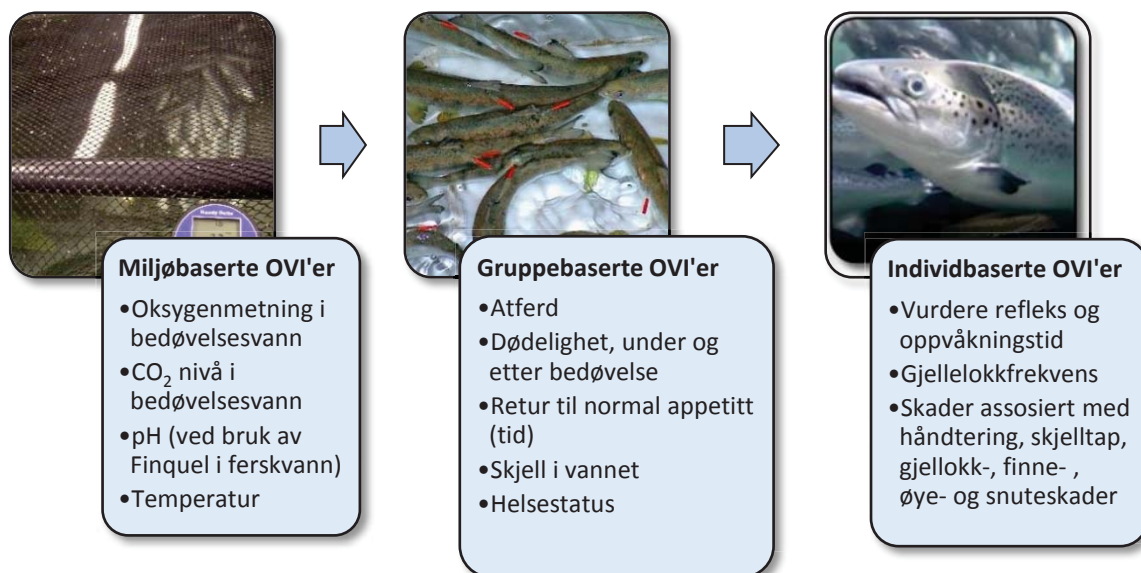
## Hvordan minimere velferdsutfordringene

Dyrevelferdsloven § 9 sier: Medisinsk og kirurgisk behandling skal utføres på en dyrevelferdsmessig forsvarlig måte og ivareta dyrets funksjonsevne og livskvalitet.

- Brukere må kjenne de ulike kjemiske egenskapene til de ulike typene bedøvelsesmidlene. Man bør finne optimal bedøvelsesdose ved ulike vanntemperaturer slik at induksjonstiden er under 3 minutter, etterfulgt av en så kort som mulig oppvåkningstid [70, 78]. Minimalisere stress ved bruk av bedøvelse, og sørg for oksygenering av bedøvelsesbadet.
- Unngå overdosering. Prøv ut en dose bedøvelse på noen enkeltindivid, og deretter evaluerer resultat med hensyn til fiskevelferd, før resten av anlegget behandles.
- Resirkuleringspumpe kan sørge for å få en jevn dose legemiddel i hele behandlingsvolumet. Dette kan være spesielt ønskelig for tungt oppløselige bedøvelser som Benzoak vet og AQUI-S vet.
- Anestesi må kun administreres av opplært, og kompetent personale. All anestesi skal brukes i henhold til produsentens instruksjoner.
- Avbryte øyeblikkelig en pågående behandling ved tegn på nedsatt fiskevelferd. I enhver prosedyre for bruk av anestesi bør det derfor inngå hvordan man avbryter behandlingen og raskt får tynnet ut bedøvelsesmidlet. Det må være klare og konkrete kriterier for når man skal avbryte behandlingen som for eksempel ingen eller svake gjellockbevegelser, forlenget oppvåkningstid, skader på fisken og endret adferd (se figur 1.6-1).

## Hvordan vurdere velferd under anestesi

En ideell bedøvelse bør ha en induksjonstid på mindre enn 15 minutter (helst mindre enn 3 minutter), og krever så kort oppvåkningstid som mulig (5 min eller mindre). Det er viktig at oppvåkningstiden er så hurtig som mulig, ettersom bedøvet fisk synker til bunnen og kan tette utløpet med et mulig utfall av oksygensvikt og alvorlig hudskade på fisken.



**Figur 1.6-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet for anestesi. Miljøbaserte OVI'er angår anestesibadet, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er gjelder enkeltindividet. (Illustrasjon: K. Gismervik og M. H. Iversen. Foto: M. H. Iversen og L. H. Stien).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** Alle bedøvelsesbad må være > 80 % oksygenmettet og om nødvendig være luftet [13]; RSPCA anbefaler også en minimumsgrense på 7 mg/L O<sub>2</sub>. Hvis natriumbikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) brukes til å bufre Finquel Vet, anbefales det å luften badet med oksygen i minst 15 minutter for å redusere oppbyggingen av CO<sub>2</sub>.

**Karbondioksid** kan akkumuleres i anestesibadet hvis tilført luft er utilstrekkelig. Spesiell forsiktighet bør utvises under Finquel Vet bedøvelse kombinert med natriumbikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>). Foreslått CO<sub>2</sub>-konsentrasjon bør være under 15 mg/L.

**pH** må overvåkes eller tas i betraktning hvis man bruker Finquel Vet i ferskvann. Produsentene anbefaler å bruke en buffer (som natriumbikarbonat) ved bruk av Finquel Vet i ferskvann for å oppnå en nøytral pH. Hvis ikke, kan en drastisk reduksjon i pH skade fisken.

**Vanntemperatur** må måles ved bruk av bedøvelse. Ved høye temperaturer over 10 °C må fisken overvåkes, da overgangen fra stadium 4; bedøvelse til stadium 5; respirasjonstans kan være relativt kort ved høye brukerdoser (se tabell 1.6-1)

## Gruppebasert operative velferdsindikatorer

**Atferd** bør overvåkes nøye både før og under en bedøvelse. Ingen håndtering av fisk bør gjøres før den er i stadium 4 - anestesi (se tabell 1.6-1). Dette gjelder spesielt når fisken skal bli utsatt for en potensiell smertefull prosedyre som vaksinasjon. Før fase 4 oppnås ingen reelle smertelindringseffekt (analgesi) av det aktuelle bedøvelsesmiddelet [70].

**Dødelighet** bør følges nøye under og etter anestesi for å evaluere problemer eller velferdstrusler knyttet til prosedyren. Overdosering med anestesimiddel vil føre til dødelighet.

**Retur av appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere, bør overvåkes nøye etter bedøvelse. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere etter eksempelvis håndtering kan derfor også brukes som OVI, da det gjenspeiler hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt er lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når mat tilbys.

**Helsestatus** bør være optimal før administrering av bedøvelse, da fisk med lav helsestatus er mindre tolerant for bedøvelse. Dette gjelder spesielt fisk med AGD, og andre sykdommer som påvirker gjelleepitelet.

**Skjell i vann.** Registrering av mye/ingen fiskeskjell i bedøvelsesvannet.

## Individbasert operative velferdsindikatorer

Som nevnt før, bør en ideell bedøvelse ha en induksjonstid på mindre enn 15 minutter og helst mindre enn 3 minutter. Oppvåkningstiden bør være så kort som mulig, helst 5 min eller mindre. Under anestesi bør en følge tiden det tar for å nå fase 3b / 4 (tabell 1.6-1).

- For lang tid å nå anestesi – tiltak - øke doseringen.
- For fort til å nå anestesi – tiltak - redusere doseringen.

Ingen håndtering av fisk bør forekomme før stadium 3b eller 4, da dette kan skade huden og slimlaget til fisken. Dette gjelder spesielt for smolt og nylig utsatt postsmolt [70].

**Tabell 1.6-1.** Ulike bedøvelsesfaser hos fisk [90]. Gjengitt fra "Schoettger, R.A. og M. Julin (1967) *Efficacy of MS-222 as an anesthetic on four salmonids. Invest. Fish Contr., U.S. Dept. Int. 13: p. 1-15. Copyright 1967*", med tillatelse fra U.S. Geological Survey.

Stadium	Beskrivelse	Atferdsrespons
1	Lett sedasjon	Delvis tap av reaksjoner til eksterne stimuli.
2	Dyp sedasjon	Delvis tap av likevekt, ingen reaksjon på eksterne stimuli.
3a.	Totalt tap av likevekt	Fisk snur vanligvis rundt på ryggen, men svømmer fortsatt.
3b.	Totalt tap av likevekt	Slutter å svømme, men reagerer enda på lett trykk ved haleroten.
4	Bedøvelse (anestesi)	Tapt halerefleks, ingen reaksjon på eksterne stimuli.
5	Respirasjonsstans (død)	Gjellelokkbevegelsene opphører (død).

Hikasa mfl. [91] mener at fisken går gjennom 5 stadier under oppvåkning fra bedøvelse. Disse er 1) pustebevegelse - tydelig bevegelse av gjellelokkene, 2) delvis gjenvinning av likevekt og svømmebevegelser, 3) fullstendig gjenvinning av likevekt, 4) fisk reagerer på eksterne stimuli, og 5) fullstendig retur av normalt adferd og svømmeaktivitet.

**Håndteringsrelaterte skader.** Se avsnitt 1.1 og 1.2 for OVI'er relatert til trenging og pumping. Som et kort sammendrag er de vanligste tegn på problemer forbundet med trenging og pumping ulike skader (for eksempel skjelltap, sår, gjellelokk-, øye-, finne- og snuteskader), som kan etterfølges av utvikling av ulike infeksjoner.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Gjellelokkfrekvens** må overvåkes. Ved tegn på overdosering som hurtig og utydelige gjellelokkbevegelser må fisken straks overføres til oksygenert vann.

#### **Noen generelle anbefalinger ved bruk av bedøvelse ved vaksinasjon**

- Anestesi skal brukes i henhold til produsentens instruksjoner.
- Anestesi må kun administreres av opplært, og kompetent personale.
- Det må være en medarbeider med ansvar for å overvåke oksygennivået i bedøvelsesbadet og opprettholde det ved 7 mg O<sub>2</sub>/L.
- Hvis natriumbikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) brukes til å bufre Finquel Vet, anbefales det å lufte badet med oksygen i minst 15 minutter for å redusere oppbyggingen av CO<sub>2</sub>.



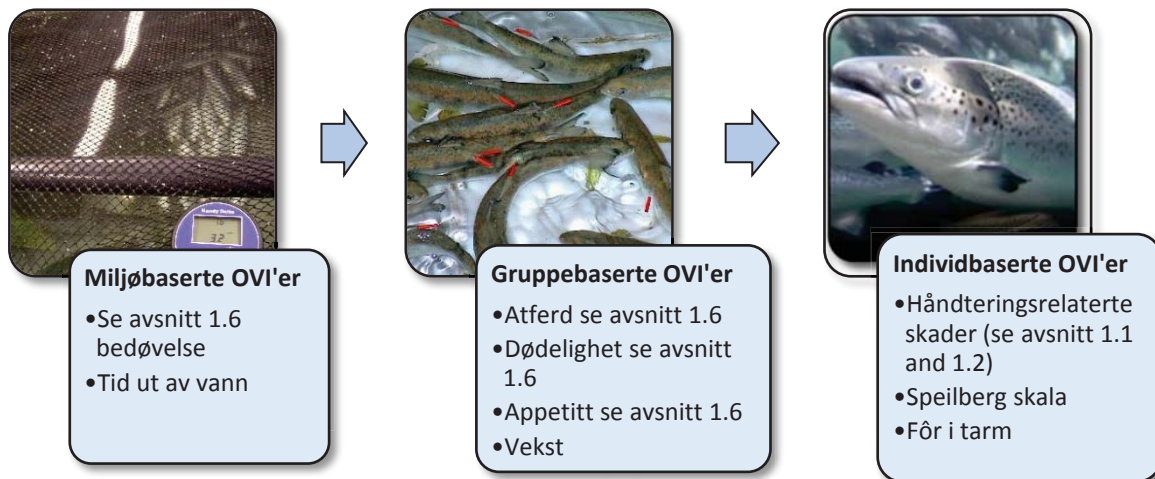
## 1.7 Vaksiner

En av de første utfordringene laksen står overfor under lakseproduksjon er vaksinasjon. Vaksiner av laksefisk er en vanlig og nødvendig prosedyre i akvakultur. I 2010 gikk rundt 250.577.000 atlantiske laksesmolt gjennom vaksinasjonsprosessen i Norge. Med en gjennomsnittlig vaksinasjonskostnad på NOK 1,03 per vaksinert fisk, brukte næringen ca. 250 600 000 nok på vaksiner [92]. Vaksinasjon er et viktig verktøy for å forebygge utbrudd av flere bakterielle og virussykdommer i oppdrett. Vaksinasjon er i stor grad ansvarlig for å redusere bruken av antibiotika og den vedvarende bærekraftige veksten av norsk akvakultur siden 1990-tallet [93, 94]. For å opprettholde helsen og velferden til oppdrettslaks, vaksineres individuelle fisk før overføring til sjø. Injeksjonen av disse vaksinene kan imidlertid føre til uunngåelig stress, og er ofte forbundet med langvarig økning i plasmakortisol [95-97].

### Velferdsutfordringer

- Under vaksinasjon er det fire vanlige stressfaktorer som kommer på kort tid. Disse er trenging (se avsnitt 1.1), pumping (se avsnitt 1.2), anestesi (se avsnitt 1.6) og vaksiner.
- Plasmakortisol forblir forhøyet i minst 72 timer til to uker etter vaksinasjon, og dette er mest sannsynlig på grunn av at oljeadjuvansen som er tilsatt vaksinen for å gi en betennelsesreaksjon.
- Utfallet av antistoffproduksjonen og beskyttelsesgraden påvirkes også dersom en ekstra stressfaktor påføres før eller etter vaksineinnsprøytingen. Studier har vist at hvis plasmakortisol har blitt forhøyet før vaksinasjon, vil det få negativ innvirkning på antistoffproduksjonen [95-99].
- I Norge er den vanligste metoden for vaksiner av laks og regnbueørret at man sprøyter oljebaserte vaksiner, som beskytter mot flere sykdommer, inn i bukhulen. De første oljebaserte vaksiner kom på markedet på begynnelsen av nittitallet. Hver dose hadde et volum på 0,2 ml. Nylig ble volumet av dosene i de fleste vaksintypene redusert til 0,1 ml eller 0,05 ml, hovedsakelig ved å redusere volumet av hjelpestoffer. De oljebaserte hjelpestoffene tjener som et depot av antigenene og gir dermed langvarig effekt, men samtidig bidrar de også til de negative bivirkningene hos fisk.
- Endringene i vaksineformuleringene gjennom årene er et resultat av et ønske om å balansere forholdet mellom effekt og bivirkning. Dette gjøres for å oppnå full beskyttelse gjennom hele produksjonsperioden, mens bivirkningene blir minimert [96, 100-102].
- Ulike vaksintyper kan avvike i effekt og bivirkning, men samme vaksine kan også gi ulike resultater fra tid til annen [103].
- Faktorer som er kjent for å påvirke resultatet av en vaksinasjon, inkludert vaksinasjonsteknikk, vanntemperatur under vaksinasjon [104], fiskens størrelse ved vaksinasjon [104], hygiene, helsestatus, stress og individuelle forskjeller i hvordan fisk reagerer på vaksinen [100, 101, 105].

## Hvordan vurdere velferd under vaksinerings



**Figur 1.7-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet i forbindelse med vaksinerings. Miljøbaserte OVI'er angår oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er gjelder enkeltindividet. (Illustrasjoner: K. Gismervik og M. H. Iversen. Foto: M. H. Iversen og L. H. Stien).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Se avsnitt 1.6 bedøvelse for nærmere detaljer.

**Tid ut av vann.** Grad av lufteksponering bør minimeres. RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder eller maksimal eksponeringstid på 15 sekunder uten anestesi [7, 106]. Tiden fisken eksponeres for luft er særlig kritisk ved høye eller lave temperaturer og når luftfuktigheten er lav.

### Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Se avsnitt 1.6 bedøvelse for nærmere detaljer.

**Dødelighet** bør følges nøye og regelmessig de første to ukene etter vaksinerings, for å overvåke og vurdere problemer eller velferdstrusler assosiert med prosedyren.

**Retur av appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere, bør overvåkes nøye etter vaksinerings. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere etter for eksempel håndtering kan derfor også brukes som OVI, da dette gjenspeiler hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt er lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når mat tilbys.

**Vekst** kan påvirkes av kortsiktig eller kronisk stress. Akutte vekstforandringer kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, særlig når oppdretter har robuste vekstovervåkingssystemer.

**Atferd.** Stim- og unormal atferd kan gi en indikasjon på en god eller en dårlig vaksinasjonsprosess, da typisk stresset smolt og postsmolt laks, vil samle seg i «klumper» på bunnen av tanken eller merden. Det er også typisk at høyt stresset fisk vil reagere på stress med atferd som panikk og rulling i overflaten («blinkende» laks) [107].

## Individbasert operative velferdsindikatorer

**Håndteringsrelaterte skader.** Se avsnitt 1.1 og 1.2 for OVI'er relatert til trenging og pumping. Som et kort sammendrag er de vanligste tegn på problemer forbundet med trenging og pumping ulike skader, som kan etterfølges av utvikling av ulike infeksjoner.

**Fôr i tarm.** For å evaluere sulteperioden før vaksinerings eller fôrinntaket etter vaksine (indirekte appetitt), kan laksen avlives og mage og tarm kontrolleres for fôrinnhold. Det er spesielt viktig at fisken sultes tilstrekkelig før vaksinerings, da man ønsker best mulig smittehygiene under innstikk i bukhulen og gjennom sulting unngår man at tarminnhold forurenser vannet. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dagene [42, 43], men dette avhenger av fiskestørrelse og temperatur (se for øvrig 1.9 Sulting).

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Speilbergs skala** benyttes for å dokumentere vaksinebivirkninger og er basert på en visuell vurdering av omfanget og lokalisering av patologiske forandringer i bukhulen til fisken. Den beskriver endringer knyttet til bukhinnebetennelse (peritonitt); sammenvoksninger mellom organer, mellom organer og bukveggen og melaninflekker. Vanligvis er en Speilberg skåre på 3 og over, ansett som uønsket (se tabell 1.7-1 og figur 1.7-2 nedenfor).

**Tabell 1.7-1.** Speilberg Skala, gjengitt fra "Midtlyng, P.J., Reitan, L.J. og Speilberg, L. 1996 [101], *Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (Salmo salar L.) against furunculosis. Fish & Shellfish Immunology 6, 335–350. Copyright 1996*", med tillatelse fra Elsevier. Resultatene baserer seg på det visuelle inntrykket av bukhulen og alvorlighetsgrad av lesjoner.

Score	Synlige forandringer i bukhulen	Alvorlighetsgrad av skader etter sløyning
0	Ingen tydelige skader.	Ingen.
1	Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig at blir lagt merke til av ufaglærte under sløyning.	Ingen eller liten grad av ugjennomsiktighet av bukhinna etter sløyning.
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyning.	Kun ugjennomsiktighet av bukinnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene manuelt.
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremre delen av bukhulen, som involverer sammenkobling av blindsekkene, leveren eller magesekken til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløyning.	Mindre synlige skader etter sløyning, som kan fjernes manuelt.
4	Store sammenvoksninger med granulomer, omfattende sammenvokste indre organer, som fremstår som en enhet. Sannsynlighet for å bli lagt merke til av ufaglærte under sløyning.	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt.
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organer i bukhulen. I store områder er bukinnen tykkere og ugjennomsiktig, og fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer.	Etterlater synlige skader på fisken etter sløyning og fjerning av lesjonene.
6	Enda mer alvorlig enn 5, ofte med betydelige mengder melanin. Innvollene kan ikke fjernes uten skader på fileten.	Etterlater store skader på fileten.



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 1.7-2.** Speilbergsskala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. Figur: D. Izquierdo-Gomez. Foto: Lars Speilberg. Tekst gjengitt fra "Midtlyng, P.J., Reitan, L.J. og Speilberg, L. 1996 [101], *Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (Salmo salar L.) against furunculosis*. *Fish & Shellfish Immunology* 6, s. 335–350. Copyright 1996", med tillatelse fra Elsevier.

## 1.8 Transport

De fleste levendetransporter av fisk er gjort enten på veien med lastebil eller på havet ved hjelp av brønnbåter. Alle størrelser fra yngel, parr, smolt til postsmolt, håndteres og transporteres i en kommersiell produksjon av både laks og ørret [108-112]. Transport består av flere potensielt traumatiske stressbelastninger: Trenging (se avsnitt 1.1), lasting/ pumping (se avsnitt 1.2), transport og lossing. Håndtering og transport kan gi alvorlige stressresponser hos laks [74, 113-115]. I tillegg til de alvorlige stressorene under transport, synes atlantisk laksesmolt å være mer sensitiv overfor akutt håndteringsstress sammenlignet med parr, delvis på grunn av den naturlige økningen i plasmakortisol under smoltifisering (Parr-Smolt-transformasjon) [116]. Fra et dyrevelferdsperspektiv er det en rekke negative effekter forbundet med transport av levende fisk [112]. Håndtering og de fysiske forstyrrelsene som er forbundet med lasting, transport og lossing, har et potensiale til å forårsake stress og skade, som muligens kan føre til langvarige helseproblemer. Under transport kan det forekomme endringer i vannkvaliteten som påvirker fiskens åndedretts- og stressfysiologi negativt. Kommersielt produserte smolt må også takle en brå overføring til sjøvann, en standardpraksis som brukes i akvakultur. I tillegg kan «trange» og små transportenheter forringe fiskens evne til å oppføre seg naturlig [74, 107, 108, 112].

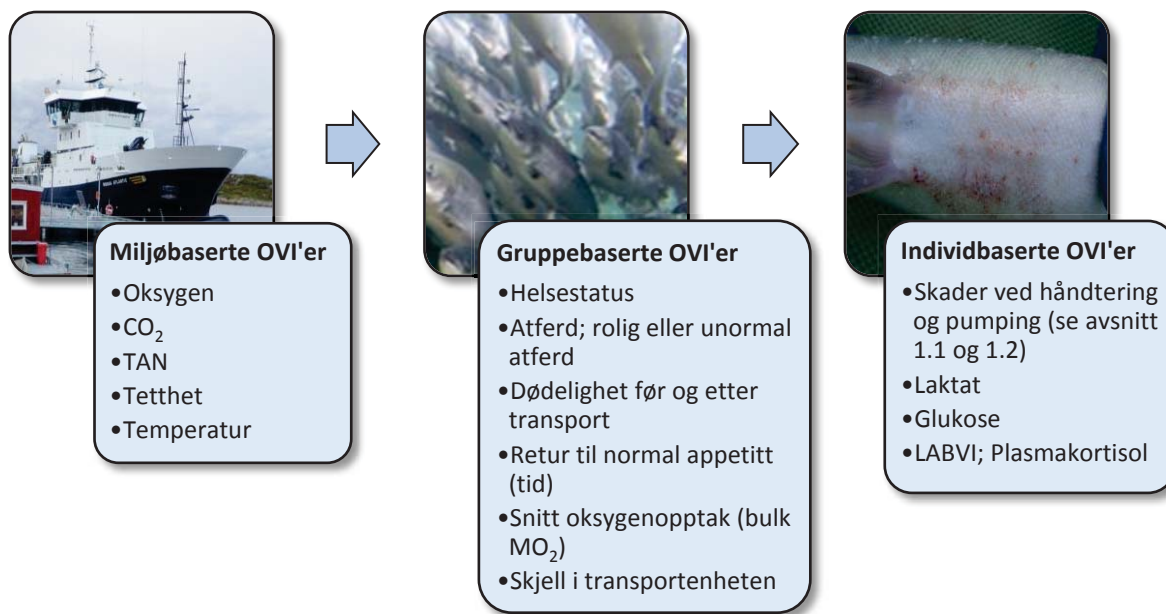
### Velferdsutfordringer

- **Transport – en viktig hvilefase.** De fleste studier har vist at i forhold til laste- og losseprosessene, kan transportfasen være den minst stressende delen av selve transporten av fisk [74, 107, 117-119]. Men transporttiden er en viktig del av denne hvilefasen, da fisk oppnår en mer optimal gjenvinning av normale livsfunksjoner ved lengere enn kortere transportlengder [27, 74]. Flere studier har vist at transport i båt og lastebil har en viktig hvilefunksjon. Uten denne muligheten til å gjenopprette normale livsfunksjoner (på grunn av kort transport, dårlig vær eller dårlige veiforhold) mellom de store stressbelastningene som er lasting og lossing, blir laksesmoltens evne til å håndtere ekstra stressbelastninger sterkt redusert.
- **Vær og veiforhold under transport.** Dårlig vær eller dårlige veiforhold kan få negative innvirkninger på fiskenes velferd, da fisk kan bli sjøsyk. Dette understrekes av det faktum at fisk nå brukes som modelldyr for studier av bevegelsessykdommer hos vertebrater [120]. På grunn av følsomheten til fiskens sidelinjesystem [121], kan det forventes at transport via vei vil utgjøre en kilde til ekstra stress på grunn av vibrasjon. Videre studier må utføres for å støtte eller avvise denne mulige potensielle stresskilden.
- **Vannkvalitet.** En annen potensiell stressbelastning som kan bringe fiskens velferd i fare under transport er vannkvalitetsforringelse når brønnbåten må lukke ventilene og sirkulere vann, når fartøyet kjører gjennom et område med begrensninger, på grunn av sykdommer eller ugunstige vannsituasjoner. Farrell [117] viste at en brønnbåt med vann inneholdende 10 mg O<sub>2</sub>/L, 62.000 kg fisk (gjennomsnittlig 5,13 ± 0,47 kg), biomasse på 650 m<sup>3</sup> og et rutinemessig oksygenforbruk på 3,1 mg O<sub>2</sub>/min/Kg, ville nå en terskel oksygenkonsentrasjon på 5 mg O<sub>2</sub>/L etter bare 16,9 min. Under dårlige vannkvalitetsforhold er det derfor liten margin for feil, før oksygen må tilsettes i resirkuleringsvannet under drift med lukkede ventiler. Under sommerforhold med varmere havtemperaturer, lavt oksygeninnhold og forhøyet stoffskifte hos fisken, vil denne responstiden være enda kortere. Under vinterforhold eller hvis vann i transportenheten blir avkjølt, vil den sikre perioden ved transport med lukkede ventiler uten oksygentilsetting forlenges til rundt 30 minutter. Ved oksygentilsetting kan ventilene forbli lukkede, men på et tidspunkt vil akkumulering av karbondioksid og ammoniakk i vannet bli problematisk [107, 117-119, 122].



## Hvordan vurdere velferd under transport

Atferdsobservasjoner har lenge vært brukt til å vurdere velferden til landlevende dyr [123]. Det er imidlertid utfordrende å skaffe pålitelige atferdsobservasjoner av dyr i akvatiske miljøer, og dermed har det meste av arbeidet til nå vært avhengig av stressfysiologi [107]. Faktisk har det meste av arbeidet med transportstress hos fisk vært fokusert på endringer i plasmakortisol, glukose og ioner som indikatorer på primær og sekundær stress [72, 109, 111, 115, 124]. (Vedrørende vurderinger av velferd før transport, se avsnitt 1.1 om trenging og 1.2 pumping).



**Figur 1.8-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet i forbindelse med transport. Miljøbaserte OVI'er gjelder transportmiljøet, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik, foto gruppe: L. H. Stien).

## Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** Som en generell retningslinje brukes ofte oksygenmetninger på > 80 % [13], og RSPCA standarden anbefaler en minimumsgrense på 7 mg/L. Under yngeltransport må man ta hensyn til atferden yngelen viser. Den har en tendens til å samle seg på bunnen av tanken. Oksygenforsyning skal derfor leveres til bunnen av tanken.

**Karbondioksid** kan akkumuleres under transport. Tang mfl. [119] viste at i løpet av brønnbåttransport med lukkede ventiler kunne PCO<sub>2</sub> nå 10 mmHg i 20 til 150 minutter, avhengig av transporttettheten og oksygenforbruket hos den transporterte laksen.

**Total ammonium nitrogen (TAN).** De maksimale sikre nivåene for lengre tidseksposering av forhøyede nivåer av NH<sub>3</sub>-N (konsentrasjon av nitrogen bundet som NH<sub>3</sub>), er omkring 0,012 mg/. Mens maksimalt nivå for kortvarig eksponering (4 t) er 0,1 mg/l. Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke NH<sub>3</sub>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk. (For nærmere beskrivelse og referanser se Del A; kapittel 4.1.6). For å redusere risikoen for opphopingen av TAN, sultes fisken normalt i 3 – 5 døgn før transport (avhengig av størrelse og vanntemperaturen) slik at tarmen tømmes helt og dermed reduserer man risikoen for forringelse av transportvannet (se ellers kapittel 1.9).

**Tetthet** kan brukes som indikator under transport. Norsk lovgivning (Forskrift om transport av akvakulturdyr, FOR-2008-06-17-820) sier at transporten skal gjennomføres uten unødige forsinkelser. Transporttiden og tetthet skal være tilpasset forhold som kan ha betydning for fiskens velferd. Ved lengre transport skal spesiell oppmerksomhet rettes mot vannkvalitet, vanntemperatur og tetthet. RSPCA- standarden [7] anbefaler at biomassen under vei- og brønnbåttransport ikke overstiger henholdsvis 60-100 kg/m<sup>3</sup> og 40 -50 kg/m<sup>3</sup>. Men andre faktorer må kunne tas i betraktning for eksempel vannkvaliteten, fiskens størrelse og transporttid, når man bestemmer passende biomassetetthet under transport. Det skal imidlertid bemerkes at Tang, Brauner [118] viste at biomassetettheter mellom 62 og 150 kg/m<sup>3</sup>, ikke viste signifikant påvirket gjennomsnittlig oksygenopptak (bulk MO<sub>2</sub>). Biomassetetthet er derfor ikke en svært følsom OVI. Så lenge de holder biomassen under transport innenfor de anbefalte nivåene og har kontroll over vannkvaliteten, vil dette ikke få stor innvirkning på velferden.

### Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus bør være kjent før transport for å sikre at den tåler håndteringsbelastningen og også i forhold til å unngå spredning av sykdommer.

**Dødelighet** bør følges nøye og regelmessig opp i de første fire ukene etter transport, for å overvåke og vurdere problemer eller velferdstrusler knyttet til prosedyren. Dersom det oppstår dødelighet eller sviming av fisk under transporten må årsaksforhold undersøkes nærmere for å kunne foreta korrigerende tiltak.

**Retur av appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere, bør overvåkes nøye etter transport. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere etter håndtering, kan derfor også brukes som OVI. Dette gjenspeiler hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt kan lett måles kvalitativt ved å observere fisken tar mat som tilbys.

**Atferd.** Stim- og unormal atferd kan gi en indikasjon på god eller dårlig transport. Dette da typisk stresset smolt og postsmolt laks vil samle seg i «klumper» på bunnen av tanken eller merden. Det er også typisk at høyt stresset fisk vil reagere på stress med atferd som panikk og rulling i overflaten («blinkende» laks) [107].

**Skjell i vann.** Mye, lite eller ingenting.

**Snitt oksygenopptak (Bulk MO<sub>2</sub>)** kan brukes til å vurdere velferden for atlantisk laks og ørret under kommersiell transport av fisk. Tang mfl. [118] konkluderte med at  $\dot{M}O_2$  er nyttig for å gi en generell indeks for stress hos dyr, når dette er målt i en stor populasjon av fisk.  $\dot{M}O_2$  representerer gjennomsnittlig O<sub>2</sub>-opptak hos individene i populasjonen. Typisk snitt oksygenopptak (bulk MO<sub>2</sub>) under transport varierte fra 8 (etter trenging og pumping) til 3 mg O<sub>2</sub>/min/kg ved ankomst sjølokalitet (etter 10 timer transport). Mens  $\dot{M}O_2$  kanskje ikke er et komplett mål for stress eller velferd, så gir det et relativt mål for den samlede responsen av stressbelastning som oppstår ved transport, inkludert effekten av ulike biomassetettheter (62-150 kg/m<sup>3</sup>), som var ubetydelig. Tilsvarende var effekten av varierende vanntemperatur og påvirkning på  $\dot{M}O_2$  i henhold til forventningene (øker med økende temperatur) [117, 118].

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

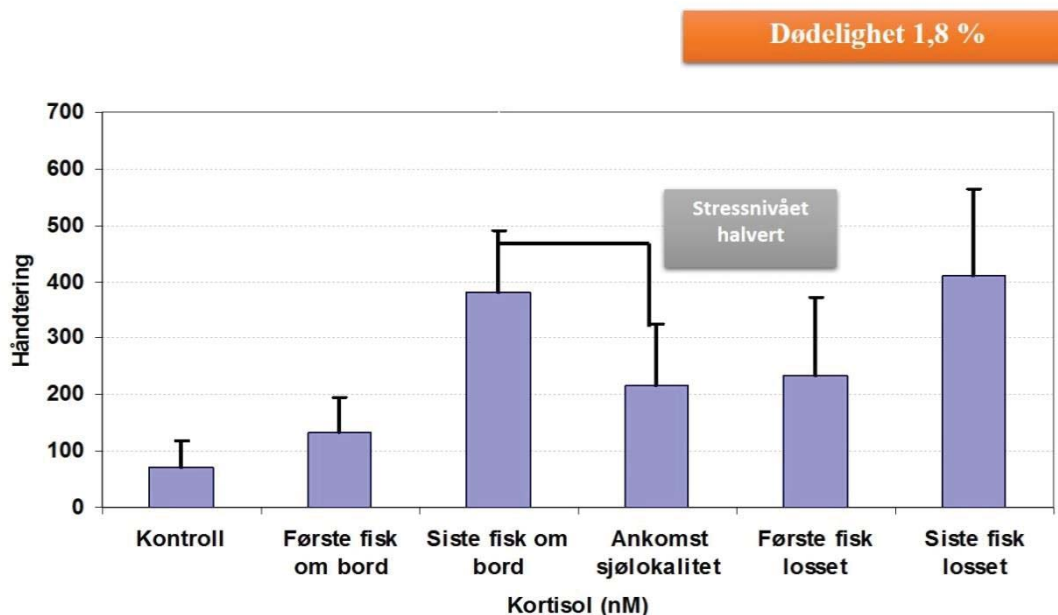
**Håndteringsrelaterte skader.** Se avsnitt 1.1 og 1.2 for OVI'er relatert til trenging og pumping. Som et kort sammendrag er de vanligste tegn på problemer forbundet med trenging og pumping hos enkeltindivider ulike skader, etterfulgt av utvikling av overfladiske infeksjoner.

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Laktat (melkesyre).** Panikk og eksplosiv svømming øker den anaerobe muskelaktiviteten og øker dermed melkesyren (laktat) i blodet [2, 22, 23]. Blodlaktat bør ligge under 6 mmol/L [2]. Dette er lett målt med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet. Imidlertid fant Erikson mfl. [3] ingen signifikant korrelasjon mellom trengetid og laktatnivå.

**Glukose** (blodsukker) kan brukes som en OVI ved trenging [25]. Økningen i plasmaglukose foregår relativt langsomt og toppe seg etter 3-6 timer på laks [26], selv om responsen også påvirkes av fôringsstatus, -type og andre faktorer. Glukosnivåene bør derfor sammenlignes med pre-stress nivåer i stedet for noen «standard stressnivåer».

**Plasmakortisol** er ikke en OVI, men en LABVI. Figur 1.8-2 viser hvordan plasmakortisol henter seg inn ved ankomst på sjølokaliteten etter en velutført transport. De fysiologiske parameterne som plasmakortisol, glukose og laktat bør ved ankomst på sjølokaliteten være tilnærmet lik hvile nivåer, dersom transporten skal være optimal [125, 126].



**Figur 1.8-2.** Gjennomsnittlig plasmakortisol før, under og etter brønnbåttransport. Legg merke til hvordan plasmakortisol er redusert med ca. 50 % etter ankomst i sjøen, noe som gir laksen god gjenvinning av normale livsfunksjoner mellom de to store stressorene lasting og lossing. Figur hentet fra Iversen og Eliassen [125]. Gjengitt med tillatelse fra M.H. Iversen.

## Noen generelle råd om håndteringsprosedyrer under transport

Noen generelle håndteringsprosedyrer for yngeltransport (basert på anbefalinger fra RSPCA, for fullstendig detaljer se RSPCA Standards, 2015). *Gjengitt med tillatelse fra RSPCA.*

- Gulvarealet på transporttankene må vurderes ved beregning av passende biomassetettheter for yngeltransport, da yngel kan "klumpe" sammen på bunnen av tanken.
- Plasseringen av inntaket for oksygen må også vurderes i forhold til denne «klumpeatferden.»

Noen generelle håndteringsprosedyrer vedrørende veitransport (basert på anbefalinger fra RSPCA, for fullstendige detaljer se RSPCA Standards, 2015). *Gjengitt med tillatelse fra RSPCA.*

- Transporttankene må være tilstrekkelig isolert for å sikre at vanntemperaturen under transport forblir relativt konstant og ikke svinger mer enn  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$  fra vanntemperaturen ved starten av transportetappen.
- Hvis det er mulig, skal fisken losses ved bruk av ventiler og rør som ikke påvirker fiskenes velferd, i stedet for eksempelvis bruk av håv.

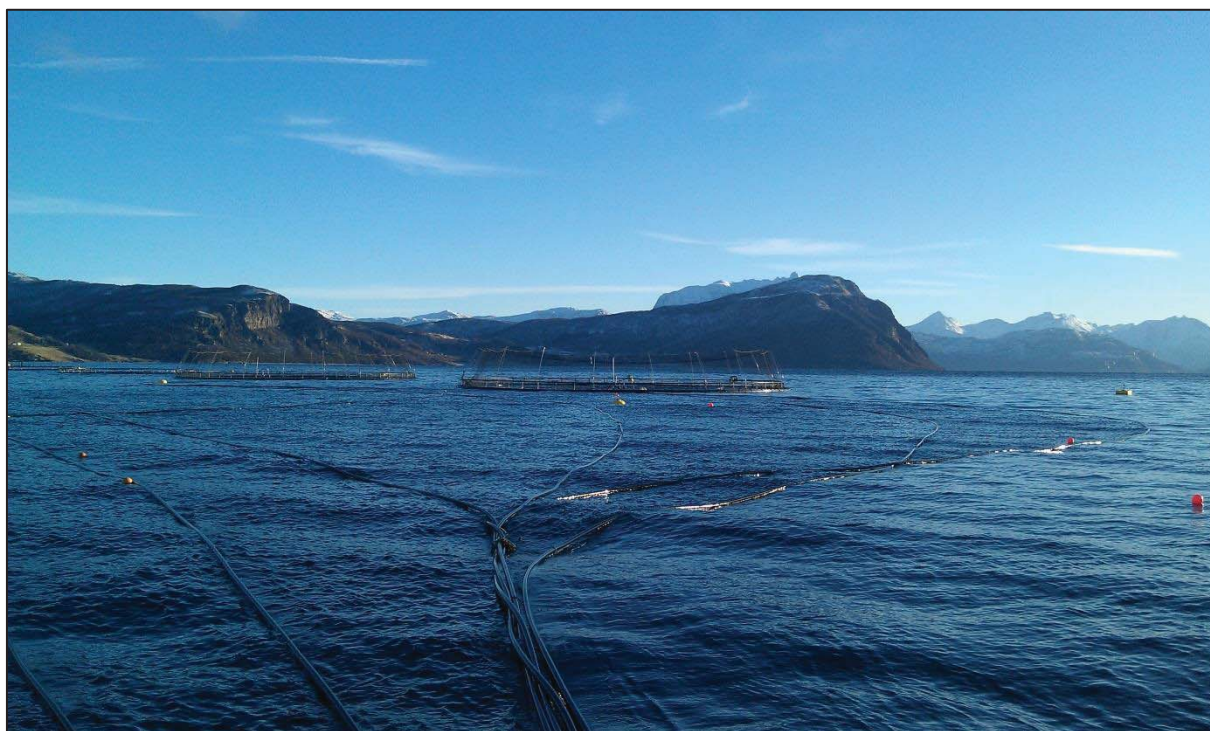
Noen generelle håndteringsprosedyrer for brønnbåttransport (basert på anbefalinger fra RSPCA og Iversen et al. [7, 125], for fullstendig detaljer se RSPCA Standards, 2015). *Gjengitt med tillatelse fra RSPCA.*

- For å sikre at fisken har mulighet til å innhente seg etter lastehåndtering under transportprosessen bør:
  - transportrutene og -tiden planlegges i forhold til været og forventet
  - bølgehøyde, og en bør unngå bølger  $>3\text{m}$ .
  - transport kortere enn 4 timer bør vente minst 4 ytterligere timer på leveringsstedet før lossing starter. Dette er for å sikre at fisken har en tilstrekkelig mulighet til å komme seg etter eventuell transport relatert håndteringsstress.

## 1.9 Fôrstyring, underfôring og sulting

Fôrstyring dekker de valgene en oppdretter har, når de fôrer fisken sin. I klassisk forstand refererer det spesielt til hvordan oppdretter presenterer og distribuerer fôr til fisken [127]. Dette gjelder ikke valgene i forhold til fôringredienser (som er fôrernæring). Men ernæring kan påvirke fôrstyringen, for eksempel kan energiinnholdet i fôr påvirke hvor lang tid det tar for en fisk å bli mett. Fôrstyring dekker seks hovedfaktorer: **1)** fôrmengde - hvor mye mat som gis fisken, **2)** frekvens - hvor mange ganger man fôrer fisken om dagen, **3)** temporær fordeling av fôr – tidspunkt for fôring, **4)** romlig distribusjon - spredning av fôr, **5)** fôrhastighet - hvor raskt man fôrer fisken og **6)** valget av fôringsstrategi og overvåkning av restfôr for å gi optimale rasjoner.

Innenfor rasjons- og fôringsfrekvensaspektet av fôrstyring må man også vurdere underfôring (fôrbegrensning) og sulting (tilbaketrekking av fôr). Underfôring er når fisken gis reduserte mengder fôr (under maksimalt inntak av fôr eller nærmere eller under vedlikeholdsrate). Sulting skjer når fisken ikke blir gitt fôr et visst antall dager, og kan klassifiseres som **1)** kortsiktig sulting (7-10 dager, [128] **2)** langsiktig sulting (langvarig sult). Fôrhastighet er også en viktig faktor, og mange fôrteknologier gir oppdretter god kontroll over fôrhastigheten. Dette bidrar til å redusere konkurransen og sørger for fôr til fisken når de trenger det.



**Figur 1.9-1.** Sentralfôringsystem med fôringsrør som går fra en sentral fôrflåte til kommersielle oppdrettsmerder. (Foto: C. Noble.)



## Velferdsutfordringer

- De primære velferdsproblemer til oppdrettere angående velferdsmessige konsekvenser av fôrstyring, er for det meste knyttet til underfôring og sulting.
- Leveringsfrekvensen kan påvirke konkurransen [127], men en studie fra Bailey mfl. [129] rapporterte at leveransehastigheten hadde ingen innflytelse på vekstraten.
- Forutsigbarheten av fôringstidspunktet kan også påvirke velferden hos lakseparr. Kortsiktig uforutsigbarhet i fôrlevering hos fisk som er vant til et bestemt fôringstidspunkt, kan øke ryggfinneskadene [130].
- En dårlig romlig fordeling av fôr kan føre til store størrelsesvariasjoner i populasjonen, da sterkere individer kan potensielt utelukke svakere individers tilgang til «matfatet» [131].
- Valget av fôringsteknologi og valg av fôring av en fast rasjon istedenfor fôring av en «responsiv» rasjon i forhold til forandringer i appetitten, kan være skadelig for fiskenes velferd [132, 133].

## Hvordan minimerer velferdsutfordringer ved daglig fôrstyring

- Overvåk appetitt og fôringsatferd (for eksempel via undervannskameraer) og fôr fisk med en «responsiv» rasjon i forhold til forandringer i appetitten (appetittfôring).
- Fôr med en hastighet som ikke fører til konkurranse, eksempelvis vist med vedvarende økt svømmeaktivitet under et måltid [133], eller konkurranse mellom fisk for individuelle fôrpellet [133, 134].
- Spre maten over hele kar- eller merdoverflaten.

## Mulige velferdseffekter av sulting

- Det er ingen klar og kvantifisert sammenheng mellom lengden av tilbaketrekning av mat og fiskevelferd [135, 136].
- Fisk kan tolerere korte og langsiktige perioder med redusert tilførsel av fôr og fôrbegrensninger [137].

### Velferdsrisiko ved kortsiktig sulting

- Fisk kan bli utsatt for sulting av flere årsaker, og noen gir velferdsrisiko. Dette er avhengig av mange faktorer, inkludert fiskens størrelse, livsstadium, fysiske tilstand, størrelsen på energireservene og andre faktorer som vanntemperatur.
- Hos voksen atlantisk laks kan 1 dag med sulting betydelig redusere plasmaglukosenivåene [128].
- Kan føre til redusert kondisjonsfaktor og avmagret fisk [135, 138].

### Velferdsfordeler ved kortsiktig sulting

- Fisk kan bli utsatt for fasting av flere årsaker og noen av disse har klare velferdsfordeler. Dette er også avhengig av mange faktorer som de som er beskrevet ovenfor.
- Hvis fisken er utsatt for lave oksygennivåer eller høye vanntemperaturer, kan fôret holdes tilbake for å redusere forbrenningen og dermed redusere oksygenbehovet. Eventuelle potensielle velferdskostnader knyttet til denne type kortsiktige sulting, må veies opp mot større velferdsfordeler ved å begrense mulig dødelighet.
- Kortsiktig sulting kan også redusere alvorlighetsgraden og effekten av visse fiskesykdommer [139].

- Sulting før visse rutiner som lusebehandlinger eller transport, reduserer også metabolsk aktivitet og kan redusere akkumuleringen av CO<sub>2</sub> og ammoniakk i transportvann [140, 141].
- Langsiktig sulting (35 døgn sult før slakt) kan øke fiskens toleranse for akutt stress før slakting [142].

## Mulige velferdseffekter av underfôring

- I følge FAWC [36], er velferdsrisikoen for underfôring på kort sikt mindre enn for varmblodige dyr.
- For bestemte livsstadier hos laks som parr og smolt vil plutselige perioder (Turnbull, pers. Med.) med kort eller langvarig underfôring, gi økt aggresjon og finneskader [130, 143]. Atferdsmessige ettervirkninger av underfôring kan være langvarig [130, 143].
- Videre sier Stevenson [144]; «CIWF og WSPA mener at å sulte oppdrettsfisk som tidligere har blitt fôret regelmessig i lengre perioder, er uakseptabelt i henhold til dyrene sin velferd».

### Velferdsrisiko ved kortsiktig underfôring

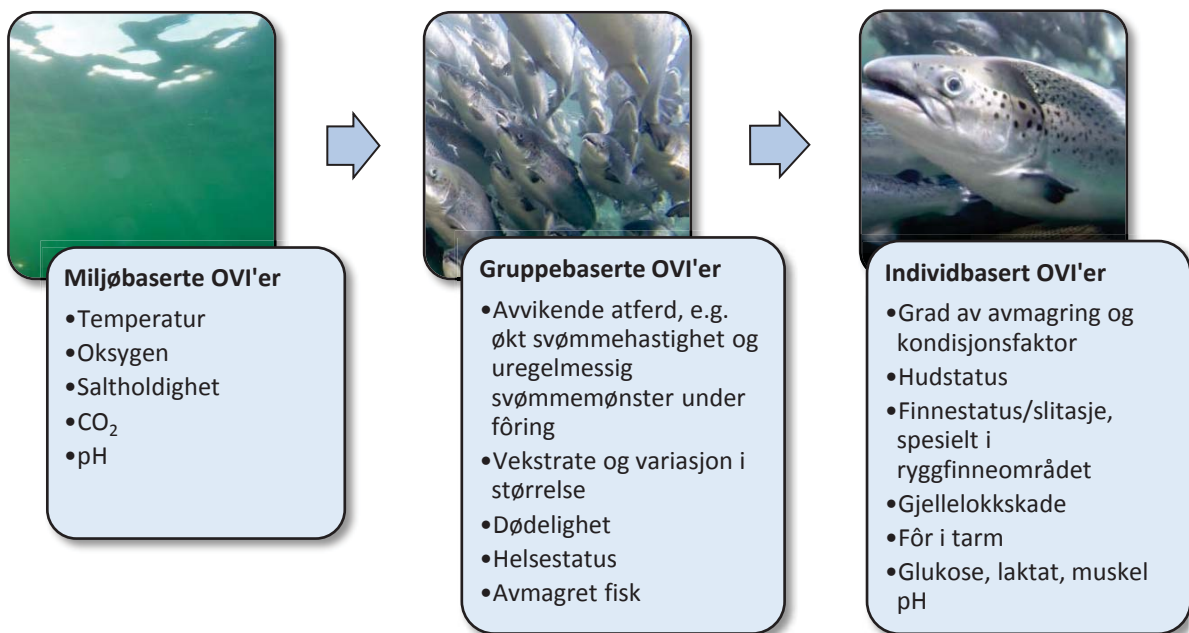
- Det er flere årsaker til at fisk blir underfôret og noen har iboende velferdsrisiko (se avsnitt sulting).
- Fôrrestriksjon kan føre til økt følsomheten for infeksjon.
- Hos parr kan både korte (ca. 10 dagers-) og lange (ca. 30 dagers-) perioder med fôrrestriksjoner være skadelig for fiskevelferden, på grunn av økt aggresjon og finneskader [143, 145].
- Underfôring kan føre til økt konkurranse under fôring [133] og økt frekvens av finneskader [132].
- De langvarige konsekvensene av langvarig underfôring kan være utarming av energireservene og næringsstatus, som fører til redusert kondisjonsfaktor og utmagret fisk [135].

### Velferdsfordeler ved kortsiktig underfôring

- Det er flere årsaker til at fisk blir underfôret og noen av disse faktorene har iboende velferdsrisiko (se avsnitt sulting).
- Fôrrestriksjon kan redusere følsomhet for infeksjon [146].
- Balansert fôrbegrensninger eller nøye kontrollert fôring med begrenset variasjon mellom dagene i fôrbelastningen, kan være med å stabilisere vannkvaliteten i resirkuleringsanlegg (RAS) eller semi-lukkede anlegg [147, 148].

## Hvordan vurdere velferd under 1) sulting, 2) underfôring og 3) andre fôringsstyringsfaktorer

For å følge opp kort- og langsiktige konsekvenser av 1) sulting, 2) underfôring eller 3) andre fôringsstyringsfaktorer på fisken, kan oppdretter bruke følgende miljø og individbaserte OVI'er. Selv om fôring og appetitt påvirkes av en rekke miljøbaserte OVI'er, vil en bare vurdere de mest hensiktsmessige indikatorene og fokusere på indikatorer som baserer seg på fisken i forhold til fôrstyring.



**Figur 1.9-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet i forbindelse med sulting, underfôring og andre fôringsstyringsfaktorer. Miljøbaserte OVI'er gjelder oppdrettsmiljøet, gruppebasert OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. (Illustrasjon: L. H. Stien og C. Noble).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Temperatur** kan pga. effekten på stoffskifte, påvirke både appetitten og hvordan fisken takler fôrrestriksjon eller sulting. Optimal temperatur for postsmolt er rundt 17°C [149]. Temperaturer mellom 12-13°C bidrar til å bevare god velferd og helse i lakseparr og postsmolt [150]. Døgngrader bør vurderes når man ser på konsekvensene av sulteperioder [144, 151, 152].

**Oksygen** kan påvirke inntak av fôr og appetitt (for eksempel i Remen mfl. [153] hvor appetitten ble undertrykt hos smolt ved under 70 % oksygenmetning og 16°C). Oksygenbehovet kan variere mellom livsstadier og er avhengig av ulike aspekter, som temperatur og saltholdighet. De viktigste faktorene som vil bestemme oksygenbruk er kroppsstørrelse, temperatur, stress, aktivitet (svømming, fôring) og livsstadium. Som en generell retningslinje brukes ofte oksygenmetninger på > 80 % [13].

**Saltholdighet** kan også påvirke appetitten [154], men dette er spesifikt for forskjellige livsstadier. For yngel og parr anbefales en saltholdighet mellom 0-10 ‰ [155]. Smolt viser preferanse for haloklinen (< 20‰ i topplag av vannkolonne og > 30‰ under, [11]) og kan ha nytte av tilgang til brakkvann (28‰) [156]. Spesielt gjelder dette når vanntemperaturen er lav (4°C). For postsmolt ligger optimalnivået nært rent sjøvann (33-34 ‰) [13] og for stamfisk <10 ‰.

**CO<sub>2</sub>/pH.** I ferskvannsoppdrett kan høye nivåer av CO<sub>2</sub> øke fôrfaktoren hos lakseparr [157]. Noble mfl. [157] registrerte en klar økning i fôrfaktoren når lakseparr ble holdt i CO<sub>2</sub> nivåer på omtrent 27 mg/l sammenliknet med CO<sub>2</sub> nivåer under 18 mg/l. Lav pH kan også gi redusert appetitt hos lakseyngel. For eksempel Haya mfl [158] rapporterte redusert appetitt hos parr eksponert for pH 4,7 sammenliknet med dem holdt ved pH 6,5.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Atferd.** Lakseyngel viser mer aggresjon når den er sulten og underfôret [135, 143, 145] og underfôring har vist seg å skape mer kamp og skader enn ingen fôring i det hele tatt [159]. Lakseyngel viser også økt aggresjon, og mer uregelmessig svømming under fôring (når fisken blir fôret med en fast rasjon versus en fôring etter appetitt [133, 160]. Det er ingen robuste data om aggresjon hos stor laks under sulting og underfôring.

**Vekst** kan påvirkes negativt av underfôring [132, 143, 145], som kan medføre stor størrelsesvariasjon i en populasjon [145]. Veksten kan også bli negativt påvirket av sulting [138, 161]. Akutte forandringer i veksten kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, særlig når oppdretter har robuste vekstovervåkingssystemer.

**Dødelighet** kan øke etter sulting og underfôring, spesielt i yngel og mindre fisk [162, 163]. Underfôring i ferskvann under smoltfasen kan føre til økt dødelighet i sjøvannsfasen [164]. Man bør derfor følge nøye og regelmessig med dødelighet.

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus kan påvirke appetitten, se for eksempel Damsgård mfl. [165].

**Avmagret fisk.** De langvarige konsekvensene av underfôring eller sulting, kan være utarming av energireservene og redusert ernæringsstatus. Dette fører igjen til redusert kondisjonsfaktor og avmagret fisk [135].

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Finneskade.** Det vanligste tegn på problemer knyttet til underfôring, sulting eller dårlig fôrstyring i individuell fisk, er i utgangspunktet morfologisk skade, primært ryggfinneskader hos parr, smolt og postsmolt [132, 133, 143, 145, 160]. Bråe endringer i frekvensen av synlige hvite ryggfinner (indikator for økt aggresjon), kan også brukes som gruppebasert OVI da dette er observerbart uten å måtte håndtere fisken.

**Skjelltap og hudstatus.** Laks kan miste vekt og bli såret under konkurranse om fôr, slik at hudstatus også kan brukes som en OVI.

**Gjellelokkskade** inkluderer ødelagt eller forkortet gjellelokk og kan bli påvirket av fôring [166].

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snoteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Grad av avmagring og kondisjonsfaktor.** Kondisjonsfaktor kan påvirkes av underfôring [132, 138, 143, 145] og forlenget sulting [167]. Dette kan også føre til en redusert kondisjonsfaktor eller avmagret fisk.

**Fôr i tarm.** Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager [42, 43], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Kontroll av fôrrester i mage og tarm ved obduksjon kan brukes til å evaluere sulteperioder og fôrintak (indirekte appetitt).

**Glukose (blodsukker) og laktat (melkesyre).** Glukose kan brukes som en OVI for dårlig fôrstyring [128]. Hos voksen atlantisk laks kan 1 dag med sulting betydelig redusere plasmaglukosenivåene [128], selv om responsen også påvirkes av fôringsstatus, -type og andre faktorer. Glukosenivåene bør derfor sammenlignes med pre-stress nivåer i stedet for noen «standard stressnivåer». Laktat påvirkes også av dårlig fôrstyring og bør ligge under 6 mmol/L [2]. Dette er lett å måle med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet.

**Muskel pH.** Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i muskel på grunn av melkesyre [24, 138].

### Noen råd angående sulting

- Gjeldende råd varierer etter hensiktsmessig og akseptabel lengde av sultingen i forhold til fiskevelferd.
- RSPCA [7] anbefaler ikke sulteperioder som er lengre enn 72 timer hos voksen laks uten godkjenning av veterinær eller noen med tilsvarende kompetanse, men denne grensen er ikke basert på vitenskapelig litteratur og er for øyeblikket under konsultasjon [144, 168, 169].
- RSPCA [7] anbefaler ikke sulteperioder lenger enn 48 timer for parr som skal sorteres eller smolt som skal transporteres.
- FAWC [170] har foreslått maksimal sultegrense på 48 timer.
- Mattilsynet har ikke fastsatt noen grenser på sulting på grunn av begrenset kunnskap.
- Andre forfattere antyder at sultetid bør begrenses til en uke [171].
- Lines og Spence [172] antyder også at en sulteperiode på 1-5 dager, ikke kan utgjøre store trusler mot laksvelferden.
- López-Luna mfl. [151] har foreslått å bruke døgngreder for å vurdere konsekvensene av faste perioder, slik som Stevenson [144] og FAWC [36].

#### KUNNSKAPSMANGEL

På grunn av de blandede anbefalinger og utilstrekkelig vitenskapelig kunnskap, er det et behov for solide, robuste og kvantitative data om velferdseffekter av sulting i ulike livsstadier, og i forhold til ulike rutiner (for eksempel før slakting).

Denne tilnærmingen bør dekke sulteperioder av ulike varianter og under forskjellige oppdrettsforhold, spesielt med hensyn til temperatur. López-Luna mfl. [151] har foreslått døgngreder, når man vurderer konsekvensene av sulteperioder, som hos Stevenson [144] og FAWC [152].

Inntil disse dataene er tilgjengelige, har vi skissert de potensielle OVI'ene som er egnede for å vurdere effektene av i) sulting, ii) underfôring og iii) andre fôrstyringsfaktorer, på fiskevelferd ved ulike livsstadier.

Oppdretterne kan da bruke disse OVI-verktøyene for å vurdere effekten av hver av de ovennevnte prosedyrene på fiskenes velferd.

FAWC [152] foreslår at det ville være ønskelig å utvikle alternative tilnærminger til fôringspraksis som begrenser en hel merd når bare noe av fiskene skal flyttes, og ved bruk av fôrrestriksjon over lengre perioder.



## 1.10 Renhold og smittehygiene i forbindelse med f.eks. kar og utstyrsvasking

Rengjøring, desinfisering eller smittevask av produksjonsenheter og utstyr, er avgjørende for biosikkerhet og hygiene. Det spiller også en rolle i vedlikehold av systemene, og man unngår oppbygging av organisk avfall og dermed vannkvalitetsproblemer. Enheter/utstyr må først grundig rengjøres før desinfisering siden desinfeksjonsmidler vil være mindre effektive dersom potensielt skadelige organismer er beskyttet av organisk materiale. Tørking og eksponering for sollys kan også spille en viktig rolle i prosessen. Vannbehandling i resirkuleringsystemer, inkludert ozon og systemer for notvask, er dekket i andre avsnitt (se bla. avsnitt 2.2.4).

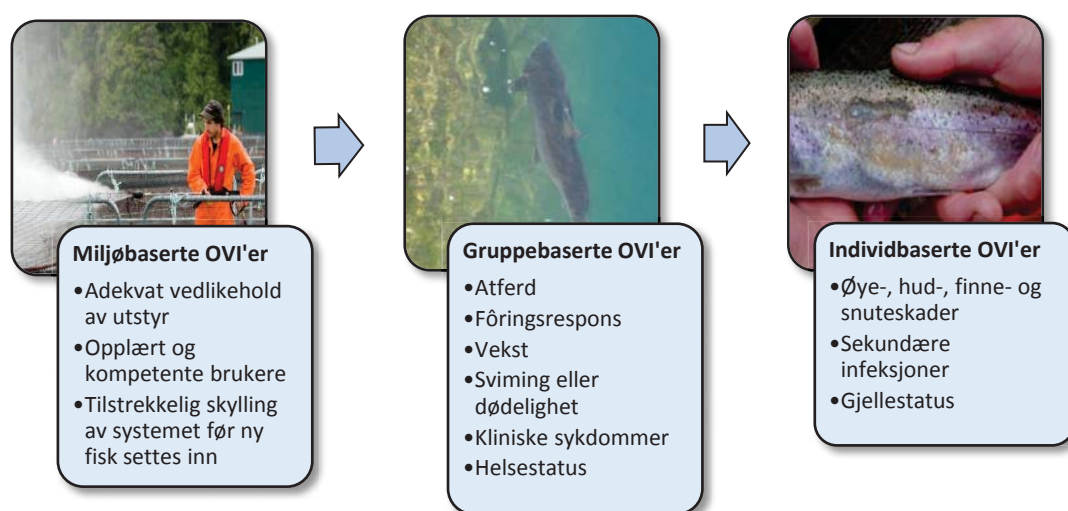
### Velferdsutfordringer

- Hygieniske prosedyrer er først og fremst en fordel for fiskevelferd og er bare en fare for velferd hvis den utføres mens fisken er i systemet, eller hvis rester av potensielt skadelige stoffer forblir i vannet. Utfordringene i slike tilfeller er fysisk skade, stress forbundet med forstyrrelser og effekter av giftige kjemikalier.

### Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Risikoen kan reduseres ved gode røkerutiner, inkludert vedlikehold av utstyr, personalopplæring, tilsyn og kompetanseovervåking. Det bør være standardiserte driftsprotokoller og hygieneprosedyrer, inkludert sikker og effektiv bruk av kjemikalier.
- Det er noen tegn på at noen vanlig daglige forstyrrelser er mindre skadelige enn enten svært sjeldne eller vedvarende forstyrrelser [173]. Dette kan være en form for tilpasning til stressoren eller forstyrrelsen.
- Ved vedvarende observasjoner av avvik fra normal atferd, bør dette undersøkes.

### Hvordan vurdere velferd under hygiene- og renholdsprosedyrer



**Figur 1.10-1.** Oversikt over OVI'er som er egnet i forbindelse med hygiene- og renholdsprosedyrer. Miljøbaserte OVI'er gjelder oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er angår oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er handler om enkeltindividet. (Miljøfoto: <http://www.marineharvest.ca/about/blog-marine-harvest-canada/2012-container-blog/september-6-2012/>, foto gruppe: B. Glencross, foto individ: J.F. Turnbull).

## Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Miljøbaserte OVI'er relatert til prosedyrer og operasjoner under vasking og desinfisering.** De spesifikke kontrollene er avhengig av prosessen og stoffene som brukes, men man bør følge produsentens instruksjoner.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Unormal atferd** inkludert akutt panikk eller annen respons på prosessen eller kjemikalien(e). Eventuell vedvarende panikk eller fluktatferd bør følges opp. Andre atferdsmessige tegn kan være vising av buk, tap av likevekt, unormal svømming, gispning i overflata og sammenklumping.

**Endring i appetitt.** En hvilken som helst reduksjon i fôropptak kan indikere skade eller stress som følge av rengjøringsprosessen, og bør overvåkes nøye [18].

**Redusert vekst.** Dette kan være et resultat av redusert fôrinntak på grunn av stress eller være en indikasjon på forgiftning.

**Kliniske sykdommer, svimere eller dødelighet.** I alvorlige tilfeller kan fisk bli syk og dø eller må fjernes fra merden eller karet. Dette bør undersøkes av fiskehelsepersonell [174-177]. Døende fisk bør tas opp og avlives så raskt det lar seg gjøre.

**Helsestatus.** Helsestatus hos fisken bør være kjent for å kunne skjerpe rengjøring- og desinfiseringsprosedyrer i forbindelse med smittsomme sykdommer (f.eks. dobbel smittevask samt lengre brakklegging/opptørking).

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Overfladisk skade.** Problemer med utstyret eller prosessen kan føre til ulike former for overfladisk skade, inkludert skader på øynene, tap av skjell, snute- og finneskader.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Sekundære infeksjoner.** Avhengig av systemet (fersk- eller sjøvann), kan en rekke overfladiske infeksjoner oppstå ved innledende skade under sortering. Og i enkelte tilfeller kan alvorlige infeksjoner skyldes relativt mindre skader. Eventuelle tegn på infeksjoner bør undersøkes av veterinær eller fiskehelsebiolog.

**Gjellepatologi.** Etter hygienetiltak/-prosedyrer kan enkelte kjemikalier skade gjellene. Unormal atferd kan gi en indikasjon på at noe er galt, men det kan også være nødvendig med nærmere undersøkelser som obduksjon av fisk.

## 1.11 Sortering

Sortering utføres av flere grunner og kan være avgjørende for fiskens helse og velferd. For eksempel kan sortering brukes til å sikre jevn størrelse før vaksinerings. Sortering kan også være hensiktsmessig for å kunne fjerne liten eller unormal fisk, samt også for å velge fisk til slakt. Men uansett hvor nøye dette utføres, er det en stressende og potensielt skadelig prosedyre for fisken. Derfor bør fisk bare sorteres når det er viktig og generelt bør all håndtering av fisk minimeres.

Sortering kan gjennomføres på mange måter gjennom hele produksjonsperioden. Den kan utføres manuelt med liten fisk, ved hjelp av sorteringsmaskiner eller passivt med fleksible nettpaneler og lignende. Fra merder sorteres også fisk ved bruk av brønnbåter.

### Velferdsutfordringer

Risikoen forbundet med sortering inkluderer det som er forbundet med sulting før sortering (1.9), oksygenmangel på grunn av lufteksponering eller vann med lavt oppløst oksygen og fysisk skade. Stress i forbindelse med sortering og den fysiske skaden, kan øke risikoen for sekundære infeksjoner som vintersår (*Moretella* spp.) Dette kan oppstå i saltvann, spesielt ved lavere temperaturer og i ferskvann vil det være en risiko for soppinfeksjoner (*Saprolegnia* spp.).

Utfordringene knyttet til passiv sortering med paneler/spalter (Figur 1.11-1) med passende hull, er lik de som er forbundet med trenging (1.1), og i tillegg kan fisk bli sittende fast (se under for detaljer). Passiv sortering er mindre potensielt skadelig for velferden, siden fisken ikke sultes, pumpes eller håndteres.



**Figur 1.11-1.** Passiv sorteringsystem. Foto gjengitt med tillatelse fra Flexi-Panel by Grading Systems (UK) Ltd

## Hvordan minimere velferdsutfordringene

Man bør gjøre en innsats for å redusere behovet for sortering. Årsaken til om man beslutter sortering eller ikke, bør registreres slik at prosesser kan evalueres etterpå. Antall ganger fisken blir sortert kan reduseres ved god planlegging av for eksempel første biomasseoverføring. Personalet skal være tilstrekkelig opplært og sortering bør følge en detaljert plan og standard for operasjonsrutiner med tilstrekkelig tilsyn. Alt utstyr skal være tilstrekkelig vedlikeholdt, overvåket og passende for oppgaven. Det bør være arkiv for tidligere sorteringer, og disse bør være korrelert med eventuelle påfølgende problemer.

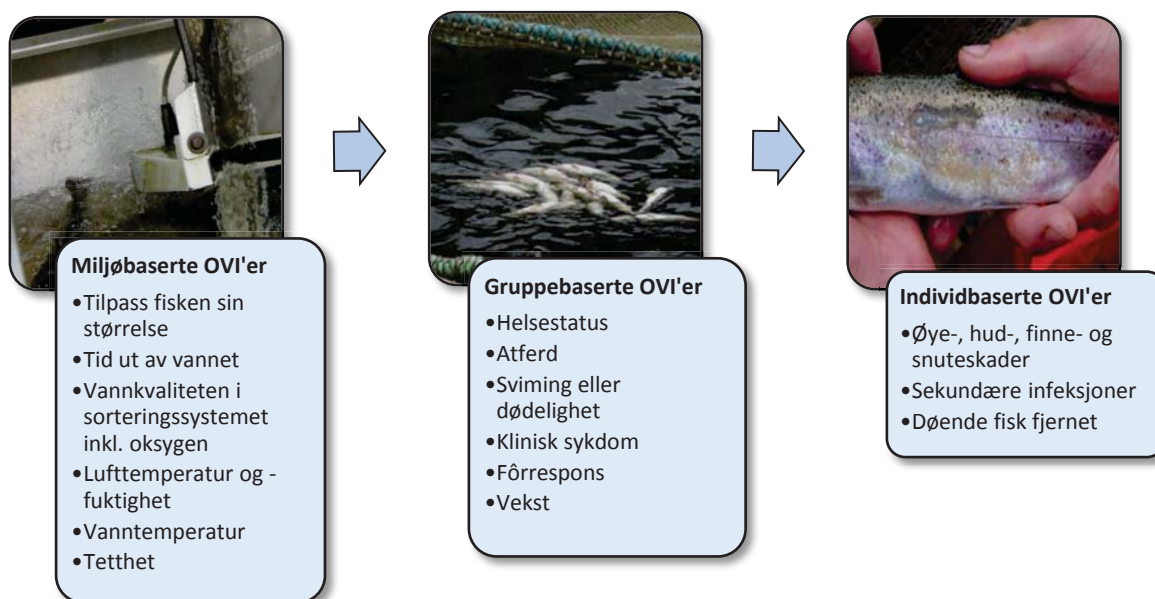
### Unngå

- Utstående kanter
- Skarpe kanter
- Grove overflater
- Tørre flater
- Bråe endringer i retningene
- Høye fall ut av vannet

Vannkvaliteten i alle sorteringsmaskiner skal være god og overvåkes nøye. Tiden fisken eksponeres for luft bør minimeres, spesielt ved høye eller lave temperaturer og når luftfuktigheten er lav. Om mulig bør sortering unngås ved lave eller høye temperaturer, og RSPCA [7] anbefaler at fisk skal veie minst 1,3 g. Videre har RSPCA [7] anbefalinger på tettheter utfra fiskestørrelse ved sortering i brønnbåt.

For planlagt rutinesortering bør fisken være helsekontrollert og frisk nok til å takle sorteringsprosessen, for eksempel kan gjelleforandringer gjøre dem sårbare for lavt oppløst oksygen.

## Hvordan vurdere velferd under sortering



**Figur 1.11-2.** Oversikt over OVI'er som er egnet i forbindelse med sortering. Miljøbaserte OVI'er angår oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er gjelder oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er handler om enkeltindividet. (Illustrasjon: J. Turnbull og K. Gismervik, foto: J. Turnbull).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Lufttemperatur og fuktighet.** Unngå for høye eller lave temperaturer og lav luftfuktighet.

**Justert utstyr i forhold til størrelsen på fisken.** Ingen fisk bør bli fanget i systemet.

**Tid ut av vann.** Grad av lufteksponering bør minimeres. RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder eller maksimal eksponeringstid på 15 sekunder uten anestesi [7, 106].

**Vannkvalitet.** Inkludert oppløst oksygen som bør overvåkes i alt utstyret eller holdekarene som er forbundet med sorteringsprosessen. Som en generell retningslinje anbefales oksygenmetninger på > 80 % [13] (se også kapittel 1.1 Trenging for mer informasjon om oksygen).

**Vanntemperatur.** Stoffskiftet til vekselvarme dyr som fisk avhenger av omgivelsestemperaturen. Enhver organisme trenger en viss energi til å opprettholde kroppsfunksjon og dermed overleve («vedlikeholdsbehov»). I tillegg til dette kreves energi til andre prosesser som fysiske anstrengelser, å håndtere endringer i miljøet osv. Dette kalles metabolsk spillerom (på engelsk metabolic scope), og forteller hvor store «energireserver» som er igjen til annen aktivitet. «Energireservene» hos fisk er høyest ved optimal temperatur, men reduseres kraftig når en går mot nedre og øvre kritiske temperaturområde [15], som for postsmolt ligger rundt 6°C og 18°C. Det er derfor ekstra utfordrende for fisken å øke stoffskiftet under trenging eller annet stress nær disse temperaturområdene. Oppløseligheten av oksygen avtar også med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metningsgrad. Lav temperatur øker risikoen for utvikling av sår. Skader fra håndtering er ofte inngangsporten for sekundære infeksjoner med bakterier som *Moritella viscosa* og andre vintersårbakterier (se tabell 3.1.5-2 i del A for mer informasjon om vintersår) [16, 17].



**Tetthet.** Det er viktig å unngå for høye tettheter under aktiv sortering. Tabellen under viser noen tettheter anbefalt av RSPCA.

**Tabell 1.11-1.** Viser maksimale tettheter i brønnbåt under sortering ihht RSPCA [7]. Gjengitt med tillatelse fra RSPCA.

Levendvekt hos fisk (kg)	Maksimal tetthet (kg/m <sup>3</sup> ) i brønnbåt under sortering ihht RSPCA [7]
5,0	125
4,0	110
3,5	100
3,0	90
2,0	75
1,0	60
0,1	45

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Etter sortering er det normalt at fisken trenger litt tid for å returnere til «normal» atferd, og dette er systemavhengig. De gruppebaserte OVI'ene er knyttet til varigheten av avvikene.

**Unormal atferd** inkludert vedvarende uro, sløvhet, unormal stim- og svømmeatferd etter sortering. Under aktiv sortering f.eks. i brønnbåt bør man også sørge for at fisken ikke viser tegn på å slite slik som unormal svømming, vise buken, tap av likevekt, for høy trengingsgrad eller sammenklumping for eksempel på sorteringsrist.

**Retur av appetitt.** En hvilken som helst vedvarende reduksjon i fôring kan indikere skade eller stress som følge av sortering og bør overvåkes nøye [18]. Appetitt er også lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når den tilbys mat.

**Vekstreduksjon.** Noe reduksjon av vekst er vanlige dersom fôr holdes tilbake før sortering, men kan være en indikasjon på et problem hvis dette er for høyt eller vedvarende.

**Kliniske sykdommer, morbiditet eller dødelighet.** I alvorlige tilfeller kan fisk bli syk og dø, eller fisken må fjernes fra merden eller karet. Dette bør undersøkes av fiskehelsepersonell [174-177]. Døende fisk bør tas opp og avlives så raskt det lar seg gjøre.

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus bør være kjent før aktiv sortering for å sikre at den tåler håndteringsbelastningen. Det er viktig å kontrollere blant annet gjellehelse.

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

**Overfladisk skade.** Problemer med utstyret eller prosessen kan føre til ulike former for overfladisk skade, inkludert skader på øynene, tap av skjell, snute- og finneskader. Snuteskader kan oppstå i forbindelse med håndtering, der fisken presser mot not eller treffer harde flater med snuten.

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Sekundære infeksjoner.** Avhengig av systemet (fersk- eller sjøvann), kan en rekke overfladiske infeksjoner oppstå ved innledende skade under sortering, og i enkelte tilfeller kan alvorlige infeksjoner oppstå pga. relativt små skader. Eventuelle tegn på infeksjoner bør undersøkes av en veterinær eller fiskehelsebiolog.

## 1.12 Undersøkelse av levende fisk

### -operasjoner der fisk tas ut av kar eller merd inspiseres og settes tilbake levende

Ved flere anledninger er det nødvendig å ta fisken ut av produksjonsenheten for å undersøke den nærmere mens den er i live. Dette kan for eksempel være lakselusregistreringer, vurdering av gjellestatus, av ytre skader, misdannelser og registreringer som lengde og vekt. Fremtidig teknologi kan være i stand til å gjøre en del av disse undersøkelsene automatisk og uten å fjerne fisken fra vannet. For tiden utføres slike undersøkelser hovedsakelig manuelt og med lik tilnærming.

#### Velferdsutfordringer

Ofte er det viktig å skaffe seg et representativt utvalg av fisk til en undersøkelse. I store enheter med mange individer må fisken trenge sammen før man tar ut fisk, da dette er en forutsetning for å sikre at prøven er representativ. Trenging utgjør en velferdsrisiko (se avsnitt 1.1). Alle fiskene som blir trent sammen har økt risiko for dårlig velferd, og ikke kun de individene som undersøkes.

Etter trenging blir fisken vanligvis håvet over i et bedøvelsesbad (se avsnitt 1.6). Når fisken er bedøvet, løftes fisken ut av vannet og undersøkes, hvoretter fisken returneres til enheten. Det finnes nå noen systemer som tillater fisken å bli undersøkt i vann (for eksempel ved lakselustelling). Potensielle velferdsrisikoer ved undersøkelse av levende fisk er oppført i tabell 1.12-1.

Svært få undersøkelser er utført som direkte ser på velferdsutfordringene knyttet til denne typen operasjoner, men all fiskehåndtering utgjør en risiko for skade og stress. Laksen er tilpasset livet i vann, og er praktisk talt vektløs og har begrenset fysisk kontakt med alt annet enn vann. Skjelettet og huden er ikke tilpasset håving og andre håndteringsprosedyrer, slik at denne type operasjon lett kan skade fisken [19]. Toleransen for håndtering varierer med arten, livsstadium, størrelse, vannkvalitet, lufttemperatur, helsestatus, utstyr og bruk av utstyret.

Vitenskapelig undersøkelser for lufteksponering er få, men det har vært noe arbeid på «catch and release» [178] hos 300-500 grams regnbueørret (ferskvann), som gir en indikasjon på betydningen av lufteksponering.

- Dødelighet (etter 12 timer) etter trening + 30 sekunders lufteksponering: 38 % dødelighet, etter trening + 60 sekunders lufteksponering: 72 % dødelighet [178].
- RSPCA Australia [106] anbefaler maksimal lufteksponeringstid på 15 sekunder og RSPCA UK [7] maksimal eksponeringstid på 15 sekunder med mindre anestesi benyttes.

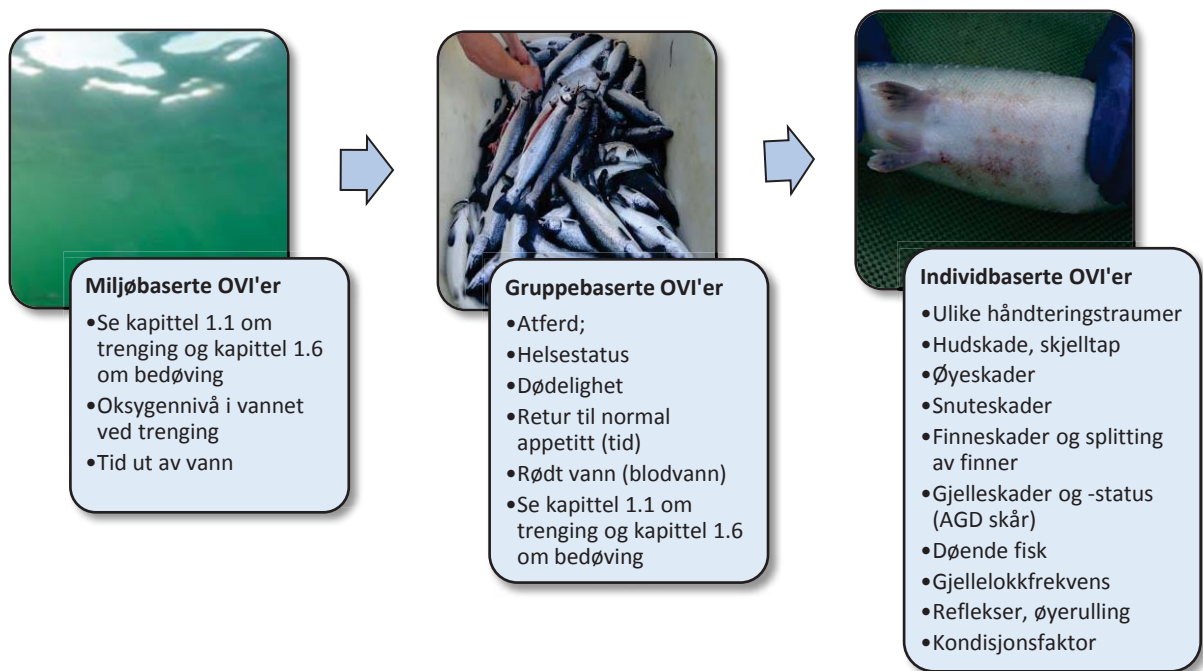
**Tabell 1.12-1. Velferdsrisiko ved undersøkelse av levende fisk. Tabell av K. V. Nielsen og K. Gismervik.**

Arbeidsoperasjon	Risikomoment	Forsterket /økt risiko
<b>Trenging</b>	Se avsnitt 1.1 om trenging	
<b>Håving</b>	Ytre skader: slimlag, hud, rist (skjell), finner og øyne	Utforming av håv/pose og tilpasset fiskestørrelsen For stor maskevidde Skader på håv/pose For mye fisk i hvert håvtrekk
	Indre skader	For mye fisk i hvert håvtrekk
<b>Bedøving</b> <b>Se avsnitt 1.6</b>	Overdose bedøvelsesmiddel - forgiftning	Avvik fra bruksanvisning/resept (dose og/eller holdetid)
	Utilstrekkelig bedøving kan medføre risiko for skader	Avvik fra bruksanvisning/resept Krever økt kraftbruk Medfører risiko for å miste fisken
	Ytre skader	For lite kar til bedøvelsen øker risiko for skader
	Vannmiljø	Gjenbruk av bedøvelsesbad, høyt antall fisk
<b>Undersøkelse</b>	Ytre og indre skader	Feil løfteteknikk Utilstrekkelig bedøvd Hansker med ru overflate
	Lufteksponering – skader på hud og gjeller (frost/uttørking)	Lav / høy lufttemperatur, og eventuelt vind Lengde på lufteksponering, maks. 15 sek.
<b>Tilbakeføring</b>	Ytre skader, hvis kastes eller håves	Risiko for å treffe for eksempel fuglenett på veien til vannet Håvens standard
<b>Generelt</b>	Stress	Temperaturer nært nedre og øvre kritiske temperaturområde [15], som for postsmolt ligger rundt 6°C og 18°C.
	Langtidseffekter	Vanskelig å måle i kommersiell skala

## Hvordan minimere velferdsutfordringene

Generelt skal utstyret som brukes til håndtering av levende fisk utformes med den hensikt å sikre god fiskevelferd, og bruk av utstyret må være slik at risikoen for fisken blir redusert. Fisken skal ikke komme i kontakt med skarpe kanter, grove eller absorberende overflater, knuter (i nett), utsettes for støt, trykk, belastning (løftes etter sporden) og unødvendig trenging. Så langt som mulig skal håndteringen utføres i vann. Hvis man ikke kan gjennomføre undersøkelsen innenfor akseptable fiskevelferdsnormer, skal fisken avlives etter bedøvelse.

## Hvordan vurdere velferd ved undersøkelse av levende fisk



**Figur 1.12-1.** Oversikt over OVI'er som egnet i forbindelse med undersøkelse av levende fisk. Miljøbaserte OVI'er gjelder oppdrettsmiljøet inklusiv bedøvelsesbad, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik. Foto miljø: L. H. Stien).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** I forbindelse med trenging over tid, er det nødvendig å overvåke og sikre tilstrekkelig oksygenivå til fisken (se avsnitt 1.1). Undersøkelse av levende fisk innebærer ofte trenging og bedøvelse, for ytterligere vannparametere knyttet til disse se kapittel 1.1 og 1.6.

**Tid ut av vann (varighet av lufteksponering).** Selv om en ikke finner mye vitenskapelige data om effekten av lufteksponering på laks sin velferd, finnes det en undersøkelse på regnbueørret som rapporterte at dødeligheten nesten fordoblet seg i det lufteksponeringen økte fra 30 til 60 sekunder [178]. RSPCA har vedtatt en føre var tilnærming, og anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder (RSPCA Australia) eller maksimal eksponeringstid på 15 sekunder med mindre bedøvelse benyttes (RSPCA UK) [7, 106]. Tiden fisken eksponeres for luft er særlig kritisk ved høye eller lave temperaturer og når luftfuktigheten er lav. Ved undersøkelse av levende fisk bør fisken håndteres mest mulig i vann.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

I situasjoner der antallet undersøkt fisk og antallet trengt fisk er lavt i forhold til antallet fisk i enheten kan det være vanskelig å måle velferdsmessige konsekvenser av operasjonen. Dersom andelen påvirket fisk er høyt kan det være aktuelt å se på faktorene under.

**Retur av appetitt.** Tiden det tar for appetitten å returnere til normalt nivå bør overvåkes nøye etter håndtering. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere kan derfor også brukes som OVI, da det gjenspeiler hvor godt fisken har håndtert stressoren. Appetitt er lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når mat tilbys.

**Retur av normal atferd.** Tiden det tar før normal svømmeatferd gjenopptas etter håndtering kan benyttes som en beskrivende OVI. Unormal atferd inkluderer vedvarende uro, sløvhet, unormal stim- og svømmeatferd, vising av buken, tap av likevekt og gispning i overflaten. Under undersøkelsen er det viktig å vurdere atferd i forhold til trengingen (for trengingsintensitet, se kapittel 1.1.) og bevissthetsnivå i forhold til bedøvelsen (se kapittel 1.6).

**Helsestatus, dødelighet og kliniske sykdomsutbrudd.** Undersøkelse av levende fisk gjøres ofte for å vurdere helsestatus. Dette kan for eksempel være relatert til gjellehelse, lusetelling, vurdering av ytre skader eller misdannelser, eller dersom det oppdages avmagret fisk i overflaten. Ofte kan begynnende dødelighet være årsaken til at veterinær eller fiskehelsepersonell kontaktes, og det er derfor viktig at dødelighet følges nøye og regelmessig opp med daglig dødfiskopptak. Sterkt påkjent fisk må så raskt det er mulig fjernes fra merden eller karet og avlives. Disse bør undersøkes av fiskehelsepersonell [174-176, 179]. Når man bedøver og undersøker levende fisk for så å slippe dem ut igjen, er det en fare for at prosedyren i seg selv kan gi økt dødelighet. Dødelighet bør følges nøye og regelmessig etter undersøkelsen av levende fisk for å overvåke og vurdere problemer eller velferdstrusler knyttet til prosedyren. Fisk som er sluppet tilbake men ikke restituerer innen rimelig tid, bør så snart det er mulig tas opp og avlives. Dersom fisken for eksempel blir liggende for lenge i bedøvelsen eller at den påføres alvorlige skader under håndteringen er det bedre at den avlives i forbindelse med undersøkelsen.

**Skjell i vann.** Indikerer tap av skjell og skade på slim og hudlag, noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner. Det kan registreres om det er mye, lite eller ingen skjell i vann.

**Rødt vann (blodvann).** Erfaring tilsier det er mulig å oppdage blødninger som fargeskift i vann, såkalt «rødt vann (blodvann)». Det har blitt sett i forbindelse med bedøvd postsmolt i mindre kar, og er lettest å se i lyse enheter. Selv om «rødt vann» ikke nødvendigvis betyr at fisken vil dø av behandlingen (Nilsson, pers. med.), er det sunn fornuft at dette bør unngås og årsaken bør undersøkes. Det er eksempler på «rødt vann» på grunn av gjelleblødninger, sett under skåring og vurdering av fisk i forbindelse med mekanisk avlusing [21], hvor rask justering av avlusingsoverasjonen har vært berettiget. Supplerende histopatologisk prøvetaking (LABVI) kan vurderes for videre undersøkelse.



## Individbasert operative velferdsindikatorer

**Ytre skader.** Fysisk kontakt med andre individer, oppdrettsenheten eller annet utstyr, kan føre til ulike former for akutte skader på fiskens ytre. Det er derfor viktig å følge med på fiskens ytre, spesielt med tanke på akutte forandringer i forbindelse med denne type undersøkelse. Se på hud, skjelldrakt, finner (er det for eksempel fersk finnesplitting), øyne, snute, gjellelokk og gjeller.

**Gjellestatus og AGD skår.** Generelt kan det være relevant å skåre forandringer på selve gjelleoverflaten (synlige som «hvite flekker») for å få et mål på gjellestatus, såkalt total gjelleskår. AGD skår [62] er relevant å benytte i forbindelse med behandling mot AGD, både for å se behandlingseffekt men også fordi man vet at langt kommet sykdom (målt i AGD skår) gir økt risiko for dødelighet under behandling [20]. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [21], og det er viktig at gjellene håndteres svært varsomt under undersøkelsen slik at de ikke skades.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Gjellelokkfrekvens.** Tydelige endringer i gjellelokkfrekvens (som svært hurtige eller utydelige gjellelokkbevegelser) under undersøkelsen kan være tegn på at fisken sliter og optimalisering av prosedyren må vurderes fortløpende.

**Reflekser, øyerulling.** Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [37]. Når de er fraværende, kan det trygt konkluderes med at dyret ikke er følsomt [38, 39]. «Øyerulling» (vestibulo-okulær refleks) er svært nyttig på laksefisk. Den er den siste refleks som går tapt under anestesi, og den første som vises etter oppvåkning [40] (se kapittel 1.4).

**Kondisjonsfaktor.** Kondisjonsfaktor er et standard mål på fiskens ernæringsstatus beregnet ut fra fiskens vekt og lengde (se del A kapittel 3.2.5). Svært lav kondisjonsfaktor kan være en indikasjon på avmagring, men man bør også vurdere utseende på fisken (form, størrelse) noe som også kan være viktig ved svært høy kondisjonsfaktor da dette kan skyldes ryggvirvel deformasjon (se del A kapittel 3.2.5 for mer informasjon og referanser). Dersom det utføres målinger av vekt og lengde på levende fisk er det viktig å tenke på varigheten av lufteksponeringen (se tid ut av vann), samt å sørge for at fisken ikke glir av vekta.

### KUNNSKAPSMANGEL

Potensielle fremtidige OVI'er kan være vurdering av tørking og forfrysning av overhuden, assosiert med luft eksponering ved lave temperaturer. Så langt en kunne se er det ingen vitenskapelig litteratur om dette, men bruken som potensiell OVI bør undersøkes.

## 1.13 Sammendrag og oversikt over OVI'er og LABVI'er egnet til ulike håndteringsprosedyrer

**Tabell 1.13-1.** Sammendrag og oversikt over miljøbaserte OVI'er og LABVI'er som er egnet til ulike håndteringsprosedyrer.

		Håndteringsprosedyrer											
VI	Bruksområde	Trenging	Pumping	Slakt	Avliving	Bade- og medisinsk- behandling	Bedøvelse	Vaksinering	Transport	Førstyring og sulting	Vaskeprosedyrer	Sortering	Undersøkelse av levende fisk
		Miljøbaserte OVI'er	Temperatur	x		x		x	x	x	x	x	
Saltholdighet						x				x			
Oksygen		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x
CO <sub>2</sub>						x	x	x	x	x			x
pH og alkalinitet						x	x	x					x
Total ammonium nitrogen (TAN)						x			x				
Vannhastighet		x	x										
Biomassetetthet					x	x		x	x			x	
Tid ut av vann				x				x				x	x
Holdetid						x							

**Tabell 1.13-2. Sammendrag og oversikt over gruppe- og individbaserte OVI'er og LABVI'er som er egnet til ulike håndteringsprosedyrer**

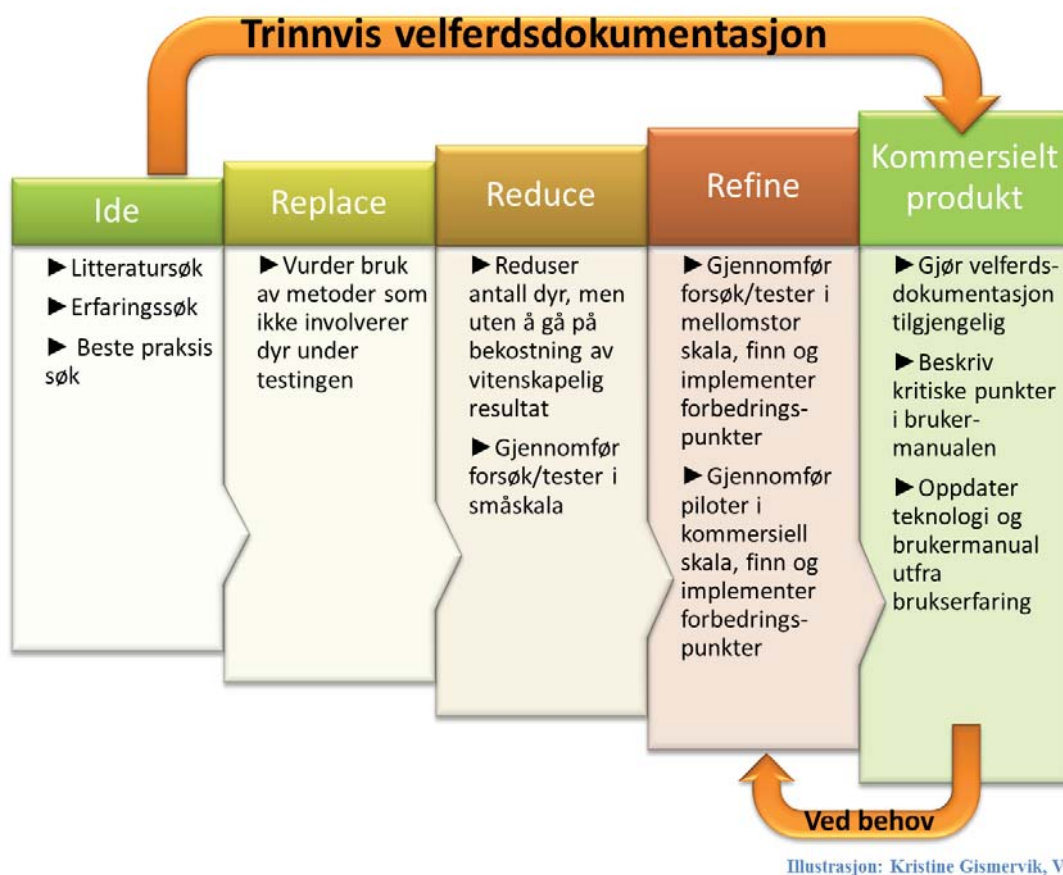
		Håndteringsprosedyrer													
		Bruksområde	Trenging	Pumping	Slakt	Aviving	Bade- og medisinsk-behandling	Bedøvelse	Vaksinering	Transport	Førstyring og sulting	Vaskeprosedyrer	Sortering	Undersøkelse av levende fisk	
Gruppebaserte OVI'er	VI														
		Dødelighet- akutt	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
		• Merdødelighet i tid etter	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Atferd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		• Vise buken	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		• Tap av likevekt					x	x	x	x		x	x	x	x
		• Unormal svømming	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		• Trengingsintensitet	x	x			x	x	x	x			x	x	x
		• Gispning i overflaten	x	x		x	x	x	x	x		x			x
		• Vertikal svømming	x				x		x						
		• Hoderisting					x	x		x					
		• Klumping	x				x		x	x		x	x		
		• Aggresjon										x			
		Appetitt	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
		• Vekst	x	x			x	x	x		x	x	x	x	
		Sykdom og helsestatus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Avmagret fisk										x			x
		Biologisk objekter i vannet (skjell, «rødt vann»/blodvann)	x	x	x	x	x	x	x	x					x
	Bulk oksygen opptak (MO <sub>2</sub> )								x						
	Hudfargeforandring-grønnaktig	x			x	x									
Individbaserte OVI'er og LABVI'er		Håndteringstraume (skade)	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	
		• Skjelltap og hudstatus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		• Snute og kjeveskade	x	x	x	x	x			x		x	x	x	
		• Finneskader og status	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		• Øyebloddninger og -status	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	
		• Bløddninger		x	x										
		Katarakt					x								
		Reflekser, øyerulling				x	x		x	x					
		AGD skår	x	x			x								
		Gjelleblekhet og -status	x	x			x		x	x					
		Gjellelokkfrekvens («pusting»)	x		x	x	x	x	x	x					
		Gjellelokkdeformiteter inkl. skader	x	x							x	x			
		Kondisjonsfaktor									x				
		Døende fisk			x		x			x		x	x	x	
		Grad av avmagring			x						x				
		Korrekt bløggesnitt/hjerneslag			x	x									
		Vaksinerelatert patologi (Speilberg)							x						
		Fôr i tarm			x		x		x		x				
		pH muskel	x	x	x							x			
		Tid til dødsstivhet (Rigor mortis)	x	x	x										
Blod		Kortisol	x	x						x					
		Glukose (blodsukker)	x	x						x	x				
		Laktat (melkesyre)	x	x						x	x				
		pH			x										

## 2 Hvorfor og hvordan overvåke velferd under utvikling av ny teknologi

Formålet med dette avsnittet av håndboken, er å oppsummere og gjennomgå de viktigste vitenskapelige funnene om egnede OVI'er som kan brukes under dokumentasjon av ny teknologi for fiskehåndtering og drift.

### 2.1 De første overveielser og en OVI/LABVI verktøykasse for ny teknologi

Akvakultursektoren utvikler stadig ny teknologi med sikte på å forbedre produksjonen og håndteringen av fisk. Spesielt har det vært raske utviklinger og innovasjoner knyttet til lakselusbehandling de siste årene. Norsk lovgivning pålegger både teknologileverandører og oppdrettere ansvar for at utstyret som blir utviklet og brukt er «velferdsvennlig». Forsvarlig teknologiutvikling må ta hensyn til fiskens biologi i alle trinn av utviklingen. Det er viktig med en trinnvis velferdsdokumentasjon, der man bruker tilnærmingen fra velferdslovgivningen hvor de «3R» er sentrale; **Replace**= erstatt, **Reduce**= redusere og **Refine**= forbedre [180] (figur 2.1-1). Før en ny teknologi brukes kommersielt, bør den testes og vurderes i forhold til fiskevelferd. Denne tilnærmingen krever ofte søknader om tillatelse i henhold til velferdslovgivningen.



**Figur 2.1-1.** Trinnvis velferdsdokumentasjon fra ide til kommersielt produkt med implementering av «3R» (**R**eplace= erstatte, **R**educe=redusere og **R**efine= forbedre) under utvikling av ny teknologi fra Gismervik mfl. [180]. Før teknologien er kommersielt tilgjengelig, må den testes og evalueres i henhold til fiskevelferd. Gjengitt med tillatelse fra K. Gismervik.

### Oppdretter bør vurdere følgende punkter:

#### Før du bestemmer deg for å skaffe ny teknologi, sjekk følgende:

- ✓ Eksisterer det grunnleggende velferdsdokumentasjon for teknologien?
  - Hvis nei: Dokumentasjon er nødvendig i henhold til norsk lov og forskrift [181] (se figur 2.1-1, trinnvis velferdsdokument).
  - Hvis ja:
- ✓ Kontroller om relevante OVI'er og LABVI'er er dokumentert, for å sikre at velferdsbehovet til fisken under bruk av teknologien er tilfredsstillt. Følgende lenke kan gi en sjekkliste: [http://www.imr.no/filarkiv/2015/06/skjema\\_for\\_velferdvurdering\\_av\\_ny\\_teknologi\\_i\\_oppdrett\\_v1\\_0.pdf/nn-no](http://www.imr.no/filarkiv/2015/06/skjema_for_velferdvurdering_av_ny_teknologi_i_oppdrett_v1_0.pdf/nn-no). I tillegg bør smerte undersøkes der det er relevant.
- ✓ Se også denne håndboken for en liste over potensielle OVI'er og LABVI'er for ulike håndteringsprosedyrer oppsummert i kapittel 1.13, samt figur 2.1-2.
- ✓ Kontroller om dokumentasjonen er gitt av en upartisk tredjepart med kompetanse på fiskevelferd.
- ✓ Kontroller om det finnes brukerhåndbøker som beskriver hvordan man sikrer fiskens velferd gjennom hele prosessen. Kontroller om disse beskriver bruksbegrensninger på grunn av størrelse, helsestatus og likende.

#### Før du bruker ny teknologi, sjekk følgende:

- ✓ Er potensielle risikoer identifiserte og egnede tiltak for å minske disse iverksatt?
- ✓ Er det rutiner for å sikre fiskevelferd før, under og etter bruk av teknologien?
- ✓ Er det klare kriterier for når man må avbryte operasjonen av velferdsmessige årsaker?

#### Kontroller følgende under bruk:

- ✓ Er fiskenes velferd dokumentert under og etter bruk?
- ✓ Optimaliseres prosedyrene ved bruk slik at dårlig velferd forebygges?

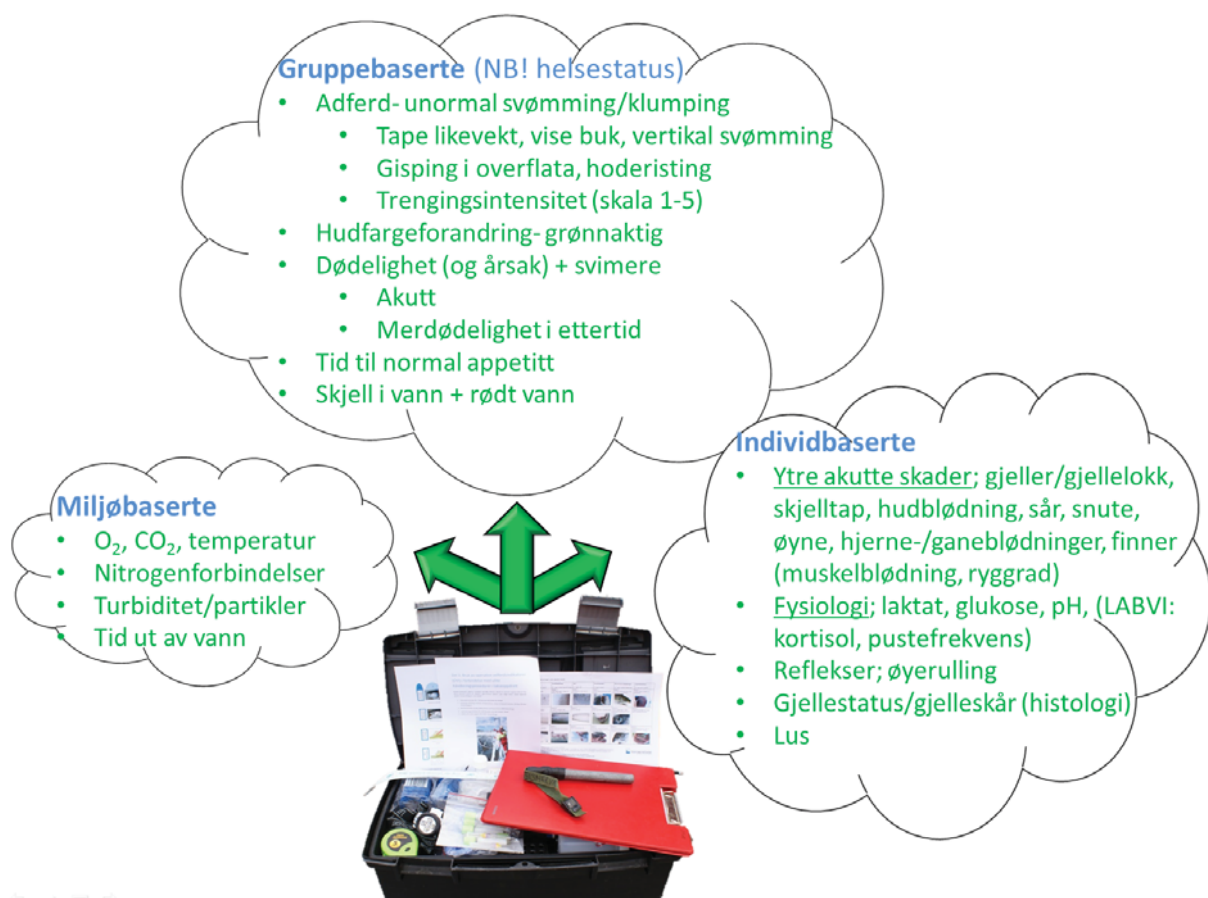
#### De første overveielserne ved evaluering av ny teknologi

For å unngå håndteringsskade på fisken, se avsnitt 1.1 trenging og 1.2 pumping, og de øvrige OVI'er som hører til disse avsnittene. For eksempel er det viktig å inspisere og kontrollere at det ikke er 90-graders vinkler i rør, vannavsilingsystemer eller andre bråe endringer i retninger som kan skade fisken relatert til fart og «flaskehals». Unngå også skarpe, utstikkende kanter, grove overflater, tørre overflater og høye fall, som kan skade fisken. Unngå mellomrom der fisk kan knuses, sitte fast eller rives opp. Det er viktig å minimere tiden ut av vannet. Som regel er tiden ute av vann mer skadelig ved høye temperaturer og lav fuktighet, og ved minusgrader i luften.



For grunnleggende dokumentasjon; jo nyere teknologien er, desto mer bør man teste den. Likevel er målet på sikt å velge noen få av de mest relevante OVI'ene fra verktøykassen (figur 2.1-2). Grenseverdier for de enkelte OVI'ene kan være vanskelig å definere, fordi dette kan avhenge av temperatur, genetikk, miljø, livsstadium og feilkilder i selve målingene [182]. Likevel kan endringer fra hvile, før, under og etter behandling og håndtering benyttes. Velferdsindikatorer som baserer seg på vurderinger av selve fisken gir mye informasjon, og kan gjøre det mulig å sammenlikne håndteringsbelastningen av ulike type tekniske løsninger. Det er blant annet utviklet skåringssystemer av ytre akutte skader, slik som «Velferdsplakaten» utviklet av Veterinærinstituttet [16, 21], der ingen skader selvsagt er målet. Morfologiske skåringssystemer er nærmere beskrevet i kapittel 3.

**En av de største risikoene ved håndtering er å skade fisken enten mekanisk eller ved å påføre den et miljø den ikke kan håndtere, som eksempelvis dårlig vannkvalitet eller for høyt stressnivå.**



**Figur 2.1-2.** «Verktøykasse» med noen relevant OVI'er og LABVI'er for ny teknologi som involverer håndtering av fisk. Uttesting av ny teknologi bør utføres på fiskegrupper med kjent helsestatus, fortrinnsvis frisk fisk (Illustrasjon: K. Gismervik). Gjengitt med tillatelse fra K. Gismervik

## 2.2 Beskrivelse av ny teknologi og passende OVI'er for måling og skåring

### 2.2.1 Mekanisk og termisk avlusing

Ulike teknologier for mekanisk og termisk avlusing (uten bruk av kjemikalier) har blitt utviklet det siste tiåret, og mange er fortsatt under optimalisering. Slike avlusere kan klassifiseres etter deres prinsipp for fjerning av lus, enten ved:

- Temperaturjustert sjøvann, såkalt termisk avlusing (for eksempel Thermolicer og Optilicer).
- Sjøvannspyling samt turbulens (for eksempel Flatsetsund (FLS) avluser og Hydrolicer).
- Myke børster og sjøvannspyling (for eksempel SkaMik).

Det er viktig å evaluere avlusingseffekten samtidig med fiskevelferden, da teknologiene balanser mellom fiskevelferdshensyn og deres effekt på lus. Teknologier som bruker sjøvannsspyling og temperaturjustert vann, har tidligere blitt dokumentert som akseptable i forhold til fiskevelferd under første test [28, 183]. Det er likevel en rekke forhold som kan påvirke om operasjonen går bra eller ikke, blant annet forhold rundt trenging, fiskens helsestatus, vanntemperaturer og hvordan utstyret justeres underveis [21]. I 2016 har mekanisk og termisk avlusing vist seg å kunne gi større negative konsekvenser for fiskevelferden sammenliknet med medikamentell badebehandling [16, 184]. Det er en utfordring at ikke all velferdsdokumentasjon blir offentliggjort for vitenskapelig gjennomgang, og at dokumentasjonen som finnes er gjort tidlig i utviklingsløpene [28, 29, 54]. En oversikt over tilgjengelig velferdsdokumentasjon på mekanisk og termisk avlusing og OVI'er som ble brukt, er gitt i tabell 2.2.1-2.



**Figur 2.2.1-1.** Mekanisk avlusing kan være krevende for fiskevelferden ved kalde temperaturer, fordi en eventuell sårheling vil gå langsomt er det økt risiko for utvikling av vintersår (Foto: K. Gismervik).

## Velferdsutfordringer

- En vanlig konsekvens ved all mekanisk og termisk avlusing er at fisken må håndteres, først ved trenging og deretter ved å pumpes gjennom forskjellige rør med ulike typer vannsilere, ulike temperaturer på vannbad eller vannspylingsystemer, eller i kombinasjon med børster (se også tidligere avsnitt for 1.1 trenging, 1.2 Pumping, og 1.11 Sortering). Faktisk ble trenging og pumping ansett som en av de største utfordringene for velferd i de første uttestingsfasene av termisk avlusing [28, 29].
- Trenging i seg selv ble anført som den største risikofaktoren ved mekanisk og termisk avlusing i en spørreundersøkelse gjennomført av Veterinærinstituttet i 2016 [180].
- All håndteringen kan forårsake; direkte skader på fisken, stress under og etter operasjonen, reduksjon og tap av slim og sekundære infeksjoner. Dette kan føre til økt dødelighet og dårlig velferd [21, 28, 184, 185]. Gjellene, øynene og snuten er spesielt sårbare. Øyne og snute er også funnet rike på smertereseptorer (nociceptorer) [186, 187]. Ved kalde temperaturer vil det være økt risiko for å utvikle vintersår [16] (se tabell 3.1.5-2 i del A for mer informasjon om vintersår).
- Det er registrert hodeskader med hjerneblødninger, blødninger i gane og i øyne etter termisk avlusing i 2017, noe som kan være relatert til panikkreaksjonen registrert i og etter behandlingsbadet [188].
- Det er viktig å vurdere fiskens generelle helsestatus før mekanisk og termisk avlusing, da syk fisk har redusert toleranse for håndtering. I en spørreundersøkelse gjennomført av Veterinærinstituttet ble helsestatus rangert som den nest viktigste risikofaktoren i forbindelse med mekanisk og termisk avlusing. Opplæring og kunnskap hos personellet som utfører operasjonene ble også ansett som svært viktig [180].
- Høy dødelighet er observert etter termisk avlusing når fisk ble diagnostisert med AGD og/eller gjelleirritasjon [28]. Generelt viser erfaringer fra fiskehelsepersonell at det er svært vanlig med forøkt akutt dødelighet hos laks ved bruk av termisk avlusing [16, 188], og dette støttes også av dødelighetstall innrapportert til myndigheter [189].
- En annen risiko ved termisk avlusing er forbundet med vannkvaliteten i de temperaturjustert vannkamrene, da høyt nivå av ammoniakk og turbiditet er blitt registrert. Dette antas å være stressende, men fortsatt mangler en del kunnskap [28]. Det er også registrert gassovermetning i vannbadet [188].
- Gjelleblødninger og skjelltap er av Gismervik mfl. [21] identifisert som risikofaktorer ved mekanisk avlusing, og riktig innstilling av utstyret er viktig. Det er også viktig å vite hvilken størrelse på fisk teknologien egner seg for [8, 21].
- Dersom renseskum benyttes sammen med laksen bør det tas hensyn til f.eks. utfisking eller avsiling [54, 188].

**Tabell 2.2.1-1.** Svåsand mfl. [190] identifiserte ulike risikofaktorene og potensielle konsekvenser for fiskenes velferd ved bruk av mekanisk og termisk avlusning. Gjengitt med tillatelse fra L. H. Stien

Fare	Farekilde	Konsekvens
Redusert tåleevne	Svekket eller syk fisk	Forhøyet dødelighet
Trengsel	Heving av not og pumping	Stress, forhøyet oksygenbehov, klemskader, finneskader og sår. Påfølgende infeksjoner
Fysisk traume	Feil i pumpesystemet	Slagskader, finne-, gjelleskader og sår. Påfølgende infeksjoner
Fysisk traume	Vannavsiling	Skader og sår. Påfølgende infeksjoner
Overoppheting	Fisken blir for lenge i det lunkne vannet	Termisk stress og dødelighet

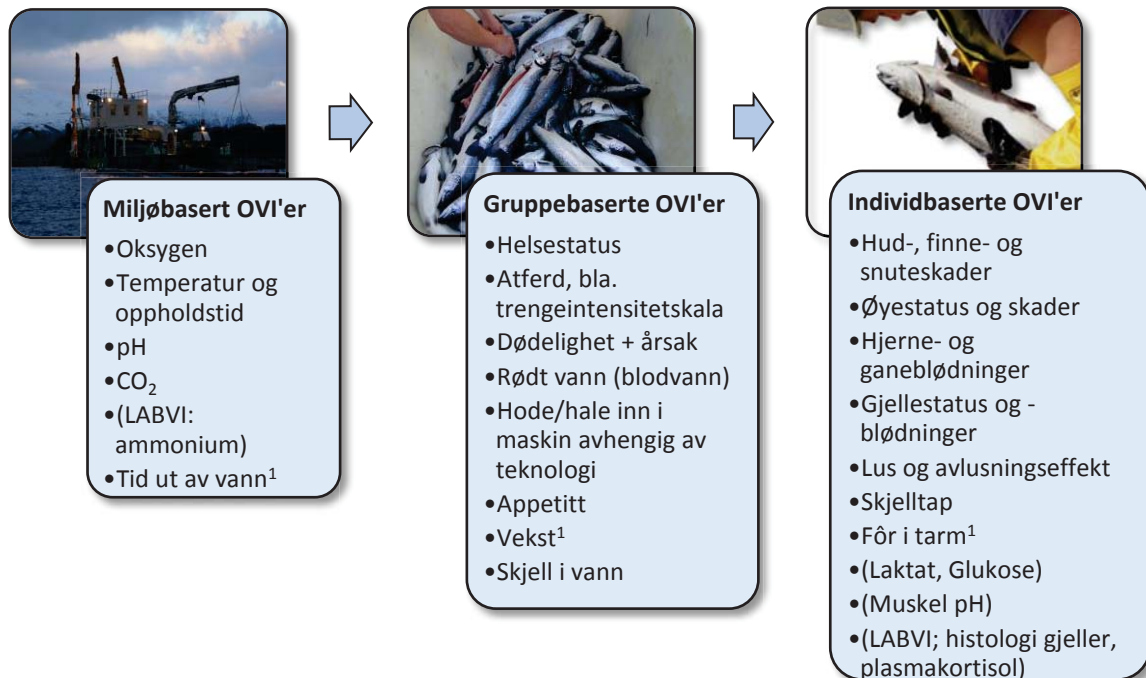
## Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Fisken skal ha god helse før avlusning. Ved akutt sykdom, bør andre alternativer vurderes (behandlinger i merd, utsatt behandling, biologisk avlusning og muligheter for slaktning på lokaliteten). Likevel er det ikke mulig å utsette lusebehandling for en lengre periode. Dette på grunn av lovgivningen og det faktum at høye lusenivåer vil gi alvorlige velferdskonsekvenser (se del A, avsnitt 3.2.3). Teknologiske løsninger som forebygger lusepåslag kan være viktige verktøy for å redusere velferdspåkjenningen av avlusinger [184].
- Overvåk vanntrykk og -hastighet, tetthet av fisk i behandlingsenheten (tonn eller antall per minutt/time), temperatur i behandlingskamre, driftshastighet og ha klare retningslinjer for akseptabel bruk i henhold til fiskestørrelse, helse, temperatur og sulteperioder [21, 28, 29, 54]. Sikre også at fisk ikke blir gående å stange i systemet ved lavintensiv kjøring eller pauser [21, 54].
- Optimaliser trenging og pumping (se avsnitt 1.1 og 1.2), da fysiske traumer fra disse operasjonene har stor innvirkning på velferden [21, 28, 29].
- Sikre at det finnes rutiner under avlusingsoperasjonen der OVI'er benyttes aktivt for å vurdere velferden (figur 2.2.1-2). Gismervik mfl. [21] fant at skåringer av ytre akutte skader hos fisk underveis under mekanisk avlusning kan bidra til å sikre at utstyret er riktig innstilt. Det ble anbefalt å ta jevnlig stikkprøver av fisken underveis før og etter avlusning blant annet for kontroll av gjelleblødninger, skjelltap og hudblødninger samtidig med at avlusningseffekten kontrolleres.
- Man må sikre at teknologien har en mest mulig effektiv oppsamling av lus, da hverken temperert vann eller spyletrykk vil drepe lus [21, 29, 54]. Oppsamling av lus gjennom filtrering av behandlingsvannet er viktig for å unngå en rask re-smitte, noe som kan føre til at fisken snart må avluses igjen [21].
- Kameraovervåking i merden fisken pumpes til kan være med på å avdekke unormal adferd og eventuell dødelighet så tidlig som mulig [54].
- Egnede vanntemperaturer i sjø under avlusning (skal ikke utføres om vinteren, på grunn av risiko for utvikling av vintersår).
- Å sikre optimal vannkvalitet og vannutveksling i «temperaturjusterte behandlingskamre», er viktig da det i utviklingsfasen av slik teknologi har vært eksempler på opphopning av ekstremt høye nivåer av ammoniakk [28]. Gassovermetninger er også registrert [188]. Man

må også sørge for riktig temperatur og eksponeringstid [28, 29], og dette kan variere med sjøtemperaturen [29].

- Ved bruk av rensefisk må også denne fisken sin velferd sikres.

## Hvordan vurdere velferd ved mekanisk og termisk avlusning



**Figur 2.2.1-2.** Oversikt over OVI'er som kan være egnet i forbindelse med mekanisk og termisk avlusning. Miljøbaserte OVI'er gjelder oppdrettsmiljøet og miljøet i teknologien, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. <sup>1</sup>Basert på generell kunnskap, og er ikke nærmere beskrevet i velferdsdokumentasjonen som foreligger. OVI'er i parentes er mest aktuelle i utviklingsfasen eller som stikkprøver. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik).

## Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** Effekten av forskjellige oksygenmetningsnivåer varierer med temperaturen. Nivåene må aldri nærme seg den begrensende oksygenmetningen (LOS, Tabell 1.1-1). Som en generell retningslinje brukes ofte oksygenmetninger på > 80 % [13] og RSPCA- standarden anbefaler en minimumsgrense på 7 mg /L [7]. Under mekanisk og termisk avlusning kan det være viktig å overvåke oksygenivåer under trenging (spesielt om sommeren) og i de temperaturjusterte behandlingskamrene (termisk avlusning).

**Temperatur og oppholdstid.** Målinger av oppholdstid, temperatur og vannkvalitetsparametere i de temperaturjusterte behandlingskamrene, er viktige. Høye temperaturer og lang oppholdstid i varmt vann kan påvirke velferden [190] og føre til dødeligheter. De øvre grensene for bruk bør oppgis. Lav sjøtemperatur øker risikoen for utvikling av sår. Skader fra håndtering er ofte den initierende faktoren som bidrar til sekundære infeksjoner med bakterier som *Moritella viscosa* og *Vibrio spp.* om vinteren (se del A, tabell 3.1.5-2 for mer informasjon om vintersår) [16, 17].



**Karbondioksid** kan akkumuleres i behandlingskamrene hvis vannstrømningsraten i systemet er utilstrekkelig (reduisert), eller hvis biologisk belastning til systemet ikke støttes av systemdesign og dimensjonering. Det vil være viktig å teste dette i utviklingsfasen [29]. **pH** kan også brukes til å estimere karbondioksid indirekte.

**LABVI; ammonium er ikke en OVI, men en LABVI.** Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke  $\text{NH}_3$ :  $\text{NH}_4^+$  -forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk. Maksimale sikre nivå for kortvarig eksponering (4 t) av  $\text{NH}_3\text{-N}$  (konsentrasjon av nitrogen bundet som  $\text{NH}_3$ ) er i følge Wedemeyer [58] 0,1 mg/l (for nærmere beskrivelse se del A; kapittel 4.1.6). For å redusere risiko for opphoping av TAN i temperaturjusterte bad, er det viktig at fisken sultes før behandling (se for øvrig kapittel 1.9 Sulting).

**Tid ut av vann.** Grad av lufteksponering bør minimeres, og fiskens tid ut av vann kan være aktuelt å kontrollere i systemer med vannavsilere (silkasser). RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder eller maksimal eksponeringstid på 15 sekunder uten anestesi [7, 106]. Tiden fisken eksponeres for luft er særlig kritisk ved høye eller lave temperaturer og når luftfuktigheten er lav.

### Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus skal være kjent før behandlingen, da prosedyrer som termisk avlusning kan gi høy dødelighet hos syk eller svak fisk [28].

**Dødelighet** bør følges nøye og regelmessig opp etter avlusning av fisk, for å overvåke og vurdere problemer eller velferdstrusler knyttet til prosedyren.

**Atferd.** Atferdsmessige OVI'er knyttet til trenging og pumping, se relevante avsnitt. Svømmingen skal være jevn og rolig. Fisk bør ikke slite, og det skal ikke være rødt vann inne i pumpen. Panikkatferd og rask svømming øker også risikoen for mekanisk skade, både inn og ut av behandlingskamrene. Noe av atferden kan følges med kameraer i slange og behandlingskammer. Som ved trenging og håndtering, kan tiden det tar å opprette normal atferd brukes som en kvalitativ OVI etter avlusningen.

**Rødt vann (blodvann).** Ifølge erfaringsbasert kunnskap kan det i mindre og lukkede enheter være mulig å oppdage blødninger hos postsmolt som fargeskift i vann, såkalt «rødt vann (blodvann)». Dette er aldri et godt tegn, og årsaken bør undersøkes (se 1.12 og del A kapittel 3 for mer informasjon). Under skåring av fisk ved mekanisk avlusning er det sett eksempler på at bedøvelsesvannet har blitt rødfarget av blod på grunn av gjelleblødninger, hvor rask justering av avlusingsoperasjonen har vært berettiget [21].

**Posisjon til hodet eller halen inn i maskin (hvis viktig – teknologiavhengig).** Noen av avluserene er konstruert for å favorisere hvilken vei fisken kommer inn (hodet eller halen først) for en mest mulig skånsom og effektiv avlusning. I disse tilfellene kan i så fall retningen på fisken bli observert og talt opp, ved bruk av kameraer eller ved direkte observasjon.

**Retur av appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere til normal status, bør overvåkes nøye etter håndtering. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere etter for eksempel håndtering, kan derfor også brukes som OVI, da det gjenspeiler hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt kan lett måles kvalitativt ved å observere fisken når mat tilbys.

**Vekst** kan være et resultat av redusert fôrinntak på grunn av akutt eller kronisk stress. Akutte vekstforandringer kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, særlig når oppdretter har robuste vekstovervåkingssystemer.

**Skjell i vannet/filtre.** Tilstedeværelse eller fravær av skjell i vannet eller filtre, indikerer om det er skjelltap med skade på slim og hudlag, noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner (se del A, 1.1.5 hudstatus).

## Individbaserte operative velferdsindikatorer

Skader er en av de viktigste faktorene å unngå. For å gjøre dette bør skader overvåkes før, under og etter avlusning, slik at tiltak kan gjøres (for eksempel justering av vanntrykk/vannhastighet/fisketetthet/temperatur) hvis det ikke er akseptabelt i henhold til etablerte velferdsnormer. Ingen fisk bør etterlates i avluseren under pauser og ved slutten av arbeidet med avlusning.

**Hudtilstand.** Fysisk kontakt med andre fisker, oppdrettsanlegg, rør eller annet utstyr, kan føre til ulike former for hudskader. Små blødninger i huden kan ofte sees på buken og kalles ofte "rødbuk". Skjelltap kan observeres både som skjell fritt i vannet og som områder på fisken hvor skjell mangler. Dårlig håndtering kan føre til slimtap. Siden slim og skjell beskytter fisken fra miljøet og fungerer som barrierer, kan tap av disse gi opphav til problemer med saltbalansen samt infeksjoner. Skarpe kanter kan gi sår / kutt.

**Gjellelokkskade og gjellestatus.** Gjellelokkskade inkluderer skade, forkortet eller til og med manglende gjellelokk. Det er viktig å skille mellom akutte skader som kan skyldes håndteringen og gamle skader som generelt kan gjøre gjellene mer sårbare. Ved å skåre forandringer på selve gjelleoverflaten (synlige som «hvite flekker») kan man få et mål på gjellestatus, såkalt total gjelleskår. Ved mistanke om AGD kan det også være relevant med AGD skår. For langt kommet sykdom (målt i AGD skår) kan indikere at fisken er påkjent og dermed kan ha økt risiko for dødelighet under behandling [20]. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [21].

**Snuteskader** kan oppstå i forbindelse med håndteringer, der fisken presser mot not eller treffer harde flater med snuten.

**Finneskade.** Fysisk kontakt kan også føre til skadede finner, spesielt finnesplitting. Som med andre skader er det viktig å differensiere mellom akutte skader som skyldes håndteringen og gamle skader [8].

**Øyestatus og skader.** Øyne er svært utsatt for mekaniske skader, og både blødninger og uttørking under håndtering i luft kan være en risiko. Utstående øyne blir sett på som et uspesifikt sykdomstegn eller tegn på skade som bør undersøkes nærmere (se del A, kapittel 3.2). Utstående øyne øker risikoen for mekaniske skader. Kataraktutbrudd (blakking av øyelinse) hos oppdrettslaks har særlig vært knyttet til histidinmangel i fôr [63-65], men en rekke andre faktorer har også vært koblet til utvikling av katarakt; ernæringsmessige mangler, osmotisk ubalanse, svingninger i vanningstemperaturer, parasittiske infeksjoner av øyet, toksiske miljøfaktorer, ultrafiolett stråling, oksidativt stress, genetisk predisposisjon, rask vekst og raske endringer i vannets saltinnhold [66] (se del A kapittel 3.2.12). Sterk kataraktutvikling påvirker synet, og kan slik også forklare nedsatt fôropptak. Dersom man gjennomfører en generell undersøkelse med tanke på øyestatus eller skader er det også lett og samtidig skåre katarakt [67, 68].

**Hjerne- og ganeblødninger.** I 2017 ble det registrert hjerneblødninger på atlantisk laks i forbindelse med termisk avlusning [188]. Fiskehelsetjenester har sett dette både på tilsynelatende lytefri stor dødfisk, men også som et klinisk bilde der fisk som svimer i overflaten etter behandling har hatt

blødninger i hoderegionen ved obduksjon. Det er også registrert blødninger i gane og øyne [188]. Det er observert panikkreaksjoner hos laks i og etter varmebadet, og det diskuteres om det kan ha bidratt til skadene. Hjerne- og ganeblødninger kan undersøkes ved obduksjon av død fisk, svimere og eventuelt også tilfeldig prøveuttak som en kontroll av utbredelsen av slike blødninger for å fremskaffe mer kunnskap.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Lus og avlusningseffekt.** Siden hensikten er å fjerne lus, bør effekten overvåkes ved å telle lus på fisken før, under og etter operasjonen. Effekten må være god nok til å beskytte fisken mot nye gjentatte behandlinger og likevel vil det ofte være en grense for hvor effektiv avlusningen kan være, før den setter fiskevelferden i fare.

**Fôr i tarm.** For å evaluere sulteperioden før behandling eller fôrinntaket etter en behandling (indirekte appetitt), kan laksen avlives og mage og tarm kontrolleres for fôrinnhold. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager [42, 43], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur (se også kapittel 1.9 om sulting).

**Laktat (melkesyre).** Panikk og eksplosiv svømming øker den anaerobe muskelaktiviteten og øker dermed laktat i blodet [2, 22, 23]. Blodlaktat bør ligge under 6 mmol/L [2]. Dette er lett å måle med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet. Imidlertid fant Erikson mfl. [3] ingen signifikant korrelasjon mellom trengetid og laktatnivå. Gismervik et. al [21] fant det utfordrende å få til et optimalt prøveuttak pga. tidsfaktoren/ forsinkelsen i en eventuell laktatøkning under mekanisk avlusning. Det var ingen forskjeller i målte laktatverdier fra hvile til under trening i deres studie.

**Glukose (blodsukker)** kan brukes som en OVI ved trening [25]. Økningen i plasmaglukose foregår relativt langsomt og topper seg etter 3-6 timer på laks [26], selv om responsen også påvirkes av fôringsstatus, -type og andre faktorer. Glukosenivåene bør derfor sammenlignes med nivåer før stressbelastningen, i stedet for noen «standard stressnivåer». Fysiologiske mål som glukose og laktat har begrensninger som velferdsindikatorer, siden de først er målbare en tid etter at stress er påbegynt (se del A kapittel 3). Fysiologiske målinger kan bidra til å bedre fremtidige prosedyrer, men ansees lite egnet til å overvåke velferd under pågående operasjoner.

**Muskel pH.** Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i muskel på grunn av melkesyre, blant annet vist under både pumping og trening [24]. En pH-senkning i muskulatur som skjer gradvis etter døden er derimot ønskelig, da det bidrar til økt holdbarhet (se også kapittel 1.3 og del A kapittel 3.2).

**LABVI; plasmakortisol og histologi** er ikke OVI'er men LABVI'er. Vi vet at håndtering av fisk stresser fisken og fører til en stressrespons. Plasmakortisolmålinger kan gjennomføres for å se hvor lenge fisken er påvirket av håndteringsstresset og når man er tilbake til hvilenivåer etter operasjonen [21]. Histologi av gjeller kan være aktuelt for kontroll av mekaniske skader samt gjellestatus (se også del A kapittel 3.2).

**Tabell 2.2.1-2. Velferdsdokumentasjon på mekaniske og termiske avlusere og OVI'er og LABVI'er brukt**

Referanse	Teknologi	Prinsipp	Antall merder/ lokalitet (temperatur)	Antall fisk (+størrelse)	Tid fulgt etter avlusning	OVI/ LABVI benyttet	Avlusnings-effekt (%) B=Bevegelig K=Kjønnsmodenhunn C=Chalimus
<b>Grøntvedt mfl. [28]</b>	Thermolicer	30-34°C  (25-30 sek)	4 (nøye kartlagt) /4	Ca. 217.234 (<2-2 kg, laks)  Ca. 50.694 (2,5 kg, regnbueørret)	3 uker	<b>Miljøbasert:</b> ammonium, nitritt+ nitrat, pH, turbiditet <b>Gruppebasert:</b> Dødelighet og appetitt <b>Individbasert:</b> Gjeller, skjelltap, snute-, øye- og finneskade, sår, hudblødninger, AGD skår, total gjelleskår, katarakt, lus  <b>LABVI:</b> histologi gjeller	B (75-100 %)  C (0 %)
<b>Roth [29]</b>	Optilicer	28-34°C (20-30 sek)	Flere	Flere	4 uker (dødelighet)	<b>Miljøbasert:</b> CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , TOC, ammonium <b>Gruppebasert:</b> Dødelighet <b>Individbasert:</b> skjelltap, gjeller, blødninger på buk, snute-, øye- og finneskade, blod-pH, Hct, laktat, glukose  <b>LABVI:</b> histologi gjeller, Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>	B (58-100 %) C (0 %)
<b>Gismervik mfl. [21]</b>	Flatsetsund FLS- avluser	Spyling med sjøvann  0,2-0,8 bar  (0,2-0,3 bar dokumentert i studien)	3 (nøye kartlagt)/3  (Ca.8-14 °C)	Ca. 118 534 (ca.4,6 kg laks)  Ca. 291 380 (ca. 2 kg laks)	Inntil 3 uker	<b>Miljøbasert: oksygen og vanntemperatur</b> <b>Gruppebasert:</b> Dødelighet og appetitt (atferd) <b>Individbasert:</b> Gjeller, skjelltap, snute-, øye- og finneskade, sår, hudblødninger, total gjelleskår, katarakt, lus, glukose, laktat  <b>LABVI:</b> Kortisol, histologi gjeller	B (81-100 %)  K (76-91 %)
<b>Nilsen mfl. [183]</b>	Flatsetsund FLS-avluser	Spyling med sjøvann  0,27-0,37 bar	1/1 gjentatt forsøk  (4-5 °C)	Ca. 31.950 Ca. 2,9 kg	1 uke (dødelighet 2 uker)	<b>Miljøbaserte:</b> TOC (total organisk karbon) <b>Gruppebasert:</b> dødelighet, atferd, fluktorespons <b>Individbasert:</b> snute-, øye- og finneskade, sår, hudblødninger, skjelltap, muskel pH, lus	B (57-68 %) med pre spyling B (2-27 % uten pre spyling)
<b>Ingen tilgjengelig</b>	Hydrolicer	Spyling med sjøvann					
<b>Ingen tilgjengelig</b>	SkaMik	Børster og spyling med sjøvann					

## KUNNSKAPSMANGEL

- Mekanisk og termisk avlusningsteknologi er relativt ny og deres bruk øker raskt.
- Kunnskap om stress, håndtering og miljøfaktorer under gjentatt bruk og hyppige avlusninger mangler. Når man vurderer erfaringsbasert kunnskap fra 2016, viser det seg at hvis det oppstår problemer med prosedyren eller teknologien, kan dette få dødelige konsekvenser for fisken [16]. Tilsvarende kunnskapsmangel gjelder også rensefisk.
- Basisreferanser for øvre grenser og holdetid for temperaturjustert vann samt smerteaspektet betraktes som mangelfullt for postsmolt, og må relateres til tilpasset vanntemperatur [188, 191-194].
- Hjerneblødninger og blødninger i gane og øyne ble registrert på atlantisk laks etter termisk avlusning i 2017 [188]. Hvor vanlig dette forekommer og om det er forskjeller mellom ulike termiske avlusere eller innstillinger av utstyret er uavklart. Hvorvidt hjerneblødninger også kan oppstå ved mekanisk avlusning med ulike spylere, er lite dokumentert.
- Det er kunnskapsmangel om effekten av høy turbiditet og høye ammoniakkverdier, samt gassovermetning i temperert vann ved kort oppholdstid (<1 minutt) [28, 32, 188].



## 2.2.2 Behandlingsflåte (badebehandling)

Pilotflåten Helixir og tilsvarende teknologi er nye design for å gi kontrollerte badebehandlinger, og er også referert til som en behandlingsflåte. Fisken går gjennom en behandlingstank med ferdig innblandet legemiddel, ved hjelp av en «skrue», som gir kontrollert behandlingstid (mellom 15-45 minutter). Lus som faller av i behandlingstanken filtreres vekk (150 µm). Gjenvinning av vann og legemiddel kan gi redusert forbruk og vannkvaliteten sikres ved lufting og oksygenering. En operasjon vil bestå av trenging, pumping, avsiling, medisinsk behandling i bad, avsiling og deretter ledes fisken ut i merden igjen. Ved utgivelsen av denne håndboken er ikke testing av teknologien med legemiddel ferdigstilt. Rapporten som beskriver første velferdsvurdering er utført ved kun bruk av sjøvann i holdetanken ( se figur 2.2.2.-1) [8]. Teknologien er tatt med i denne håndboken for å vise et konkret eksempel på hvordan velferdsindikatorer kan benyttes i utviklingsløpet av ny teknologi.



Foto: K. Gismervik

**Figur 2.2.2-1.** Illustrasjon fra Gismervik mfl. [8], som viser pilotflåten Helixir og de forskjellige stadiene i håndteringsforløpet. Gjengitt med tillatelse fra K. Gismervik.

### Velferdsutfordringer

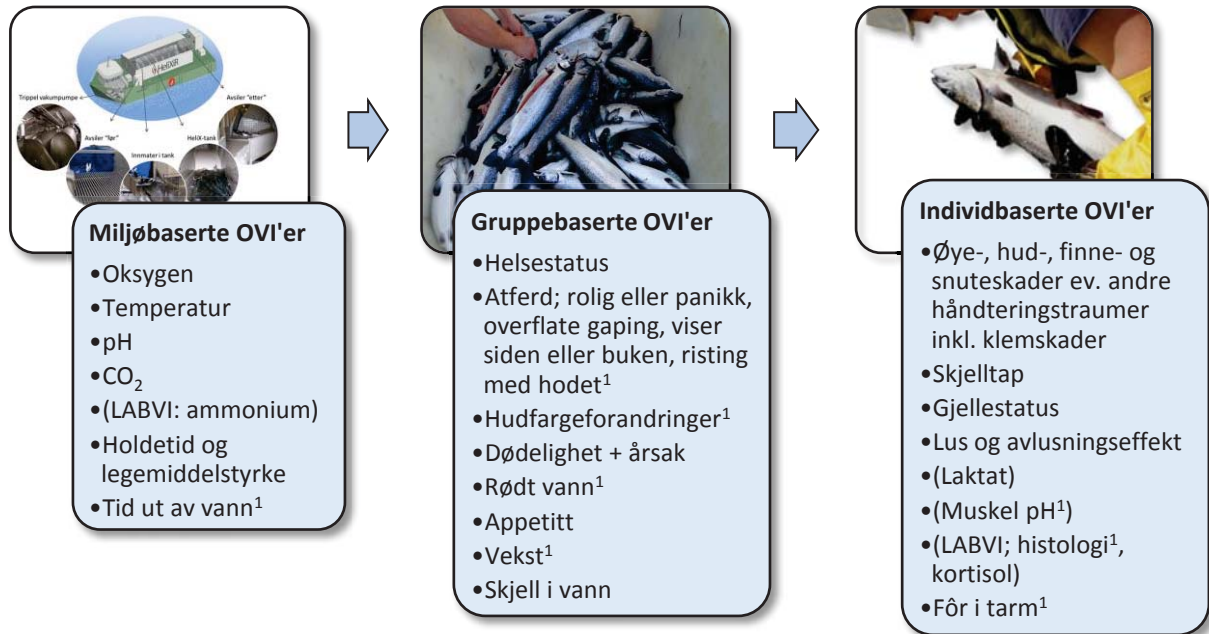
- Trenging (se avsnitt 1.1).
- Pumping (se avsnitt 1.2), med ny teknologi er riktig innjustering av pumper svært viktig, og det har vært registrert fiskeskader relatert til pumper på enkelte fisk i innkjøringsfasen [8].
- Avsiling. Avsilere bør tilpasses/justeres etter fiskens størrelse. Fisk kan bli sittende fast mellom spaltene hvis den er liten (har skjedd med fisk under ca. 1 kg), vannhastighet og vinkler på rør må vurderes i forhold til fiskestrømmen. Man bør sørge for at fisk ikke hopes oppå hverandre i bunnen av avsilingkassen før fisken glir inn i tanken, da dette kan ha forårsaket øyeskader på fisken [8].
- Ved innmating av fisken i tanken, bør prosessen overvåkes for å sikre at fisken ikke treffer skruevingen, veggen eller midtskruen.
- Behandling med medikament (se 1.5 Bade- og medisinbehandling).
- Rensefisk som holdes sammen med laksen kan ha andre toleransegrenser for medikamenter. Teknologien tar sikte på å sile fra rensefisk før behandlingstanken etter pumping.

## Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Denne teknologien er ny i bruk og testkjøring med medikamenter er ikke slutført. En tilnærming med stegvis velferdsdokumentasjon vil være med på å sikre fiskevelferden i hele utviklingsløpet.
- Generelt bør fisken ha god helsestatus før operasjonen.
- Overvåk tettheten av fisk i behandlingstanken (antall pr. kammer), utarbeide klare retningslinjer for akseptabel bruk i henhold til fiskestørrelse, helse, temperaturer, sulteperioder og liknende.
- Overvåk vannkvaliteten; behandlingstanken logger automatisk O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, pH og temperatur. Sørg for at målere virker og kalibreres jevnlig, og vannkvaliteten kan reguleres underveis i operasjonen (oksygentilsetting blant annet). Sirkulasjonskretser i selve tanken tar sikte på homogen vannkvalitet og legemiddelinnblanding, noe som kan være utfordrende ved andre behandlingsmåter som presenning/brønnbåt [195]. Det er mulig å ta stikkprøvebaserte vannprøver for LABVI'er som ammonium og turbiditet.
- Optimaliser trenging, pumping (se kapittel 1.1. og 1.2.) for å minimere fysiske traumer. Teknologien har en trippelpumpe (vakuumpumpe) for jevn flyt inn og fylling i tank., Selve pumpa er plassert under dekk med ca. sugedybde på en meter, og en skyvedybde på 4,5 meter) [8].
- Passende vanntemperaturer i sjø under avlusning. Lave temperaturer øker risikoen for utvikling av sår. Skader fra håndtering er ofte en innfallsport for sekundære infeksjoner med bakterier som *Moritella viscosa* og andre særlig ved kalde temperaturer (se del A, tabell 3.1.5-2 for mer informasjon om vintersår) [16, 17].
- Det er viktig å fortsette trinnvise tester for de legemidler som ønskes benyttet, ved bruk av riktige OVI'er (og LABVI'er) i prosessen, med målinger før, under og etter bruk.

## Hvordan vurdere velferd i en behandlingsflåte (badebehandling)

- I tillegg til OVI'er for selve håndteringen må man også tilpasse OVI'er utfra legemiddelet som benyttes (nærmere beskrevet i 1.5 Bade- og medisinbehandlinger, se også 1.1 Trenging og 1.2 Pumping).



**Figur 2.2.2-2.** Oversikt over OVI'er og noen LABVI'er som kan være egnet i forbindelse med behandlingsflåter. Miljøbaserte OVI'er gjelder oppdrettsmiljøet og miljøet i teknologien, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er angår enkeltindividet. <sup>1</sup>Basert på generell kunnskap, og er ikke nærmere beskrevet i velferdsdokumentasjonen som foreligger. OVI'er i parentes er mest aktuelle i utviklingsfasen eller som stikkprøver. (Illustrasjon og foto: K. Gismervik).

### Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Oksygen.** Effekten av forskjellige oksygenmetningsnivåer varierer med temperaturen. Nivåene må aldri nærme seg den begrensende oksygenmetningen (LOS, Tabell 1.1-1). Som en generell retningslinje brukes ofte oksygenmetninger på > 80 % [13] og RSPCA- standarden anbefaler en minimumsgrense på 7 mg /L [7]. Metningen bør ikke overstige 100 %. I tillegg til oksygenmåling i selve tanken, kan det være viktig å overvåke oksygenivåer under trenging (spesielt om sommeren).

**Temperatur.** Stoffskiftet til vekselvarme dyr som fisk avhenger av omgivelsestemperaturen. Enhver organisme trenger en viss energi til å opprettholde kroppsfunksjon og dermed overleve («vedlikeholdsbehov»). I tillegg til dette kreves energi til andre prosesser som fysiske anstrengelser, å håndtere endringer i miljøet osv. Dette kalles metabolsk spillerom (på engelsk metabolic scope), og forteller hvor store «energiresserver» som er igjen til annen aktivitet. «Energiresservene» hos fisk er høyest ved optimal temperatur, men reduseres kraftig når en går mot nedre og øvre kritiske temperaturområde [15], som for postsmolt ligger rundt 6°C og 18°C. Det er derfor ekstra utfordrende for fisken å øke stoffskiftet under trenging eller annet stress nær disse temperaturområdene. Oppløseligheten av oksygen avtar også med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metningsgrad. Det er også viktig å være klar over at

laks reagerer på akutte endringer i temperatur, og kanskje særlig økning i vanntemperatur [34]. Lav sjøtemperatur øker risikoen for utvikling av sår. Skader fra håndtering er ofte den initierende faktoren som bidrar til sekundære infeksjoner med bakterier som *Moritella viscosa* og *Vibrio spp.* om vinteren (se del A, tabell 3.1.5-2 for mer informasjon om vintersår) [16, 17].

**Karbondioksid** kan akkumuleres i behandlingskamrene hvis vannstrømningsraten i systemet er utilstrekkelig (reduisert), eller hvis biologisk belastning til systemet ikke støttes av systemdesign og dimensjonering. Det vil være viktig å teste dette i utviklingsfasen [29]. **pH** kan også brukes til å estimere karbondioksid indirekte.

**LABVI; ammonium er ikke en OVI, men en LABVI.** Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke  $\text{NH}_3$ :  $\text{NH}_4^+$  -forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk. Maksimale sikre nivå for kortvarig eksponering (4 t) av  $\text{NH}_3$ -N (konsentrasjon av nitrogen bundet som  $\text{NH}_3$ ) er i følge Wedemeyer [58] 0,1 mg/l (for nærmere beskrivelse se del A; kapittel 4.1.6). For å redusere risiko for opphoping av TAN i temperaturjusterte bad, er det viktig at fisken sultes før behandling (se for øvrig kapittel 1.9 Sulting).

**Legemiddelstyrke og holdetid.** Direkte måling av konsentrasjonen av virkestoffet kan være aktuelt for enkelte virkestoff, som for eksempel hydrogenperoksid. Det er også viktig å vite hvilke holdetider som er akseptable for det enkelte legemiddel, og at holdetiden overholdes og loggføres.

**Tid ut av vann.** Grad av lufteksponering bør minimeres, og fiskens tid ut av vann kan være aktuelt å kontrollere i systemer med vannavsilere (silkkasser). RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder eller maksimal eksponeringstid på 15 sekunder uten anestesi [7, 106]. Tiden fisken eksponeres for luft er særlig kritisk ved høye eller lave temperaturer og når luftfuktigheten er lav.

## Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Helsestatus.** Fiskens helsestatus skal være kjent før behandlingen for å sikre at den tåler håndteringsbelastningen.

**Dødelighet** bør følges nøye og regelmessig opp under og etter behandling, for å overvåke og vurdere problemer eller velferdstrusler knyttet til prosedyren. Dødfisk og svimere bør obduseres for å avdekke dødelighetsårsaker. For å avdekke mulige slag eller liknende som dødsårsak kan det være aktuelt å snitte i hodet og hjerne på død fisk for å se etter hjerne- eller ganeblødninger [188].

**Atferd.** Atferdsmessige OVI'er knyttet til trenging og pumping, se relevante avsnitt. For atferdsindikatorer i behandlingstanken kan man se etter gaping i overflaten, fisk som viser sider og buk, svømmeatferd (ro eller panikk) og hoderisting. Det er kameraer for overvåking av overflateatferd, noe som er gunstig, og det ville vært fordelaktig også med undervannskameraer [8]. Som ved trenging og håndtering, kan tiden det tar å opprette normal atferd brukes som en kvalitativ OVI etter operasjonen.

**Hudfargeendring.** Hudfargen kan endres til grønn/blå under stressende trenging [9], og man kan se etter om hudfargen endrer seg fra start til slutt i behandlingstanken.

**Rødt vann (blodvann).** Ifølge erfaringsbasert kunnskap kan det i mindre og lukkede enheter være mulig å oppdage blødninger hos postsmolt som fargeskift i vann, såkalt «rødt vann (blodvann)». Dette er aldri et godt tegn, og årsaken bør undersøkes (se 1.12 og del A kapittel 3 for mer informasjon). Under skåring av fisk ved mekanisk avlusing er det sett eksempler på at bedøvelsesvannet har blitt rødfarget av blod på grunn av gjelleblødninger, hvor rask justering av avlusingsoperasjonen har vært berettiget [21].

**Retur av appetitt.** Den tiden det tar for appetitten å returnere til normal status, bør overvåkes nøye etter håndtering. Redusert eller opphørt matlyst kan være forårsaket av en stressrespons [18]. Tiden det tar for appetitten å returnere etter for eksempel håndtering, kan derfor også brukes som OVI, da det gjenspeiler hvor godt fisken har håndtert stressbelastningen. Appetitt kan lett måles kvalitativt ved å observere fisken når mat tilbys.

**Vekst** kan være et resultat av redusert fôrintak på grunn av akutt eller kronisk stress. Akutte vekstforandringer kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, særlig når oppdretter har robuste vekstovervåkingssystemer.

**Skjell i vannet/filtre.** Tilstedeværelse eller fravær av skjell i vannet eller filtre, indikerer skjelltap og potensiell skade på huden (Se del A, 1.1.5 hudstatus).

### Individbaserte operative velferdsindikatorer

Det er viktig å unngå at ny teknologi skader fisken. Skader bør overvåkes før, under og etter behandlingstanken, slik at tiltak kan gjøres (for eksempel justering av fisketetthet) hvis det ikke er akseptabelt i henhold til etablerte velferdsnormer. Ingen fisk bør etterlates i behandlingstanken under pauser og ved operasjonsslutt. I tillegg til ytre skader som lett kan registreres deriblant klemskader, bør man også forsikre seg om at teknologien ikke gir andre og mindre synlige skader som f.eks. blødninger i hjerne og -gane som i 2017 ble registrert etter termisk avlusing [188].

**Hudtilstand.** Fysisk kontakt med andre fisker, rør eller annet utstyr, kan føre til ulike former for hudskader. Små blødninger i huden kan ofte sees på buken og kalles ofte "rødbuk". Skjelltap kan observeres både som skjell fritt i vannet og som områder på fisken hvor skjell mangler. Dårlig håndtering kan føre til slimtap. Siden slim og skjell beskytter fisken fra miljøet og fungerer som barrierer, kan tap av disse gi opphav til problemer med saltbalansen samt infeksjoner. Skarpe kanter kan gi sår / kutt.

**Gjellelokkskade og gjellestatus.** Gjellelokkskade inkluderer skade, forkortet eller til og med manglende gjellelokk. Det er viktig å skille mellom akutte skader som kan skyldes håndteringen og gamle skader som generelt kan gjøre gjellene mer sårbare. Ved å skåre forandringer på selve gjelleoverflaten (synlige som «hvite flekker») kan man få et mål på gjellestatus, såkalt total gjelleskår [8]. Ved mistanke om AGD kan det også være relevant med AGD skår. For langt kommet sykdom (målt i AGD skår) kan indikere at fisken er påkjent og dermed kan ha økt risiko for dødelighet under behandling [20]. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [21] eller eventuelt legemiddelbivirkninger.

**Snuteskader** kan oppstå i forbindelse med håndteringer, der fisken presser mot not eller treffer harde flater med snuten.

**Finneskade.** Fysisk kontakt kan også føre til skadede finner, spesielt finnesplitting. Som med andre skader er det viktig å differensiere mellom akutte skader som skyldes håndteringen og gamle skader

**Øyestatus og skader.** Øyne er svært utsatt for mekaniske skader, og både blødninger og uttørking under håndtering i luft kan være en risiko. Utstående øyne blir sett på som et uspesifikt sykdomstegn eller tegn på skade som bør undersøkes nærmere (se del A, kapittel 3.2). Utstående øyne øker risikoen for mekaniske skader. Kataraktutbrudd (blakking av øyelinse) hos oppdrettslaks har særlig vært knyttet til histidinmangel i fôr [63-65], men en rekke andre faktorer har også vært koblet til utvikling av katarakt; ernæringsmessige mangler, osmotisk ubalanse, svingninger i vanntemperaturer, parasittiske infeksjoner av øyet, toksiske miljøfaktorer, ultrafiolett stråling, oksidativt stress, genetisk predisposisjon, rask vekst og raske endringer i vannets saltinnhold [66] (se



del A kapittel 3.2.12). Sterk kataraktutvikling påvirker synet, og kan slik også forklare nedsatt fôropptak. Dersom man gjennomfører en generell undersøkelse med tanke på øyestatus eller skader er det også lett og samtidig skåre katarakt [67, 68].

**Skåringsystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader og katarakt er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Lus og avlusningseffekt.** Dersom hensikten er å fjerne lus, bør effekten overvåkes ved å telle lus på fisken før, under og etter operasjonen. Effekten må være god nok til å beskytte fisken mot nye gjentatte behandlinger og likevel vil det ofte være en grense for hvor effektiv avlusningen kan være, før den setter fiskevelferden i fare.

**Laktat (melkesyre).** Panikk og eksplosiv svømming øker den anaerobe muskelaktiviteten og øker dermed laktat i blodet [2, 22, 23]. Blodlaktat bør ligge under 6 mmol/L [2]. Dette er lett å måle med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet. Imidlertid fant Erikson mfl. [3] ingen signifikant korrelasjon mellom trengetid og laktatnivå. Gismervik mfl. [8] fant ingen signifikante endringer i laktat i deres studie av Helixir. Fysiologiske mål som laktat og glukose har begrensninger som velferdsindikatorer, siden de først er målbare en tid etter at stress er påbegynt (se del A kapittel 3). Fysiologiske målinger kan bidra til å bedre fremtidige prosedyrer, men ansees lite egnet til å overvåke velferd under pågående operasjoner.

**Muskel pH.** Økt laktat (melkesyre) etterfølges av redusert muskel pH under både pumping og trenging [24].

**Fôr i tarm.** For å evaluere sulteperioden før behandling eller fôrintaket etter en behandling (indirekte appetitt), kan laksen avlives og mage og tarm kontrolleres for fôrinnhold. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dager [42, 43], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur (se også kapittel 1.9 om sulting).

**LABVI; plasmakortisol og histologi** er ikke OVI'er men LABVI'er. Vi vet at håndtering av fisk stresser fisken og fører til en stressrespons. Plasmakortisolmålinger kan gjennomføres for å se hvor lenge fisken er påvirket av håndteringsstresset og når man er tilbake til hvilenivåer etter operasjonen [8, 21]. Histologi av gjeller kan være aktuelt for kontroll av skader i forbindelse med legemiddelbruk eller gjellestatus (se også del A kapittel 3.2).

**Tabell 2.2.2-1.** viser OVI'er og LABVI'er som er brukt under første velferdstesting av pilotflåten Helixir uten legemiddel i tank

Ref.	Teknologi	Prinsipp	Antall merder/ lokaliteter/ (Temperatur)	No. fisk (+ størrelse)	Oppfølgings-tid	OVI'er	OVI logging i Helixir (+ LABVI)	Avlusnings-effekt (%) B=beveglige C=Chalimus
<b>Gismer-vik mfl. [8]</b>	Behandlingsflåte (Helixir o.l.)	Fisk "skrues" gjennom en vanntank (133 m <sup>3</sup> ) for medisinsk behandling.  Test ikke gjort med medikament, kun sjøvann	3 (nøye kartlagt) /3  (Ca. 5-15 °C)	182.108 (1,2-4,7 kg)	Opptil 2 uker etter	<b>Individ-basert:</b> Skjelltap, snute-, øye- og finneskade, sår, hudblødninger, total gjelleskår, blekhet gjeller, katarakt, lus  Kortisol, laktat, glukose  <b>Gruppe-baserte:</b> Atferd, dødelighet (+årsak), appetitt	<b>Miljø-baserte:</b> O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , pH, temperatur  (ammonium, pH, turbiditet salinitet)	Begrenset effekt C (0%)

#### KUNNSKAPSMANGEL

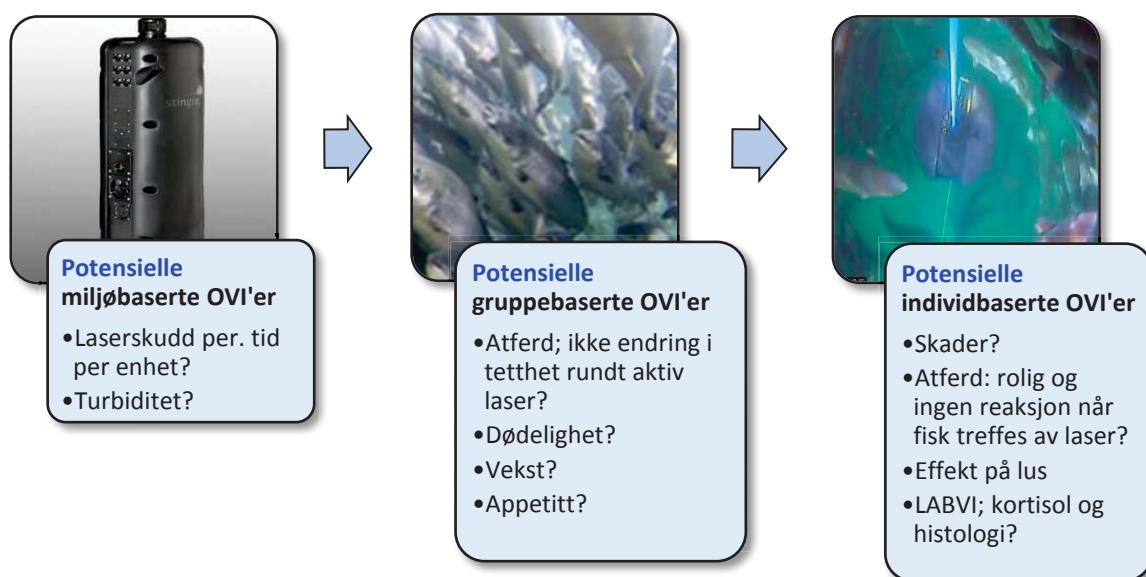
- Det gjenstår å teste teknologien med bruk av legemidler

### 2.2.3 Laser

Denne teknologien bruker kamera og lasere for kontinuerlig å skyte lusa som er til stede på laksen i merdene. Den teoretiske fordelen av denne type avlusning i merdene er at den kan skje uten håndtering og sulting. Ifølge produsenten har det ikke vært rapportert sår siden teknologien ble kommersialisert i 2014. De oppgir også at atferden ble kontrollert i tidligere stadier av teknologien og at lasere ikke hadde noen visuelle negative effekter. Produsenten Stingray skriver: «Teknologien har vært benyttet i kommersielle merder siden 2013, uten noen innmeldte synlige skader fra over 400 millioner laserpulser fra rundt 20 lokaliteter». Åpen velferdsdokumentasjon med avlusningseffekter (rapporter / artikler) er imidlertid ikke tilgjengelig, og velferden ved bruk av teknologien kan av den grunn ikke vurderes nærmere (se kunnskapsmangel). For mer informasjon om teknologien, se produsentens nettside.

#### Hvordan vurdere velferd ved bruk av laser

Siden ingen vitenskapelig dokumentasjon foreligger, er det kun generelle råd som er oppsummert i figur 2.2.3-1.



**Figur 2.2.3-1.** Oversikt over OVI'er som kan være egnet i forbindelse med laserbehandling mot lus. Siden ingen vitenskapelig dokumentasjon foreligger, er det kun potensielle OVI'er basert på generelle råd som er oppsummert. Miljøbaserte OVI'er angår oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er gjelder oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er handler om enkeltindividet. (Figur: K. Gismervik, foto gruppe: L.H. Stien, øvrige foto gjengitt med tillatelse fra [www.stingray.no](http://www.stingray.no))

#### Potensielle miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**Laserskudd per tidsenhet og turbiditet** er nærmere beskrevet under kunnskapsmangel.

## Potensielle gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Atferd?** Det kan være relevant å kontrollere at fisk ikke unngår laserområdet. Kameraer kan gi informasjon om tettheten.

**Dødelighet?** Dødelighet bør overvåkes, og hvis denne er økende må årsaker undersøkes. Potensielle laserrelaterte skader kan inspiseres visuelt på død fisk (se individuelle OVI'er).

**Vekst?** Vekst kan være et resultat av redusert forinntak på grunn av akutt eller kronisk stress. Akutte vekstforandringer kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, særlig når oppdretter har robuste vekstovervåkingssystemer.

**Akutt appetittsvikt?** Akutt appetittsvikt er en generell velferdsindikator, der det også kan være aktuelt å kontrollere teknisk utstyr dersom det ikke er andre klare årsaker.

## Potensielle individbaserte operative velferdsindikatorer

**Skader?** Kontroll av individuelle fisk for ulike potensielle skader på f.eks. øyne og hudlag kan gjøres sammen med lusetellinger eller andre operasjoner (se avsnitt 1.12) som dokumentasjon på fravær av skader. For å undersøke for mindre synlige skader kan LABVI benyttes, blant annet histologi av hudlag og øyne.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Atferd?** Kameraer kan brukes til å følge opp og sikre at atferden ikke påvirkes negativt. En bør observere rolig svømming og ingen reaksjon når skudd treffer fisken. Det bør heller ikke være en annen tetthet rundt laserne enn ellers i merden.

**Avlusingseffekt.** Lusenivåer bør overvåkes for å kontrollere at teknologien fungerer som ønsket, og det må gjøres tiltak dersom lusetallene øker.

**LABVI; plasmakortisol og histologi?** Plasmakortisol kan benyttes til vurderinger av stresseffekt der man har mer kontrollerte forsøk (se del A kapittel 3.2.16). Histologi av hudlag og øyne kan være aktuelt for å kontrollere at fisken ikke påføres mindre synlige skader.

### KUNNSKAPSMANGEL

- Det foreligger ingen tilgjengelig vitenskapelig dokumentasjon på velferdseffekten eller avlusingseffekten av laserteknologien.
- Teknologi som lasere er kjent for å kunne gi øyeskader hos mennesker [196]. Hos laks er dette en problemstilling vi dessverre ikke har funnet åpne publikasjoner på, og det vurderes derfor som en mulig risiko.
- Det observeres at teknologien avgir sterke lyssignaler under drift. Det finnes ingen åpen dokumentasjon på om dette kan skremme/stresse fisken, utover at produsenten oppgir at normal adferd observeres. Miljøbaserte OVI'er; Teknologien gir informasjon om hvor mange skudd den gir per tidsenhet. Hvorvidt denne informasjonen kan brukes til å kontrollere at utstyret fungerer som det skal er uavklart. Høy turbiditet kan redusere oppdagelsen av lakselus, grenseverdier for påvirkning er ikke tilgjengelig.

## 2.2.4 Notvask

Akkumulering av organismer og «avfall» forekommer på alle overflater i vannmiljøet. Grad og hastighet av begroing er avhengig av årstid, lysnivå og lokalitet. Vekst av organismer på laksenøter har mange negative konsekvenser. De resulterer i redusert vannutveksling gjennom nota og reduserer dermed oppløst oksygen [197, 198]. Dette skaper økt motstand som kan øke forvrengningen av nøtene, samt øke belastningen på den fysiske strukturen og fortøyningene [199]. Organismer som vokser på nota reduserer tilgjengelig oppløst oksygen [200, 201], slipper avfallsprodukter i vannet og kan være et reservoar for infeksjoner [202-204]. Påvekst på nøter kan også fungere som en kilde til naturlig fôr for renseskild, noe som reduserer avlusningseffekten av disse [205].

Siden systemer for anti-begroing på marine nøter har en begrenset effekt, må nøtene rengjøres for å unngå de negative virkningene som er beskrevet ovenfor. En vanlig løsning er notrengjøringsrigger eller -systemer (figur 2.2.4-1). Disse kan være av forskjellige størrelser fra tohoderigger som lett kan betjenes av en person, til større systemer som krever kraner eller fjernstyrte undervannsfartøy (ROV). Disse systemene bruker hydrostatisk trykk fra vannjetstråler for å tvinge rengjøringshodene mot nettet og fjerner deretter forurensningen med roterende plater som rengjøres med høytrykksspyling (figur 2.2.4-1). I områder og tider av året med høye nivåer av begroing, må nøtene kanskje renses så ofte som en gang i uken. Et begrenset antall oppdrettere bruker fortsatt å tvinge fisk over til en ny not eller merd, for å deretter skifte eller tørke den begroede nota. Dette er potensielt mindre skadelig for fisk, men er ikke praktisk mulig i de fleste tilfeller.



**Figur 2.2.4-1.** Eksempel på en notrengjøringsrigg fra AKVA med 4 rengjøringshoder. (Foto gjengitt etter tillatelse av N. Ribeiro, 2016).





**Figur 2.2.4-2.** Eksempel på en notrengjøringsrigg fra AKVA med 4 rengjøringshoder under bruk. (Foto gjengitt etter tillatelse av N. Ribeiro, 2016).

### Velferdsutfordringer

- Manglende rengjøring av nøter har mange negative konsekvenser som beskrevet ovenfor. Selve notrengjøringen kan imidlertid også føre til utfordringer for fiskevelferd.
- Alvorlighetsgraden av disse utfordringene er relatert til mengden og graden av begroing på nøtene, og retningen og hastigheten til vannstrømmen.
- Ofte når man rengjør not kan man observere fisk som svømmer tilsynelatende uforstyrret gjennom avfallet, som er vasket av nota. Andre ganger virker de påvirket av avfallet og forsøker å unngå dette aktivt.
- Det er mistanke om at noen organismer som blir vasket av nøtene, kan være potensielt skadelige for fiskegjellene. Organismer som inneholder stikkende celler (nesleceller) eller nematocyster (giftkapsler) som nesledyr deriblant maneter, antas å utgjøre den største risikoen. Selv om det er pågående forskningsprosjekter, er det svært lite publisert informasjon tilgjengelig om dette emnet i dag.

## Hvordan minimere velferdsutfordringene

Siden rengjøring av nøtter er en nødvendighet for de fleste merdanlegg i Norge, bør man prøve å minimere de potensielle bivirkningene.

- Dette kan oppnås ved rengjøring på et tidspunkt når vannstrømmen er sakte nok til å tillate rengjøring, men rask nok til å fjerne avfallet. Dette medfører minimal forurensning av merden som skal renses og andre nærliggende merder på lokaliteten.
- I praksis er dette ikke alltid mulig, da mange anlegg må rengjøres på en kontinuerlig basis.
- Regelmessig rengjøring har fordelen av å redusere mengden av organismer som fremmer begroing på nota og reduserer derfor mengden avfall som slippes ut i vannet ved rengjøring. Forebygging av etablering av spesifikke organismer er muligens mer viktig dersom det vokser Cnidaria (nesledyr) på nota, men denne praktiske erfaringen er ennå ikke støttet av vitenskapelige data.
- Risikoen kan ytterligere reduseres ved gode styringsprosesser, blant annet ved vedlikehold av utstyr, opplæring av personalet og oppfølging av ervervet kompetanse. Det bør være standard driftsprotokoller, registreringer av begrunnelse for rengjøring eller ikke rengjøring av nøtene.
- Enhver indikasjon på bivirkninger bør undersøkes, inkludert patologisk vurdering av fiskens gjeller.

## Hvordan vurdere velferd ved bruk av notvaskeutstyr

Vurdering av fiskevelferd under notrengjøring er basert på observasjon på faste tidspunkt fra overflaten eller med kamerasystemer, og etterfølgende evaluering av gruppe- og individbaserte velferdsindikatorer. Dette gjøres for å identifisere eventuelle problemer og gi mulighet til å unngå eller redusere disse problemene i fremtiden.



**Figur 2.2.4-3.** Oversikt over OVI'er som kan være egnet i forbindelse med notvasking. Siden ingen vitenskapelig dokumentasjon foreligger, er det potensielle OVI'er basert på generelle råd som er oppsummert. Miljøbaserte OVI'er angår oppdrettsmiljøet, gruppebaserte OVI'er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI'er gjelder enkeltindividet. (Figur og foto: J. Turnbull og K. Gismervik, foto miljø: N. Ribeiro).

## Potensielle miljøbaserte operative velferdsindikatorer

**For høye konsentrasjoner av avfall?** Selv om store eller tette skyer av avfall som beveger seg mot eller omgir fisken kan være en indikasjon på et potensielt problem, er risikoen for rusk ikke bare avhengig av dens tetthet, men også dens sammensetning.

## Potensielle gruppebaserte operative velferdsindikatorer

**Unormal atferd?** Uro, fluktrespons eller vedvarende bevegelse vekk fra avfallet ved rengjøring av nota, kan indikere irriterende materiale i avfallet.

**Retur av appetitt?** En hvilken som helst reduksjon i fôropptak kan indikere skade eller stress som følge av rengjøringsprosessen, og bør overvåkes nøye [18].

**Redusert vekst?** Dette kan være et resultat av redusert fôrinntak på grunn av stress eller være en indikasjon på mer alvorlige problemer som klinisk signifikant gjelleskade [206].

**Swiming, dødelighet eller kliniske sykdommer?** Fisk kan bli syk og dø eller må fjernes fra merden og avlives. Årsaksforhold bør som en generell regel undersøkes av fiskehelsepersonell [174-176, 179].

## Potensielle individbaserte operative velferdsindikatorer

**Skader?** Hvis man oppdager overdreven aktivitet eller fluktrespons, kan det oppstå skader (f.eks. på øyne, finner, hud inkludert skjelltap, snute, gjellelokk) på grunn av fysisk kontakt med individer, notvegg eller annet utstyr. Potensielle ytre skader kan registreres.

**Skåringssystemer for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet.**

**Gjellepatologi?** Etter notrengjøring kan det være relevant å se etter tegn på økt gjelleirritasjon, inkludert atferdsendringer og patologiske endringer ved post-mortem undersøkelser (dette kan være makroskopisk, ved direkte mikroskopi eller ved LABVI; histologi).

### KUNNSKAPSMANGEL

- Det ble ikke funnet noen vitenskapelige publikasjoner som handler om notrengjøring og mulige effekter på fiskevelferden.

### 3 Morfologiske skåringssystemer for vurdering av fiskevelferd ved ulike oppdrettssystemer og håndteringsteknologier

Det er fullt mulig å gjennomføre en skåring av synlige skader og misdannelser ved merdkanten, selv om slike velferdsindikatorer avhengig av prøvetaking og manuell håndtering av fisken (se kapittel 1.12). Prøvetakingen må gjøres forsiktig for ikke å skade fisken, og på en slik måte 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. Likevel kan velferdsindikatorer som baserer seg på vurderinger av selve fisken gi mye informasjon, og gjøre det mulig å sammenlikne håndteringsbelastningen av ulike typer tekniske løsninger for å finne den beste. Gismervik mfl. [21] fant at skåringer av ytre akutte skader hos fisk underveis under mekanisk avlusning kan bidra til å sikre at utstyret er riktig innstilt, og at totalbelastningen ikke blir for stor med hensyn til fiskevelferden. Det ble her benyttet et skåringssystem utviklet av Veterinærinstituttet («Velferdsplakaten»), som beskriver ytre akutte skader under håndtering [21, 28].

Mange ulike skåringssystemer for kvantifisering av morfologiske (utseendemessige) OVI'er blir nå brukt både av næringen og forskere til benchmarking, revisjon og sammenligninger mellom ulike produksjonsanlegg og teknologier. Siden skåringssystemene er ulike, kan sammenlikning av resultatene være problematiske. Denne håndboken vil foreslå et enhetlig skåringssystem som kan brukes av oppdrettere, fiskehelsepersonell og forskere for å redusere dette problemet.



















En har brukt en 0-3 skår for:

- 1) avmagring, 2) hudblødninger, 3) lesjoner / sår, 4) skjelltap, 5) øyebledninger, 6) utstående øye, 7) gjellelokkskade, 8) snuteskade, 9) ryggradsdeformiteter, 10) overkjevemisdannelser, 11) underkjevemisdannelser, 12) lakselusinfeksjoner, 13) aktive og helbredede finneskader

Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av en eksisterende og mye brukt 0-4 skåringssystem [67]. Skåringsmetoden kvantifiserer relativ kataraktareal i forhold til linstørrelse (som sett gjennom pupillen langs optisk akse). En kan raskt vurdere et stort antall fisk manuelt for å få et inntrykk av utbredelse og alvorlighetsgrad i populasjonen. Hvis mulig, kan en gå gjennom et mindre antall fisk for en mer presis beskrivelse av kataraktet sin posisjon i linsen, type, utviklingsgrad og mulig årsak. Dette må gjøres under redusert belysning og krever eget utstyr og trening. Skåringsmetoden for katarakt tar ikke hensyn til hvor gjennomskiktig kataraktområdet er, dette er en viktig parameter som også bør bli notert (T. Wall pers. kom.).





















**Tabell 3-1-del 1** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiske skader. 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 «punktert» øye og avlives
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne



**Tabell 3-1-del 2** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiske skader. 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 3-1-del 3** Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiske skader. 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)

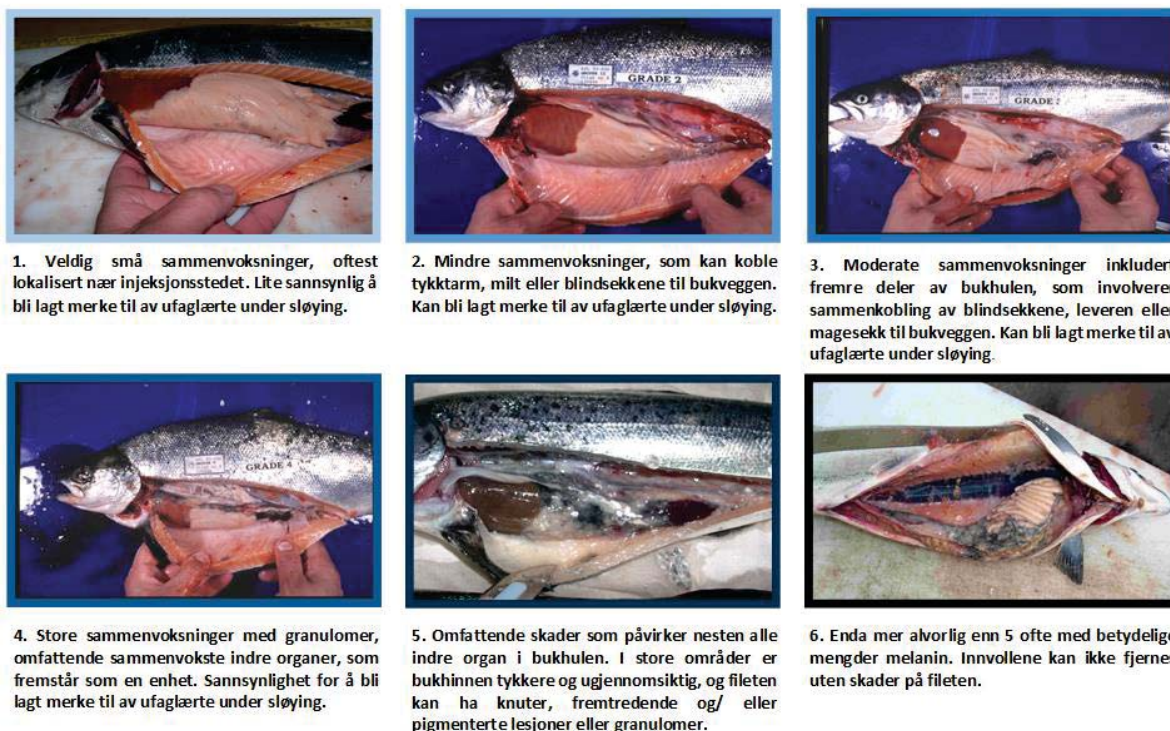
	1	2	3
Helbredet finneskader	 <p>Meste av finnen er inntakt</p>	 <p>Halve finnen er inntakt</p>	 <p>Lite av finnen er inntakt, huden er avhelet</p>
Aktiv finneskade*	 <p>Lett splitting og/eller blødende sår, splittingen er bare ytre deler av finnelengden</p>	 <p>Tydlig splitting og/eller blødende sår, 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





**Figur 3-2.** Morfologisk skåresystem for diagnostikk og klassifisering av katarakt hos laks. Tekst gjengitt fra "Wall, T. & Bjerkås, E. 1999 [67], A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 19(4), 162-165. Copyright, 1999" med tillatelse fra European Association of Fish Pathologists. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto gjengitt fra "Bass, N. and T. Wall (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland ,2s.[68]" med tillatelse fra T.Wall.



**Figur 3-3.** Spielbergsskala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto: Lars Spielberg. Tekst gjengitt fra "Midtlyng, P.J., Reitan, L.J. og Spielberg, L. 1996 [101], Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* 6, 335-350. Copyright 1996", med tillatelse fra Elsevier.

## 4 Referanser

1. Vigen, J. (2008) Oxygen variation within a seacage, The University of Bergen: Bergen. p. 73.
2. Espmark, Å.M.O., et al. (2015) Pumping og håndtering av smolt, in *Nofima rapport 6/2015*, Nofima: Tromsø. p. 61.
3. Erikson, U., et al. (2016) Crowding of Atlantic salmon in net-pen before slaughter. *Aquaculture*. **465**: p. 395-400.
4. Veiseth, E., et al. (2006) Accelerated recovery of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from effects of crowding by swimming. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*. **144(3)**: p. 351-8.
5. Roth, B., S. Birkeland, and F. Oyarzun (2009) Stunning, pre slaughter and filleting conditions of Atlantic salmon and subsequent effect on flesh quality on fresh and smoked fillets. *Aquaculture International*. **289**: p. 350-356.
6. Skjervold, P.O., S.O. Fjaera, and P.B. Ostby (1999) Rigor in Atlantic salmon as affected by crowding stress prior to chilling before slaughter. *Aquaculture*. **175(1-2)**: p. 93-101.
7. RSPCA. RSPCA UK (2015). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. Standards accessed via <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon> 1st November 2016. 2015.
8. Gismervik, K., A. Østvik, and H. Viljugrein (2016) Pilotflåte Helixir- dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus. Del 1 uten legemiddel, in *Veterinærinstituttets rapportserie 15-2016*, Veterinærinstituttet: Oslo. p. 45.
9. Mejdell, C.M., et al. (2009) Slaktesystemer for laksefisk i 2008- fiskevelferd og kvalitet, in *Veterinærinstituttets rapportserie 1-2009*, Veterinærinstituttet: Oslo. p. 61.
10. Mattilsynet. Veiledning om krav til god fiskevelferd ved slakteri for akvakulturdyr, Mattilsynet 2014, [www.mattilsynet.no](http://www.mattilsynet.no). 2014.
11. Oppedal, F., et al. (2011) Fluctuating sea-cage environments modify the effects of stocking densities on production and welfare parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*. **315(3)**: p. 361-368.
12. Stevens, E.D., A. Sutterlin, and T. Cook (1998) Respiratory metabolism and swimming performance in growth hormone transgenic Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **55(9)**: p. 2028-2035.
13. Stien, L.H., et al. (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(1)**: p. 33-57.
14. Remen, M., et al. (2016) The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture*. **464**: p. 582-592.
15. Farrell, A.P. and J.G. Richards (2009) Defining hypoxia: an integrative synthesis of the responses of fish to hypoxia. *Fish physiology*. **27**: p. 487-503.
16. Hjeltnes, B., et al. (2017) Fiskehelserapporten 2016, Veterinærinstituttet: Oslo. p. 121.
17. Tørud, B. and T. Håstein (2008) Skin lesions in fish: causes and solutions. *Acta Veterinaria Scandinavica*. **50(1)**: p. 1.
18. Huntingford, F.A. and S. Kadri (2014) Defining, assessing and promoting the welfare of farmed fish. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*. **33(1)**: p. 233-244.
19. Takle, H.R., et al. (2015) Sårproblematikk og hudhelse i laks-og regnbueørrettoppdrett, in *Nofima rapport 5/2015*. p. 108.
20. Powell, M.D., P. Reynolds, and T. Kristensen (2015) Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea-lice in seawater salmon production: Considerations of water chemistry and fish welfare in Norway. *Aquaculture*. **448**: p. 18-28.

21. Gismervik, K., et al. (2017) Mekanisk avlusing med FLS-avlusersystem- dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus, in *Veterinærinstituttets rapportserie 6-2017*, Veterinærinstituttet: Oslo. p. 41.
22. Espmark, Å.M., et al. (2016) Effects of pumping height and repeated pumping in atlantic salmon *Salmo salar*. *Natural Resources*. **7(06)**: p. 377.
23. Espmark, A.M., O.B. Humborstad, and K.O. Midling (2012) Pumping av torsk og laks, faktorer som påvirker velferd og kvalitet, in *Nofimarapport nr.6-2012*: Tromsø.
24. Roth, B., et al. (2012) Crowding, pumping and stunning of Atlantic salmon, the subsequent effect on pH and rigor mortis. *Aquaculture*. **326**: p. 178-180.
25. Skjervold, P.O., et al. (2001) Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. **192(2-4)**: p. 265-280.
26. Olsen, R.E., et al. (2003) Acute stress alters the intestinal lining of Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: An electron microscopical study. *Fish Physiology and Biochemistry*. **26(3)**: p. 211-221.
27. Merkin, G.V., et al. (2010) Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and some quality parameters in sea-farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. **309(1)**: p. 231-235.
28. Grøntvedt, R., et al. (2015) Termisk avlusning av laksefisk- dokumentasjon av fiskevelferd og effekt (in english: Thermal de-licing of salmonid fish- documentation of fish welfare and effect), in *Veterinærinstituttets rapportserie 13-2015*, Veterinærinstituttet (Norwegian Veterinary Institute): Oslo. p. 32.
29. Roth, B. (2016) Avlusing av laksefisk med Optilice: Effekt på avlusing og fiskevelferd, in *Nofima rapport 59/2016*, Nofima: Tromsø. p. 41.
30. Grizzle, J.M. and L.L. Lovshin (1994) Effect of pump speed on injuries to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) during harvest with a turbine pump. *Aquacultural engineering*. **13(2)**: p. 109-114.
31. Hammer, C. (1995) Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*. **112(1)**: p. 1-20.
32. Mejdell, C. and K. Gismervik (2009) Dokumentasjon av metode for retningsorientering av laksefisk før slaktebedøving, in *Veterinærinstituttets rapportserie 15-2009*, Veterinærinstituttet: Oslo. p. 14.
33. EFSA (2009) AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), Welfare aspect of the main systems of stunning and killing of farmed Atlantic salmon. *The EFSA Journal*, **1012**, 1-77.
34. Folkedal, O., et al. (2012) Food anticipatory behaviour as an indicator of stress response and recovery in Atlantic salmon post-smolt after exposure to acute temperature fluctuation. *Physiology & Behavior*. **105(2)**: p. 350-356.
35. Foss, A., et al. (2012) Live chilling of Atlantic salmon: physiological response to handling and temperature decrease on welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*. **38(2)**: p. 565-571.
36. FAWC (2014) Opinion on the welfare of farmed fish at the time of killing, in *FAWC- Farm Animal Welfare Committee*: London, UK.
37. Davis, M.W. (2010) Fish stress and mortality can be predicted using reflex impairment. *Fish and Fisheries*. **11(1)**: p. 1-11.
38. Robb, D.H.F., et al. (2000) Commercial slaughter methods used on Atlantis salmon: determination of the onset of brain failure by electroencephalography. *Veterinary Record*. **147(11)**: p. 298-303.
39. Mejdell, C.M., et al. (2010) Bedøvsingsmetoder ved slakting av laksefisk. *Norsk veterinærtidsskrift*. **2**: p. 83-90.
40. Kestin, S.C., J.W. Van de Vis, and D.H.F. Robb (2002) Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *Veterinary Record*. **150(10)**: p. 302-307.
41. Kristoffersen, S., et al. (2006) Slaughter stress, postmortem muscle pH and rigor development in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *International Journal of Food Science and Technology*. **41(7)**: p. 861-864.



42. Sveier, H., E. Wathne, and E. Lied (1999) Growth, feed and nutrient utilisation and gastrointestinal evacuation time in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): the effect of dietary fish meal particle size and protein concentration. *Aquaculture*. **180(3-4)**: p. 265-282.
43. Aas, T.S., et al. (2017) Measurement of gastrointestinal passage rate in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed dry or soaked feed. *Aquaculture Reports*. **8**: p. 49-57.
44. Southgate, P. and T. Wall (2001) Welfare of farmed fish at slaughter. *In Practice*. **May(5)**: p. 277-284.
45. Close, B., et al. (1996) Recommendations for euthanasia of experimental animals .1. *Laboratory Animals*. **30(4)**: p. 293-316.
46. Tobiassen, T., et al. (2010) Sanitetslakting på merdkanten, in *Nofima rapport 48-2010*, Nofima: Tromsø. p. 24.
47. Brattelid, T. and A. Smith (2011) Compendium in laboratory animal science for fish researchers, Norwegian School of Veterinary Science and Norecopa: Oslo. p. 190.
48. Mattilsynet (12.09.2016 (versjon 2)) Veileder-forsvarlig forskrivning og bruk av legemidler: [www.mattilsynet.no](http://www.mattilsynet.no).
49. Bakke, O.M., (1990) Innføring i farmakologi. Bergen: Alma Mater Forlag AS.
50. Harris, J.O., et al. (2005) Clinical assessment of chloramine-T and freshwater as treatments for the control of gill amoebae in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research*. **36(8)**: p. 776-784.
51. Thomassen, J. and T. Poppe (1992) Toxic effects of hydrogen peroxide on salmon, Department of Agricultural Engineering, Agricultural University of Norway. p. 12.
52. Helgesen, K.O., et al. (2017) The surveillance programme for resistance to chemotherapeutants in salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in Norway 2016 in *Surveillance programmes in Norway. Resistance in salmon lice. Annual report 2016*, Norwegian Veterinary Institute: Oslo. p. 16.
53. Helgesen, K.O., et al. (2015) First report of reduced sensitivity towards hydrogen peroxide found in the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. *Aquaculture Reports*. **1**: p. 37-42.
54. Holan, A.B., et al. (2017) Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI), in *Nofima rapport 10/2017*, Nofima: Tromsø. p. 124.
55. Adams, M.B., K. Ellard, and B.F. Nowak (2004) Gross pathology and its relationship with histopathology of amoebic gill disease (AGD) in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*. **27(3)**: p. 151-161.
56. Taylor, R.S., et al. (2009) Genetic variation of gross gill pathology and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during natural amoebic gill disease challenge. *Aquaculture*. **294(3-4)**: p. 172-179.
57. Taylor, R.S., P.B. Crosbie, and M.T. Cook (2010) Amoebic gill disease resistance is not related to the systemic antibody response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*. **33(1)**: p. 1-14.
58. Wedemeyer, G.A., (1996) Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, New York. 232.
59. Hjeltnes, B., et al. (2016) Fiskehelse rapporten 2015. *Veterinærinstituttet*: p. 74.
60. Rantty, I., K. Pittman, and E. Sweetman (2016) Delousing with hydrogen peroxide: skin, gills and esophagus responses and repair in the first three weeks after treatment, in *Aquaculture Europe, Edinburgh, Scotland*
61. Poppe, T., (1999) (Ed.) Fiskehelse og fiskesykdommer, ed. T. Poppe. Oslo: Universitetsforlaget. 411.
62. Taylor, R.S., et al. (2009) Gill observations in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) during repeated amoebic gill disease (AGD) field exposure and survival challenge. *Aquaculture*. **290(1-2)**: p. 1-8.

63. Waagbo, R., et al. (2010) Dietary histidine supplementation prevents cataract development in adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in seawater. *British Journal of Nutrition*. **104(10)**: p. 1460-1470.
64. Breck, O., et al. (2003) Cataract preventative role of mammalian blood meal, histidine, iron and zinc in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of different strains. *Aquaculture Nutrition*. **9(5)**: p. 341-350.
65. Breck, O., et al. (2005) Histidine nutrition and genotype affect cataract development in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*. **28(6)**: p. 357-371.
66. Bjerkås, E. and H. Sveier (2004) The influence of nutritional and environmental factors on osmoregulation and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*. **235(1)**: p. 101-122.
67. Wall, T. and E. Bjerkås (1999) A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*. **19(4)**: p. 162-165.
68. Bass, N. and T. Wall (Undated) A standard procedure for the field monitoring of cataracts in farmed Atlantic salmon and other species. BIM, Irish Sea Fisheries Board, Dun Laoghaire, Co. Dublin, Ireland ,2p.
69. <https://www.legemiddelsoek.no/ layouts/15/preparatomtaler/spc/11-8574.pdf>. 06.12.17].
70. Ross, L.G. and B. Ross, (2008) Anaesthetic & sedative techniques for aquatic animals. Third edition, Blackwell Science, UK, London. 222.
71. Anderson, W.G., R.S. Mckinley, and M.N. Colavecchia (1997) The use of Clove oil as an anaesthetic for Rainbow trout and its effects on swimming performance. *North American Journal of Fisheries Management*. **17**: p. 301-307.
72. Iversen, M., R.A. Eliassen, and B. Finstad (2009) Potential benefit of clove oil sedation on animal welfare during salmon smolt, *Salmo salar* L. transport and transfer to sea. *Aquaculture Research*. **40(2)**: p. 233-241.
73. Iversen, M., et al. (2003) The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S™ and Benzoak® as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture*. **221(1)**: p. 549-566.
74. Iversen, M., et al. (2005) Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea. *Aquaculture*. **243(1-4)**: p. 373-382.
75. Wendelaar Bonga, S.E.W. (1997) The stress response in fish. *Physiological Reviews*. **77(3)**: p. 591-625.
76. Burka, J.F., et al. (1997) Drugs in salmonid aquaculture - A review. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutic*. **20**: p. 333-349.
77. Cho, G.K. and D.D. Heath (2000) Comparison of tricane metanesuphonate (MS222) and clove oil anaesthesia effects on the physiology of juvenile chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture Research*. **31**: p. 537-546.
78. Marking, L.L. and F.P. Meyer (1985) Are better anesthetics needed in fisheries? *Fisheries*. **10(6)**: p. 2-5.
79. Davis, K.B. and B.R. Griffin (2004) Physiological responses of hybrid striped bass under sedation by several anesthetics. *Aquaculture*. **233(1-4)**: p. 531-548.
80. Iversen, M.H., et al. (2013) The efficacy of Aqui-S vet. (iso-eugenol) and metomidate as anaesthetics in European eel (*Anguilla anguilla* L.), and their effects on animal welfare and primary and secondary stress responses. *Aquaculture Research*. **44(8)**: p. 1307-1316.
81. Keene, J.L., et al. (1998) The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*. **29(2)**: p. 89-101.
82. Olsen, Y.A., I.E. Einarsdottir, and K.J. Nilssen (1995) Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress. *Aquaculture*. **134**: p. 155-168.

83. Small, B.C. (2003) Anesthetic efficacy of metomidate and comparison of plasma cortisol responses to tricaine methanesulfonate, quinaldine and clove oil anesthetized channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*. **218(1-4)**: p. 177-185.
84. Holloway, A.C., et al. (2004) Effects of clove oil and MS-222 on blood hormone profiles in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, Walbaum. *Aquaculture Research*. **35(11)**: p. 1025-1030.
85. Ortuno, J., M.A. Esteban, and J. Meseguer (2002) Effects of four anaesthetics on the innate immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish & Shellfish Immunology*. **12(1)**: p. 49-59.
86. Kiessling, A., et al. (2009) Pharmacokinetics, plasma cortisol and effectiveness of benzocaine, MS-222 and isoeugenol measured in individual dorsal aorta-cannulated Atlantic salmon (*Salmo salar*) following bath administration. *Aquaculture*. **286(3-4)**: p. 301-308.
87. Zahl, I.H., et al. (2010) Anesthesia induces stress in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Fish Physiology and Biochemistry*. **36(3)**: p. 719-730.
88. Finstad, B., M. Iversen, and R. Sandodden (2003) Stress-reducing methods for releases of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in Norway. *Aquaculture*. **222(1-4)**: p. 203-214.
89. Pickering, A.D. (1992) Rainbow trout husbandry - management of the stress response. *Aquaculture*. **100(1-3)**: p. 125-139.
90. Schoettger, R.A. and M. Julin (1967) Efficacy of MS-222 as an anesthetic on four salmonids. *Invest. Fish Contr., U.S. Dept. Int.* **13**: p. 1-15.
91. Hikasa, Y., et al. (1986) Anesthesia and recovery with tricaine methanesulfonate, eugenol and thiopental sodium in the carp, *Cyprinus carpio*. *Jpn. J. Vet. Sci.* **48(2)**: p. 341-51.
92. DOF. Key figures from aquaculture industry, <http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/statistikk/akvakultur/statistikk-for-akvakultur>, last update date 09.06.2012. 2012 09.06.2011 [cited 2011; Available from: <http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/statistikk/akvakultur/statistikk-for-akvakultur>.
93. Drangsholt, T.M.K., et al. (2011) Quantitative genetics of vaccine-induced side effects in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. **318(3-4)**: p. 316-324.
94. Gudding, R., A. Lillehaug, and O. Evensen (1999) Recent developments in fish vaccinology. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. **72(1-2)**: p. 203-212.
95. Funk, V.A., et al. (2004) The effect of vaccination and sea water entry on immunocompetence and susceptibility to *Kudoa* thrysites in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish & Shellfish Immunology*. **17(4)**: p. 375-387.
96. Iversen, M.H. and R.A. Eliassen (2014) The effect of allostatic load on hypothalamic-pituitary-interrenal (HPI) axis before and after secondary vaccination in Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.). *Fish Physiology and Biochemistry*. **40(2)**: p. 527-538.
97. Skinner, L.A., et al. (2010) Supra-physiological levels of cortisol suppress lysozyme but not the antibody response in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., following vaccine injection. *Aquaculture*. **300(1-4)**: p. 223-230.
98. Espelid, S., et al. (1996) Effects of cortisol and stress on the immune system in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish & Shellfish Immunology*. **6**: p. 95-110.
99. Lovy, J., et al. (2008) Effects of dexamethasone on host innate and adaptive immune responses and parasite development in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* infected with *Loma salmonae*. *Fish & Shellfish Immunology*. **24(5)**: p. 649-658.
100. Midthlyng, P.J. (1996) A field study on intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology*. **6**: p. 553- 565.
101. Midthlyng, P.J., L.J. Reitan, and L. Speilberg (1996) Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology*. **6(5)**: p. 335-350.
102. Treasurer, J. and C. Cox (2008) Intraperitoneal and dorsal median sinus vaccination effects on growth, immune response, and reproductive potential in farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture*. **275(1-4)**: p. 51-57.

103. Poppe, T.T. and O. Breck (1997) Pathology of Atlantic salmon *Salmo salar* intraperitoneally immunized with oil-adjuvanted vaccine. A case report. *Diseases of Aquatic Organisms* **29**: p. 219–226.
104. Berg, A., et al. (2006) Animal welfare end fish vaccination – effects and side-effects (Norwegian). *Fisken og havet*. **972006**.
105. Midtlyng, P.J. and A. Lillehaug (1998) Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. *Diseases of Aquatic Organisms*. **32**: p. 91– 97.
106. RSPCA. RSPCA Australia (2017). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. Standards accessed via [https://rspcaapproved.org.au/wp-content/uploads/2017/03/2017-03\\_SALMON\\_Standards.pdf](https://rspcaapproved.org.au/wp-content/uploads/2017/03/2017-03_SALMON_Standards.pdf) 10st May 2017. 2017.
107. Nomura, M., et al. (2009) Physiology and behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts during commercial land and sea transport. *Physiol Behav*. **96(2)**: p. 233-43.
108. Erikson, U., T. Sigholt, and A. Seland (1997) Handling stress and water quality during live transportation and slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. **149(3-4)**: p. 243-252.
109. Iversen, M. and R.A. Eliassen (2005) Salmon Smolt (*Salmo salar* L) production and stress reducing measures: The effects of Aqui-S™ sedation during vaccination, transport and transfer to sea on survivability, appetite, growth, immunological capacity, primary, secondary and tertiary stress responses, Nordlandsforskning, NF-report 05/2005. p. 55.
110. King, H.R. (2009) Fish transport in the aquaculture sector: An overview of the road transport of Atlantic salmon in Tasmania. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*. **4(4)**: p. 163-168.
111. Shabani, F., et al. (2016) Live transport of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) and subsequent live storage in market: Water quality, stress and welfare considerations. *Aquaculture*. **453**: p. 110-115.
112. Southgate, P.J., (2008) Welfare of fish during transport, in *Fish Welfare*, E.J. Branson, Editor., ISBN: 9781405146296. Blackwell Publishing.
113. Iversen, M., R.A. Eliassen, and L. Gill (2004) Transport of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in Puerto Montt, Chile. The effects of high and low transport densities on primary, secondary and tertiary stress responses, Nordlandsforskning. p. 26.
114. Iversen, M., B. Finstad, and K.J. Nilssen (1998) Recovery from loading and transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture*. **168(1-4)**: p. 387-394.
115. Sandodden, R., B. Finstad, and M. Iversen (2001) Transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): anaesthesia and recovery. *Aquaculture Research*. **32(2)**: p. 87-90.
116. Carey, J.B. and S.D. McCormick (1998) Atlantic salmon smolts are more responsive to an acute handling and confinement stress than parr. *Aquaculture*. **168(1-4)**: p. 237-253.
117. Farrell, A.P.T. (2006) Bulk oxygen uptake measured with over 60,000 kg of adult salmon during live-haul transportation at sea. *Aquaculture*. **254(1-4)**: p. 646-652.
118. Tang, S., C.J. Brauner, and A.P. Farrell (2009) Using bulk oxygen uptake to assess the welfare of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, during commercial live-haul transport. *Aquaculture*. **286(3-4)**: p. 318-323.
119. Tang, S., et al. (2009) Modeling the accumulation of CO<sub>2</sub> during high density, re-circulating transport of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, from observations aboard a sea-going commercial live-haul vessel. *Aquaculture*. **296(1-2)**: p. 102-109.
120. Hilbig, R., et al. (2002) Susceptibility to motion sickness in fish: a parabolic aircraft flight study. *J. Gravit. Physiol*. **9**: p. 29-30.
121. Bone, Q., N. Marshall, and J. Blaxter, (1982) *Biology of Fishes*. Glasgow: Blackie and Son.
122. Tacchi, L., et al. (2015) Effects of transportation stress and addition of salt to transport water on the skin mucosal homeostasis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. **435**: p. 120-127.



123. Fraser, A.F. and D.M. Broom, (1990) Farm animal behaviour and welfare. 3rd ed. London; Bailliere Tindall; 437 pp.
124. Barton, B.A. (2000) Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress. *North American Journal of Aquaculture*. **62(1)**: p. 12-18.
125. Iversen, M. and R. Eliassen (2012) Stressovervåkning av settefiskproduksjonen i Mainstream Norway AS 2009 - 2011. Stresskartlegging av laksesmolt (*Salmo salar* L.), og effekten av stressreducerende tiltak på stressnivå, dyrevelferd og produksjonsresultatet: UiN-rapport nr 05/2012. p. 54.
126. Iversen, M.H., R. Jakobsen, and R. Eliassen (2015) Stress; en viktig bidragsyter til svinn i sjø, in *Norsk Fiskeoppdrett*. p. 22-27.
127. Talbot, C., S. Corneillie, and O. Korsoen (1999) Pattern of feed intake in four species of fish under commercial farming conditions: implications for feeding management. *Aquaculture Research*. **30(7)**: p. 509-518.
128. Soengas, J.L., et al. (1996) Food deprivation and refeeding in Atlantic salmon, *Salmo salar*: Effects on brain and liver carbohydrate and ketone bodies metabolism. *Fish Physiology and Biochemistry*. **15(6)**: p. 491-511.
129. Bailey, J., A. Alanara, and V. Crampton (2003) Do delivery rate and pellet size affect growth rate in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) raised under semi-commercial farming conditions? *Aquaculture*. **224(1-4)**: p. 79-88.
130. Jones, H.A.C., et al. (2012) Investigating the influence of predictable and unpredictable feed delivery schedules upon the behaviour and welfare of Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) using social network analysis and fin damage. *Applied Animal Behaviour Science*. **138(1-2)**: p. 132-140.
131. Thorpe, J.E., et al. (1990) Food-Consumption in 24 Hours by Atlantic Salmon (*Salmo-Salar* L) in a Sea Cage. *Aquaculture*. **90(1)**: p. 41-47.
132. Noble, C., et al. (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(1-4)**: p. 163-168.
133. Noble, C., et al. (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(11)**: p. 1137-1143.
134. Andrew, J.E., et al. (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(7)**: p. 501-507.
135. Jobling, M., et al., (2012) Appetite and feed intake, in *Aquaculture and Behavior*, F. Huntingford, M. Jobling, and S. Kadri, Editors., Wiley-Blackwell: Oxford. p. 183-219.
136. Robb, D.H.F., (2008) Welfare of fish at harvest. *Fish welfare*. London: Blackwell Publishing. 217-242.
137. Huntingford, F.A., et al. (2006) Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*. **68(2)**: p. 332-372.
138. Einen, O., et al. (1999) Feed ration prior to slaughter - a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. **178(1-2)**: p. 149-169.
139. Wall, T., (2008) Disease and medicines- the welfare implications, in *Fish welfare*. Blackwell: Oxford. p. 195-201.
140. Forsberg, O.I. (1997) The impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquaculture Research*. **28**: p. 29-41.
141. Ashley, P.J. (2007) Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*. **104(3-4)**: p. 199-235.
142. Mørkøre, T., et al. (2008) Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmon salar* L). *Aquaculture*. **277(3-4)**: p. 231-238.



143. Cañon Jones, H.A., et al. (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*.
144. Stevenson, P. (2007) Closed Waters: The welfare of farmed Atlantic salmon, Rainbow trout, Atlantic cod, and Atlantic halibut (UK: Compassion in World Farming).
145. Cañon Jones, H.A., et al. (2010) Social network analysis of behavioural interactions influencing fin damage development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during feed-restriction. *Applied Animal Behaviour Science*. **127**: p. 139-151.
146. Damsgard, B., et al. (2004) Effects of feeding regime on susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to cold water vibriosis. *Aquaculture*. **239(1-4)**: p. 37-46.
147. Emparanza, E.J.M. (2009) Problems affecting nitrification in commercial RAS with fixed-bed biofilters for salmonids in Chile. *Aquacultural Engineering*. **41(2)**: p. 91-96.
148. VKM (2012) Risk assessment of recirculation systems in salmonid hatcheries, in *Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM)*, B. Hjeltnes, et al., Editors.
149. Johansson, D., et al. (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(1-4)**: p. 594-605.
150. Ytrestoyl, T., et al. (2005) Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology*. **142(4)**: p. 445-455.
151. López-Luna, J., et al. (2016) Effect of degree-days of fasting stress on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*. **462**: p. 109-114.
152. FAWC. Farm Animal Welfare Council, Opinions published by the Farm Animal Welfare Committee. Welfare of Farmed Fish. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/319323/Opinion\\_on\\_the\\_welfare\\_of\\_farmed\\_fish.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/319323/Opinion_on_the_welfare_of_farmed_fish.pdf) accessed 15th October 2016. 2014.
153. Remen, M., et al. (2012) Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: Initial responses and acclimation. *Aquaculture*. **326**: p. 148-155.
154. Usher, M.L., C. Talbot, and F.B. Eddy (1991) Effects of transfer to seawater on growth and feeding in Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*. **94(4)**: p. 309-326.
155. EFSA (2008) AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed Atlantic salmon, doi:10.2903/j.efsa.2008.736. *The EFSA Journal*, **736**, 1-31.
156. Handeland, S.O., et al. (1998) Effects of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in seawater. *Aquaculture*. **168(1-4)**: p. 289-302.
157. Noble, C., et al. (2012) The bio-economic costs and benefits of improving productivity and fish welfare in aquaculture: Utilizing CO<sub>2</sub> stripping technology in Norwegian Atlantic salmon smolt production. *Aquaculture Economics & Management*. **16(4)**: p. 414-428.
158. Haya, K., B.A. Waiwood, and L. Van Eeckhaute (1985) Disruption of energy metabolism and smoltification during exposure of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) to low pH. *Comp Biochem Physiol C*. **82(2)**: p. 323-9.
159. Ellis, T., et al., (2008) Fin erosion in farmed fish, in *Fish welfare*, E.J. Branson, Editor., John Wiley & Sons. p. 121-149.
160. Noble, C., et al. (2007) The effect of feed regime on the growth and behaviour of 1+ Atlantic salmon post-smolts (*Salmo salar* L.) in semi-commercial sea cages. *Aquaculture Research*. **38(15)**: p. 1686-1691.
161. Einen, O., B. Waagan, and M.S. Thomassen (1998) Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) - I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture*. **166(1-2)**: p. 85-104.

162. Koss, D.R. and N.R. Bromage (1990) Influence of the timing of initial feeding on the survival and growth of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture*. **89(2)**: p. 149-163.
163. Storebakken, T. and E. Austreng (1987) Ration level for salmonids .1. Growth, survival, body-composition, and feed conversion in Atlantic salmon fry and fingerlings. *Aquaculture*. **60(3-4)**: p. 189-206.
164. Berrill, I.K., M.J.R. Porter, and N.R. Bromage (2006) The effects of daily ration on growth and smoltification in 0+ and 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Aquaculture*. **257(1-4)**: p. 470-481.
165. Damsgård, B., A. Mortensen, and A.-I. Sommer (1998) Effects of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) on appetite and growth in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*. **163(3-4)**: p. 185-193.
166. Kolarevic, J., et al. (2014) Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture*. **432**: p. 15-25.
167. El-Mowafi, A.F.A., et al. (1997) Tissue indicators of element status in Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts: effect of fasting. *Aquaculture Nutrition*. **3(2)**: p. 73-80.
168. HSA (2005) Humane Slaughter Association. Humane Harvesting of Salmon and Trout. Guidance Notes no. 5 (Wheathampstead, UK).
169. CIWH. Compassion in world farming. The welfare of farmed fish. 2009 15.10.16]; Available from: [http://www.ciwf.org.uk/resources/publications/fish\\_farming/default.aspx](http://www.ciwf.org.uk/resources/publications/fish_farming/default.aspx).
170. FAWC (1996) Farmed Animal Welfare Council. Report on the welfare of farmed fish. FAWC Report 2765 <https://www.gov.uk/government/publications/fawc-report-on-the-welfare-of-farmed-fish> accessed on 1st November 2016.
171. Kristiansen, T.S. and O.B. Samuelson (2006) Utredning for Mattilsynet: Fiskevelferd ved bruk av slaktermerd for oppdrettsfisk. Havforskningsinstituttet.
172. Lines, J.A. and J. Spence (2012) Safeguarding the welfare of farmed fish at harvest. *Fish Physiology and Biochemistry*. **38(1)**: p. 153-162.
173. Adams, C.E., et al. (2007) Multiple determinants of welfare in farmed fish: stocking density, disturbance, and aggression in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **64(2)**: p. 336-344.
174. Ellis, T., et al. (2012) Mortality and fish welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*. **38(1)**: p. 189-199.
175. Soares, S., et al. (2011) A baseline method for benchmarking mortality losses in Atlantic salmon (*Salmo salar*) production. *Aquaculture*. **314(1)**: p. 7-12.
176. Stien, L., F. Oppedal, and T. Kristiansen (2016) Dødelighetsstatistikk for lakseproduksjon (eng: Mortality statistics for salmon production). In: Svåsand T, Karlsen Ø, Kvamme BO, Stien LH, Taranger GL, Boxaspen KK (eds). Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016. Havforskningsinstituttet, Fisken og Havet, særnr; 2-2016, pp. 129-134.
177. Salama, N., et al. (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**: p. 283-288.
178. Ferguson, R.A. and B.L. Tufts (1992) Physiological-effects of brief air exposure in exhaustively exercised Rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*) - Implications for catch and release fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **49(6)**: p. 1157-1162.
179. Salama, N.K.G., et al. (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**: p. 283-288.
180. Gismervik, K., et al., (2017) Kapittel 3. Fiskevelferd, in *Fiskehelse rapporten 2016*, B. Hjeltnes, et al., Editors., Veterinærinstituttet: Oslo. p. 21-33.
181. Akvakulturdriftsforordningen. Forskrift om drift av akvakulturanlegg, FOR-2008-06-17-822, [www.lovdata.no](http://www.lovdata.no).

182. Martínez-Porchas, M., L.R. Martínez-Córdova, and R. Ramos-Enriquez (2009) Cortisol and glucose: reliable indicators of fish stress. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. **4(2)**: p. 158-178.
183. Nilsen, A., et al. (2010) Mekanisk fjerning av lakselus "FLS avlusersystem"- test av ejektorpumpe fra Flatsetsund Engineering AS, in *Veterinærinstituttets rapportserie 11-2010*, Veterinærinstituttet: Oslo.
184. Svåsand, T., et al. (2017) Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2017, in *Fisken og havet, særnr. 2-2017*, Havforskningsinstituttet: Bergen.
185. Svåsand, T., et al. (2015) Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2014.
186. Sneddon, L.U. (2009) Pain Perception in Fish: Indicators and Endpoints. *Ilar Journal*. **50(4)**: p. 338-342.
187. Sneddon, L.U., V.A. Braithwaite, and M.J. Gentle (2003) Do fishes have nociceptors? Evidence for the evolution of a vertebrate sensory system. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. **270(1520)**: p. 1115-1121.
188. Hjeltnes, B., et al. (2018) Fiskehelsesrapporten 2017, Veterinærinstituttet: Oslo. p. 106.
189. Grefsrud, E.S., et al. (2018) Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2018, in *Fisken og havet, særnr. 1-2018*, Havforskningsinstituttet: Bergen. p. 184.
190. Svåsand, T., et al. (2016) Risikovurdering av norsk fiskeoppdrett 2016. *Fisken og havet, særnr. 2-2016*. p. 190.
191. Elliott, J. (1991) Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology*. **25(1)**: p. 61-70.
192. Elliott, J. and J. Elliott (1995) The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout. *Journal of fish biology*. **47(5)**: p. 917-919.
193. Elliott, J.M. and J.A. Elliott (2010) Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*. **77(8)**: p. 1793-1817.
194. Elliott, A. A comparison of thermal polygons for British freshwater teleosts. in *Freshwater Forum*. 2010.
195. Grøntvedt, R.N., E. Høy, and F. Oppedal (2013) Resultat rapport - 199392 - A multi-disciplinary effort to improve topical treatments in salmon louse control (Topilouse). Vedlegg til NFR sluttrapportering. <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900466>.
196. Barkana, Y. and M. Belkin (2000) Laser eye injuries. *Surv Ophthalmol*. **44(6)**: p. 459-78.
197. Phillippi, A., et al. (2001) Surface flocking as a possible anti-biofoulant. *Aquaculture*. **195(3)**: p. 225-238.
198. Madin, J., V. Chong, and N. Hartstein (2010) Effects of water flow velocity and fish culture on net biofouling in fish cages. *Aquaculture Research*. **41(10)**: p. 602-617.
199. Beveridge, M., (2004) *Cage Aquaculture*. Third Edition ed., Oxford: Blackwell Publishing.
200. Wildish, D., et al. (1993) Seasonal changes of dissolved oxygen and plant nutrients in seawater near salmonid net pens in the macrotidal Bay of Fundy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **50(2)**: p. 303-311.
201. Cronin, E., et al. (1999) An investigation into the composition, biomass and oxygen budget of the fouling community on a tuna aquaculture farm. *Biofouling*. **13(4)**: p. 279-299.
202. Andersen, R., et al. (1993) Chemical and biological evidence links microcystins to salmon 'netpen liver disease'. *Toxicon*. **31(10)**: p. 1315-1323.
203. Cribb, T.H., et al. (2011) The life cycle of *Cardicola forsteri* (Trematoda: Aporocotylidae), a pathogen of ranched southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyi*. *Int J Parasitol*. **41(8)**: p. 861-70.
204. Tan, C.K.F., B.F. Nowak, and S.L. Hodson (2002) Biofouling as a reservoir of *Neoparamoeba pemaquidensis*, the causative agent of amoebic gill disease in Atlantic salmon. *Aquaculture*. **210(1-4)**: p. 49-58.

205. Kvenseth, P., (1996) Large-scale use of wrasse to control sea lice and net fouling in salmon farms in Norway, in *Wrasse: Biology and Use in Aquaculture*, M.D.J. Sayer, J.W. Treasurer, and M.J. Costello, Editors., Wiley-Blackwell: Cambridge. p. 196-203.
206. Neill, W.H., et al. (2004) Ecophys.Fish: A simulation model of fish growth in time-varying environmental regimes. *Reviews in Fisheries Science*, 12, 233-288.