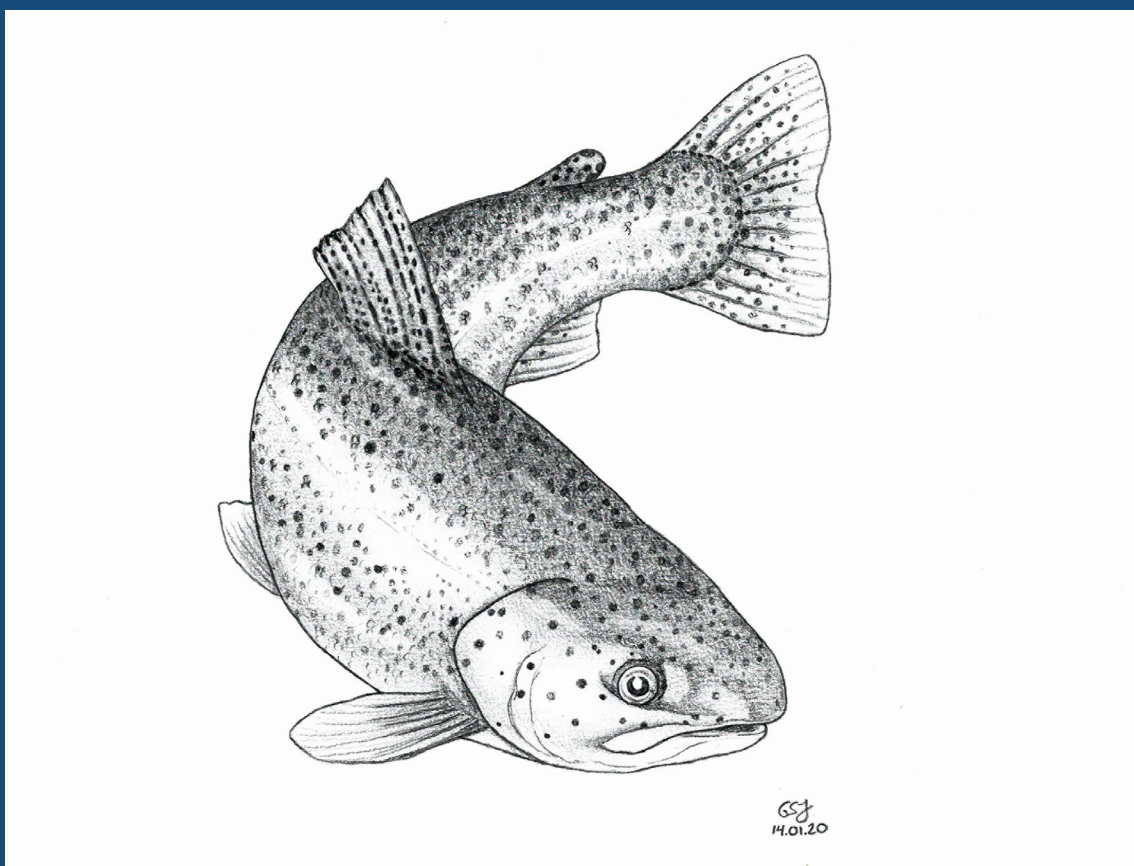


Velferdsindikatorer for regnbueørret i oppdrett:

Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd



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

Oversettelse av Hege Iversen Haugmo

 **Nofima** Et FHF-finansiert prosjekt ledet av Nofima i samarbeid med:



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET



Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute



UNIVERSITY of
STIRLING



FISKERI- OG HAVBRUKSNÆRINGENS
FORSKNINGSFINANSIERING

Siteres som: Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. & Turnbull, J. F. (red.) (2020). Velferdsindikatorer for regnbueørret i oppdrett: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd 309 pp.

Forfatterne står i alfabetisk rekkefølge etter første forfatter.

FHF-finansiert prosjekt 901157 «FISHWELL: Kunnskapssammenstilling om fiskevelferd for laks og regnbueørret i oppdrett»

Mai 2020

<https://nofima.no/fishwell/orret/>

ISBN 978-82-8296-638-2

Forfattere er kreditet på hvert kapittel.

Denne boka er 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 reprodusert i denne boka, må du kontakte den opprinnelige rettighetshaveren for å søke tillatelse før du bruker materialet (opphavsretten er oppført i relevante figurer og tabeller).

Omslagsdesign: Oddvar Dahl

Omslagsfoto: © Gunhild Seljehaug Johansson

Innholdsfortegnelse

	Guide til del A, B og C.....	3
	Introduksjon til håndboka.....	4
	Målsetninger med håndboken.....	6
A	Del A. Del A. Kunnskap og teoretisk bakgrunn.....	10
B	Del B. Bruk av operative velferdsindikatorer for ulike produksjonssystem.....	156
C	Del C. Bruk av operative velferdsindikatorer i forbindelse med ulike håndteringsprosedyrer.....	204

..mer informasjon om velferd?

Definisjon av dyrevelferd A.1.1

Velferdsindikatordefinisjoner, velferdsstandarder, risikovurderinger og metodebeskrivelser A.1.4- A.1.8

Velferdsbehov hos ørret A.2

Direkte dyrebaserte velferdsindikatorer A.3

Indirekte miljøbaserte velferdsindikatorer A.4

OVI og LABVI som verktøy i oppdrett A.5

Ønsker du...

...å evaluere velferd i

Gjennomstrømningsanlegg på land B.1

Sjømerder B.2

...å evaluere velferd ved ulike rutiner og håndteringspraksis?

Trenging C.1.1

Pumping C.1.2

Bedøving og avliving i forbindelse med slakting C.1.3

Human avliving C.1.4

Bade- og medisin-
behandlinger C.1.5

Bedøvelse C.1.6

Vaksinering C.1.7

Transport C.1.8

Fôr-styring C.1.9

Vask av
produksjonsutstyr C.1.10

Sortering C.1.11

Undersøkelse av
levende fisk C.1.12

Overvåke velferd under utvikling av ny teknologi C.2

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 spredd 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 allmengyldige 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 boka presenterer vi en rekke ulike OVI-er og LABVI-er for bruk i de vanligste produksjonssystem og håndteringssituasjoner i oppdrett av regnbueørret. **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. Den bruker teksten og formatet til den tidligere publiserte FISHWELL velferdsindikatorer for laks håndboka (Noble mfl. 2018) som grunnlag for dette arbeidet, og oppdaterer dataene og innholdet med litteratur basert på regnbueørret. 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 referansegruppen for «FISHWELL» prosjektet. Gruppen består av Olai Einen ved Cermaq, Solveig Gaasø ved Frøygruppen AS (tidligere ved MOWI), Lene Høgset ved MSD Animal Health (tidligere ved STIM AS), Bjarne Johansen ved Nordlaks, og Berit Seljestokken ved Grieg Seafood. Vi er takknemlige for deres verdifulle innspill og veiledning, spesielt i forbindelse med forberedelsene, utviklingen og utarbeidelsen av håndboka. Vi ønsker også å si en stor

takk til Susanna Lybæk og hennes kolleger hos Dyrevernalliansen for veldig nyttige kommentarer og tilbakemeldinger til FISHWELL-laksehåndboka.

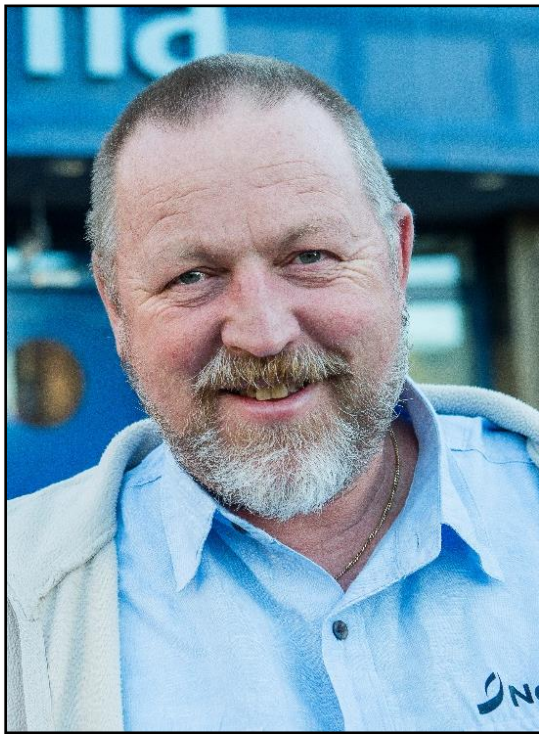
Tusen takk til Lars Speilberg fra ScanVacc for bildene til "Speilberg-skalen", Tim Ellis fra CEFAS for tillatelse til å reproducere tabellen som oppsummerer de viktigste faktorene som påvirker ikke-invasive metoder for kortisolovervåking. Tony Wall fra Fish Vet Group som også ga oss tillatelse til å reproducere skjemaet for morfologisk diagnostisering og klassifisering av katarakt. Tusen takk til John Avizienius fra RSPCA for gode diskusjoner og for tillatelse til å reproducere data og tekst fra RSPCA sine velferdsstandarter for oppdrettet regnbueørret. Tusen takk til Humane Slaughter Association for at vi fikk reproducere intensitetsskalaen for trenging av regnbueørret. Tusen takk til Reidar Handegård i ILAB for innspill i FISHWELL-laksehåndboka angående TGP og overmettet nitrogen, noen av disse forslagene er også blitt tatt med i denne boka. Vi vil også takke Barbo Klakegg og Renate Andersen fra Åkerblå, Per Anton Sæther fra Marin Helse AS, Ida-Kathrin G. Nerbøvik og Britt Tørud fra Veterinærinstitutt, Ioan Simion av HaVet Fiskehelsetjeneste AS og Christian Karlsen og Kjell J. Merok fra Nofima som donerte bilder til FISHWELLS morfologiske skåringssystem, samt Ola Sveen fra Svanøy Havbruk som også bidro med bilder fra et av anleggene deres til bruk i håndboka.

Denne håndboka siterer vitenskapelig litteratur i to forskjellige formater. Del A bruker sitering i tekst (forfatter / forfatter og år), mens del B og C siterer referanser ved bruk av en numerisk stil.

Denne håndboka dediseres til våre kjære venner og kollegaer Kjell Ø. Midling og Thomas Torgersen, 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 utrolige entusiasme, kreativitet, humor, omfattende kunnskaper og kompetanse er dypt savnet av alle som kjente ham, og han vil aldri bli glemt.

Thomas var en usedvanlig kunnskapsrik og intelligent forsker som gjennom modeller og eksperimenter viste hvordan oppdrettsfisk blir påvirket av og tilpasser seg ulike oppdrettsforhold og hvor grensene går for fiskens mestring og velferd. Thomas var en person med stor sans for og mye kunnskap om livets ulike kvaliteter. Hans entusiastiske fortellinger og underfundige humor og hjertelige latter gjorde at livet ble et festligere og rikere sted med Thomas til stede. Han forlot oss alt for tidlig og er dypt savnet.



Kjell Ø. Midling



Thomas Torgersen

Målsetninger med håndboka

Vi har tre hovedmålsettinger med håndboka:

1. Presentere en oppdatert vitenskapelig oversikt om velferd hos regnbueørret, 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 laboratoriebaserte velferdsindikatorer (LABVI-er) som er hensiktsmessige og passer til å vurdere fiskevelferd i de mest brukte produksjonssystemene for regnbueørret. **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 oppdrett av regnbueørret. **Se del C av håndboka.**

Målsettingene med verktøykassen er å tilby industri og myndigheter 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-håndboka utgjør det første trinnet; et vitenskapelig belegg for hvilke OVI-er og LABVI-er 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 en og to. 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 Håndboka - 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.
- Integrasjon av trinn 1 og 2 i en solid evalueringsmetode/standard.

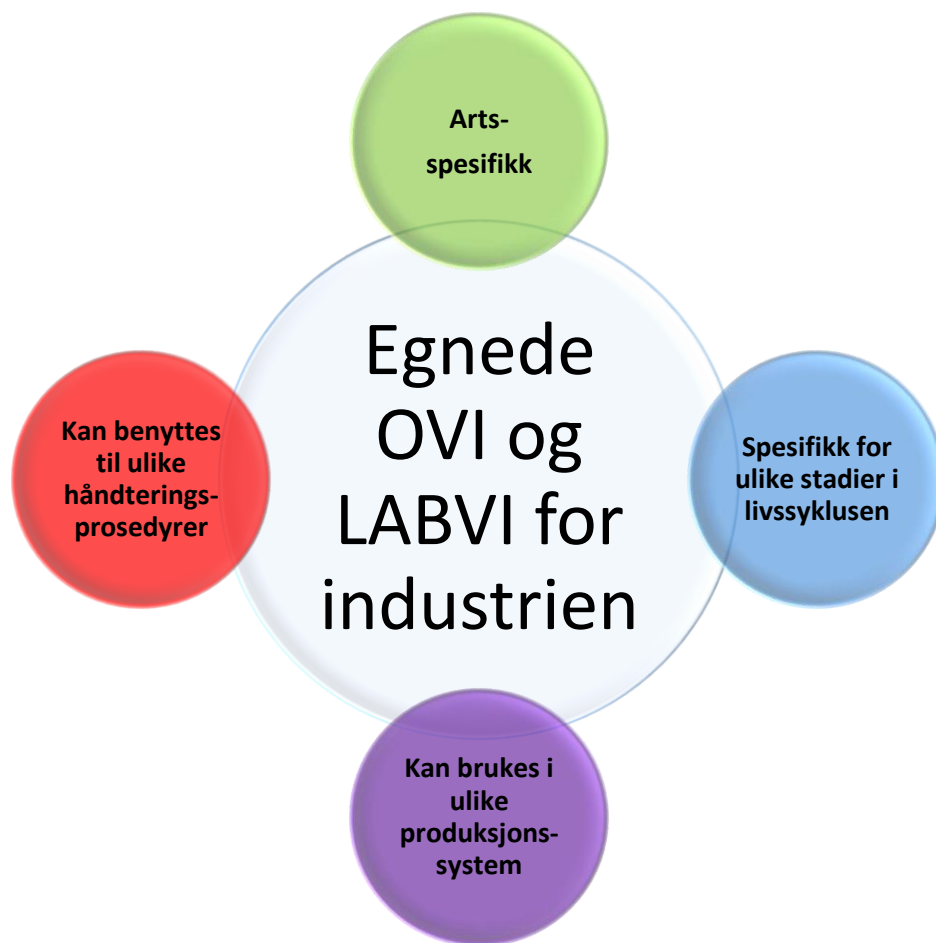
OVI-er og LABVI-er har blitt vurdert i forhold til følgende kriterier:

- **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 regnbueørret sin velferd?
- **Egnethet** - 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 håndboka. 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 håndboka 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 og 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 laboratoriebaserde velferdsindikatorer (LABVI-er) som kan brukes i den daglige driften av ulike produksjonssystem og under ulike håndteringsprosedyrer.

Velferdsindikatorer for regnbueørret i oppdrett – Del A. Kunnskap og teoretisk bakgrunn

Jonatan Nilsson^{1*}, Lars H. Stien^{1*}, Martin H. Iversen^{2*}, James F. Turnbull^{3*}, Tore S. Kristiansen¹, Thomas Torgersen¹, Frode Oppedal¹, Ole Folkedal¹, Malthe Hvas¹, Kristine Gismervik⁴, Kristian Ellingsen⁴, Cecilie M. Mejdell⁴, Jelena Kolarevic⁵, David Izquierdo-Gomez⁵, Bjørn-Steinar Sæther⁵, Åsa M. Espmark⁵, Kjell Ø. Midling⁵ and Chris Noble⁵

** Felles førsteforfatterskap*

1. Institute of Marine Research, P.O. Box 1870 Nordnes, No-5817 Bergen, Norway
2. Nord University, Faculty of Biosciences and Aquaculture, 8049 Bodø, Norway
3. University of Stirling, Institute of Aquaculture, School of Natural Sciences, Stirling, FK9 4LA, United Kingdom
4. Norwegian Veterinary Institute, P.O. Box 750 Sentrum, NO-0106 Oslo, Norway
5. Nofima, P.O. Box 6122 Langnes, NO-9291 Tromsø, Norway



Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon til fiskevelferd	14
1.1	Dyrevelferd	14
1.2	Fiskens bevissthet og kognisjon	15
1.3	Velferdsbehov	16
1.4	Velferdsindikatordefinisjoner	16
1.5	Velferdsstandarder	19
1.6	EFSA- Risikovurdering	20
1.7	Vurderingsprotokoller for fiskevelferd	21
2	Velferdsbehov hos regnbueørret	22
2.1	Spising og ernæring	24
2.2	Respirasjon	25
2.3	Osmoregulering	25
2.4	Termisk regulering	26
2.5	God vannkvalitet	26
2.6	Hygiene	26
2.7	Beskyttelse fra farer og skader	27
2.8	Atferdskontroll	27
2.9	Sosial kontakt	27
2.10	Hvile	28
2.11	Utforskning	28
2.12	Kroppsspleie	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	36
3.1.5	Sykdom og sykdomskontroll	37
3.1.6	Indikasjoner i vannet	45

3.2	Individbaserte velferdsindikatorer	46
3.2.1	Gjellelokkfrekvens og ventilasjonsrate.....	46
3.2.2	Refleksatferd	48
3.2.3	Lakselus	48
3.2.4	Gjellestatus og bleke gjeller	50
3.2.5	Kondisjonsfaktor og andre betingende faktorer	51
3.2.6	Grad av avmagring.....	52
3.2.7	Kjønnsmodning.....	53
3.2.8	Sjøvannstilpassning	53
3.2.9	Ryggdeformiteter	54
3.2.10	Finneskade og –status	57
3.2.11	Skjelltap og generell hudtilstand	57
3.2.12	Øyeskade og øyetilstand	58
3.2.13	Deformerte gjellelokk.....	61
3.2.14	Indre organer	67
3.2.15	Vaksinerelatert patologi	68
3.2.16	Plasmakortisol	71
3.2.17	Osmolalitet	74
3.2.18	Ionesammensetting.....	75
3.2.19	Glukose	76
3.2.20	Laktat	77
3.2.21	Rigor mortis (dødsstivhet) og muskel pH	79
3.2.22	Slim	80
4	Miljøbaserte velferdsindikatorer.....	83
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 ₂)	89
4.1.5	pH	91
4.1.6	Totalt gasstrykk (TGP), oksygen- og nitrogenovermetning.....	92
4.1.7	Total ammonium-nitrogen (TAN)	93
4.1.8	Nitritt og nitrat	96
4.1.9	Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS)	99

4.2	Velferdsindikatorer som beskriver oppdrettssystemer eller -håndtering	102
4.2.1	Vannstrømhastighet.....	102
4.2.2	Belysning.....	103
4.2.3	Produksjonstetthet.....	105
4.2.4	Overflateaktivitet hos fisk	106
5	OVI og LABVI som verktøy i oppdrett.....	107
5.1	Hvordan bruke OVI og LABVI i forbindelse med vurdering av velferd	107
5.2	Vurdering av VI-er sin grad av funksjonalitet	108
5.3	Et eksempel på hvordan en kan tolke OVI-er og LABVI-er	111
5.4	OVI-er og LABVI-er i framtiden.....	112
5.5	Oversikt over OVI-er omtalt i del A, og brukt i del B og C av håndboken	113
6	Sammendrag av skåreskjemaene.....	114
7	Referanser	120

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), 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. Et naturlig liv 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 instinktive atferdsmønstre. Et tredje syn, er basert på 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 å oppleve glede (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 reproducere 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 i tillegg kommer ulike typer nociseptorer (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 gruppemedlemmene sine og samarbeide med disse (Brown 2011; Brown mfl. 2015; Nilsson mfl. 2011). 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. 2011; 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 (Braithwaite mfl. 2004; 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 skadelig 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 ørret 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 av samme art).

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 forbedres.

1.4 Velferdsindikatordefinisjoner

Vi kan ikke spørre en fisk om hvordan den har det. Vi bruker derfor velferdsindikatorer (VI-er) 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 gispning 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 på dyrene selv. Men selv om dyrebaserte VI-er er mer direkte knyttet til tilstanden til dyrene enn miljøbaserte indikatorer, så blir disse ofte først synlige etter at problemet allerede har oppstått. Når det gjelder dyrebaserte VI-er som sår og skader på enkelt dyr, er disse også for seint påvist, 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 hoved populasjonen 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)** 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 tilfredsstiller 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 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, så kan hvorvidt en oppdretter benytter seg av A eller B defineres som en VI. Men å bruke produksjonssystem som VI utdeliggjør skillet mellom anbefalinger for hvordan en best mulig kan sikre dyrevelferd, og videre hvordan en vurderer dyrevelferd. I tillegg så 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 oppdretteren 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 (VI-er) 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 kunne leve, som mat og respirasjon, og proksimale 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 dyrebaserede 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.
- Velferdsindikatorene VI-er bør så langt som mulig fokusere på velferdsbehovene til dyrene, og ikke velferdsvennligheten av et oppdrettssystem eller ulike håndteringsprosedyrer per se.

1.5 Velferdsstandarder

Det finnes en rekke standarder som ønsker å fremme en mer bærekraftig og velferdsvennlig akvakulturnæring. En av de mest fremtredende som spesifikt og utelukkende er rettet mot fiskevelferd er RSPCA sin velferdsstandard for oppdrettslaks (RSPCA 2018a), som opprinnelig ble utviklet i 2002. Videre ble en tilsvarende velferdsstandard for oppdrett av regnbueørret opprettet i 2014 (RSPCA 2018b; Anon 2014). De gir detaljerte og omfattende artsspesifikke velferdskrav for optimal oppdrettspraksis i henhold til miljø, fôring, helsestyring, sortering, vaksinasjon, transport, slakting/avlivning og trenging. Informasjon og råd om ulike livsfase-spesifikke velferdskrav blir også gitt. Standardene er basert på vitenskapelig, veterinær og praktisk bransjekompetanse, og benytter mange dyrebaserte VI-er, samt indirekte VI-er for miljøet. RSPCA rapporterer at standardene har bidratt til en forbedring av fiskevelferden i oppdrettsanlegg i Storbritannia (Anon 2014), og Soutar (2015) uttalte at standardene har bidratt til å sette fiskevelferd i en sentral posisjon i produksjonen av laksefisk (laks og ørret). Flere utdrag fra RSPCA velferdsstandarder er presentert i denne håndboken (med godkjent tillatelse fra RSPCA). Spesielt gjelder dette med hensyn til noen miljøbaserte OVI-er, som f.eks. oksygen, rutiner for fôruttak, trenging, sortering og transport. For ytterligere detaljer om RSPCA velferdsstandarder, anbefaler vi at leseren går direkte til originaldokumentene, som regelmessig oppdateres i samråd med forskere, veterinærer og industrien (<https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout>).

De fleste av standardene fokuserer imidlertid ikke på velferd, men på å minimere miljøkonsekvensene fra akvakultur, eller på hvordan en kan unngå helserisiko og spredning av patogener, men inkluderer typisk likevel også noen punkt 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 2015). 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 trygt og bærekraftig landbruk. De har utviklet en akvakultur standard for 30 arter, inkludert regnbueørret og laks (GLOBALG.A.P 2019). Standarden inneholder blant annet omfattende sjekklister som skal sikre at tiltak for å opprettholde fiskevelferd er på plass. Mange av disse kriteriene referere 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 oppdrettselskapene gå gjennom årlig inspisering og godkjennes av et akkreditert sertifiseringsorgan. De fleste store oppdrettselskapene 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 tilfredsstillende. GLOBALG.A.P. standarden er derfor mer en generell liste over hva som bør være på plass, og gir bare i begrenset omfang detaljer om hvordan en sikrer dyrevelferd. Dette er delvis rettet opp i retningslinjene for god praksis for skotsk akvakultur «Code of Good Practice for Scottish Finfish Aquaculture», som ligner GLOBALG.A.P. standarden, men mange av sjekkpunktene gir spesifikke krav til fiskevelferd (Scottish Salmon Producers Organisation 2016). 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. Britiske ørretprodusenter har inkorporert denne koden i sin egen standard spesielt for regnbueørret (Quality trout UK, 2019). Standarden inkluderer både miljø og velferdsriterier for regnbueørret.

«Aquaculture Stewardship Council» (ASC) ble grunnlagt av Verdens naturfond (WWF) og «Dutch Sustainable Trade Initiative» (IDH) i 2010. ASC er en uavhengig ikke-profitt organisasjon, med formål å fremme den beste praksisen innen havbruk. Etter en rekke konferanser som inkluderte representanter fra den globale akvakulturnæringen, detaljhandel, restaurantnæringen, frivillige organisasjoner, myndigheter og det vitenskapelige miljøet, publiserte ASC en standard for regnbueørret i 2013 som også brukes på regnbueørret i sjø (ASC 2019). Denne standarden er stadig mer populær og flere og flere oppdrettsanlegg er blitt ASC sertifisert. I 2019 var det 142 ASC sertifiserte oppdrettsanlegg i Norge (<https://www.barentswatch.no/> desember 2019). ASC har også en egen standard for oppdrett av regnbueørret i ferskvann (ASC 2019). Begge disse ASC-standardene fokuserer på å begrense miljøkonsekvensene fra oppdrett, men har også noen konkrete kriterier for fiskevelferd. Blant annet kreves det regelmessige besøk fra veterinær, sykdomsovervåking og i standarden for lakseoppdrett er det satt en øvre grense for fiskedødelighet fra virusrelatert sykdom.

Global Aquaculture Alliance er en internasjonal organisasjon for ansvarlig akvakultur som har utviklet et «beste praksis program» for akvakultur. Dette omfatter generelle sertifiseringsstandarder for fisk og krepsdyr, en egen standard for laks (BAP 2016), men ingen spesifikk standard for regnbueørret. Selv om standarden for laks 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 atferds indikatorer, fargeendringer og morfologiske abnormaliteter som bør overvåkes. Hvis disse er til stede, må oppdretter finne årsaken og korrigere disse.

1.6 EFSA- Risikovurdering

Den vitenskapelige komité for dyrehelse og dyrevelferd (AHAW), utnevnt av European Food Safety Authority (EFSA), publiserte i 2008 to ekspertvurderinger om velferdsaspekter vedrørende forskjellige 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: i) raske endringer av vanntemperatur, ii) for høy vanntemperatur, iii) vannføring, iv) for lavt vannoksygeninnhold, og v) for høyt karbondioksidinnhold. Dyrebaserte risikoer som nevnes er: i) aggresjon og ii) lav/høy fisketetthet. Ulike håndteringsrisikoer som nevnes er: i) mangelfull opplæring av personalet, ii) manglende sortering og iii) håndtering. Fôringsrisikoer som nevnes er: i) mangel på fôr (lang sikt) og ii) overfôring. Helserisikoer som nevnes er: i) regnbueørret yngelsyndrom («Rainbow trout fry syndrome», RTFS), ii) øyeskader, iii) IPN og iv) Proliferativ nyresjuka (PKD). I 2009 publiserte AHAW også ekspertvurderinger om velferdsaspekter rundt avlaving og slakting av oppdrettslaks og regnbueørret (EFSA 2009ab). Velferdsindikatorer for bedøving inkluderer: i) overdrevent med haleslag ii) tegn på bevissthet som bevis for mislykket bedøving.

1.7 Vurderingsprotokoller for fiskevelferd

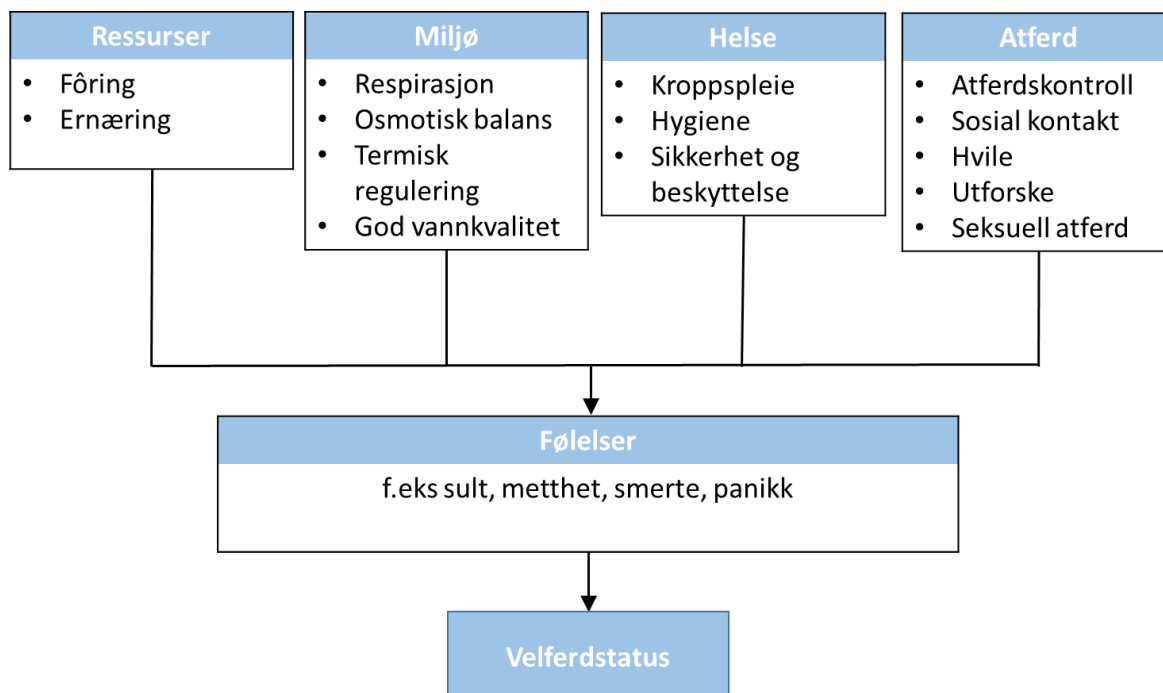
Når forskere og andre ønsker å vurdere effekter av en behandling på dyrevelferd, definerer de vanligvis et sett av velferdsindikatorer som de mener er hensiktsmessig for å avdekke mulige effekter ved den aktuelle behandlingen, og som er praktisk og rimelig å bruke. Slike protokoller kan omfatte både indikatorer som beskriver oppdrettsmiljøet, den fysiologiske tilstanden til fisken, fiskens atferd og utseende. Også dødelighet brukes ofte som en indikator i slike protokoller. Etter forsøket blir så resultatene for indikatorene diskutert enkeltvis eller analysert sammen ved hjelp av statistiske metoder. Protokoller for registrering av fysisk skade eller misdannelse er foreslått i en tidligere versjon av RSPCA velferdsstandards for regnbueørret (RSPCA 2014) og av Veterinærinstituttet (Grøntvedt mfl. 2015; Gismervik mfl. 2016, 2017), men foreløpig er det bare laksevelferds-indeks-modellen (Salmon Welfare Index Model) (SWIM) som er publisert som vitenskapelige arbeid (Stien mfl. 2013; Pettersen mfl. 2014). Alle disse protokollene vurderer velferd tilstanden 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 nivåer. 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 velferdsrangeringspoeng fra 0 (dårligst) til 1 (best) for hver enkelt fisk. På denne måten får en et enkelt tall som kan brukes for å sammenligne gjennomsnittlig velferdsrangeringspoeng 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 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 tidligere beskrev utseendet på enkeltfisk i RSPCA sine velferdsstandards for oppdrettet regnbueørret (RSPCA 2014), velferdsvurderingsprotokoll av Veterinærinstituttet (Grøntvedt mfl. 2015; Gismervik mfl. 2016; Gismervik mfl. 2017) og i SWIM 1.1 (Stien mfl. 2013; Pettersen mfl. 2014).

Tidligere brukt protokoll for ørret	RSPCA VI protokoll (laks)	SWIM 1.1 (laks)
Tap av øye/skade	Øyeskade	Øyestatus
Kjevedeformitet	Katarakt	Munn- og kjeveskade
Gjellelokkdeformitet	Snuteskade	Øvre kjeveskade
Ryggfinneskade	Finneskade	Nedre kjeveskade
Halefinneskade	Skjelltap	Gjellelokkstatus
bukfinneskade	Hudblødninger	Finnestatus
Skjelltap/hudskade	Sår	Hudstatus
Ryggraddeformitet	AGD gjelleskår	Ryggraddeformitet
	Gjelleskår (andel bleke punkter)	Sjølus per cm ²
	Grad av gjelleblekhet	Gjellestatus
	Gjelleblødning	Kondisjonsfaktor
		Grad av avmagring
		Grad av kjønnsmodning
		Smoltstatus

2 Velferdsbehov hos regnbueørret

Grovt sett kan velferdsbehov hos laksefisk deles inn i behov knyttet til tilgjengelige ressurser, vannmiljø, helse og grad av atferds frihet (Fig. 2-1) (Stien mfl. 2013). Oppfyllelse eller økt oppfyllelse av behov blir belønnet av belønningssystemer i hjernen som frigjør opioider som gir god og behagelige følelser, og som dermed bekrefter for fisken at den har gjort en riktig handling (Spruijt mfl. 2001; Dawkins mfl. 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 laksefisk kan grovt kategoriseres i ressurser som må være tilgjengelig, egnet vannmiljø, god helse og atferdsmessigfrihet. 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 laksefisk er et individ som kan forutsi hva som trengs, og deretter justere sin ressursbruk og sine kroppsfunksjoner etter behov, og samtidig fordele ressurser til vekst og reproduksjon. For å 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 nødvendig. For å kunne utføre optimal forutsigbar (prediktiv) regulering av stress (allostase = stabilitet gjennom forandring) må den lære hva signalene i sitt miljø betyr, og videre hva som kan forventes i forhold til disse signalene. Dette er spesielt viktig i et oppdrettsmiljø som fisken ikke er evolusjonært tilpasset til. Forsøk med laksefisk har vist at fiskenes 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 fisk sin tilpasningsevne og kostnaden for å gjøre feilvurderinger kan være høy. Feilvurderinger kan koste mye energi og panikkatferd kan føre til skader og død.

Essensielle velferdsbehov til laksefisk (Stien mfl. 2013)

Spising og ernæring

Tilgang til næringsrik og sunn mat.

Respirasjon

Opptak av oksygen og utskillelse av karbondioksid ved ventilering.

Osmoregulering

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

Ekspontert 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. 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. Regnbueørret utviser meget aktiv fôringsatferd og kan være svært aggressiv og konkurrerende rundt måltider (f.eks. Brännäs og Alanärä 1992; Noble mfl. 2007a). De er også 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 2008). 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 mat preferanser. Fisk viser også mat aversjon mot mat forbundet med sykdom (Manteifel 2009).

Når spising er definert som å tilfredsstille et behov for mat, kan det være utskiftbart med begrepet appetitt som defineres som «et naturlig ønske om å tilfredsstille et kroppslig behov, spesielt for mat» (Oxford Dictionaries 2016 © Oxford University Press). Et sentralt mål i forhold til å tilfredsstille velferdsbehov vil derfor være å gi fisken et arts- og livsstadium bestemt rasjon, som tilfredsstiller appetittkravene de har både i forhold til volum og innhold. I praksis kan dette målet være vanskelig å oppnå, da appetitten hos både individer og grupper av fisk kan variere fra dag til dag (Grove mfl. 1978; Noble mfl. 2005). Variasjon i appetitt for en gitt livsfase trenger ikke å være en indikasjon på dårlig velferd *per se*.

De eksakte effektene av sulting av fisk er uklare, og påvirkes av tidligere livshistorie, det 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 med reduserte mengder) eller hvorvidt fisken sultes og ikke mottar fôr.

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 oksygennivå, kan også motivere til fôrstopp for å begrense velferds- og dødelighetsrisiko. Videre kan utbrudd av en smittsom sykdom også lindres ved en midlertidig stopp i fôring (Wall 2008). Underfôring, hvor fisken føres på et nivå som er under fiskenes sine reelle behov, kan forekomme: i) om oppdrettere har problemer med å vurdere

fôrbehovet i store grupper eller ii) fører etter tabell og ikke tar hensyn til korte- og langvarige variasjoner i gruppes appetittnivåer (Noble mfl. 2008, laks), eller iii) når tekniske- eller miljøforhold hindrer oppdrettere å føre fisken optimalt en gitt dag. Hos ørretyngel fører underfôring til stor variasjon i fôropptaket, som mest sannsynligvis er forårsaket av økt konkurranse om fôret (McCarthy mfl. 1992). Dette kan også øke størrelsesvariasjonen i gruppen (Jobling og Koskela 1996) samt øke finneslitasten (Moutou mfl. 1998).

2.2 Respirasjon

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 lufteksponering under håndtering og slakting, og av ikke-funksjonelle gjeller som resultat av skader, sykdommer eller parasitter.

Opptak av oksygen og frigivelse av karbondioksid er avgjørende for aerob metabolisme, og for å opprettholde stabil pH i kroppen. Uten mulighet til å respirere vil en laksefisk 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 tømt 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; Remen 2012). 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 laksefisk. I tillegg til hypoksi, kan respirasjonen bli begrenset av lufteksponering under håndtering og slakting, og av ikke-funksjonelle gjeller som resultat av skader, sykdommer eller parasitter.

2.3 Osmoregulering

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 vann diffunderer derfor inn og saltioner passivt ut. Tapet av ioner motvirkes av et aktivt opptak av ioner (Na^+ og 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 tilslag av ioner. Vanntapet til omgivelsene motvirkes ved å drikke sjøvann, og ved redusert blodfiltreringshastigheter via nyrene. Overskuddet av ioner (Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} og 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 (McCormick and Saunders 1987). For å være i stand til å overleve i saltvann, må ørreten bygge opp en toleranse for det hyperosmotiske sjøvannet. Det er også en fare for at fisken reverseres tilbake til ferskvannstilpasning

hvis den holdes for lenge i ferskvann etter at den er klar til utsett i sjø (McCormick and Saunders 1987). Små fisk er mer følsomme for varierende saltholdigheter og ørretyngel som ikke er tilpasset sjøvann vil lide av dehydrering og dø i løpet av få dager etter utsett i sjø.

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 ørret kan også føre til stress og død (Ligon mfl. 1999). Det termiske optimum for en art sammenfaller ofte med artens optimaltemperatur for fysiologiske 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 fisken sin 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 ørret 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. 2012ab). Endring i temperatur igangsetter også fysiologiske og atferdsmessige akklimatiseringsprosesser, som kan vare fra dager til uker avhengig av graden av temperaturendring (Brett og Groves 1979; Jobling 1994).

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 intim 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 stagnerende 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. 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. Høy tetthet av fisk gir gode muligheter for organismene til å spre seg videre og finne nye verter og utvikle sykdommen ytterligere. Lukkede eller halvlukkede systemer er også utsatt for sykdomsfremkallende utbrudd, hvis det er praksis med 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 kroppslige funksjoner, 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 av største betydning for overlevelse. Evnen til å føle frykt, smerte og å lære av tidligere skader er de viktigste utviklede egenskapene for denne typen 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 (Chandaroo mfl. 2004). Huden til fisk er en hoved barriere 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 derfor «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. 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 panikkatferd hvis de blir inntengt 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 trengs 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. Ørret har vist seg å være aggressive i små grupper (Laursen mfl. 2013), og som par (to og to) (Øverli mfl. 1999). Sammenliknbare data vedrørende aggresjon i kommersielle oppdrettsforhold hos ørret er få (Ellis mfl. 2002), men det eksisterer noe eldre data fra merdproduksjon (Phillips 1985).

Anras og Lagardère (2004) rapporterte at regnbueørretens adferd kan bli påvirket av produksjonstettheten når de holdes i kar. De viste at fisk under 30 kg/m³ for det meste viste sirkulære svømmemønstre etterfulgt av redusert aktivitet om natten, sammenlignet med fisk ved 136 kg/m³, som viste ustrukturerte svømmemønstre med relativt høye aktivitetsnivåer om natten. Videre har tidligere arbeid av Sutterlin mfl. (1979) dokumentert at regnbueørret ikke utviste noen konsistent sirkulær svømming eller rotasjonsorientering (selv om dette kan ha vært på grunn av tilstedeværelsen av personalet i løpet av observasjonsperioder) når de ble holdt i sjømerder. En annen studie, hvor fiskens adferd ble overvåket ved hjelp av video under vann, påviste sirkulær svømmeaktiviteten (Phillips 1985). Samme studie dokumenterte også at ørret i merder kan samle seg nær overflaten, utvise lav aktivitet ved lav strømhastighet, og danne «polariserte» stimer og forbli stasjonære ved høyere vannstrømningshastigheter. Det ble også rapporterte om hyppige aggressive interaksjoner i form av jaging og aggressiv utfall mot artsfrender.

2.10 Hvile

Vannhastighet, tidligere aktivitet, fiskestørrelse, vanntemperatur og fôringsstatus er alle viktige faktorer som bestemmer metabolsk behov 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 og utvikling (Farrell mfl. 1991; Thorarensen mfl. 1993). Fisk i sirkulære kar kan normalt velge hastighet i en horisontal strømgradient, og i merder har fisken 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, liggestillinger, døgnrytme og varierende bevissthetsnivå regnes mange fiskearter som å være i stand til å sove, selv om dette kan variere mellom ulike livsstadier, og kan være fraværende i perioder med migrasjon og gyting (Reebs 2008-2014). Det finnes lite informasjon om de basale hvile mekanismene eller "hvilemodus" til laksefisk. Imidlertid indikerer anekdotisk bevis på tilstander av hvile, og regnbueørret synes å være mindre aktive om natten sammenlignet med dagtid (Anras og Lagardère 2004).

2.11 Utforskning

Fiskens miljø i oppdrettsenheter og særlig i merder, har typisk både romlig og tidsmessig variasjon i miljøvariabler som strømhastighet, temperatur og lysintensitet (Oppedal mfl. 2012a), men det er mindre variasjon i andre miljøforhold som f.eks. fysiske konstruksjoner. Det å kunne utforske leveområdet sitt er viktig for at fisken skal kunne optimalisere dekning av behov som for eksempel temperaturregulering og atferdskontroll, og tilegne seg informasjon om rømningsmuligheter, farer og mulige matkilder. Behovet for utforskning kan sidestilles med rovdyr sitt behov for jakt.

2.12 Kroppspleie

Dette er behov som dyr har for å rense kroppen sin, som eksempelvis 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 rensefisk 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 laksefisk har et iboende behov for å utføre parrings adferd og velge partner (Newcombe og Hartman, 1980). Dette kommer i tillegg til behovet for gyting, og for anadrom laksefisk blir dette igangsatt med vandringen tilbake til deres opprinnelse selv (Robards og Quinn 2002). Denne atferden innebærer betydelig risiko for skade og redusert vekst (Fleming og Reynolds 2004). Anadrome laksefisk, inkludert regnbueørret, starter ofte tilbake vandringen og kommer inn i elven flere måneder før gyting. Den vårgytende ørreten kan komme inn i elven før fullstendig kjønnsmodning i mai til oktober (sommerløp) eller senere (vinterløp) som kjønnsmoden fisk i november til april (Robards og Quinn 2002). Gyteadferden består av etablering av gytegrøper hvor hunnene bruker halen for å grave grøper for eggene, mens hannene utfører frieradferd og ofte er svært aggressive mot andre hanner (Tautz og Groot 1975). Som for andre laksefisk kan regnbueørret av hannkjønn kjønnsmodnes tidlig, før de har tilpasset seg sjøvann (Taranger mfl. 2010), og engasjere seg i gyting som «snikgytere».

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 regnbueørret disse indikerer er kompromittert eller aktivert.

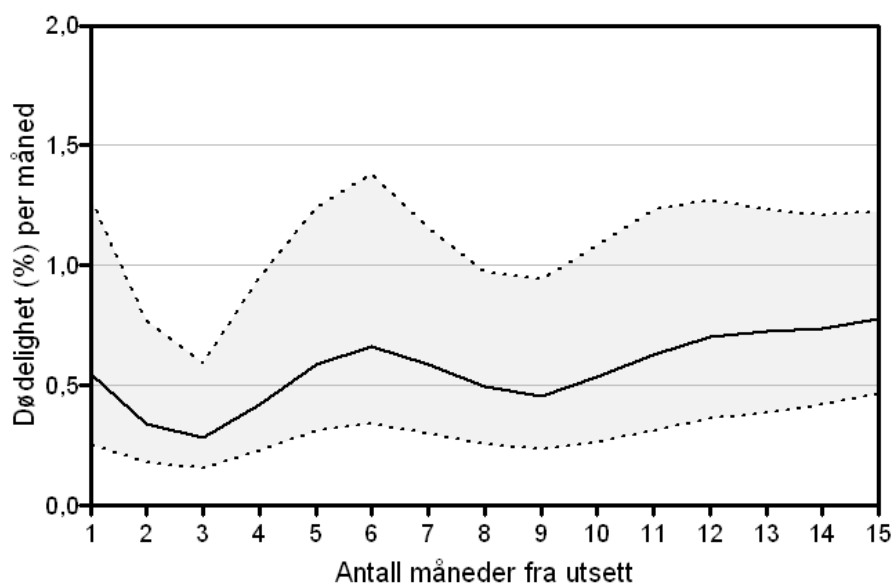
Velferdsindikatorer		Behov	Miljø				Helse			Atferd				Res.		
			Respirasjon	Osmotisk bal.	Temperatur reg.	God vannkval.	Kroppspeile	Hygiene	Beskyttelse	Atferdskontroll	Sosialkontakt	Hvile	Utforskning	Seksuell atferd	Spising	Ernæring
Gruppe	Dødelighetsrate	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Atferd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Appetitt	x	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	x	
	Indikasjoner i vannet	x	x					x								
	Sykdom	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Individ	Gjellelokkfrekvens	x			x			x	x							
	Lakselus	x	x			x	x	x								
	Bleking av gjeller og status	x	x				x				x					
	Kondisjonsfaktor												x	x		
	Utmagringsgrad		x				x						x	x		
	Kjønnsmodningsgrad		x										x			
	Sjøvannstilpasning		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														
	Organer i bukhulen						x	x							x	
	Vaksinerelatert patologi													x	x	
	Blod	Kortisol		x					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.

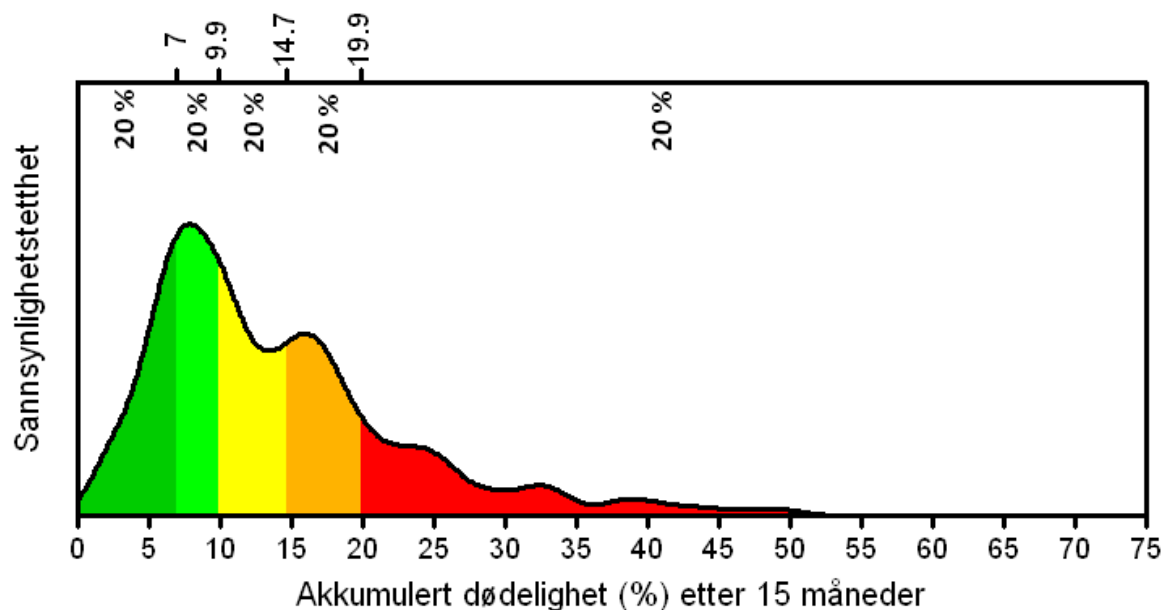
Dødelighet som velferdsindikator kan enten være basert på langsiktig eller kortsiktig dødelighet. Kortsiktig dødelighet gir et øyeblikksbilde av nåværende (daglig, ukentlig eller månedlig) dødelighet sammenlignet med tidligere. Det har vært utviklet flere standardiserte dødelighetskurver for laks (Soares mfl. 2011, 2013; Stien mfl. 2016), og en standard dødelighetskurve for regnbueørret basert på data fra norske regnbueørretoppdrettere er presentert her (Figur 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 dødeligheten (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 i laksebestanden.



Figur 3.1.1-1. Standard dødelighetskurve for de 15 første månedene i sjø basert på innrapporterte data fra alle norske ørretoppdrettere 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. (2017) brukte fordelingen av total dødelighet etter 15 måneder,

basert på innrapporterte månedlig dødelighetsdata fra alle norske ørretoppdrettere 2009-2015, til å klassifisere ørretproduksjonen i fem velferdsklasser: (1) mørk grønn (bedre enn normalt), (2) grønn, (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. 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 hos ørret etter 15 måneder i sjø. 0 til 7% (mørk grønn, bedre enn vanlig velferd), 7 til 9.9% (grønn), 9.9 til 14.7% (gul), 14.7 til 19.9% (oransje), > 19.9% (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. Det er viktig å fastslå dødsårsak for å muliggjøre tiltak som kan gjennomføres for å forhindre ytterligere dødelighet.

Styrke til indikatoren

Dødelighet er en 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 (Ellis mfl. 2012a). 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) (Ellis mfl. 2012a).

3.1.2 Atferd

Atferden til fisken er sannsynligvis en av de beste velferdsindikatorne, 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 sjømerder utstyrt med undervannskamera. Atferd gir en hurtig indikasjon av tilstanden til fisken, både på gruppe- og individnivå, 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 (f.eks. Martins mfl. 2012). Ulike atferdsindikatorer på gruppenivå inkluderer strukturen til stimen, dens polarisering, fiskens svømmehastighet og retning og den horisontale og vertikale fordelingen av gruppen som helhet (f.eks. Martins mfl. 2012). Atferd til regnbueørret som kan være en indikator på et potensielt velferdsproblem inkluderer:

- Manglende appetitt, stereotyp og treg svømming, ustrukturert eller ingen stimatferd indikerer sykdom eller stress og dårlig velferd.
- «Fryseatferd», hvor et individ forblir urørlig, er en antipredator strategi (Vilhunen og Hirvonen 2003), eller en fryktrrespons (Yue mfl. 2004, for regnbueørret; se også Sneddon mfl. 2016 for mer informasjon).
- Nedsatt aktivitet kan også være et tegn på dårlige miljøforhold, f.eks. lave oksygennivåer (van Raaij mfl. 1996), eller høyt ammoniakknivå (Colson mfl. 2019).
- Økt svømmeaktivitet og usynkron svømming kan også være et tegn på en håndteringsstressor som trening (Sadoul mfl. 2015).
- Ustrukturert svømming i bunnen av merden eller karet kan også være en indikator på akutt stress (f.eks. van Raaij mfl. 1996; Anras og Lagardère 2004).
- Atferder som fluktrrespons, gjemme seg, søke ly eller økt “klumping” i gruppen kan være relatert til stress (Sneddon mfl. 2016).
- I oppdrett kan denne fluktrresponsen manifestere seg som gravende adferd hvor fisken graver seg ned i bunnen av merdnettet eller karet.
- Aggressiv atferd som forfølgelser, biting og angrep kan også manifestere seg under visse oppdrettsrutiner eller livsfaser hos ørret (Ellis mfl. 2002; Noble mfl. 2007a).
- Som reaksjon på lokal smerte har det blitt observert fisk som rugger med kroppen, eller som gnir seg mot overflater (Sneddon 2006; Sneddon mfl. 2016).

I en operasjonell setting krever disse atferdsindikatorne nøye tolkning, og i en hvilken som helst gruppe fisk vil det være en rekke individuelle reaksjoner på enhver situasjon, hvor det observeres noen fisk som handler mer aggressivt eller tar mer risiko enn andre (Huntingford og Adams 2005). Ulike individer av fisk kan også reagere forskjellig på en stressor, f.eks. kan noe fisk forbli passive når de utsettes for lave oksygennivåer, mens andre utviser uttalt unngåelse og panikkatferd (van Raaij mfl. 1996). To like typer atferd kan også representere forskjellige ting. Hvis fisk for eksempel øker svømmehastigheten og nærmer seg fôringsområdet før, eller i starten av måltidet, kan det være en indikator på fôringsmotivasjon, utforskende atferd eller fôrforventet aktivitet (alle indikatorer for god velferd, Martins mfl. 2012). Hvis oppførselen imidlertid vedvarer under et måltid eller over flere dager, kan det også indikere en situasjon der fiskevelferd kan bli redusert, med for eksempel økt konkurranse hvor fisken konkurrerer om en potensielt begrenset ressurs (f.eks. hos Atlantisk laks, Noble mfl. 2007b) noe som igjen kan indikere at fisken blir underfôret.

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 ekkoloddsvingeren 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 fisken er nesten i sin helhet en refleksjon av svømmeblæren. Et svakt signal kan derfor bero på at fisken har tømt sin svømmeblære for luft (Korsøen mfl. 2009, Atlantisk laks). En annen feilkilde er at fisk nær svingeren kan svømme utenfor det kjegleformede signalområdet.

Styrke til indikatoren

Endringer i fôringsatferd, gjellerate, aggresjon, individ- og gruppas svømmeatferd, 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 nåtidsbilde av tilstanden i et anlegg.

Svakhet til indikatoren

Mange atferdsindikatorer er vanskelige å kvantifisere, og er svært avhengige av graden av motivasjon og ferdigheter til observatøren. Kvantitative endringer i fisken sin atferd, eksempelvis som absolutte endringer i svømmehastighet, aggresjonsnivåer og gjellerytme 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. Som nevnt over, kan noe atferd som en entusiastisk fôringsrespons både være indikatorer på positiv og negativ velferd.

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 som dermed forringer eller hindrer dette 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 føres, 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) eller den ernæringsmessige sammensetningen i fôret. Miljømessige faktorer kan også påvirke appetitt, hvor vanntemperatur er en nøkkelfaktor (Austreng mfl. 1987). Matlyst og fôring hos regnbueørret kan også påvirkes av andre faktorer, inkludert daglengde, både naturlig (Landless 1976a) og kunstig (Sánchez - Vázquez og Tabata 1998), oksygenmetning (Pedersen 1987), fiskens helsetilstand (Chin mfl. 2004), ektoparasitisk nivå (Nagazawa 2004), vannkjemi (Ortega mfl. 2005) og kronisk stress (Gregory og Wood 1999).

I oppdrett kan eksponering for ulike stressorer også ha en betydelig innvirkning på appetitten (f.eks. Hoskonen og Pirhonen 2006). Dette betyr at tiden det tar for appetitten å komme tilbake etter eksempelvis en behandling, også kan brukes som en OVI i oppdrettssammenheng. Effekten av dette komplekse innbyrdes forholdet av biotiske og abiotiske faktorer ved appetitt er sammensatt, og 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. På grunn av den iboende variabiliteten i appetitt, kan faktisk 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 ørret, selv under stabile miljøforhold, med minimale forstyrrelser (Grove mfl. 1978; Noble mfl. 2005). Hvis oppdretter fører en fast rasjon i henhold til en teoretisk appetitt-terskel, kan de risikere enten å underføre eller å overføre fisken med de potensielle velferdskonsekvensene dette får.

Som tidligere nevnt, kan fisken velge å ikke spise når de blir tilbudt mat, og hvis de ikke har lyst til å spise og viser lav appetitt, så trenger dette ikke nødvendigvis å være et velferdsproblem. For å klargjøre hvorvidt dårlig appetitt er en velferdstrussel snarere enn forårsaket av andre faktorer, bør appetittmål kombineres med andre VI-er. Dette kan være fysiologiske VI-er som angir nivå av stress eller andre indikativ tegn for sult, eksempelvis vist via økt motivasjon for å spise og økt beiteatferd. Ørret 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 tilfredsstille appetitten deres (McCarthy mfl. 1992), er blant annet økt skade og økt stressnivå (Moutou mfl. 1998). Langvarig vedlikeholds-fôring for å opprettholde fiskestørrelsen eller for å begrense veksten, kan også føre til en markert svekkelse av velferden hos laksefisk. Dette ses blant annet ved økt konkurranse og skade (Cañon Jones mfl. 2016, Atlantisk laks). De langvarige konsekvensene av å ikke føre 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 føre 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 rasjonsstørrelsen 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 ørret viser tydelige variasjoner i appetitten, kan visuelle observasjoner av bråe endringer i appetitt og manglende spiseatferd kunne vises 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, daglengde og sesongen, og slik sett ikke nødvendigvis 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 kan 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 ifra.

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. Målbare avvik fra "forventede" eller "normale" appetittnivåer er svært vanskelig å tolke, og 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, som appetitt, varierer i forhold til f.eks. livsfase og fiskestørrelse (Dumas mfl. 2007), og kan bli påvirket av flere faktorer, for eksempel rasjonsstørrelse (Storebakken og Austreng, 1987), appetitt (Linton mfl. 1998), næringsinnholdet i fôret (Kaushik et. al., 1995), sykdommer, sosiale interaksjoner (Li og Brocksen, 1977) og vannkvalitet (Person-Le Ruyet mfl. 2008). Redusert vekst kan også være en indikasjon på en tertiær stressrespons (f.eks. Ellis mfl. 2002; Huntingford mfl. 2006) som kan gi redusert velferd. Vekst kan imidlertid bli påvirket av faktorer som ikke er relatert til velferd, noe som førte til at Turnbull mfl. (2005) kalte den en «upresis» velferdsindikator. For å klargjøre om en redusert veksthastighet er knyttet til en velferdstrussel, bør det sees i sammenheng med andre fysiologiske faktorer som stress og sult (Ellis mfl. 2002).

Redusert vekstrate kan likevel 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. Variasjonen i vekst mellom individer kan også være en indeks for velferd. Økende variasjon innen populasjonen kan være en indikasjon på eksempelvis underfôring og økt konkurranse (Johansen og Jobling, 1998).

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 estimeringer av fiskestørrelsen 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 størrelse variasjonen 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 produksjonsenhet. Utvalgsstørrelsen er diktert av erfaring, arbeidsmengde, tid og utstyr til rådighet. Deretter gjennomføres en «bulkvekt» (som gir gjennomsnittsvekt) 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 estimeringssystem av biomasse er under utvikling, eller er tilgjengelig i bruk som akustisksonar (f.eks. Aqua Sonar), bildesonar eller lasersystemer. Fellesnevneren for disse er at de er lite brukt eller under produktutvikling. Også ved bruk av slike teknologier er det viktig å sørge for å estimere et representativt utvalg av populasjonen, f.eks. ved å dekke hele dybdeintervallet i merden (Folkedal mfl. 2012c; Nilsson mfl. 2013).

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 biomasseovervåkningssystemer 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 nøyaktige og representative 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 eller bruker utstyret feil. 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. Eksempelvis total dødelighet i oppdretts-Norge etter utsett i sjø. Noen sykdommer kan diagnostiseres ganske enkelt ved å studere fisken, for eksempel katarakt. 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 velferdsindikatorer, 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. Selv om effektive vaksiner er en klar fordel for fisken, kan vaksinasjon forårsake bivirkninger som sammenvoksinger av bukhinnen, på grunn av adjuvansen i vaksinen, og kan være et betydelig velferdsproblem. 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, hvorav fem hos ørret (Hjeltnes mfl. 2017). 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. 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.

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 skåring 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 avlusing. Redusert fiskevelferd bør ses sammen med en vurdering av virkningen av en smittsom sykdom (VKM, 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 det 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 regnbueørret i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = sjøvann.

Sykd.	Virus	F	SV	Påvirkning på velferden
Pankreas-sykdom (PD)	PD-virus/ Salmonid alphavirus (SAV 1-6, hvorav SAV2-3 i Norge)	(x)	x	- Første sykdomstegn er ofte brå appetittsvikt, der syk fisk gjerne står tett i tett i vannoverflaten mot strømrretning (VI 2017). - Syke individer har ofte store muskelskader; i spiserørsmuskulatur, hjerte og kroppsmuskler, noe som hemmer blodsirkulasjon (VI 2017). - Alvorlige skader i bukspyttkjertel med redusert enzym produksjon, kan forårsake kronisk sykdom med redusert vekst. - Utbrudd kan gi høy dødelighet og vare lenge (1-32 uker) (OIE 2015b). - Infeksjoner uten symptomer er også rapportert, disse kan bli aktivert under stress (VI 2017). - I 2016 ble det rapportert om fem utbrudd av SAV 3 hos regnbueørret i Norge, men også marine SAV 2-utbrudd hos regnbueørret i Norge er også blitt rapportert eller mistenkt de siste årene (Hjeltnes mfl. 2017). - Innvirkning på helse og velferd kan reduseres ved minimering av stress, avlivning av syke individer (og de som er kronisk rammet), tidlig slakting. - PD regnes som en av de viktigste virussykdommene i Norge, med 138 registrerte utbrudd i 2016 (Hjeltnes mfl. 2017). - Sovesyke (SAV 2 F) er påvist i deler av Europa, men er ennå ikke rapportert noen tilfeller i Norge (VI 2017).
Infeksiøs lakseanemi (ILA)	Infeksiøs lakseanemi- virus (ILAV)	(x)	x	- Oppdaget først hos norsk regnbueørret i 2015, men uten klinisk sykdom eller patologi, og i forbindelse med et pågående utbrudd av ILA hos laks (Hjeltnes mfl. 2016). Hvilken rolle regnbueørret kan ha for smittespredning er ikke kjent (VI 2017). - 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). - Hos laks vises dette ofte med 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). - Tidlig identifisering og effektiv slakting i merder med klinisk ILA, kan hindre og forebygge videre smitte på stedet. Sykdommen er meldepliktig, og utslakting av oppdrettspopulasjonen er den norske strategien. Forebyggende smittehygieniske tiltak og bevegelser restriksjoner brukes aktivt for å hindre spredning av smitte (Rimstad mfl. 2011; VI 2017).
Infeksiøs pankreasnekrose (IPN)	Infeksiøs pankreasnekros e virus (IPNV)	x	x	- Først påvist hos ørret, og siden senere på laks - Viruset kan angripe bukspyttkjertelen, som er en forutsetning for fordøyelsen av mat. Dette kan også forårsake nekrotisk enteritt, og fisk som overlever den akutte fasen kan sulte i hjel (EFSA 2008a). - Ved utbrudd kan dødeligheten variere fra ubetydelig til 90 %, ofte høyere i FV enn i SV, og yngel er mest mottakelig (VI 2017) - En stor andel av fisken utvikler en livslang, vedvarende infeksjon, som kan aktiveres under stress som eksempelvis utsett i sjøvann. (EFSA 2008a; VI 2017). - Stress kan også øke dødeligheten under utbrudd. Det kan derfor være mest humannt 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 (VI 2017). - 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 et. al., 2017). Vaksiner er rapportert å ha begrenset effekt, og sykdommen er ikke meldepliktig.

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

Sykd.	Virus	F	SV	Påvirkning på velferden
Viral hemoragisk septikemi	Piscine orthoreo-virus (PRV-3, også referert til som PRV-om amd-virus y)	×	×	- Først oppdaget hos regnbueørret i 2013 (Olsen mfl. 2015) og sykdommen har ikke blitt diagnostisert i regnbueørret siden 2014 (Hjeltnes mfl. 2017). - PRV-3 er en variant av PRV-viruset hos laks som fører til en HSMB-lignende infeksjon i hjerte- og skjelettmuskulatur, og gir også anemi som resultater i sirkulasjonssvikt. - I laboratorieforsøk kan både regnbueørret og laks smittes av PRV-3, men laks ser ut til å være mindre utsatt for infeksjon (Hauge mfl. 2017). Eksperimentell infeksjon fører til hjertebetennelse (men har ikke resultert i klinisk sykdom eller død). - Det er ikke identifisert noen primære utbrudd i regnbueørret som holdes i sjøvann, men spredningen av PRV-3 i sjøvann er sannsynlig (Hjeltnes mfl. 2017). - Ingen behandling eller vaksine er tilgjengelig, og det generelle rådet angående PRV-3 er å unngå å håndtere infisert fisk.
	Viralt hemoragisk septikemivirus (VHSV)	×		- Har ikke blitt identifisert i Norge siden 2008 (Hjeltnes mfl. 2017). - Dette er en meldepliktig sykdom i Norge, og et akutt sykdomsutbrudd er preget av høy dødelighet, utstående øyer, blødning, anemi og unormal atferd som involverer spiralsvømming ("blinking" har også blitt observert). - Kontroll av sykdommen er basert på avlivning av infisert populasjon.

Tabell 3.1.5-2-del 1. Viktige bakterielle sykdommer hos regnbueørret i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. FV = ferskvann, SV = sjøvann.

Sykdom	Bakterie	F	S	Påvirkning på velferden
Yersinose / rødmunnsyke	Yersinose <i>Yersinia ruckeri</i>	×	×	- I Norge er sykdommen nesten utelukkende assosiert med oppdrettslaks (Hjeltnes mfl. 2017), men anses som viktig sykdom hos regnbueørret i andre europeiske land - Mest vanlig i ferskvann, hvor akutt blodforgiftning med høy dødelighet hos yngel er vanlig (Poppe mfl. 1999). - Navnet «rødmunnsyke» kommer fra typisk rødhet i svelg og munn på grunn av subkutan blødning, men dette blir ikke alltid påvist (EFSA 2008b). - 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). - Utbrudd av yersinose 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). - Yersinose er ikke en meldepliktig sykdom.
	Flavo-bakterium <i>psycrophilum</i>	×	(×)	- Regnbueørret anses som spesielt utsatt for flavobacteriosis og sykdommen har tidligere forårsaket store tap i ferskvannsfasen i Norge (Hjeltnes mfl. 2017). - Høy dødelighet på grunn av en systemisk infeksjon som heter regnbueørretyngel syndrom («Rainbow trout fry syndrome», RTFS) kan typisk sees 4-7 uker etter første føring (Poppe mfl. 1999). «Korketrekker» -svømming kan også sees (NVI, 2017). - Hos større fisk blir sykdommen omtalt som bakteriell kaldtvannssykdom eller finnråte; ettersom infeksjonen vanligvis oppstår ved kaldere vanntemperatur, 8-14 ° C (EFSA 2008b). I tillegg er <i>F. psycrophilum</i> assosiert med sår og finnoserosjon, noe som kan ha alvorlige velferdseffekter (EFSA 2008b). - De siste årene i Norge har sykdommen hovedsakelig blitt påvist i større regnbueørret i fjordsystemer med brakkvann, der infeksjon forårsaker sår og buller (Hjeltnes mfl. 2017). - Utbrudd har ofte sammenheng med suboptimale forhold og stress (VI 2017). - I Norge har ulike stammer påvirket regnbueørret og laks (VI 2017). - Systemisk infeksjon av <i>F. psycrophilum</i> i regnbueørret er en meldepliktig sykdom i Norge og fire utbrudd ble rapportert i 2016 (Hjeltnes mfl. 2017). Bakteriestammer viser redusert mottakelighet for quinolone antibiotika (Hjeltnes mfl. 2017).

Tabell 3.1.5-2-del 2. Viktige bakterielle sykdommer hos regnbueørret i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. FV = ferskvann, SV = sjøvann.

Sykdom	Bakterie	F	S	Påvirkning på velferden
Bakteriell nyresjuke (BKD)	<i>Renibacterium salmoninarum</i>	x	x	• En meldepliktig sykdom i Norge. • Lav årlig forekomst hos laksefisk i Norge (Hjeltnes mfl. 2017). • Det er vanligvis en kronisk sykdom som ofte forårsaker subkliniske infeksjoner, eller lav vedvarende dødelighet som når toppen om våren. • I ferskvann forårsaker nyreskader osmoregulatoriske problemer (VI 2017). • Nyre kan være hoven med hvite knuter (som også kan forekomme i andre organer). Fisk kan også ha anemi, utstående øyne og væskeansamling i bukhulen, som kan indikere sirkulasjonsforstyrrelser (VI 2017). • Det viktigste profylaktiske tiltaket er å holde avlspopulasjonen fri for sykdom.
	<i>Vibrio salmonicida</i> (syn. <i>Allivibrio salmonicida</i>)		x	• Forårsaker mest problemer for atlantisk laks, men forekommer også hos regnbueørret. • Vanligvis assosiert med sakte økende dødeligheter som kan bli alvorlige hvis sykdommen ikke blir behandlet. • Forekomsten av sykdommen har falt betraktelig siden innføringen av vaksine. Overvåking av bivirkningene av vaksinen anses som viktig i forhold til fiskevelferd (Hjeltnes mfl. 2017).

Tabell 3.1.5-3-del 1. Viktige parasittsykdommer og soppinfeksjon hos regnbueørret i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = Sjøvann

	Parasitt	F	S	Påvirkningen på velferd
Lakselus Infeksjon	Lakselus; <i>Lepeophtheirus salmonis</i> og skottelus; <i>Caligus elongatus</i>		×	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.
Parvicapsulose	<i>Parvicapsula pseudo-branchicola</i>	×		- Parvicapsulosis er et problem hos laks (hovedsakelig i de nordligste fylkene i Norge, der dødeligheten kan variere fra lav til alvorlig (Bornø og Linaker 2015). - Regnbueørret kan være mindre utsatt, da parvicapsulosis ikke har blitt diagnostisert hos regnbueørret av Norsk veterinærinstitutt det siste tiåret. Det er ikke meldepliktig sykdom. - Høy tetthet av parasitten og tydelige sykdomsforandringer er observert i pseudobranciene (under gjellelokkene). Pseudobranciene, som har i oppgave å tilføre øyet oksygen samt være involvert i kontroll av ionebalansen, kan bli fullstendig degenerert eller sterkt skadet (VI 2017). - Laks med parvicapsulose er typisk tynn, anemisk og har øyebldninger (Bornø og Linaker 2015; VI 2017). <i>P. pseudobranchicola</i> har en komplisert livssyklus der børstemark er hovedvert og fisk mellomvert, og sykdommen parvicapsulose er ikke meldepliktig. Den er blitt påvist hos både vill laks og sjøørret (Bornø og Linaker 2015).

Tabell 3.1.5-3-del 2. Viktige parasittsykdommer og soppinfeksjon hos regnbueørret i Norge og hvordan de påvirker fiskehelse og velferd. F = ferskvann, S = Sjøvann

	Parasitt	F	S	Påvirkningen på velferd
Amøbegjellesykdom (AGD)	<i>Paramoeba perurans</i>		x	• AGD har blitt en økende alvorlig sykdom hos laks i Norge (Bornø og Linaker 2015), og er påvist også i regnbueørret, men siden den ikke er meldepliktig er antallet utbrudd ukjent (Hjeltnes mfl. 2017). • Den amøbiske parasitten påvirker gjellene og forårsaker respirasjonsproblemer. Makroskopiske symptomer er tydelige gjelleforandringer inkludert økt slimproduksjon, noe som kan brukes i et skåringssystem (for laks) for å vurdere alvorlighetsgraden av sykdommen (Taylor mfl. 2009). • I tillegg til respirasjonsbesvær sees dårlig matlyst, ofte redusert svømmeaktivitet og trege unnvikelsesreaksjoner (VI 2017). • Tidlig påvisning er viktig for et godt behandlingsresultat som innebærer bruk av vann eller H₂O₂. • 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). • Fisk med amøbegjellesykdom har lav stresstoleranse, og en behandling på fisk med langt framskredet sykdomsbilde kan i seg selv være negativt for fiskens velferd.
Saprolegniose (soppinfeksjon)	Saprolegniose <i>Saprolegnia parasitica</i> <i>Saprolegnia diclina</i> + andre	x		• Hovedsakelig er dette et problem på egg, men også yngel og stamfisk kan påvirkes av soppangrep. • Saprolegnia kan ødelegge dermis (hudlag), og forårsake osmotisk ubalanse og medføre død. • 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). • 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). • 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 økt formering av sporer i anleggets vannsystem unngås. For rogn er det viktig med hyppig fjerning av død rogn for å hindre etablering.

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). 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 blødningen og skaden på fisken er, og må derfor suppleres med histopatologiske prøver.

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. Observasjoner av bråe endringer i forekomst og alvorlighetsgrad av individbaserte VI-er, kan benyttes som en kvalitativ indikasjon på andre underliggende velferdsproblemer, selv om det ikke eksisterer målbare data for dette. Et eksempel på et slikt scenario er avmagring. Observasjoner av utmagrede fisk som svømmer i overflaten, kan brukes som et tidlig varsel om et potensielt velferdsproblem. Men for å få en oversikt over alvorlighetsgrad og hyppighet av avmagringen så er et manuelt uttak av fisk nødvendig, hvor avmagring brukes som en individbasert OVI. Det samme scenario gjelder for ryggfinneskader hos ørretyngel. Ryggfinneskader kan også bli diagnostisert ved hjelp av 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 og ventilasjonsrate

Gjellelokkfrekvens ("pustefrekvens") hos fisk øker når behovet for oksygen øker. Dette kan være på grunn av dårlig vannkvalitet som redusert oksygennivå eller økte nitritnivåer i vannet (Aggergaard og Jensen 2001) eller som følge av høyere aktivitetsnivå eller stress (Sneddon 2003; Pounder 2018; Altimiras og Larsen 2000, tabell 3.2-1). I tillegg til frekvensen av gjellelokkene, økes også amplituden (hvor langt ut gjellelokkene åpnes) for å øke vannstrømmen over gjellene (Zhang mfl. 2013). 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. Nivåer som er høyere enn forventet kan derimot tyde på at noe er galt, for eksempel lav oksygenmetning, dårlig vannkvalitet eller problemer med gjellene.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Kvalitativ vurdering av gjellelokkfrekvensen under rutinemessig observasjon av fisken under ulike oppdrettssituasjoner, og ulike oppdrettssystemer, kan brukes som en OVI. Bråe endringer i frekvensen 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 likevel 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 de 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 teknologi eller merkesystemer, kan gjøre denne indikatoren til en kvantitativ OVI.

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

Livsstadier	Terskel- og referanseverdier	% forandring (hvile til stress)	Referanse
61 g ± 5 g i ferskvann	52 gjelleslag/min (hvile) og 67 gjelleslag/min (injeksjon av irriterende kjemikalier i leppene).	22.4%	Sneddon 2003
138 ± 6 g i ferskvann	55 gjelleslag/min (hvile), 75 gjelleslag/min (30 minutter etter håndtering)	36.4%	Pounder mfl. 2018
138 ± 6 g i ferskvann	55 gjelleslag/min (hvile), 67-82 gjelleslag/min (30 minutter etter oppvåkning fra bedøvelse)	21.8-49.1%	Pounder mfl. 2018
200–300 g i ferskvann	71 gjelleslag/min (hvile), ingen signifikant endring etter Cortland saline injeksjon	0%	Zhang mfl. 2013
200–300 g i ferskvann	71 gjelleslag/min (hvile), 149.81 (stress etter injeksjon av 140 mmol/L NH ₄ HCO ₃)	111%	Zhang mfl. 2013
200–300 g i ferskvann	71 ± 2 gjelleslag/min (hvile), og 77 ± 3 gjelleslag/min (etter ammonia injeksjon)	7.8%	Zhang og Wood 2009
200–300 g i ferskvann	77 gjelleslag/min (hvile), 100 gjelleslag/min (etter svømming)	33%	Stevens og Randall 1967
357 ± 19 g i ferskvann	53.1 ± 3.7 – 56 ± 1 gjelleslag/min (hvile) 106.2 ± 6.4 (stress) og etter stress 62 ± 7.7 gjelleslag/min	50%	Altimiras og Larsen 2000

3.2.2 Refleksatferd

Enkle refleksindikatorer, som øyerulling og evnen til å snu seg i oppreist stilling igjen, kan lett brukes, og dette blir stadig mer populært for å karakterisere nevrologiske reaksjoner hos fisk på ytre stimuli eller funksjoner i det autonome nervesystemet (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). Når de ikke er til stede kan det trygt fastslås at dyret er ikke bevisst (Anil 1991). Vestibulum-okulær refleks (VOR, «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. Likefullt kan noen brukes som de er, eksempelvis «øyerulling» (VOR); «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) (f.eks. Davis 2010; Pounder mfl. 2018).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Reflekser kan vurderes individuelt, som til stede eller fraværende, eller som en kombinasjon av reflekser som kan graderes (Skår 0-5) (Davis, 2010). 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 tolkes videre. Ved valg av observasjonsmetode på merdkanten, er refleksatferd en OVI.

Styrke til indikatoren

Langvarig hemming av refleksrespons har blitt brukt for å predikere dødelighet hos mange fiskearter under både kontrollerte laboratorieforhold (Davis 2010) og også under oppdrettsforhold (Raby mfl. 2015). Rask, enkel og rimelig metode med minimal observatørbias, og som ikke krever noe utstyr eller vitenskapelig kompetanse. Dette er ikke avhengig av fiskestørrelse, fiskestatus, eller akklimatisering (Davis, 2010).

Svakhet til indikatoren

Medfører at fisken blir eksponert til luft uten å først ha vært anestesert. 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

Regnbueørret påvirkes av lakselus, men det meste av litteraturen som omhandler lusens effekt på vertsfisken refererer til atlantisk laks. Selv om regnbueørret ser ut til å være mer motstandsdyktig mot lus enn atlantisk laks (Jackson og Minchin 1992; Jackson mfl. 1997; Fast mfl. 2002a; O'Donohoe mfl. 2016), er fisken sin respons på en lus infeksjon ganske lik (Fast mfl. 2002a). Data fra laks synes også gjelde for regnbueørret. Norsk ørret og laks i havet er hovedsakelig påvirket av to arter av lus, som lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) og skottelus (*Caligus elongatus*). Lakselus er generelt et større velferdsproblem enn skottelus.

Hos regnbueørret kan en infeksjon av lus som involverer lus av pre-adult og adult stadier føre til økte primære stressresponsen (økning i plasmakortisolnivå; Fast mfl. 2002a), og området hvor lusene fester seg i kan bli betente (Nolan mfl. 2000). Hos atlantisk laks kan den primære stressresponsen til og med

forekomme på det infeksjøs stadium (når lusene fester seg til laksen, men ennå ikke har begynt å spise, for eksempel Finstad mfl. 2011). Ørret kan også reagere på en lignende måte, med en mer alvorlig primær stressrespons på en luseinfeksjon (Ruane mfl. 2000), med etterfølgende endringer i hud og gjeller (Nolan mfl. 2000). Regnbueørret infisert med lakselus er også mer utsatt for sekundære sykdommer (Mustafa mfl. 2000). Infeksjoner med større antall lakselus påvirker svømmeytelsen negativt ved høye strømhastigheter hos atlantisk laks (Bui mfl. 2016), og laks kan utvise en atferds respons på et luseangrep av lakselus med økt hoppefrekvens i vannoverflaten (Furevik mfl. 1993).

Så vidt forfatterne vet, er det ingen data om grensene for hvor mye lus hos ørret som vil forårsake velferdsproblemer. I mangel av disse dataene, og antydningen fra tidligere forfattere om at ørretresponser på lus ligner laks (Fast mfl. 2002a), henviser vi leseren til de publiserte dataene om atlantisk laks (også rapportert i Noble mfl. 2018). Mens vill laksefisk ofte har lusenivåer som kan føre til velferdsproblemer og dødelighet (Holst mfl. 2003; Torrissen mfl. 2013), er disse lusenivåene strengt kontrollert og regulert i kommersiell akvakultur. Slike nivåer blir sjelden eller aldri påvist på oppdrettslaks (Folkedal mfl. 2016). Imidlertid kan disse nivåene forekomme hos enkelte individer, da spesielt hos avmagret fisk. For oppdrettslaks og ørret der lusenivået er lave, kan således hyppig håndtering og behandling forbundet med avlusing være et mer alvorlig velferdsproblem enn lusene selv (se nedenfor).

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 de generelt i lavere 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 selve huden. Dermed skaper skottelus vanligvis ikke åpne sår hos 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 <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 fisken, 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. 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 registre antall lus og klassifisere dem i ulike livsstadier. 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. Mange lus kan videre 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 representere den "sanne" situasjonen i anlegget eller merden. Det er også sannsynlig at en andel av lusen faller av under innfangningen og dermed ikke blir registrert under telling.

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* (*Ichtyobodo 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 begynner gjellesykdommer å bli stadig mer utbredt og årsaken er multifaktoriell. Gjellesykdommer kan føre til dårlig helse og dødelighet, og kan derfor også ha en betydelig innvirkning på velferden. 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. Den angriper også regnbueørret. AGD er så langt ikke et problem i Nord-Norge, og dominerer hovedsakelig i den varme perioden av året. 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 (VKM 2014). Foreløpig diagnose av AGD infeksjon er ofte gjort gjennom skåring av hvitt slim, og flekker på gjellene, hvis skåre er null (0) indikerer ingen infeksjon og er skåre 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 kunne unngå å skade de skjøre gjellene på levende fisk. Ved å bruke et mikroskop på gjelleprøvene, kan parasitter som *Ichtyobodo 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-skåring 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 disse årsakene 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 er et standardmål 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 laksefisk (Johansson mfl. 2000). Ørret sin kondisjonsfaktor kan variere gjennom året. Svært lav kondisjonsfaktor kan være en indikasjon på avmagring, og ekstremt høy kondisjonsfaktor være en indikasjon på ryggvirvel deformasjon (Choo mfl. 1991).

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. I langsiktige sultestudier på regnbueørret er det imidlertid rapportert verdier på $< 1,0$ hos ung ørret (ca. 55 g gjennomsnittsvikt) fastet i 4 måneder (Jørgensen mfl. 2016). En studie på fasting av større fisk (ca. 280 g middelvekt) rapporterte at K-verdiene falt fra et begynnelsesnivå på ca. 1,15-1,2 til ca. 1,05 etter 1 måned og ca. 0,9 etter 4 måneder (Pottinger mfl. 2003). Vi foreslår derfor en K-faktor på $< 1,0$ som en indikasjon på avmagring hos oppdrettet regnbueørret. Organosomatiske indekser sammenligner forholdet av vekten til 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 mfl. 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 f.eks. for organosomatiske indekser (Sopinka mfl. 2016).

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 mfl. 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 (Sopinka mfl. 2016).

Svakhet til indikatoren

Noe 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 alle produksjonssystemer kan noen individer bli tynne eller avmagrede. Dette kan være et resultat av ulike helseproblemer, eller en teoretisk mangel på mat. 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. Laksefisk kan bli avmagret av ulike grunner, inkludert sykdom (Stephen og Ribble 1995; Kent og Poppe 2002; Finstad mfl. 2011; Hjeltne mfl. 2016) og negativt sosialt miljø (Adams mfl. 2000).

Uansett hva årsaken til nedsatt vekst er, vil fisk som er mye mindre enn gjennomsnittet tape i konkurransen om mat. Spesielt gjelder dette når pellet størrelsen 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). 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 i det marine miljø (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 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 avmagret 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. Det er også nødvendig å ta hensyn til velferden til den enkelte avmagrede fisken. Det kan være vanskelig å fange dem, men hvis det er mulig bør de fjernes og avlives humanitært.

Styrke til indikatoren

Avmagrede fisk kan vanligvis bli gjenkjent ut fra 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 (Folkedal mfl. 2016).

Svakhet til indikatoren.

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

3.2.7 Kjønnsmodning

Regnbueørret er naturlige vårgytere, men kjønnsmodning og gyting kan avanseres eller forsinkes med fotoperiodemanipulering (Bromage mfl. 2001; Davies og Bromage 2002; Wilkinson mfl. 2010; Taylor mfl. 2008). Laksefisk kan kjønnsmodne i ferskvann (tidlig kjønnsmodning) eller etter overgangen til sjø (Fleming 1998; Kause mfl. 2003), og dette kan være et problem i ørret oppdrett (Norberg mfl. 2007). Tidlig kjønnsmodning i ferskvannsfasen oppstår bare hos hanner, men også i det marine miljøet forekommer kjønnsmodning hovedsakelig hos hannene, da disse kjønnsmodner tidligere enn hunnene. Vill kjønnsmoden laksefisk vil utføre vandringer mot elva for å gyte, men det er usikkert om kjønnsmoden regnbueørret har et tilsvarende atferdsmønster og -behov (Huntingford mfl. 2006). Under kjønnsmodningen gjennomgår laksefisk fysiologiske tilpasninger til et hypoosmotisk (ferskvanns) miljø, før de returnerer til ferskvann (Persson mfl. 1998; Makino mfl. 2007). Det er derfor sannsynlig at kjønnsmoden ørret i sjø vil få osmoregulatoriske problemer med etterfølgende høy dødelighet. 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). Den reduserte immunologiske og osmoregulatoriske kapasiteten sammen med atferdsendringer, kan føre til redusert velferd og økt dødelighet hos kjønnsmoden ørret.

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 representerte de er i prøvetaket.

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, og fisken bør slaktes før den kjønnsmodner.

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 Sjøvannstilpassning

Ulike studier har vist at regnbueørret oppdrettet i det marine miljøet viser bedre vekst sammenlignet med fisk som er produsert i ferskvann. Videre vil størrelsen på fisken og overføringsbetingelsene (for eksempel saltholdighetsgradienten) fra FV til SV være viktige parametere for vellykket tilpassning av regnbueørret til et hyperosmotisk miljø (Johnston og Cheverie 1985; Le Bras mfl. 2011). EFSA (2008b) mener at salttoleransen hos regnbueørret oppstår når fisken er større enn 50g, og fisk som overføres ved 70 - 100g har en god overlevelseshastighet og er tilsynelatende i stand til å takle overføringen til sjø uten å gjennomgå en smoltifisering. Fisk som er oppdrettet i ferskvann som inneholder lavt Ca^{2+} , kan ha problemer med å tilpasse seg sjøvann etter overføring, men dette kan avhjelpes ved å føre med spesialfôr innholdene salter, for å stimulere tilpassning til det marine miljøet (Perry mfl. 2006). Selv om noe av litteraturen på dette området er relativt gammel, tyder det på at overlevelse og ytelse i sjø er bedre med større fisk. Hos mindre fisk blir kan en forbedre overlevelsen i sjø med en gradvis introduksjon av sjøvann eller produsere ørreten i brakkevann (Landless 1976b; Jackson 1981; Kiilerich

mfl. 2011). McKay og Gjerde (1985) rapportert også at dødeligheten hos regnbueørret som nylig var overført til sjøvann kan være høyere med høyere saltholdighet (32 ‰), og de oppdaget også at veksten ble redusert ved saltinnhold > 20 ‰. Overlevelse synes også å være lavere ved høyere temperaturer, da man i en studie fant bedre overlevelse ved 11 °C, sammenlignet med 17 °C (ørret fra 7 til 15 g; Johnsson og Clark 1988). Vandrende vill regnbueørret gjennomgår naturlig smoltifisering og er under kontroll av naturlig døgnlengde. Dette ser ikke ut til å være tilfelle for noen stammer av domestisert regnbueørret. Når det gjelder manipulering av fotoperiode, viste Morro mfl. (2019) at både det eksisterende, veletablerte konstante lysregimet (18 uker) og et avansert faseskift fotoperiode (Advanced Phase Photoperiod; APP) bestående av 6 uker LD 12:12 og ytterligere 12 uker med LD 24:0 er egnede regimer for smoltifisering, og APP førte til et lengre smoltvindu. Forfatterne uttalte imidlertid at fotoperiode ikke ser ut til å være en sterk driver («zeitgeber») for smoltifisering i ørret og andre potensielle miljødrivere, som saltholdighet eller temperatur. Dette bør derfor undersøkes nærmere (Morro mfl. 2019). Tegn på manglende tilpasning til det marine miljøet ville være mangel på vekst og vedvarende høy dødelighet.

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 visst 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 oppdrettsnæringen (Poppe 2000; Witten mfl. 2005, 2009; Deschamps mfl. 2008). Dette er en av de viktigste begrensningene for kommersiell produksjon av regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) (Babaheydari mfl. 2016).

En høy forekomst av ryggdeformiteter kan redusere lønnsomheten for oppdrett av ørret betydelig på grunn av nedgradering av slaktekvalitet fra «superior» til «ordinær» eller i verstefall som «produksjons-» eller «vrakklasse» (Branson og Turnbull 2008). Vertebrale deformiteter hos regnbueørret kan bli synlige sent i produksjonen, noe som kan føre til økte kostnader forbundet med sortering (Witten mfl. 2006). Andre tilknyttede økonomiske kostnader kan være resultat av redusert hastighet og effektivitet i prosessering, reduserte utbytte som følge av ekstra trimming og ytterligere avfall assosiert med «visuelt uoppgadelige» abnormiteter (Boglione mfl. 2001; Witten mfl. 2006; Deschamps og Sire 2010).

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. 2009). 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 dårlige svømmeferdigheter kan resultere i større

smittetrykk som lakselus, og forvisning til sub-optimale deler av merden. Dette 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 laksefisken (Kvallestad mfl. 2000). Witten mfl. (2009) utviklet et klassifiseringssystem med 20 ulike typer ryggvirveldeformiteter hos atlantisk laks. Dette systemet kan bidra til å finne sammenhenger mellom ulike typer deformiteter og mulige årsaksforhold. Tidligere studier har også antydnet metoder for klassifisering av skjelettdeformiteter i andre fiskearter (f.eks. Boglione mfl. 2001). For øyeblikket, som for atlantisk laks, er det ennå ikke etablert et ensartet system for klassifisering av ryggvirveldeformiteter hos regnbueørret. I stedet er den langsgående forkortelsen av fisk ofte blitt beskrevet ved å bruke begrepet «vertebralrygggradskompresjon» (vertebral column compression syndrom, VCCS; Aubin mfl. 2005). Innenfor denne brede kategorien har de to hyppigst observerte deformasjonene i regnbueørret vært (a) «cyprinid conformation», på grunn av sammenvoksninger av fremre del av ryggsøylen (Poynton 1987), og (b) «korthale», som er forårsaket av sammenvoksninger av haleregionen (ryggsøylen) (Aubin mfl. 2005).

I atlantisk laks og andre laksearter 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), egg inkubasjonstemperatur (Ørnsrud mfl. 2004; Fitzsimmons og Perutz 2006), vaksinasjon (Berg mfl. 2006), vannstrøm og -kvalitet (Divanach mfl. 1997), miljøforurensning (Sfakianakis mfl. 2006), og triploiditet (Fjelldal og Hansen 2010; Leclercq mfl. 2011; Fraser mfl. 2012; 2015).

Relativt få studier er utført som har assosiert risikofaktorer med ryggdeformiteter i regnbueørret. Noen av faktorene som er identifisert inkluderer imidlertid RAS-anlegg med lav utveksling (Davidson mfl. 2011), triploiditet (Madsen mfl. 2000), *Flavobacterium psychrophilum* infeksjon (Madsen mfl. 2001; Nematollahi mfl. 2003), *Myxobolous cerebralis*-infeksjon (Baldwin mfl. 2000), tryptofanmangel (Akiyama mfl. 1986), fosformangel (Shearer og Hardy 1987; Sugiura mfl. 2004), og vitamin C-mangel (Kitamura mfl. 1965). I en studie utført av Fontagné mfl. (2009), ble rundt 45% av regnbueørretyngel føret med fôr med lavt kalsiuminnhold, og disse dyrene utviklet «krum ryggsyndrom» (kyphosis). Videre viste regnbueørretyngel føret med lite kalsium eller lavt fosforinnhold betydelig endringer i skjelettontogeni og ryggvirvelmorfologi. For stamfisk av regnbueørret er det anbefalt at dietter inneholder 200 IU/g vitamin A (Fontagné 2009), og nivåer på 20 UI/g som er vanlige for kommersielle dietter, anses ikke å være nok til å oppfylle vitamin A-kravene for denne arten og livsstilen. Høyt vitamin A-nivå i kostholdet er gunstig for både tidlig vekst og reproduksjon hos regnbueørret, og medfører ikke skjelettdeformiteter (Fontagné 2009). De tidlige livsfasene for regnbueørret er mer utsatt enn senere levetid for oksidativt stress i kostholdet, og et passende nivå av antioksidanter, som vitamin E og C, bør tilsettes føret for å beskytte flerumettede fettsyrer mot nedbrytning (lipidperoksidasjon) (Fontagné 2009). I tillegg påpekte Fontagné (2009) viktigheten av fosfolipider i kosten for tidlig vekst og passende skjelettmineralisering.

Høye eggeinkubasjonstemperaturer er blitt koblet med en økt forekomst av ryggvirveldeformiteter hos atlantisk laks (Ørnsrud mfl. 2004; Fraser mfl. 2015). Suboptimale temperaturer under egg inkubasjon er en kjent risikofaktor for skjelettdeformiteter hos regnbueørret. Det kreves i midlertidig mer forskning på dette området. Forskning viser at eggeinkubasjonstemperaturen for regnbueørret, både diploid og triploid, bør være mellom 8-12 °C for å minimere forekomsten av misdannelser, uavhengig av den individuelle genetiske stammen, og at 10 °C ser ut til å være optimal for denne arten

(Lein mfl. 2009). I det samme studiet, der egg ble utsatt for tre temperaturer (6, 10 og 14 °C), var de vanligste skjelettdeformitetene smeltet sammen eller komprimerte ryggvirvler (Lein mfl. 2009). Som for andre laksefiskarter vil trolig vertebrale deformiteter i regnbueørret ha multifaktorielle årsaker.

Forskning har vist at komprimering av ryggspylen ofte oppstår sent i egg utviklingen (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, innover bøyde ryggvirvel kanter, 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 ryggvirvelkompresjon og økt benremodellerings-aktivitet hos atlantisk laks.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Ryggvirveldeformasjon kan graderes fra mindre til alvorlig. Røntgen brukes for å påvise mindre (starter) 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.

Styrke til indikatoren

Bortsett fra mindre deformasjoner er det lett å se disse. Metoden er det intuitive, og ryggdeformiteter har en direkte innvirkning på nåværende og fremtidig velferd for fisken (se figur 3.2.9-1).

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 denne utviklingen.



Fig. 3.2.9-1. Ryggspylerdeformiteter hos stor regnbueørret. Foto: James F. Turnbull

3.2.10 Finneskade og –status

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

Finneskader kan klassifiseres på mange forskjellige måter i henhold til forfatterens preferanser eller bakgrunn (se Noble mfl. 2012). Turnbull mfl. (1996) klassifiserte 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. 2012). 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 figur 3.2.13-2-3).

Finneskader er en velkjent trussel mot et dyr sin velferd, da det er skade på levende vev (Ellis mfl. 2008). Finnene har også nociseptorer (smertereseptorer) (Becerra mfl. 1983), og aktive finneskader kan være en åpning for sykdomsfremkallende infeksjoner til å etablere seg (se figur 3.2.13-2-3) (Turnbull mfl. 1996; Andrews mfl. 2015 og se også Noble mfl. 2012 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 er fullstendig klar. Spesielt gjelder dette med hensyn til forskjellige arter og livsstadier (Ellis mfl. 2008; Noble mfl. 2012). Risikoen varierer også med livsfasen. Selv om biting spiller en viktig rolle i finnskader, ser det ikke ut til å være en enkel form for aggresjon, men snarere være forårsaket av mange forskjellige grunner, som høye bestandstettheter (Ellis mfl. 2002 og referanser deri) og manglende tilgang til mat eller underfôring (Moutou mfl. 1998). Slitasje mot underlaget eller karveggen kan også føre til skade på bryst- og bukfinner i ørret (f.eks. Bosakowski og Wagner, 1995). Ellis mfl. (2002), nevner også en rekke andre parametere som vannkvalitet og andre faktorer som kan påvirke finneskader hos ørret.

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, sårdannelse 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 videre dannelse av infeksjon 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. (2012), 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 trenging og liknede (Mejdell mfl. 2007). Det er mange potensielle årsaker til skade, inkludert parasitter, selvpåførte skader på grunn av graving i nettet, rovdyr og mangelfullt og feil bruk av håndteringsutstyr. Ethvert tegn på overfladiske sår bør undersøkes grundig. Ethvert overfladisk sår vil raskt bli kolonisert med bakterier fra nærmiljøet, inkludert *Vibrio* spp. i det marine miljøet og *Aeromonas* spp. i ferskvann. Den raske koloniseringen av overfladiske sår kan vanskeliggjøre identifisering av den primære årsaken. Bakterier kan forverre et eksisterende sår, f.eks. vintersår (Løvoll mfl. 2009) eller kan sette i gang en sårutvikling, f.eks. *Aeromonas salmonicida* og *Flavobacterium psychrophilum* (Bruno mfl. 2013).

Når det gjelder effekter på fiskevelferden, vil epidermale skader på friskt vev påvirke nociseptorene og smerteopplevelsen av et sår (Kotrschal mfl. 1993). Epidermale skader påvirker velferden hos laksefisk

med hensyn til i) osmotisk balanse, ii) helse og atferd iii) behov for beskyttelse, selv om dette varierer med livsstadium. Epidermal skade er redegjort for i ulike nasjonale velferdsordninger. I en tidligere versjon av RSPCA for regnbueørret (2014) anbefales at et utvalg av 100 fisk bør undersøkes under slakting. Dersom mer enn 10% av fisken har skader eller sår bør tiltak iverksettes. 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 (figur 3.2.12.-1 og tabell 3.2.12-2), 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 hvor gass siver ut i vevet bak øyet (Poppe 1999). Fisk med utstående øyne vil være mer sårbare for håndteringsskader. 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 øyne f.eks. forårsaket av blødning (ofte ensidig eksoftalmus). Observasjon av enkeltfisker med mørkere farge kan være et tegn på blindhet.



Fig. 3.2.12-1. Utstående øyer (*Exophthalmus*) hos ørretyngel. Foto: James F. Turnbull

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 linsens 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 en potensiell fare (Noble mfl. 2012b; Pettem mfl. 2018). 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 brå 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). Remø mfl. (2017) sammenlignet kataraktogenese hos både regnbueørret og atlantisk laks oppdrettet ved to temperaturer (13 °C og 19 °C) i sjøvann. Kataraktutbredelse ved slutten av studien var nesten 100% i atlantisk laks og ~ 50% i ørret, uavhengig av vanntemperatur. Kataraktens alvorlighetsgrad var også tre ganger større hos laks sammenlignet med ørret (Remø mfl. 2017). Metabolismeprofilen viste forskjeller i metabolismen og sammensetningen av linsen mellom de to artene, noe som potensielt kan forklarte de observerte forskjellene (Remø mfl. 2017).

Tabell 3.2.12-2. Øyeskade, årsaker og risikofaktorer

Øyeskade	Risiko-faktorer	Effekter på velferd	Redusere risiko ved å	Referanser
Mekanisk-skade	Håndtering Håving Pumping Sortering	Antatt smertefullt. Sekundære infeksjoner. Kan miste synet.	Vakuumpumpe i stedet for manuell håving. Individuell håving. Optimalisere utstyr til håndtering.	Noble mfl. (2012b) Pettersen mfl. (2014) Gismervik mfl. (2016) Chervova (1997) Sneddon (2009)
Utstående øyne (Eksoftalmus)	Mikro-organismer Kardio-vaskulære eller osmo-regulatoriske problemer Trauma Gassblære syke Super-overmetning Generell sykdom	Avhengig av årsak, men er et tydelig tegn på kompromittert velferd. Risiko for synstap og videre skade.	Avhengig av årsak	Poppe (1999) Noble mfl. (2012b) Pettersen mfl. (2014)
Punkterte øyne	Fôrrutiner Lysforhold	Antatt smertefullt. Sekundære infeksjoner. Tap av syn	Unngå å skape skyggeforhold/ujevn belysning i kar. Optimal fôring.	Noble mfl. (2012b) Sneddon (2003)
Øyeikter	Diplostomum spp. Pre-smolt i FV spiser i infisert vann.	Blindhet på grunn av iktestær (katarakt)		Poppe (1999)
Indirekte blødninger	<i>Parvicapsula pseudobranchicola</i> , en børstemark (uidentifisert) er hovedvert, fisk er mellomvert.	Påvirker pseudobranchiene, medfører redusert O ₂ tilførsel til øynene som kan gi øyblødninger.	Unngå parvicapsulosis	Pettersen mfl. (2014) Hjeltnes mfl. (2016)
Skader fra irritantier	Vannkvalitet Kjemiske stoffer Termiske Toksiske UV-lys	Smerte og nedsatt syn.	Avhengig av årsak, bla. unngå overdosering av legemidler.	Hofer og Gatumu (1994) Pettersen mfl. (2014)

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 akvakultur produksjon (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 tidligste livsstadiene. For eksempel har mangel på askorbinsyre ført til forkortede gjellelokk (Halver mfl. 1969), og en diett som mangler fosfor kan føre til unormalt myke gjellelokk hos yngel av regnbueørret (Deschamps mfl. 2016). 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. En annen hypotese er at gjellelokkene opplever traumatiske skader under meget konkurrerende fôring. I konkurransen om mat tvinger en fisk som får en pellet overflødig vann gjennom de åpne gjellelokkene før den svelger pelleten. Dette gjør gjellelokkene kolliderer med andre fisker som svømmer raskt mot fôrpellets med åpne munn. Diagnostiske observasjoner har vist traumatiske skader på kanten av gjellelokk, men det er ingen empiriske bevis som støtter denne hypotesen.

Gjellelokkmisdannelser kan føre til redusert evne til å pumpe vann over gjellene og øke mottakelighet og sårbarhet for fisk som oppholder seg i miljø med forringet vannkvalitet og oksygenfattige forhold (Ferguson og Speare, 2006). For å opprettholde tilstrekkelig gjennomstrømming over 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). Det er ikke klart om skaden på gjellene er et resultat av kontakt med ytre strukturer eller unormale strømningsmønstre over gjellene. Skade på gjellelokkene er blitt assosiert med økt dødelighet, mottakelighet for sykdommer og redusert dyrevelferd (Eriksen mfl. 2007). Det har 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), selv om årsaken til denne sammenhengen ikke er klar. Gjellelokkerosjon har også blitt brukt som en OVI i en tidligere studie på regnbueørret og hvit-flekket røye i blandingsoppdrett (Noble mfl. 2012b).



Figur. 3.2.13-1. En ørrettyngel med forkortet gjellelokk. Foto: Chris Noble.

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. Bråe endringer i frekvens kan være en indikator at velferden er kompromittert. Selv om tilstedeværelse eller fravær av disse OVI-ene kan brukes som et tidlig varslingsystem for velferdstrusler, så sier de ingenting om alvorlighetsgraden 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 fôring. Mange ulike skårssystemer 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 skårssystem (Fig. 3.2.13-2) som kan brukes av oppdrettere, fiskehelsepersonell og forskere for å unngå dette problemet.

Denne håndboken foreslår et samlet skåringsystem (tabell 3.2.13-2-1, 3.2.13-2-2 og 3.2.13-2-3) som først og fremst er rettet mot oppdrettere for å hjelpe dem med å vurdere velferd og raskt oppdage potensielle velferdsproblemer ute på anlegget. Det er en sammenslåing av skadeskåringsskjemaene

som er brukt i Salmon Welfare Index Model (SWIM) (Stien mfl. 2013), skadeskåringsskjemaet utviklet av Norsk veterinærinstitutt (NVI) (Grøntvedt mfl. 2015; Gismervik mfl. 2016), og også fra andre skjemaer utviklet av J. F. Turnbull (University of Stirling) og J. Kolarevic og C. Noble (Nofima).

En foreslår i ørretboka å standardisere poengsum for 13 forskjellige indikatorer til et 0-3 skåringssystem:

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

Vi har først og fremst brukt bilder fra laksehåndboken i følgende skåringssystem, ettersom forholdene de beskriver er like anvendelige for regnbueørret.

Bilder som brukes i systemet representerer eksempler på hver poengkategori. Vi foreslår at rygg-, hale- og brystfinner er de viktigste finnene for å overvåke for finnskader. Et omfattende system for klassifisering av vertebrale deformiteter, lignende det som eksisterer i human medisin, er ennå ikke utviklet for regnbueørret, og vi foreslår derfor et forenklet skåringssystem som ligner det som brukes i RSPCA velferdsstandards for oppdrettsatlantisk laks (RSPCA 2018a).

Kataraktskader klassifiseres ved bruk av et eksisterende og mye brukte 0-4 skåringskjema (Wall og Bjerkås 1999), se Fig. 3.2.13-3. Skåringsmetoden registrerer kataraktområdet i forhold til hele linseflaten. En kan raskt vurdere et stort antall fisk med minimalt utstyr for å få et inntrykk av alvorlighetsgraden av problemet. Hvis mulig, bør et valgt antall fisk inspiseres under mørklagte forhold (også med bedre utstyr) for å gi en viss indikasjon på posisjon, type, utvikling og etiologi. Man registrerer imidlertid ikke tettheten til grå stær som kan være viktig og bør merkes separat (T. Wall pers. kom.).

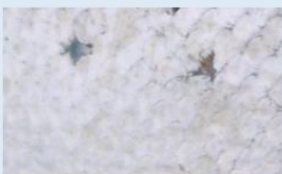
Styrke til indikatoren

Ytre skader er gode indikatorer på trusler mot fiskevelferden (Noble mfl. 2012). 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 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	 Små blødninger / fargeendringer, ofte buk	 Et større område med blødninger, ofte og skjelltap	 Alvorlige blødninger ofte med betydelig skjelltap, sår og ødemer i hud
Sår ^{1,2}	 Ett lite (inntil kronestykke stort) sår ¹ , ikke ned til muskel	 Flere små sår	 Store, alvorlige sår, ofte blottlagt muskel ($\geq$ kronestykke stort)
Skjelltap	 Tap av enkelte skjell	 Skjelltap i små (inntil kronestykke store) felter og $< 10\%$ av fi sken	 Skjelltap i større felter ($\geq 10\%$ av fisken har skjelltap)
Øyeblikning	 Mindre blødninger	 Større blødninger eller traumatisk skade	 Store blødninger/ traume. Kan ha «punktert» øye
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne

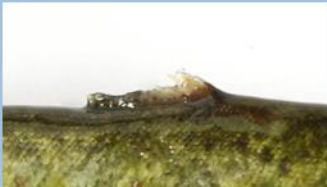
¹ For yngel vil «lite sår» være inntil 1 cm

² NB! Sår som perforerer inn til bukhulen vil uavhengig av størrelse betegnes som alvorlig og gis skår 3

Tabell 3.2.13-2-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. Kan omfatte hele hodet
Ryggradsdeformiteter	 Tegn til deformert ryggrad	 Tydelig ryggradsdeformitet (f.eks korthale)	 Ekstreme deformiteter
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 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	 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 klassifisering av katarakt hos laksefisk. 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 (f.eks. Roberts og Rodger 2012; Pettersen mfl. 2014). Tarmen er en viktig inngangsdør for patogener og kan bli utsatt for betennelser og blødninger fra smittestoffer (Poppe 1999; Lumsden 2006). Også ernæringsmessige ingredienser som ørrettarmen ikke er tilpasset, for eksempel soya, kan føre til betennelse i tarmen (Blaufuss mfl. 2019). 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). Regnbueørret lider av en tilstand kjent som «Rainbow Trout Gastro Enteritis», som oppfører seg som en smittsom tilstand. Denne er mest utbredt i produksjonssystemer med høy intensitet (Del-Pozo mfl. 2010). Mange sykdommer kan påvirke de andre mageorganene, og forårsake en rekke unormale tilstander i påvirkede organer. Observasjoner av intern abnormitet hos mer enn ett individ bør følges opp av en grundig diagnostisk undersøkelse.

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 nyttige. 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 mfl. 2008).

Styrke til indikatoren

Observasjon av grove avvik er en rask og avgjørende påvisning av en sykdomstilstand som vanligvis vil ha en negativ effekt på velferden. Histopatologi med andre informasjonskilder er ofte nødvendig for å oppnå en definitiv diagnose.

Svakhet til indikatoren

Indre organer gir lettest og best informasjon på fersk avlivet fisk, noe som betyr at fisken må avlives før undersøkelse.

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 foreligger ingen krav til å vaksinere regnbueørret.

I Norge benyttes hovedsakelig oljebaserte multivalente vaksiner til vaksinering av laks og regnbueørret, vaksine som injiseres i fiskens bukhule (Brudeseth mfl. 2013). 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 vaksinene 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 adjuvantene 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 vaksintypene på markedet kan være forskjellige i henhold til effekter og bivirkninger. 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 vaksinasjonsteknikk, vanntemperatur (Sommerset mfl. 2005; Berg mfl. 2006; Raida og Buchmann 2008), fiskestørrelse (Berg mfl. 2006), hygiene (Olsen mfl. 2006), helsetilstand og individuelle forskjeller i responsen til fisken på vaksinen (Midtlyng og Lillehaug 1998). Noen av referansene ovenfor er for atlantisk laks, men disse effektene kan også være aktuelle for regnbueørret.

Omfanget av vaksinering, 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 (se tabell 3.2.15-1 og figur 3.2.15-2). 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. Eksempel på potensielle alvorlige bivirkninger av vaksinasjon og deres implikasjoner blir presentert og diskutert i Villumsen mfl. (2015) for regnbueørret og Poppe og Breck (1997) for atlantisk laks. I tillegg til de synlige endringene i fiskens bukhule kan bivirkningene av vaksinasjon omfatte: redusert appetitt (Rønsholdt og McLean 1999; Vendrell mfl. 1999), redusert vekst (Rønsholdt og McLean 1999), spinale deformiteter (Ellis mfl. 1997). 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 jakten på alternative hjelpestoff (adjuvanter) (Villumsen mfl. 2017), samt optimalisering av vaksinerutinene.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Graden av vaksinebivirkninger i individuelle fisk evalueres ofte i henhold til "Speilberg-skalen" (Midtlyng mfl. 1996), se tabell 3.2.15-1 og figur 3.2.15-2. Speilbergskalaen er mye brukt som velferdsindikator i norsk Atlantisk laks akvakultur. Skalaen ble opprinnelig utviklet for atlantisk laks, men har også blitt brukt i studier på regnbueørret (Holten-Andersen mfl. 2012; Chettri mfl. 2015). Skalaen er basert på en visuell vurdering av omfanget og plasseringen av de patologiske endringene i bukhalen 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 vaksintyper 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 bukhalen og alvorlighetsgrad av lesjoner.

Skår	Visuelt inntrykk av bukhalen	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 sløying	Ingen eller liten grad av opasitet (ugjennomsiktighet) av bukhinne etter sløying
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying	Bare opasitet av bukhinnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremre deler av bukhalen, kan involvere sammenvoksning av blindsekker, lever eller magesekk til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying	Mindre men synlige lesjoner etter sløying, som kan fjernes manuelt
4	Store sammenvoksninger med granulomer, omfattende sammenvokste indre organer, som fremstår som en enhet. Sannsynligst dette blir lagt merke til av ufaglærte under sløying	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle organ i bukhalen. I store områder er bukhinnen fortykket og ugjennomsiktig. Fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer	Etterlater synlige skader etter sløying 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 sløying



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 bukhulen, 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 bukhulen. I store områder er bukhinnen 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 3.2.15-2. Speilberg skala 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. Skalaen ble opprinnelig utviklet for atlantisk laks, men har også blitt brukt i studier på regnbueørret (f.eks. Holten-Andersen mfl. 2012; Chettri mfl. 2015).

3.2.16 Plasmakortisol

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 mal adaptiv 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 stressresponser. 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 (Chandaroo mfl. 2004a, b; Rose 2002; Sneddon 2006). Kestin (1994) var en av de første som brukte hormonstressresponser 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 kortisolvåne 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). Laksefisk regulerer plasmakortisol innenfor snevre grenser, og viser en daglig rytme i forhold til sine hvilenivåer av plasma kortisol (ustresset fisk) (Ebbesson mfl. 2008; Bry, 1982). Derfor gir en enkelt kortisolmåling lite om noen informasjon om fiskevelferd, med mindre det er knyttet til annen informasjon. Videre har forsøk vist at normale hvilenivå av plasmakortisol i fisk kan være så lave som 13,8 nM, mens fisk med en kronisk aktivert stressrespons kan ha et hvilenivå > 27,5 nM (Bury mfl. 2007; Choi mfl. 2015; Khansari mfl. 2019; Merkin mfl. 2010; Taylor mfl. 2007).

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. 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.

		Vannprøver Dynamisk (Gjennom- strømming)		
	Slim og skjell		Feces prøver	Urin prøver
Grad av håndtering	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
Prøvetakning	Enkle, men standardprotokoller som ennå ikke er utviklet	Enkle, publiserte metoder tilgjengelige	Forsinket prøvetaking kan gi utvasking	Enkle, men standardprotokoller er ennå ikke utviklet
Forventet konsentrasjon av kortisol i forhold til plasma	Lavere	Mye lavere	Lavere	Likt
Metoden passer for:	Individ	Populasjon	Individ	Individ
Metabolitten av kortisol	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
Tolkning av konsentrasjon i prøven	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 regnbueørret bytter mellom hypo- og hyperosmotisk miljø i løpet av migrasjon fra fersk- til sjøvann og tilbake (McCormick 2013). Tabell 3.2.17-1 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). Taylor mfl. (2007), rapporterte at osmolalitet for regnbueørret i ferskvann var omtrent 320 mOsm/kg i både diploid- og triploidfisk. For sjøvannstilpasset regnbueørret varierte osmolalitet fra 320 til 370 mOsm/kg når de ble utsatt for sjøvann (over 420 mOsm/kg er ansett dødelig grense hos regnbueørret, Alexis mfl. 1984). Liebert og Schreck (2006) viste at i osmolalitet i ørret holdt i ferskvann var 250-280 mOsm/kg og 300-350 mOsm/kg i sjøvann. Regnbueørret kan bruke opptil 1 - 2 uker på å «normalisere» osmolalitet (320 - 340 mOsm/kg) etter overgangen fra ferskvann til sjøvann (Liebert og Schreck 2006; Taylor mfl. 2006, 2007). Finstad mfl. (1988) viste også at lave sjøvannstemperaturer kan påvirke osmoregulering i regnbueørret, og det bør utvises forsiktighet når man overfører regnbueørret til sjø om høsten.

Frigivelsen av kortisol i blodet er en primær stressrespons hos fisk. 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 ionesammensetningen kan derfor være nyttige indikatorer i vurderingen av effektiviteten i gjeller, tarm og nyrer for å opprettholde en hydromineralbalanse både i ferskvann og sjøvann (Mommsen mfl. 1999; Wendelaar Bonga 1997). Tidligere studier har vist at plasma osmolalitet og ione konsentrasjonen 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; Liebert og Schreck 2006). 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 eller osmolaritet til nærmeste mOsm/kg eller mOsm/L. 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 (Sopinka mfl. 2016), og tilgjengeligheten av kommersielle laboratorier gjør målingen av 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, langtids eksponeringer fordi de er kontekstspesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (McDonald og Milligan 1997; Sopinka mfl. 2016). I tillegg kreves det både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå plasma for analyser.

3.2.18 Ionesammensetting

Transformasjonen hos laksefisk (eksempelvis regnbueørret), innebærer en forandring fra være en ferskvannslevende yngel til en sjøvannstilvendt fisk. Dette omfatter en rekke morfologiske, fysiologiske, biokjemiske og atferdsmessige endringer (f.eks. Morro mfl. 2019).

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 regnbueørret henholdsvis mellom 140 til 155 mmol/L og 111 til 135 mmol/L (Liebert og Schreck 2006). I sjøvann øker ioneinnholdet, og varierer mellom 150-160 (Na^+) og 130-140 (Cl^-) mmol/L (Liebert og Schreck 2006). Regnbueørret ser også ut til å ta lengre tid (opptil 1-2 uker) for å stabilisere ionisk sammensetning innenfor normalområdet under overgangen fra ferskvann til sjøvann (Liebert og Schreck 2006).

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^{2+} , Ca^{2+} og SO_4^{2-} fra kroppsvæskene under denne prosessen (Redding og Schreck 1983). Plasma magnesium (Mg^{2+}) opptak og utskillelse skjer via tarm og nyre (Redding og Schreck 1983). I de fleste tilfeller overstiger ikke den totale magnesiumkonsentrasjoner i blodplasma hos regnbueørret 2 mmol/L og den ione konsentrasjon er normalt mindre enn 1 mmol/L uavhengig av saltholdigheten (Liebert og Schreck 2006). Endringer i magnesiumbalansen er en god indikator på akutt stress (Liebert og Schreck 2006), og eksperimenter har vist at det er en høy sammenheng mellom økt plasmamagnesium og dødelighet etter at fisk er utsatt for stressorer (Iversen og Eliassen 2009; Iversen mfl. 2009; Iversen og Eliassen 2014; Liebert og Schreck 2006; Stewart mfl. 2016)

Prøvetaking og analytiske betraktninger for plasmaklorid (Cl^-), plasmanatrium (Na^+) og plasmamagnesium (Mg^{2+})

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. Kommerielle laboratorier måler dette rutinemessig ved hjelp av analytatorer for et gebyr (Sopinka mfl. 2016). Analyse av plasma magnesium utføres ved hjelp av kommersielle kolorimetrisk analyser i plasma eller ved hjelp av et atomabsorpsjonsinstrument, som måler magnesium til nærmeste mmol/L (mM). Plasmanatrium, plasmaklorid og plasmamagnesium analyse er derfor LABVI-er.

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 (Sopinka mfl. 2016).

Svakhet til indikatoren

Disse indikatorene er nyttige indikatorer på akutt stress, men er ofte vanskelig å tolke i sammenheng med kroniske langtidseksponeringer fordi de er kontekstspesifikke og påvirket av flere interne og eksterne faktorer (McDonald og Milligan 1997; Sopinka mfl. 2016). I tillegg kreves det både fangst, anestesi og blodprøvetaking for å oppnå plasma til bruk for analyser.

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; Edwards og Marshall 2013).

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

3.2.19 Glukose

Økninger i plasmakortisol stimulere glykogenolysen, det vil 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 hos 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 sammen trenging 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 det høyere nivået av leverglykogen (Olsen mfl. 2003). Tilsvarende resultater er funnet i regnbueørret (Olsen mfl. 2005). Pre-stress nivåer av plasmaglukose kan være høyere i fôret (5,5-6 mmol/L) enn sultet (1,5-2 mmol/L) regnbueørret i enkelte studier (Farbridge og Leatherland 1992), men ikke i andre (Olsen mfl. 2005). Ørret gitt fôr med en høy karbohydratdiett hadde høyere glukosenivå i plasma (11 mmol/L) enn ørret fôret med en lav karbohydratdiett (3 mmol/L), mens glukosenivået var mindre påvirket av kostholds sammensetningen hos laks (Krogdahl mfl. 2004). Plasmaglukosenivåene kan øke til 8.3 mmol/L (150 mg/100 ml) under eksponering for en stressor (Pottinger og Carrick 1999), og variere mellom 2.8 – 8.3 mmol/L (50-150 mg/100 ml) etter 3 til 9 dager sulting (Bermejo-Poza mfl. 2017).

Økte nivåer av plasmaglukose kan brukes som et mål på akutt stress, men nivåene bør sammenlignes med ustresst fisk i stedet for noen «standard stressnivåer», da plasmaglukose også er avhengig av å ernæringsstatus, diett sammensetning og andre faktorer (Tabell 3.2.19-1).

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

Livsstadium	Fôringsstatus	Behandling (stressor)	Glukose (mmol/L)	Referanse
130 g	Fôret	Pre-stress	5,8	Farbridge og Leatherland 1992
130 g	Sultet	Pre-stress	1,7	Farbridge og Leatherland 1992
Ferskvann, 570 g	Fôret	Pre-stress	5	Krogdahl mfl. 2004
Ferskvann, 570 g	Lav karbo			
Ferskvann, 570 g	Fôret	Pre-stress	11	Krogdahl mfl. 2004
100 g	Høy karbo			
		«Forstyrrelse x3»	5,6	Barton og Schreck 1987
Ferskvann, 360g	Fôret	Sammentrenging og jaging for 15 min	0,8	Olsen mfl. 2005
Ferskvann, 360g	Sultet	Sammentrenging og jaging for 15 min	0,6	Olsen mfl. 2005
130g	Fôret	5 min jaging	7,2	Farbridge og Leatherland 1992
130g	Sultet	5 min jaging	4,4	Farbridge og Leatherland 1992
Ferskvann, 400g	Fôret	3 t sammentrenging i 50L kar	8,9	Pottinger og Carrick 1999

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 cellemetabolisme. Imidlertid kan laktat også produseres under aerobe forhold (f.eks. Brooks 2018). 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. En typisk økning i laktat etter en stressende hendelse inntreffer en til to timer etter hendelsen, og i de fleste tilfeller vil dyret komme seg etter 6-12 timer (Liebert og Schreck 2006). Toppen av plasmalaktat under vanlige stressfaktorer som overgangen til sjøvann, transport, håndtering og sulting, varierer fra 2 til 20 mmol/l (Olsen mfl. 2005; Liebert og Schreck 2006; López-Luna mfl. 2013; Shabani mfl. 2016). Dette er ikke høye nivåer i forhold til nivåer målt (> 20 mmol/l) etter hard fysisk aktivitet og lufteksposering i flere arter laksefisk (Liebert og Schreck 2006; Olsen mfl. 1995; Pagnotta og Milligan 1991; Schreck mfl. 1976; Wood mfl. 1990). Laktat er først og fremst en indikasjon på høy muskelaktivitet, som ofte er knyttet til stress.

Tabell 3.2.20-1. Forskningsbaserte eksempler på plasmalaktatnivåer i regnbueørret etter ulike fôringsregimer, og før og etter ulike stressbehandlinger. Merk at de fleste glukoseverdier er blitt hentet fra grafer og dermed ikke er nøyaktige. Noen verdier blir konvertert fra andre enheter.

Livsstadium	Fôrings-status	Behandling (stressor)	Plasma laktat (mmol/L)	Referanse
Ferskvann, 150-350g	Sultet	Pre-stress	0,83	Milligan og Girard 1993
Ferskvann, 360g	Fôret	Pre-stress	0,3	Olsen mfl. 2005
Ferskvann, 360g	Sultet	Pre-stress	0,3	Olsen mfl. 2005
100g	Fôret	Pre-stress	2,4	Barton og Schreck 1987
Ferskvann, 360g	Fôret	Trenging og jaging i 15 min	1,8	Olsen mfl. 2005
Ferskvann, 360g	Sultet	Trenging og jaging i 15 min	2,6	Olsen mfl. 2005
Ferskvann, 150-350g	Sultet	5 min jaging	16,5	Milligan og Girard, 1993
Ferskvann, 150-350g	Sultet	Pre-stress	0,83	Milligan og Girard, 1993
Ferskvann, 93 ± 7g	Sultet	Pre-stress	ca. 1,7-1,9	López-Patiño mfl. 2014
Ferskvann, 93 ± 7g	Sultet	15-45 min etter håndteringsstress	ca. 3,5-4,5	López-Patiño mfl. 2014
Ferskvann, 332 ± 34g	Sultet	3-9 dager sulting	ca. 1,8-3,6	Bermejo-Poza mfl. 2017
Ferskvann, 215 ± 22.6g	Sultet	Sulting før slakt	13-20	López-Luna mfl. 2013
Sjøvann ca. 60g	Fôret	Nylig overført til sjøvann (25‰)	ca. 5,5-9,0	Liebert og Schreck, 2006
Sjøvann 400-1000g	Sultet	Hvile ca. 7% U _{crit}	0,62	Thorarensen mfl. 1996
Sjøvann 400-1000g	Sultet for > 24t	Kritisk svømmetest ca. 98% U _{crit}	1,95	Thorarensen mfl. 1996

Prøvetaking og analytiske betraktninger angående glukose og laktat.

Glukose og laktat kan måles gjennom kolorimetriske analyser i plasma eller vevshomogenater (Sopinka mfl. 2016). Laktat og glukose kan også bli målt i helblod ved hjelp av bærbare målere beregnet for diabetikere eller for atletisk trening (Sopinka mfl. 2016). 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 klassifiserte som OVI-er snarere enn LABVI-er.

Styrke til indikatoren

Metabolitter er meget nyttige for å vurdere den akutte responsen på spesifikke belastninger (Barton mfl. 2002; Sopinka mfl. 2016), 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.

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 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 dette omformeringen av glykogen til melkesyre som produserer nytt ATP, og til slutt stopper produksjonen fullstendig opp (Robb 2001). Rigor mortis prosessen starter når ATP-nivået når et minimum (Robb 2001). Det er første kontraktile fase, som karakteriseres ved at muskelfibrene kontraherer. Deretter inntreffer andre fase hvor stivhet oppstår ved en permanent binding av de kontraktile proteiner myosin og aktin (Tornberg mfl. 2000; Kiessling mfl. 2006). I full rigor mortis har nesten alle myosin hodene dannet kryssbroer 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 slaktingsprosessen. Både langsiktig sulting og stress under trenging og pumping er rapportert som å føre til en reduksjon i muskelglykogennivåene i regnbueørret og laks (Mørkøre mfl. 2008; Merkin mfl. 2010). Fisk utsatt for en stressrelatert situasjon vil svare med en kamp eller fluktreaksjon, 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. Hvis stressresponsen skjer umiddelbart før slaktingen vil de anaerobe forholdene dominere, som en følge av at sirkulasjonen ikke lenger virker (Stien mfl. 2005). Rigor prosessen hos stresset laksefisk vil derfor bli iverksatt fra en annen metabolsk tilstand i muskelen, og vil utvikle seg raskere enn i ustresst laksefisk (Stien mfl. 2005; Mørkøre mfl. 2008; Merkin mfl. 2010).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Rigor Index (Bito mfl. 1983) er en enkel måte å overvåke rigor utvikling 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 blir 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 muskelen sin 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. Utvikling av rigor kan overvåkes ved hjelp av kostnadseffektive metoder som rigor Index, muskel hardhet, filet krymping, eller ved å ganske enkelt manuelt vurdere stivheten til 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 kunne få et korrekt nullpunkt (Kristoffersen mfl. 2006). Dette er også en stor svakhet med å bruke muskel-pH etter slakting. En anbefaler derfor ikke å bruke muskel-pH som alenestående VI.

3.2.22 Slim

Slim er et biokjemisk grensesnitt mellom fisken og det omkringliggende vannet (Castro og Tafalla 2015). Det dekker alle overflater av fisken som er i kontakt med det ytre miljøet eller i kontakt med gjenstander fra det ytre miljøet. Dette er 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 mikroanatomisknivået: en organisert epitelflate med støttende stromale vev eller lamina propria («spesieltlag»), et vaskulært nettverk, muskulatur og stedegne immunceller (Peterson 2015).

Slim produseres hovedsakelig av gobletceller, selv om også andre sekretoriske og ikke-sekretoriske celler også kan bidra til produksjonen. Gobletcelleene produserer slimete granulater som frigjør innholdet på celleoverflaten i epitelet (Elliott 2011). Slimproduksjonshastigheten er avhengig av sammensetningen og overflaten av de epidermale slimete cellene, og videre 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 to viktigste komponentene som er viktige for gel dannelse, 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 kunne 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 (Fast mfl. 2002b; Castro og Tafalla 2015).

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 slim en viktig del av det medfødte immunsystemet (Sveen mfl. 2016).

En komparativ studie av hudmorfologi og ikke-spesifikke forsvarsparametre i slim hos regnbueørret, coho og atlantisk laks viser at det er betydelige forskjeller mellom de tre artene som kan forandres med miljøet de blir utsatt for (Fast mfl. 2002b). Fast mfl. (2002b) rapporterte at regnbueørret hadde en betydelig tykkere epidermis, og høyere tetthet av slimceller enn coho-laks og atlantisk laks. Slimviskositeten kan også bli betydelig høyere i sjøvann enn i ferskvann (Roberts og Powell 2005).

En analyse av sammensetningen av epidermal slimproteiner hos regnbueørret som var infisert med lakselus, viste økt lysozyme aktivitet (Fast mfl. 2002b). Infestasjoner med *Caligus rogercresseyi* (en lus som påvirker lakseoppdrett i Chile, González og Carvajal 2003), økte antall slimproduserende celler i gjellene og overhuden i regnbueørret (Rojas mfl. 2018). En annen ektoparasitt, *Neoparamoeba perurans* som forårsaker amøbisk gjellesykdom (AGD), har vist seg å initiere lokal gjellerespons, men ser ikke ut til å påvirke resten av kroppen til ørreten (Roberts og Powell 2005).

Ernæringsstress og sulting har vist seg å påvirke overflaten av epidermale slimceller, og videre kvaliteten og mengden av muciner (Heming og Paleczny 1987). I tillegg har næringsmiddelkomponenter blitt vist å kunne endre proteomet i slimlaget i regnbueørret (f.eks. Hoseinifar mfl. 2015; Shakoori mfl. 2019). Tilsvarende har stressorer som transport vist seg å kunne øke epidermal slimproduksjon og hemme mikrobielt genuttrykk hos ørret (Tacchi mfl. 2015).

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 (De Mercado mfl. 2018; Easy og Ross 2009, 2010; O'Byrne-Ring mfl. 2003; Pittman mfl. 2013; Provan mfl. 2013; Sanahuja og Ibarz 2015; Valdenargo-Vega mfl. 2014; Vatsos mfl. 2010). Noen av metodene er ikke-invasive og konsentrerer seg hovedsakelig om sammensetningen av slimet (De Mercado mfl. 2018; Easy og Ross 2009, 2010; Sanahuja og Ibarz 2015; Valdenargo-Vega mfl. 2014). Andre metoder 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 innsikt i etablering av årsak og virkning knyttet til fiskeslim og dens implikasjoner for fiskehelsen (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 er foreløpig kun tilgjengelig for forskningsformål (TECOmedical AG 2016).

Siden sliminnholdet og antallet slimhinneceller er avhengig av fysiologisk status, 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 sammenligner 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 av eksternt laboratorium og ekspertise, er det for tiden en marginal LABVI. Ettersom vitenskapen utvikler og forbedrer seg, så kan slimanalyse bli en svært verdifull LABVI eller OVI i framtida.

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 til 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 (De Mercado mfl. 2018; Perez-Sanchez mfl. 2017).

Svakhet til indikatoren

Analysen av slimlaget må for tiden 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 kunne 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 fisken sin 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. Når det gjelder regnbueørret, viste en gjennomgang av vitenskapelig litteratur at robuste data på effekten av vannkvalitet på fiskevelferd hos ørret mangler for normale oppdrettsforhold (MacIntyre mfl. 2008). MacIntyre mfl. (2008) konkluderte med at grenser for vannkvalitet hos ørret kan bli introdusert for noen parametere, men disse må mer anses som anbefalinger enn klare grenser. Standardiserte protokoller for måling av vannkvalitet må utvikles. I denne boken er det et fokus på miljøbasert VI-er som er operative, godt utprøvde og generelle. Disse VI-ene 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 regnbueørret. OS og RP = Oppdrettssystemer og oppdrettspraksis.

Velferdsindikator		Behov	Miljø			Helse			Atferd				Resurser		
			Respirasjon	Osmotiskbalanse	Termisk reg.	God vannkval.	Kroppspeile	Hygiene	Beskyttelse	Atferdsrestriksj.	Sosialkontakt	Hvile	Utforskning	Seksuell atferd	Spising
Vannkvalitet	Temperatur	x	x	x			x	x							
	Salinitet	x	x												
	Oksygen	x	x												
	CO ₂	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		x		x	x			
	Lys								x	x	x	x		x	
	Produksjonstetthet				x		x		x	x	x				

4.1 Vannkvalitetsbaserte velferdsindikatorer

4.1.1 Vanntemperatur

Fisk er vekselvarm, og deres fysiologiske og metabolske systemer må derfor være tilpasset det temperaturområdet de lever i. Imidlertid så viser forskning (f.eks. Kluger mfl. 1987; Boltaña mfl. 2013, Rey mfl. 2015) at fisk har kapasitet, og i noen tilfeller behov, for å kontrollere indre kroppstemperatur ved å velge varmere eller kjøligere vann. Atferdsmessige termoreguleringer er også påvist hos laksefisk (Oppedal mfl. 2011a). Temperaturen påvirker en rekke faktorer hos fisk sin fysiologi, og EFSA (2008a) oppgir at hoved effektene av ekstreme temperaturer er endringer i metabolsk rate, respirasjonsforstyrrelser, ubalanse i blod-pH, nedsatt evne til osmoregulering og redusert toleranse for håndtering. Standard atferdsmessige endringer i forhold til stress ved kritiske temperaturer er forbundet med tap av likevekt, panikkatferd med hyppige kollisjoner med karveggene, etterfulgt av roterende bevegelser med rask ventilering (Elliot og Elliot 1995; EFSA 2008a). Oksygen sin løselighet i vann reduseres med økt temperatur, og dette kan ytterligere forverre noen av de fysiologiske effektene.

Den foretrukne temperaturen for ørret varierer med ulike livsstadier, og ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C (Ihssen 1986). Kwain og McCauley (1978) rapporterte at de termiske preferansene til regnbueørret avtar med alderen. FAO (http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/no) anbefaler temperaturområdet 9-21 °C for ørretoppdrett, og videre anbefaler Jobling (1994) et temperaturområde mellom 16-18 °C for optimal vekst. Andre forfattere antyder at optimal temperatur for vekst er 13-19 °C under normale produksjonsforhold med preferanse for 16 °C (Schurmann mfl. 1991), som også er temperaturintervallet foretrukket av regnbueørret fra yngel til voksenstadiet (Coutant 1977). Alanärä (1996) rapporterte at ørret hadde optimal appetitt ved 15-16 °C. Ørret tåler en rask økning i temperaturen fra 14 °C til 19 °C, mens et tilsvarende fall fra 14 °C til 9 °C øker plasmakortisolnivåene (stressnivåene) (Wagner mfl. 1997). Kiessling mfl. (2007) oppgir at hurtig avkjøling av regnbueørret ned til 0.5 °C kan forårsake en alvorlig stressrespons, hvor magen fylles med vann, noe som igjen fører til høyere osmolalitet i plasma. EFSA (2008b) oppgir at på grunn av store forskjeller i akklimatisering og ulikt genetisk opphav på regnbueørreten er det ikke mulig å gi klare anbefalinger for effektene av raske temperaturendringer. I slutten av dette kapitlet forsøker vi å dekke og beskrive potensielle effekter av rask, kortsiktig økning i temperatur på fiskevelferd i forhold til varmtvannsbehandling av lus.

Egg: Regnbueørret er en naturlig vårgyter, og tåler litt høyere vanntemperatur enn laks. Egg kan produseres ved <15 °C, og høyere temperaturer øker risikoen for vevsskader og utviklingsforstyrrelser (EFSA 2008b og referanser deri). EFSA (2008b) antyder at en temperatur så lav som 0 °C ikke er skadelig for egg. RSPCA velferdsstandards for oppdrett av regnbueørret (RSPCA 2018b) anbefaler et temperaturområde fra 1-10 °C for egg og yngel. Poppe mfl. (2007) oppgir den optimale temperaturen for produksjon av egg til 10 °C, med et toleranseområde på 8-12 °C.

Yngel og «fingerlings»: har en foretrukket optimal temperatur på 7-13 °C (Woynarovich mfl. 2011), og RSPCA sin velferdsstandard for oppdrettsørret (RSPCA 2018b) anbefaler 1-12 °C for yngel.

Større fisk: i påvekstfasen har regnbueørret en foretrukket temperatur på rundt 16 °C innenfor et toleranseområde på 13-19 °C, under optimale produksjonsforhold (Schurmann mfl. 1991), selv om denne preferansen og området varierer under hypoksiske forhold. Temperaturer over 19 °C i sjø- eller brakkvann kan medføre til høy dødelighet (EFSA 2008b). Sutterlin og Stevens (1992) rapporterte at regnbueørret i merd med en gjennomsnittsvekt på ca. 1.9 kg, hadde en temperaturpreferanse for ca.

13 °C i området med lagdelt vannsjikte. RSPCAs velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret (RSPCA 2018b), anbefaler 1-16 °C for større fisk.

Varmtvannsbehandling: Badebehandlinger med varmt vann (29-34 °C), kan brukes til å avluse regnbueørret. Forskning indikerer at å utsette fisk for slike temperaturer kan forårsake smerter hos laksefisk. Ashley mfl. (2007), undersøkte effekten av kulde og varme på forskjellige typer nocieptorer (smertereseptorer) på hodet til yngel av regnbueørret. Nociseptorene reagerte ikke på kulde, men responderte på varme. En type reseptor (polymodal) viste en gjennomsnittlig varmeterskeltemperatur på ca. 29 °C (testområde 20-37 °C), og en annen type reseptor (mekanotermisk) viste en gjennomsnittlig varmeterskeltemperatur på 33 °C (testområde 22-40 °C). Slike terskelverdier for varmeaversjon er også rapportert hos gullfisk (Nordgreen mfl. 2009).

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

Temperaturområde (°C)				Referanser
Egg	9	-	14	Roberts og Sheperd 1974
	0	-	16	Jonsson og Finstad 1995
		<	15	EFSA 2008b
	8	-	12	Poppe mfl. 2007
	1	-	10	RSPCA 2018b
Yngel og «fingerlings»	7	-	13	Woynarovich mfl. 2011
	1	-	12	RSPCA 2018b
Større fisk	13	-	16	Schurmann mfl. 1991
	7	-	17	Sutterlin og Stevens 1992
	7	-	20	Woynarovich mfl. 2011
	16	-	18	Jobling 1994
		<	19	EFSA 2008b
	1	-	16	RSPCA 2018b

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. 2011), 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. 2011). 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 ørret. Andre VI-er påvirkes også, som oksygen, sykdom og parasitter.

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

Laksefisk er osmoregulatorer og holder relativt konstante blodionnivåer på rundt 250-300 mOsm, (ca. ~ 10 ppt) (McCormick mfl. 1989). Ørretyngel vokser opp i ferskvann, er hyperosmotisk og har et aktivt opptak av ioner og utskillelse av vann. Ved overføring til sjøvann endres dette og ørretene blir hypoosmotiske og må drikke vann og skille ut ioner. EFSA (2008b) mente at sjøvannstoleransen oppstår i regnbueørret når fisken er større enn 50g, og at fisk som overføres ved 70-100g har en god overlevelsesrate og er tilsynelatende i stand til å takle overføringen til sjø uten å gjennomgå en smoltifisering (se ellers kapittel 3.2.8. Sjøvannstilpassning).

Saltholdighet har også innvirkning på overlevelse av stamfisk, hvor man kan oppleve 100% dødelighet av en hannfisk når de oppdrettes i sjøvann (Albrektsen og Torrissen 1988). Forfatterne antyder at brakkvann (10-17 ‰) ga en optimal overlevelse for både stamfisk og egg (Albrektsen og Torrissen 1988).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Selv om det ser ut til at saltholdighet ikke har noen signifikant effekt på den voksne ørreten sin velferd, kan tilgang til brakkvann være til nytte ved forbedre overlevelsen av mindre fisk og for stamfisk (Albrektsen og Torrissen 1988). Fisk som er smittet med AGD og lakselus vil ha fordel av tilgang til brakkvann (Oldham mfl. 2016, atlantisk laks). Den beste måten å identifisere vannlag med brakkvann (og også dets dybde) er ved å bruke en CTD-sonde. Dette kan normalt gjøres fra båt, merd eller annen fast installasjon, da saltholdighetsprofilen er relativt stabil i området, og ikke vil variere fra merd til merd. En CTD-profil av dypet gir data med høy oppløsning av temperatur og saltholdighet, og dette gir en nøyaktig posisjon til eventuelle vannlag med varierende saltholdighet.

Styrke til indikatoren

Saltholdighet er lett å måle ved hjelp av CTD. Tilstedeværelsen av et lag med brakkvann kan være fordelaktig for fisken sin velferd.

Svakhet til indikatoren

Fravær av et lag med brakkvann betyr ikke nødvendigvis redusert velferd. Selv om det er et lag med brakkvann, kan dette laget ofte være så kjølig at ørreten unngår å oppholde seg der.

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 det metabolske spillerom («metabolic scope»). Når oksygenmetningen synker under et visst nivå (DO_{maxFI}), medfører dette også redusert appetitt og fôrinntak (Remen mfl. 2016). 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. 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.

En har ikke funnet detaljerte data om optimal oksygenkonsentrasjon (DO_{maxFI}) hos regnbueørret, som beskrevet for atlantisk laks (Remen mfl. 2016). Magnoni mfl. (2018), Glencross (2009) og Pedersen (1987) har imidlertid beskrevet effekten av oksygennivåer på appetitten hos ørret (se nedenfor). I tabell 4.1.3-1 beskrives den laveste oksygenmetning der aerob metabolisme kan opprettholdes (LOS) for en rekke fastede diploide og triploid ørretstørrelser (15-130g) og temperaturer (13-25 °C) (Shi mfl. 2018; se tabell 4.1.3.1 for ytterligere detaljer). Shi mfl. (2018) viste også at toleransen for lave oksygennivåer kan bli påvirket av fôring, og at deres data om oksygentoleranse for sultet ørret kan være lavere enn fôret fisk.

Tabell 4.1.3-1. Den begrensende oksygenmetningen (LOS) hos sultet diploid and triploid regnbueørret på ca. 15-130 g (LOS verdier i mg/L). Data gjengitt fra Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative Evaluation of Tolerant to Heating and Hypoxia of Three Kinds of Salmonids. *Journal of Ocean University of China* 17(6), 1465-1472. med tillatelse fra Springer Nature.

Tempe- ratur	LOS: diploid				LOS: triploid			
	Fiskestørrelse				Fiskestørrelse			
	16 g	40 g	79 g	131 g	16 g	39 g	79 g	130 g
13	4,7	4,4	4,2	3,2	41	3,9	3,6	3,1
17	5,0	5,1	4,9	3,8	4,3	4,2	4,0	3,4
21	5,4	5,3	5,2	4,5	4,8	4,7	4,2	3,6
25	5,9	5,6	5,3	4,8	5,0	4,8	4,5	4,0

Andre kilder for minimum oksygennivå som ikke gir negativ vekst hos regnbueørret varierer mellom 4 og 9 mg/L avhengig av studien (Davis 1975; Pedersen mfl. 1987; Ellis mfl. 2002 og referanser deri). RSPCA (2018b) anbefaler minimum > 70% metning ved 12 °C for yngel og ved 16 °C for voksen fisk, og videre anbefaler EFSA (2008b) at oksygennivået i utløpsvannet bør være over 5 mg/L. En undersøkelse av Pedersen (1987) viste at for 100g fisk ved 15 °C var det kritiske oksygennivået for fôrinntak 6 mg/L (60% O₂-metning), og fôringseffektivitet og veksthastighet falt betraktelig ved 7 mg/L (70% O₂-metning).

Å utsette regnbueørret for oksygenovermetning (130%) kan føre til lavere hematokrit og lavere antall røde blodlegemer, men påvirker ikke appetitt eller vekst, sammenlignet med ørret holdt på 100% eller 65% oksygenmetning (Caldwell og Hinshaw 1994). I midlertidig førte en oksygenovermetning på 150% til større dødeligheter ved eksponering av bakterien *Yersinia ruckeri* (rødmunnssyke), sammenlignet med fisk utsatt for tilsvarende bakteriekultur ved 100% og 70% O₂-metning (Caldwell og Hinshaw 1995).

Egg: Oksygenkravene til ørretegg er avhengig av ulike aspekter, inkludert egg størrelse, utviklingstrinn og temperatur. Det er kan derfor være vanskelig å gi generelle uttalelser om kravene for oksygentilførsel til egg hos laksefisk (Crisp 1996). Det er tidligere blitt rapportert at overlevelse av ørretegg er 100%, når oksygennivået er 7,1 - 7,8 mg/L med en vannhastighet > 95 cm/h (Crisp 1996 og referanser deri). Oksygennivåer som er for lave under inkubering kan medføre for tidlig klekking (Latham og Just 1989), lavere fødselsvekt og kan gi morfologiske endringer (Crisp mfl. 1996 og referanser deri), som igjen kan ha en negativ effekt på fiskens velferd senere i livet. RSPCA (2018b) anbefaler > 90% oksygenmetning i utløpsvann for egg og yngel.

Yngel: Detaljert data om LOS hos yngel og liten fisk ved forskjellige temperaturer er gitt i tabell 4.1.3-1. Så langt forfatterne er klar over er oksygenkonsentrasjonen hvor appetitten opprettholdes ved forskjellige temperaturer, ikke drastisk forskjellige hos større ørret i påvekstfasen (se nedenfor). For eksempel rapporterte Poulsen mfl. (2011) at regnbueørretyngel (ca. 12 g) holdt ved 17-19 °C tilbrakte betydelig mindre tid i vann med DO-metning ≤ 80%, når de fikk valget mellom denne metningen og vann med 100% metning. Fisk økte også svømmehastigheten betydelig når de var i vann med metning over 40% og oppholdt seg i langt mindre grad i vann med metning på 30% (Poulsen mfl. 2011). RSPCA velferdsstandarder for oppdrettsørret (RSPCA 2018b) anbefaler > 70% metning ved maksimalt 12 °C for yngel.

Større fisk/påvekstfasen: Den laveste oksygenmetning der aerob metabolisme kan opprettholdes (LOS) for sultet regnbueørret ved forskjellige temperaturer, er gitt i tabell 4.1.3-1. Magnoni mfl. (2018) rapporterte at en nedgang i oksygen-nivåer fra 7,9 til 4,5 mg/L hos 115 g ørret holdt ved 14 °C, medførte redusert fôropptak og veksthastighet. Videre viste Glencross (2009) at appetitten og vekstraten ble mer enn halvert hos 55 g regnbueørret ved 42% metning sammenlignet med ørret holdt på 87% metning. Tilsvarende viste Pedersen (1987) at for 100 g regnbueørret (15 °C) var det kritiske oksygennivået for opprettholdelse av appetitt på 6 mg/L (60% O₂ metning), og for optimal fôringseffektivitet og veksthastighet var grensen 7 mg/L (70% O₂-metning). Til sammenligning er den laveste oksygenmetning som ikke påvirker appetitten (DO_{maxFI}), og den laveste oksygenmetning der aerob metabolisme kan opprettholdes (LOS) for atlantisk laks post-smolt ved forskjellige temperaturer gitt i tabell 4.1.3-2. RSPCA velferdsstandarder for oppdrettsørret (RSPCA 2018b) anbefaler >70% metning ved maksimalt 16 °C for voksen ørret.

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

Tabell 4.1.3-2. Nedre grense for oksygenmetning med maksimalt fôrinntak (DO_{maxFI}), og begrensende oksygenmetning (LOS) for atlantisk post-smolt på 300-500 g. Data fra Remen mfl. 2016.

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 på lesiden av vannstrømmen, særlig når vannstrømhastigheten er på det laveste ved flo og fjære (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.

Det er for øyeblikket en viss debatt om verdien av å måle oppløste gasser ved deres partielle trykk i stedet for mg/L eller %-metning, men siden det er vanlig praksis ved oppdrettsanleggene å måle oksygen i mg/L eller %-metning, ønsker vi ikke ta denne debatten her. Dette kan eventuelt bli inkludert i fremtidige utgaver av ørretboka.

Styrke til indikatoren.

Oksygenmetning er enkelt og raskt å måle og å tolke etterfølgende.

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 (CO₂)

Høyt karbondioksidinnhold skjer hovedsakelig i ferskvannsfasen, hvor toksiske effekter av høye CO₂ har blitt observert i området 20-100 mg/l, avhengig av andre vannparametere og fisk sin egen metabolisme og størrelse (Rosten mfl. 2004). Det bør merkes at CO₂-konsentrasjonene i kar er langt høyere enn det som fisk normalt opplever i naturen, og er til og med høyere enn nivåene som er forutsagt av de mest pessimistiske klimaendringsmodellene (Ellis mfl. 2017). Når CO₂ oppløses i vann dannes det karbonsyre, og høye nivåer av CO₂ i vannet vil senke pH, særlig i vann med lav ledningsevne (alkalitet) (Fivelstad 2013). Blodkonsentrasjoner av CO₂ er sterkt korrelert med nivåene i vannet (Fivelstad 2013). Forhøyede blodkonsentrasjoner av CO₂ reduseres blodet sitt oksygenbærende evne (Wood og Jackson 1980). Ørret kan akklimatisere seg til forhøyede plasma CO₂-nivå ved å øke plasmakonsentrasjonen av bikarbonat, noe som fører til en redusert konsentrasjon av plasmaklorid (Fivelstad 2013).

Nivåene av CO₂ påvirker også andre vannkvalitetsparametere, og økt CO₂ vil medføre redusert pH som kan øke toksisiteten til aluminium. Selv om det man i oppdrett benevner som CO₂ i mg/L i vann, er det noen forbehold angående bruken av disse benevningene, da man må forholde seg til at karbondioksid endrer seg på en ikke-lineær måte påvirket av temperatur og saltholdighet (Ellis mfl. 2017).

Reaksjonen på CO₂ er svært varierende med tydelige intraspesifikke forskjeller innen en og samme art (Tucker mfl. 2019; Sadoul mfl. 2017). I midlertidig er tilgangen av informasjon begrenset for regnbueørret, og vi benyttet ekstrapolerte data fra annen laksefisk, i hovedsak atlantisk laks. Når det gjelder regnbueørret, har tidligere arbeid med ørret (260g) av Danley mfl. (2005), vist at CO₂-nivåer på ~ 34 mg/L og ~ 49 mg/L hadde en betydelig skadelig effekt på vekst og plasmakloridnivåer etter 12 ukers kronisk eksponering sammenlignet med fisk holdt ved ~ 22 mg/L CO₂. Andre undersøkelser har i midlertidig vist at regnbueørret (60g) holdt i RAS-anlegg ved CO₂-nivåer på ~8 mg/L eller ~ 24 mg/L i 6

måneder ikke opplevde noen signifikante endringer i vekst og overlevelse. Det ble ikke påvist noe utvikling av nephrocalcinosis hos noen av forsøksdyrene (Good mfl. 2010). Hafs mfl. (2012) rapporterte at CO₂-nivåer ~49 mg/L resulterte i lavere vekst hos ørret med 300-500g startvekt sammenlignet med fisk som ble oppdrettet ved ~ 30 mg/L og anbefalte at CO₂-nivåene bør være lavere enn 30 mg/L for regnbueørret. RSPCA (2018b) anbefaler at CO₂ -nivåene bør ligge lavere enn 10 mg/L for egg, yngel og voksen ørret.

Langvarig eksponering av atlantisk laks (uker og måneder) til forhøyede CO₂-nivåer, har vist negative effekter på vekst hos parr (Fivelstad mfl. 2007; Hosfeld mfl. 2008) og post-smolt (Fivelstad mfl. 1998). Smolt i ferskvann reagerer på høy CO₂ (~ 20 mg/L) ved økt ventilasjonsfrekvens (Fivelstad mfl. 1999). Dette har i senere studier blitt funnet å være forbigående ved kronisk høye eksponeringer, noe som tyder på akklimatisering til forhøyet CO₂ (Fivelstad mfl. 2003; Hosfeld mfl. 2008). Dette innebærer fysiologisk tilpasning og kortvarig innvirkning på oksygentilgjengelighet, men svelling av erytrocyttene kan være en mulig langsiktig effekt (måneder) av forhøyet CO₂ (Fivelstad mfl. 2003). For post-smolt holdt i sjøvann ved 15 til 16°C vil en CO₂-konsentrasjon på 10,6 mg/L ikke påvirke blodparameterene (hematokrit, plasma-klorid og natrium-plasma) eller vekst. En CO₂-konsentrasjon på 26 mg/L reduserte dette plasmaklorid, og 44 mg/L økte plasmanatrium og pH, og reduserte plasmaklorid, oksygenforbruk og vekst (Fivelstad mfl. 1998). Karbondioksidet sin toksisitet er avhengig av andre faktorer, særlig vanns ledningsevne (alkaliteten) (Summerfelt mfl. 2000), og generelt trygge nivåer er derfor vanskelig å angi.

Anbefalte maksimale nivåer av CO₂ for regnbueørret:

- <10 mg/L (Wedemeyer 1996; RSPCA 2018b).
- <30 mg/L (Hafs mfl. 2012).
- Good mfl. (2010) fant ingen forskjeller i vekst og overlevelse mellom ørret produsert ved ~ 8 mg/L eller ~ 24 mg/L CO₂, og mente at *«Ingeniører som designer RAS kan legge opp til produksjon med en CO₂-akkumulering opp mot 24 mg/L. Dette er noe som kan redusere faste og variable kostnader, og forbedre et anleggs lønnsomhet (sammenlignet med drift på 10 mg/L CO₂) uten at det går ut over den totale fiskens ytelse»*.

Imidlertid er de skadelige virkningene av karbondioksid avhengig av andre faktorer som oppløst oksygen, pH og alkalinitet (Noble og Summerfelt 1996), og generelle sikre nivåer er derfor vanskelig å definere.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

CO₂ bør måles jevnlig i ferskvannsfasen eller under landbasert produksjon, særlig i tilfeller hvor biomassen er høy og vannstrømmen og vannutvekslingen i systemet er lav. Målinger av CO₂ bør fortrinnsvis gjøres i utløpet av karet. CO₂ kan måles ved bruk av håndholdte instrumenter eller «in-line» ved selvstående instrumenter eller prober som er koblet til større overvåkingssystemer. Det finnes hovedsakelig to måter å måle CO₂: 1) direkte, som CO₂-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 et tidsbilde av produksjonsforholdene. Instrumenter for direkte måling av CO₂ er dyrere, har lang reaksjonstid, og er avhengige av høyere vannhastighet under målingene. Likevel bør disse kunne gi direkte og mer nøyaktige målinger. Indirekte metoder er billigere, men de er avhengige av nøyaktig måling av pH. I tillegg kan interferens fra antallet stoffer i vann forekomme, noe som kan påvirke alkalitet og dermed redusere presisjonen av denne metoden.

Styrke til indikatoren

Blodkonsentrasjoner av CO₂ er sterkt korrelert med CO₂ i vann, og kan gi informasjon om den fysiologiske tilstanden til fisk.

Svakhet til indikatoren

Uregelmessig eller enkeltstående målinger av CO₂, kan bare gi oss et øyeblikksbilde av tilstanden i en oppdrettsenhet. Dette skjer uten mulighet til å fastslå om fisk blir kronisk eksponert for denne gassen, og om dette har forårsaket noen langsiktige konsekvenser for fisken.

4.1.5 pH

Ferskvann sin pH-verdi (hydrogen-ioner: H⁺) er i de fleste tilfeller positivt korrelert med vannhardheten (oppløst kalsiumkonsentrasjon). «Surtvann» kan gi mange negative effekter på regnbueørret. Disse inkluderer: tap av kalsium fra gjellene (Ye mfl. 1991), redusert ammoniakkutskillelse og økt toksisitet (Wright og Wood, 1985; Randall og Wright 1989). Videre kan surtvann medføre blodacidose (McDonald mfl. 1980) og endret transport av karbondioksid og oksygen (Randall, 1991). Lav pH i vann er også assosiert med økte problemer med aluminiumtoksisitet, selv om forholdet mellom aluminiumtoksisitet og pH er sammensatt (f.eks. Havas og Rosseland, 1995).

Naturlige svingninger i pH forårsaket av nedbør og naturlig snøsmelting kan medføre frigjøring av syre med etterfølgende fortykning av kalsiumkonsentrasjon i vann, som igjen kan forårsake økt uorganisk monomer aluminiumakkumulering, med etterfølgende økt dødelighet i ferskvannsstadier (Henriksen mfl. 1984). Vann med lav pH har vist seg å redusere svømmeevnen til regnbueørret (Ye og Randall, 1991), og Stefansson mfl. (2007) viste at ørret opplevde osmoregulerende problemer når pH var under 4,6. EFSA (2008b og referanser deri) oppgir at en pH på under 4 kan medføre til betydelige dødelighet hos regnbueørret. Videre kan en pH mellom 4,5 og 5,5 kan indusere subletale effekter med forringet fiskevelferd.

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 tiobelt forskjell i surhet eller alkalitet. For eksempel, en substans som har en pH-verdi på 2 er 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 tiobelt forskjell i alkalitet.

Styrke til indikatoren

Måling av pH-verdien i vannet er en forholdsvis lett og rask metode å bruke.

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, CO₂ og totalt ammoniakk-nitrogen, må gjøres for å sikre en viss forståelse av årsaken til pH-endringene.

4.1.6 Totalt gasstrykk (TGP), oksygen- og nitrogenovermetning

Totalt gasstrykk (TGP) i vann er summen av partialtrykket av oppløste gasser, samt damptrykket av vann ved en gitt vanntemperatur. Det er anbefalt at TGP blir uttrykt som forskjellen mellom TGP og atmosfærisktrykk (AP) (APHA / AWWA / WEF 1992). Det er imidlertid vanligere å rapportere TGP som prosent av lokalt atmosfærisktrykk (TGP%) (Rogers 2005). I situasjoner hvor deltrykket av en eller flere gasser oppløst i vann overstiger deres respektive deltrykk i atmosfæren, inntreffer overmetning (Shrimpton mfl. 1990; Hjeltnes mfl. 2012). Overmetning kan forekomme i innsjøer og elver som et naturlig fenomen, som oppvarming av vannet via sola eller via fotosyntesen. Videre kan menneskelig aktivitet forårsake overmetning f.eks. via utslipp av varmtvann og via turbiner i vannkraftverk (Gültepe mfl. 2011; Skov mfl. 2013). Overmetning kan også skje i oppdrettssystemer på grunn av plutselige endringer i barometrisk trykk, økt temperatur eller overdreven tilsetning av oksygen (Colt 1986; Hjeltnes mfl. 2012).

Eksponering for høye TGP-nivåer anses å være en velferdsrisiko for ørret (RSPCA 2018a). Høye TGP-nivåer og nitrogenovermetning har også blitt implisert i gassblæresyke (GBS) som er forårsaket av dannelse av gassbobler i det vaskulære systemet, noe som vil føre til en rekke patologiske og fysiologiske forandringer (f.eks. Weitkamp og Katz 1980). Videre har en del arbeid også implisert oksygenovermetning som mulig årsak til utviklingen av GBS (Edsall og Smith 1991; Machova mfl. 2017).

Symptomene på GBS inkluderer i) blødninger i øyet og området rundt øyet og basen av finnene, ii) utstående øyner (eksofalmi), iii) ansamling av gassbobler i sidelinjen (et av de første kliniske tegn på GBS i laksefisk), iv) et økt trykk i svømmeblæren som kan medføre sprukken svømmeblære, v) dannelse av bobler i det kardiovaskulære systemet, som blokkerer blodstrømmen (blodpropp) og til slutt fører til dødelighet, vi) bobledannelse i gjellene eller bukhulen som igjen fører til blokkering av vannstrøm og død ved kvelning, vii) subdermal emfysem langs overflaten av kroppen, og viii) reduserte vekst (gjennomgått i Gültepe mfl. 2011 og Skov mfl. 2013).

Når det gjelder virkningene av oksygenovermetningen på GBS, rapporterte Machova mfl. (2017) i en undersøkelse at GBS hos regnbueørret med etterfølgende dødelighet var relatert til en oksygenovermetning på over 136%. Videre har undersøkelser vist at eksponering for oksygentrykk på 200%, med en TGP på 120% med normalt nitrogentrykket på ca. 100% kan medføre til utvikling av GBS i løpet av 4 dager etter eksponering, med etterfølgende høy dødelighet (50% dødelighet innen 20 dager) (Edsall og Smith 1991).

I en undersøkelse angående effekten av TGP på utviklingen av GBS hos 200g regnbueørret ble det vist at ørret utsatt for 115% TGP sammenlignet med 104% TGP viste tegn til GBS. Symptomene var en mørk epidermis, eksofalmi, blødning i øyne, gassbobler på gjellelokkene, betydelig forhøyet i) pO_2 , ii) pCO_2 , iii) carboxyhemoglobin, og iv) bikarbonatkonsentrasjoner, økt svømmeaktivitet, paniske fluktreaksjoner og reduserte karbonanhydrase aktiviteter i øyelinsen (Gültepe mfl. 2011). Ifølge Mattilsynet skal TGP ikke være høyere enn 100%.

Når det gjelder nitrogenmetning i laksefisk som atlantisk laks og regnbueørret, er det observert negative effekter når nitrogennivået overstiger 102% (Lekang 2007), og Lekang (2007) anbefaler en grense $<100,5\%$ N_2 . Wedemeyer (1997) uttaler også at N_2 -metning i intensive produksjonssystemer bør være under 110%. Skov mfl. (2013) så på effekten av N_2 -overmetning på yngel av regnbueørret, både alene og i kombinasjon med økt TGP. De fant at en eksponering på opptil 103% TGP i kombinasjon med nitrogenmetning mellom 104,5 og 107,6% påvirket energioptaket og energiforbruket negativt. Imidlertid hadde N_2 -overmetning alene (102,4 - 105,2%) uten TGP-overmetning (TGP ca. 100%) ikke de samme effektene. Effektene observert ved 103% TGP, kombinert med N_2 -overmetning var reversible innen 25 dager etter avsluttet eksponering.

Det er derfor viktig å overvåke TGP, oksygen- og nitrogenmetning, og forstå sammenhengene mellom disse parameterne, da disse kan ha negative effekter på ørreten sin velferd. Siden det er lite data og mye usikkerhet rundt ørreten sin toleranse for TGP, oksygen- og nitrogenovermetning, anbefaler vi å bruke ovennevnte verdier som retningslinjer og ikke som absolutte grenser.

4.1.7 Total ammonium-nitrogen (TAN)

Ammoniakk (NH_3) er et toksisk sluttprodukt av proteinkatabolismen. Ammoniakk reagerer med vann og danner ionisert ammonium (NH_4^+). Summen av NH_3 og NH_4^+ 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_3 : NH_4^+ 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). I sjøvann er permeabiliteten av gjelleepitelet for ammonium ion høy, og derfor kan høyt innhold av NH_4^+ i sjøvann bidra til ammoniakktoksisitet i marint miljø (Ip mfl. 2001). Forhøyede ammoniakknivåer i vann kan enten svekke ammoniakkutskillelse eller forårsaker et netto-opptak av ammoniakk fra omgivelsene (Randall og Tsui 2002).

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, redusert svømmevett, økt gjelleventilasjon, 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).

Effektene av eksponering av ammoniakk er avhengig av stressnivå, svømmeaktivitet og fôringsstatusen til de utsatte fiskene (Randall og Tsui 2002). Ammoniakknivåene i hvit muskulatur hos regnbueørret kan øke under og etter fysisk anstrengelse (Mommensen og Hochachka 1988), og det er en betydelig lineær reduksjon i kritisk svømmehastighet med økende ammoniakknivå i vann (Wicks mfl. 2002). Økte indre ammoniakkkonsentrasjoner forårsaket av fysisk anstrengelse øker også fisken sin mottakelighet for akutt ammoniakktoksisitet. Akutte toksisitetstester viste at LC_{50} for uforstyrret regnbueørret var betydelig høyere, sammenliknet med ørret utsatt for høy svømmeaktivitet (Randall og Tsui 2002). Wicks og Randall (2002a) viste at fôret ørret er mindre følsom for eksternt ammoniakknivå sammenliknet med sultet ørret. Videre viste en studie av Bucking og Wood (2008) en forbigående post prandial (nylig fôret fisk) økning i plasma-ammoniakk. Dette var tre ganger over hvileverdiene 12 timer etter et måltid, og de forble forhøyet i inntil 24 timer. De samme forfatterne observerte at økningen i plasma-ammoniakknivåene ble etterfulgt med økt utskillelse av ammoniakk fra fisken, og var to- til tredobbelt høyere 12 timer og 48 timer etter fôring. De beskyttende effektene av fôring mot ammoniakktoksisitet hos ørret ble tilskrevet den oppregulerte produksjonen og lagringen av glutamin i musklene (Wicks og Randall 2002b). Wood (2004) viste at en kronisk eksponering for subletale nivåer av ammoniakk ($\text{PNH}_3 \sim 23 \mu\text{torr}$) kan stimulere vekst, fôropptakeeffektiviteten og proteinproduksjonen, uten tilsvarende økning i fôrforbruket hos ørretyngel fôret optimalt. Men denne effekten vedvarte ikke ved begrensede fôrassjoner. Både injeksjon av kortisol og stress forårsaket av økt tetthet, er noe som kan forverre ammoniakktoleransen hos regnbueørret (Randall og Tsui 2002). Eksponering ved høyere pH-verdier (pH 10) reduserer ammoniakkproduksjonen i regnbueørret (Wilson mfl. 1998), og

eksponering for subletale konsentrasjoner av sølv øker ammoniakk-konsentrasjonen i plasma (McGeer og Wood 1998).

Kronisk eksponering for ammoniakk ved tidlige livsfaser hos regnbueørret (pH 7,75 og en temperatur på 11,4 °C) viste at klekkesuksessen og overlevelsen av plommeseekkyngel ikke ble påvirket. Men overlevelses-, vekst- og biomassen til yngel (startfôring) ble betydelig redusert ved 16,8 mg NH₃-N/L, og var upåvirket ved 7,44 mg NH₃-N/L (Brinkman 2009). Utviklingen av plommeseekkyngel til yngel ble forsinket av høye ammoniakknivåer, men ved nivåer under 7,44 NH₃-N/L utviklet ørretyngelen seg normalt. Kronisk langtidseksponering av regnbueørret for subletale konsentrasjoner av ammoniakk har effekt på morfologiske og fysiologiske parametere, men omfanget av effektene avhenger av utviklingsstadiet, hvor yngel- og voksenstadie er spesielt utsatt (Vosyliene og Kazlauskienė 2004). Respirasjonsevnen til yngel ble påvirket, og veksten ble kompromittert ved lave NH₃-konsentrasjoner (0,006-0,18 mg/L NH₃), mens eksponering av voksne regnbueørret for konsentrasjoner mellom 0,012-0,092 mg/LNH₃ ikke hadde noen negativ effekt på veksten (Vosyliene og Kazlauskienė 2004). I tillegg ble ammoniakk-toksisiteten på erytropoiesis (reduksjon i erytrocytter (%)) hos yngel og voksne ($\geq$ 0,024 mg/LNH₃) påvist, og tilsvarende ble det påvist negative effekter på leukocyttproduksjonen ved ammoniakknivåer på 0,024-0,09 mg/L NH₃ (Vosyliene og Kazlauskienė 2004).

I en studie angående akutt ammoniakktoksisitet hos regnbueørret (fra 0,1 g til 2,6 kg) (Thurston og Russo 1983) viste det at den dødelige ammoniakk-konsentrasjon (96-timers LC₅₀) lå mellom 0,16 og 1,1 mg/L unionisert ammoniakk (11-48 mg/L av TAN). Følsomheten for ammoniakk gikk ned fra plommeseekkyngel til yngel, og økte igjen ved voksenstadiet, og videre avtok toksisiteten med økt vanntemperatur (fra 12 °C til 19 °C) (Thurston og Russo 1983).

Både hyppigheten og varigheten av ammoniakkeksponering vil påvirke ammoniakktoksisitet hos regnbueørret (Milne mfl. 2000). Ørret kan overleve og komme seg etter 24 timers lang eksponering ved NH₃-N-konsentrasjoner under 0,5 mg, mens fisk eksponert ved høyere ammoniakk-konsentrasjoner bare kom seg hvis de ble eksponert for dette miljøet i en time eller mindre (Milne mfl. 2000). En kombinert eksponering for 500 µM ammoniakk og 600 µM nitritt forårsaket høy dødelighet hos regnbueørret, og selv om begge stoffene forårsaket betydelig fysiologisk skade, var det ingen observerte interaktive effekter av nitritt og ammoniakk toksisitet (Vedel mfl. 1998). En studie av Becke mfl. (2019), rapporterte at unioniserte ammoniakk på opptil 0,05 mg/L hadde mindre effekter på regnbueørretens fysiologi og gjellehelse, og ingen negative effekter på ytelse og finne-tilstand. Videre viste man ingen relevante kombinerte effekter av økt ammoniakk og TSS på fiskehelse og ytelse, som ble observert i RAS (Becke mfl. 2019).

Eksponering for totale ammoniakk-konsentrasjoner på 700 µmol/L (under laboratorieforhold) stoppet ikke dannelsen av dominanshierarkier hos regnbueørret, men førte til en reduksjon i aggresjon. Ved 1200 µmol/L var aggresjonen markant redusert, og den var fraværende ved 1500 µmol/L. Hierarkier ble heller ikke dannet i løpet av fem dagers eksponering ved 1500 µmol/L (Grobler og Wood 2018). Imidlertid ble ørreten akklimatisert til ammoniakk, i det de observerte atferdsmessige og fysiologiske endringene forsvant over tid, og aggresjon og fysiologi sank tilbake til kontrollnivåer (Grobler og Wood 2018).

Anbefalte maksimale nivåer av UIA:

- Ifølge European Food Safety Authority (2008b) er den maksimale anbefalte konsentrasjonen av unionisert ammoniakk for ørret 0,012 mg/L.
- Ifølge Timmons og Ebeling (2007) er den maksimale anbefalte konsentrasjonen av unionisert ammoniakk for ørret 0,0125 mg/L.
- I henhold til RSPCA velferdsstandarter for oppdrett av regnbueørret (RSPCA, 2018b), bør unioniserte ammoniakknivåer holdes under 0,025 mg/L for plommeseekkyngel, yngel og voksne i resirkuleringsanlegg (RAS).

Imidlertid har Becke mfl. (2019) antydnet at disse nivåene er lave, da de ikke påviste skadelige effekter på ytelse og velferden til ørret ved ammoniakknivåer opp til 0,03 mg/L.

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°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 er ikke i samme størrelsesorden som ammoniakk målt i oppdrett. Ved bruk av fotometriske metoder bør man: a) å vite hvilken form av ammoniakk som 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 systemer 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 regnbueørret 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.

4.1.8 Nitritt og nitrat

Nitritter er vanligvis ikke et problem i oppdrett med gjennomstrømning, hvor nitrogenholdige avfallsstoffer blir spylt bort (EFSA 2008a). De er heller ikke noe problem i tilstrekkelig oksygenert vann, hvor oksidasjonshastigheten av nitritt overskrider oksidasjonshastigheten av ammoniakk. I RAS systemer vil nitrobacter-bakterier i biofiltrene hurtig omdanne nitritt til det betydelig mindre toksiske nitrat (Lewis Jr. og Morris 1986).

Nitrittoksisitet avhenger av ulike faktorer som blant annet vannkvalitet (pH, temperatur, kationer, anioner og oksygenkonsentrasjon), eksponeringslengde, fiskeart, -størrelse, alder og individuelle variasjoner (Kroupova mfl. 2005). Den viktigste faktoren synes å være kloridkonsentrasjon i vann.

Regnbueørret er følsom for nitritt i ferskvann på grunn av det raske opptaket av klorid via gjellene (Svobodova mfl. 2005). Det kan også være høye individuelle variasjoner i nitrittopptak og toleransen hos regnbueørret (Stormer mfl. 1996; Aggergaard og Jensen 2001; Jensen 2003; Svobodova mfl. 2005). Individer av ørret kan deles inn i to grupper basert på denne variasjonen: sensitiv og tolerant fisk. Sensitiv fisk akkumulerer nitritt raskere, og viser hurtigere fysiologiske forandringer og tidligere dødelighet, sammenlignet med tolerante individer (Stormer mfl. 1996; Aggergaard og Jensen 2001; Jensen 2003). Denne observerte forskjellen er relatert til et betydelig høyere nitritt opptak over gjellene hos de «følsomme» individene (Zachariasen 2001).

Nitritt har en høy affinitet til opptaksmekanismen for klorid i gjellene, og hvis NO_2^- er til stede i det omgivende vann, kan den binde seg til klorid/bikarbonatkomplekset i gjellene ($\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$) i stedet for kloridioner, noe som kan medføre akkumulering av nitritt i blodet (Jensen 2003). Dette medfører akkumulering av nitritt i ekstracellulære væsker, og alvorlighetsgraden av akkumuleringen er avhengig av forholdet mellom klorid i vann og nitritt konsentrasjon (Jensen 2003). Hos regnbueørret kan nitritt i plasma nå millimoler konsentrasjoner, hvis nitritt og klorid i omgivelsene er i mikromolarområdet. Den samme konsentrasjonen av nitritt i vann kan tolereres hvis kloridinnholdet i vann økes (eks. tilsetning av sjøvann) (Jensen 2003).

Hos regnbueørret er tapet av plasmaklorid større enn økningen i plasmanitritt under eksponering av nitritt. Dette skyldes økninger i andre ioner som laktat, nitrat, bikarbonat og noen ganger uorganiske fosfater, slik at summen av anioner er uendret i plasma (Jensen mfl. 1987; Stormer mfl. 1996). Nitritteksponering påvirker også kaliumbalanse, spesielt hos «følsomme» individer, og skyldes et generelt kaliumtap fra skjelettmusklene (Stormer mfl. 1996) og røde blodlegemer, men ikke hjertemusklene (Stormer mfl. 1996). Dette kan forårsake signifikant økning av ekstracellulært kalium i regnbueørret (Stormer mfl. 1996).

Opphopning av nitritt i rødeblodlegmer (erytrocytter) kan føre til oksidasjon av hemoglobin til metahemoglobin som ikke er i stand til å binde og transportere oksygen (Jensen 2003). Når nitritt konsentrasjoner øker i blodet, øker derfor også fraksjonen av metahemoglobin, og den totale oksygenbærende kapasiteten reduseres (Lewis Jr. og Morris 1986). Et gjenkjennelig tegn på høye metahemoglobin er brunt blod og brune gjeller (Lewis Jr. og Morris 1986), som har et optisk spektrum med maksimal absorpsjon ved omtrent 635 nm (Kroupova mfl. 2005). Nivået av metahemoglobin i blodet under nitritteksponering vil være et resultat av balansen mellom dannelsen av metahemoglobin og dets omdannelse til hemoglobin via metahemoglobinreduktase (Lewis Jr. og Morris 1986). Akkumulering av metahemoglobin er raskere i nitrittfølsom regnbueørret, og hastigheten på akkumulering og andre fysiologiske forandringer er hovedårsaken til framskyndet dødelighet (Stormer mfl. 1996; Jensen 2003). Metahemoglobin hos ulike individer av ørret kan utgjøre 6-100% av det totale hemoglobin innholdet (Hofer og Gutumu 1994). Hos nitrittfølsom regnbueørret med høye nivåer av metahemoglobin påvirkes netthinnen, med effekter som varierer fra nekrose av enkelt retina-

neuroner til fullstendig ødeleggelse av netthinnen (Hofer og Gatumu 1994). Nitritt eksponering fører også til en økning i ventilasjonshastigheten i regnbueørret, og en rask og langvarig økning i hjerterytmen påvises ofte før en økning i metahemoglobin eller ekstracellulært kalium (Aggergaard og Jensen 2001).

Eksponering for nitritt kan også øke mottakeligheten for sykdom hos regnbueørret. For eksempel i en studie hvor ørret ble eksponert i 24 timer med 0,24 mg/L NO_2^- , og deretter eksponerte for *Saprolegnia parasitica*, så medførte dette en 100% økning andel infisert fisk sammenlignet med en kontrollgruppe (Carballo og Munoz 1991; Carballo mfl. 1995). Ved eksponeringen av nitritt for regnbueørret i fire forskjellige størrelser (2-235 g), ble det vist at gjennomsnittlige LC_{50} konsentrasjonen varierte fra 0,19 til 0,39 mg/L NO_2^- - N (fire dager eksponering). For 12 g regnbueørret var den asymptotiske LC_{50} 0,14–0,15 mg/L NO_2^- - N etter 8 dager (Russo mfl. 1974). Videre viste subkroniske eksponeringen av 19 g regnbueørret ved nivåer mellom 0,01 - 3 mg/L NO_2^- -N over 28 dager, at dette påvirket overlevelse, vekst, hematologi, blodkjemi, og gjellstruktur. Betydelige fysiologiske forandringer var synlige ved selv de laveste nitritteksponeringskonsentrasjonene (Kroupova mfl. 2008). Estimerte konsentrasjoner for ingen effekter, og de lavest observerte nivåene hvor negative effekter kunne påvises, var disse henholdsvis 0,01 og 0,2 mg/L NO_2^- .

Ørret er i stand til å avgifte nitritt ved å oksidere den til ikke-giftig nitrat når den ekstracellulære nitratkonsentrasjonen øker til millimoler nivåer (Jensen 2003). Avgiftning skjer delvis i leveren der hepatocytter oksiderer nitritt til nitrat, og i de oksygenrike rødeblodlegemene hos regnbueørret (Doblender og Lackner 1997). En annen måte å forhindre nitrittoksisitet er tilsetning av klorid til ferskvann. Anbefalt Cl^- : NO_2^- -N for ørret er > 20 (Timmons og Ebeling 2007). Andre resultater fra en rekke andre fiskearter (Svobodova mfl. 2005) synes å avvike fra disse gjeldende anbefalingene. EFSA (2008b) og Mattilsynet (Hjeltnes mfl. 2012) anbefaler at nitrittnivåene holdes under 0,1 mg/L NO_2^- i ørretoppdrett, med et maksimalt nitritt nitrogen (mg/L) mellom 16 og 33 (Nordin og Pommen 2009). En kombinert eksponering av regnbueørret for nitritt (600 μM) og ammoniakk (500 μM) har tidligere blitt rapportert å føre til høy dødelighet, men interaktive effekter av disse forbindelsene på fysiologiske parametere ble ikke observert. Imidlertid hadde hver type nitrogenforbindelse flere negative effekter på blodets fysiologi (Vedel mfl. 1998).

Nitrat (NO_3^-) er sluttproduktet av nitrifikasjon, og sammen med andre ioniske former for uorganisk nitrogen kan det være til stede i akvatiske økosystemer som et resultat av atmosfærisk avsetning, overflate og grunnvannsavrenning, biologisk nedbrytning av organisk materiale, eller via antropogene kilder som dyrehold, industriavfall og avløpsvann (Camargo mfl. 2005). Nitratkonsentrasjoner kan nå 25 mg/L NO_3^- -N i overflatevann, og 100 mg/L NO_3^- -N i grunnvann, mens i resirkuleringsanlegg (RAS) med god oksygenering kan NO_3^- -N nå 500 mg/L (Camargo mfl. 2005). Nitrat er mindre giftig enn nitritt og ammoniakk, og dette skyldes delvis lav gjellepermeabilitet for nitrat (Camargo mfl. 2005). De potensielle effektene av nitrat på oppdrettsfisk har ikke vært så omfattende studert som for ammoniakk og nitritt. Bruken av RAS med lav vannutveksling har framskyndet interessen for å identifisere sikre konsentrasjonsnivåer av nitrat hos oppdrettsfisk. Den viktigste toksiske effekten av nitrat på akvatiske dyr er omdannelse av hemoglobin til metahemoglobin (Camargo mfl. 2005). Nitrattoksisiteten øker med økende nitratkonsentrasjoner og eksponeringstid. Ferskvannsfisk er mer følsom for nitrattoksisitet enn marine arter (Camargo mfl. 2005). Den registrerte 96-timers LC_{50} -verdien av nitrat hos regnbueørret yngel er 1364 mg/L NO_3^- -N, men de samme forfatterne anbefalte maksimal tillatt konsentrasjon av NO_3^- -N for kronisk eksponering ved 57 mg/L, og 5,7 mg/L NO_3^- -N for optimal helse og vekst hos ørret (Westin, 1974). Andre har rapportert kronisk toksiske effekter av nitrat på egg og yngel av laksefisk ved konsentrasjoner < 200 mg/L, med subletale effekter < 25 mg/L (Davidson mfl. 2014). Ørret yngel utsatt for 14 mg/L NO_3^- -N i 8 dager hadde et passivt inntak av nitrat,

men plasmakonsentrasjoner av nitrat forble uendret, og det ble ikke påvist noen endringer i elektrolyttbalanse eller hematologi (Camargo mfl. 2005). En oversikt over nitrattoksisitet for regnbueørret i ferskvann er gitt i tabell 4.1.8-1.

Tabell 4.1.8-1. Nitrattoksisitet i ferskvann for regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*). LOEC - den laveste konsentrasjonen med observert effekt; NOEC- ingen observert effekt; NOAEL- ingen observerte bivirkninger. Tabell gjengitt fra "Camargo, J. A., Alonso, A. & Salamanca, A. (2005) Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. Chemosphere 58(9), 1255-1267. Copyright 2005." med tillatelse fra Elsevier.

Utviklingsstadium	Konsentrasjonen av nitrat og nitrogen (mg NO ₃ -N/L) og varigheten av eksponeringen	Referanser
Yngel	1355 (96-h LC ₅₀)	Westin 1974
Egg (anadrom)	1,1 (30 d LOEC)	Kincheloe mfl. 1979
Larver (anadrom)	4,5 (30 d NOEC)	Kincheloe mfl. 1979
Egg (ikke anadrom)	1,1 (30 d NOEC)	Kincheloe mfl. 1979
Eggs (ikke anadrom)	2,3 (30 d LOEC)	Kincheloe mfl. 1979
Larver (ikke anadrom)	1,1 (30 d NOEC)	Kincheloe mfl. 1979
Larver (ikke anadrom)	2,3 (30 d LOEC)	Kincheloe mfl. 1979
Yngel	14,0 (8 d NOAEL)	Stormer mfl. 1996

Ved evaluering av effekten av temperatur (5, 10 og 15 °C) på nitrattoksisitet i regnbueørret, ble det rapportert at nitrat var mer giftig ved en vanntemperatur på 15 °C (96-h LC₅₀ på 1690 mg NO₃/L, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012a). Nylig evaluerte Baker mfl. (2017) nitrattoksisitet i forhold til vannhardhet. I akutte toksisitetstester ble regnbueørretyngel (0,3-0,6 g) utsatt for nitrat ved vannhardhetsnivåer mellom 11 mg/L (mykt vann) og 164 mg/L CaCO₃ (hardt vann). LC₅₀-nivåene på 96 timer økte lineært fra 808 mg/L NO₃-N ved 11 mg/L CaCO₃ til 1913 mg/L NO₃-N ved 164 mg/L CaCO₃. Disse dataene viser at vannhardhet er en modifierende faktor for akutt nitrattoksisitet i regnbueørret.

Eksponering av ørretyngel for subletale konsentrasjoner av NO₃-N (30 og 90 mg/L NO₃-N) i et RAS-anlegg viste en betydelig større andel av «sidesvømmere» ved 90 mg/L NO₃-N sammenlignet med 30 mg/L NO₃-N (Davidson mfl. 2014). Forfatterne av studien konkluderte med at konsentrasjoner på 80-100 mg/L NO₃-N gav kroniske helse- og velferdsmessige effekter på ørretyngel. Man anbefalte derfor maksimalt 75 mg/L NO₃-N som den øvre grensen for RAS-systemer.

Anbefalte øvre konsentrasjoner

- Nitritt: EFSA (2008b) og Mattilsynet (Hjeltnes mfl. 2012) anbefaler at nitrittnivået holdes under 0,1 mg/L NO₂⁻ i regnbueørretproduksjon. RSPCA (2018b) anbefaler også nitritt konsentrasjoner på 0,2 mg/L eller lavere for alle livsfaser (egg, larver, yngel og større fisk) i RAS anlegg. Det gis ingen retningslinjer for anbefalt kloridnivå i forhold til nitritteksponeringen.
- Nitrat: 75 mg/L (Davidson mfl. 2014). RSPCA (2018b) sine øvre anbefalinger for ørret i resirkulerende akvakultursystemer er 50 mg/L for larver, yngel og voksen fisk, mens grenser for egg og plommesekkyngel ikke er oppgitt.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Nitritt-nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$) kan akkumuleres i systemer med lav vannutskiftning (RAS), og kan være giftig for laksefisk. 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 fortynne $\text{NO}_3\text{-N}$ tilstrekkelig. Begge nitrogenforbindelser er målt ved hjelp av fotometriske metoder og målt som ammoniakk. Ulike metoder bruker nitritt sin 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 nitritt forbindelse som måles (nitritt eller nitrat); 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 nitritt-målinger: 1) standardkurve bør brukes; 2) prøver skal filtreres hvis TSS er høy; 3) nitritt og Cl^- kan forstyrre målingene. Dette er noe som er viktig å ta hensyn til ved analyse av sjøvann.

Styrke til indikatoren

Nitritt er giftig for laksefisk 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 en indikasjon på i hvilken grad fiskevelferden er truet.

4.1.9 Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS)

Turbiditet er et mål på vann sin klarhet. Siden suspendert tørrstoff ofte er den viktigste årsaken til turbiditet, diskuteres de to parameterne ofte sammen (Robertson-Bryan, Inc. 2006). 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 regnbueørret 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. Effekten av suspendert tørrstoff på fisk er avhengig av arten, temperaturen på eksponeringstidspunktet, type suspenderte sedimenter (partikkelstørrelse og form), sediment forurensninger, samt eksponeringens varighet og hyppighet og mengde (gjennomgått i Kjelland mfl. 2015). Effekten av sedimenter på laksefisk grupperes i letale- (dødelighet), subletale- (vevsskade eller endringer i fysiologi) og atferds effekter (endring i aktivitet), som gjennomgått av Bash mfl. (2001).

Regnbueørret er blitt klassifisert som en art som er intolerant mot sedimentasjon (Chapman mfl. 2014), hvor fasen fra befruktning til eggherding er mest utsatt (Scannell og Jacobs 2001). Den 48d LC_{40} for regnbueørretegg synes å være 7 mg/L TSS (Canadian Council of Ministers of the Environment 2012b). Det er også rapportert at fôringsaktiviteten til regnbueørret avtar kraftig ved turbiditeter over 70 Jackobs turbiditetsenheter (JTU) (gjennomgått i Kjelland mfl. 2015). Økt turbiditet fører også til redusert svømmeprestasjon (Ucrit), endringer i aerob (forhøyet glukose) og anaerob metabolisme hos ørret (reduert laktat) (Berli mfl. 2014). Økt turbiditet hemmer som sagt den visuelle observasjonen av fisken, og kan også påvirke fiskens evne til å se fôrpellets. Imidlertid rapporterte Rowe mfl. (2003), at fôringshastighetene for ørretyngel ikke ble redusert av turbiditetsnivåer opp til 160 NTU, noe som

indikerer at andre, ikke-visuelle sanser, for eksempel lateralt linjesystem, kan være involvert under føring i grumsete vann.

Fint suspenderte tørrstoffer kan ha negativ virkning på generell gjellehelse og -funksjon, da det påvirker oksygenopptaket. Dette gir grobunn for vekst av patogener (Timmons og Ebeling 2007). Det har tidligere blitt rapportert at eksponering av regnbueørret for en blanding av inerte faste stoffer (kaolin og kisel) resulterte i forhøyet dødelighet ved TSS på 90 mg/L, og en betydelig økning i dødelighet etter kontinuerlig eksponering for 270 mg/L. Ingen dødeligheter ble observert når regnbueørret ble utsatt for 553 mg/L gips i fire uker, og etter ni til ti måneder eksponering for 200 mg/L suspendert tørrstoff fra et kullvaskeri. En uklarhet på 25 NTU på grunn av leire hadde imidlertid en negativ innvirkning på veksten hos regnbueørretyngel (gjennomgått i Robertson-Bryan, Inc. 2006). En gradvis økning i TSS opp til 30 mg/L (gjennomsnittlig turbiditet på 14,5 NTU) over fire uker i RAS hadde ingen effekt på stressmarkører, hematologiske parametere (leukocyttantall, hematokrit, RBC indekser) og gjellehelsen til regnbueørret (Becke mfl. 2017). I tillegg hadde en langvarig (18 ukers) eksponering for den samme TSS-konsentrasjonen ingen effekt på ytelse, helse eller fysiologi hos regnbueørret (Becke mfl. 2018). Disse resultatene ble videre støttet av en senere studie (Becke mfl. 2019) som rapporterte at TSS-konsentrasjoner på opptil 70 mg/L i 13 uker ikke påvirket ytelse, helse og velferd for regnbueørret. Imidlertid førte det til økt turbiditet som påvirket fôringsatferd og økt bakteriell belastning (Becke mfl. 2019).

En definitiv grense for akseptabel TSS konsentrasjon er ennå ikke avklart (Timmons og Ebeling 2007). En øvre grense på 15 mg/L er blitt foreslått for atlantisk laks (Thorarensen og Farrell 2011), og en øvre grense på 25 mg/L er tidligere foreslått for regnbueørret. Imidlertid antyder Becke mfl. (2019) at denne grensen er for lav (se over). RSPCA (2018b) anbefaler en maksimal konsentrasjon av suspendert tørrstoff på <25 mg/L for alle livsfaser hos regnbueørret, mens den anbefalte turbiditeten ikke er gitt. EFSA (2008b) konkluderte med at de fysiske egenskapene og den totale mengden suspendert tørrstoff i vann er relevante for å bestemme mulige negative effekter på gjeller og hud hos ørret. Men den maksimale konsentrasjoner av TSS er ikke gitt på grunn av påvirkningen partikkelstørrelse og form har på denne parameteren.

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.

TSS måles etter ESS Metode 340.2: Totalt suspendert tørrstoff, (tørket ved 103-105°C): 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 vannkvalitetsparametere. For eksempel kan økt turbiditet forårsaket av organisk materiale øke vanntemperaturen og redusere oksygenmetningen. 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 ørretvelferd er ukjente. Akseptable TSS-verdier er artsspesifikke, og for ørret er de ikke spesifiserte.

4.2 Velferdsindikatorer som beskriver oppdrettssystemer eller -håndtering

4.2.1 Vannstrømhastighet

Selv om strømhastigheten ikke nødvendigvis er direkte relatert til mengde vann som blir skiftet ut i en kar, kan for lav strømhastighet påvirke effektiviteten systemet har til å rense seg selv og spyle ut før og avføring. I sjømerder påvirker strømhastigheten hvor mye vann som blir skiftet ut og dermed også vannkvaliteten. 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.

Vannstrømhastigheten påvirker svømmeytelsen til fisk. Fisk kan opprettholde sin posisjon i forhold til bunnen (parr i tank) eller svømme mot vannstrømmen. Frittsvømmende 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 deretter 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 gi en indikasjon på hvordan miljøvariabler og fiskestørrelse påvirker svømmeferdighet for fisk, og er derfor presentert her. For korte perioder av gangen (sekunder) kan fisk spurt svømme 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, 2016). Imidlertid kan høye strømhastigheter, selv om de ligger godt under U_{crit} , ha negative effekter på vekst, hvor anbefalte strømhastigheter for optimal vekst av regnbueørret ligger mellom 0 og 1 kroppslengder/s (Farrell mfl. 1991; Houlihan og Laurent 1987). Relativt nylig arbeid gjort av Larsen mfl. (2012) antyder at hastigheter rundt 0,9 kroppslengder/s fremmer stiming og reduserer frekvensen av urolig atferd i forhold til ørret som står i stillestående vann. I tillegg har McKenzie mfl. (2012) rapportert at restitusjonstiden etter akutt stress fra trenging blir kortere. For lave strømhastigheter har også vist å kunne medføre problemer med finnebiting og aggresjon hos atlantisk laks (Solstorm mfl. 2015, 2016). Derfor kan opprettholdelsen av aktiv svømming i en populasjon forbedre vekst og fôropptak, siden fisk avleder mer energi til å opprettholde stilling og posisjon, og mindre energi til sosiale interaksjoner (f.eks. Christiansen og Jobling 1990; Marras mfl. 2011).

Det er stor variasjon i anbefalte strømhastigheter hos regnbueørret, og hvordan disse forholder seg til fisken sin egen opplevelse er vanskelig å tolke (Taguchi og Liao 2011). Den samme strømhastigheten i forskjellige systemer vil ikke ha samme effekt (Johansson mfl. 2014). Derfor er ikke nødvendigvis hastighetsanbefalinger nyttige eller enkle å gi. En bør derfor justere gjeldende hastighet slik at fisk svømmer aktivt, men ikke sliter med å holde posisjon og plass i stimen eller oppdrettssystemet.

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 ørret 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. Dette er 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 hos atlantisk laks (Hansen mfl. 1992). Hos regnbueørret er smoltifisering mindre klar, og utviklingen av sjøvannstoleransen er mer avhengig av størrelse (se avsnitt 3.2.8). Økt daglengde har en positiv effekt på vekst i ferskvannsfasen (Taranger mfl. 2000; Taylor mfl. 2005, 2007), og synes å øke sjøvannstoleransen uavhengig av størrelse (Wagner 1974; Taranger mfl. 2000), og dette kan derfor redusere varigheten av ferskvannsstadiet. Det er rapportert at lysintensiteter på 1600 lux kan forbedre veksten i ferskvannsfasen sammenlignet med fisk oppdrettet ved 100 lux (Cho 1992). En nylig undersøkelse av Morro mfl. (2019), har testet effekten av forskjellige fotoperioderegimer på regnbueørretsmoltifisering (sjøvannsutvikling) og rapportert at både det eksisterende, veletablerte konstante lys (LL) -regimet (18 uker,) og en «Advanced Phase Photoperiod» (APP) regime (6 uker LM 12:12 og ytterligere 12 uker med LM 24:0) er egnede regimer for smoltifisering, men APP som fører til et lengre smoltvindu. 3) Forfatterne uttalte imidlertid at fotoperiode ikke ser ut til å være en sterk trigger («zeitgeber») for sjøvannstilpassning hos ørret sånn som for eksempel hos laks. Andre potensielle miljøparametere, som saltholdighet eller temperatur, bør undersøkes nærmere (Morro mfl.

2019). Kontinuerlig lys (LM 24:0) er funnet å kunne ha negative effekter på den nevrologiske utviklingen hos lakseparr (Ebbesson mfl. 2007). Ved overgangen mellom lys og mørke, i det lyset plutselig blir skrudd på, kan den plutselige endringen i lysintensiteten lede til en akutt stressrespons, som involverer blant annet panikkatferd (Mork og Gulbrandsen 1994, regnbueørret) og økt oksygenforbruk (Folkedal mfl. 2010, Atlantisk laks). Laks synes imidlertid å venne seg til disse endringene i forhold til lys innen en uke etter overgangen mellom lys og mørke (Folkedal mfl. 2010).

Sjøvann

Økt daglengde har en positiv effekt på veksten i sjøvann (Taylor mfl. 2006). Regnbueørret er naturlige vårgytere, og ved å strekke daglengden fra midtvinters gjennom våren, vil dette kunne medføre tidligere gyting (gjennomgått av Bromage mfl. 2001). Imidlertid, hvis denne tilnærmingen blir brukt på ett (1) år gammel fisk, kan den forhindre eller forsinke gytingen året etter (Davies og Bromage 2002). I tillegg synes endringen av daglengde å være langt viktigere for effekten på kjønnsmodning enn daglengden per se (Bromage mfl. 2001). For laks er omgivende lys sammen med temperatur en av de viktigste parameterene for vertikal posisjonering i en merd. Avveiningen mellom de vertikale gradienter av lysintensitet og temperatur vil kunne 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). Innflytelsen fra lysforholdene på svømmeadferden til oppdrettet regnbueørret er lite studert. Lys fra overflaten resulterer i mer dagsliknede adferd også om natten (Oppedal 1995), og ørret sin atferds respons på nedsenkede lys er sannsynligvis lik den man ser hos laks.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Fisken sin oppfatning av daglengden har stor innflytelse på hormonell utvikling, 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. svømmeaktivitet, må lyset være av svak nok intensitet, og fargespektrumet riktig, for å kunne unngå kjønnsmodning (Stien mfl. 2014).

Styrke til indikatoren

Lysintensitet og daglengde kan manipuleres ved å tilsette eller fjerne 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 fra 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 kg/m^3 . Produksjonstettheten interagerer med fiskens velferd på en kompleks måte, som involverer mange samhandlende parametere inkludert livsstadium, vannkvalitet, vannhastighet, sosiale interaksjoner, førtilgang, forvaltningspraksis og type produksjonssystem (f.eks. Turnbull mfl. 2008). De potensielle negative effektene av høy produksjonstetthet, er ikke alltid forårsaket av selve tettheten av fisk, men snarere en effekt av redusert vannkvalitet (Hosfeld mfl. 2009; Thorarensen og Farrell, 2011) og førtilgang assosiert med høyere fisketetthet (Boujard mfl. 2002). Velferdsbehovene som direkte eller indirekte påvirkes av fisketettheten inkluderer i) hygiene, ii) vannkvalitet, iii) atferdskontroll, iv) sosial kontakt og v) hvile.

Selv om det er fare for redusert velferd ved enten svært høye eller veldig lave produksjonstettheter, er det vanskelig å anbefale minimum- og maksimal fisketetthet, som vil garantere god velferd. En gitt produksjonstetthet kan føre til god eller dårlig velferd under ulike omstendigheter. En foretrukket metode er å overvåke adferden og den fysiske tilstanden til fisken. Atferd kan være veldig vanskelig å vurdere eller beskrive kvantitativt under oppdrettsforhold, og avhenger av hvor god observasjonene er. Fisken skal helst vise en rolig adferd med fravær av raske kaotiske bevegelsesmønstre, eller overdreven respons mot forstyrrelser. Under føring skal være fisken være ivrig («entusiastisk»), men ikke hektisk. Videre bør man ikke påvise skade på finner, øyne og gjellelokk (RSPCA, 2014). Når det gjelder akseptable grenser, anbefaler RSPCA (2018b) at produksjonstettheten ved første føring og vekstfase i kar ikke skal overstige 60 kg/m^3 . Generelt bør man holde bestandstettheten på lavere nivåer for yngre fisk, for deretter å øke den mot slutten av produksjonssyklusen. Tidligere publiserte anbefalinger angående produksjonstetthet for regnbueørret varierer meget, selv på samme livsstadium. Mest sannsynlig skyldes dette effektene av fisketetthet på velferd, som er komplekse og involverer mange ulike parametere (f.eks. Turnbull mfl. 2008). Et godt eksempel på dette er dekket av Ellis mfl. (2002), som har skissert noen av disse i forhold til forskjellige typer oppdrettssystemer. De rapporterte at de anbefalte nivåene varierte fra i) $4\text{--}55 \text{ kg/m}^3$ for merd, ii) $40\text{--}267 \text{ kg/m}^3$ for kar og iii) $8\text{--}160 \text{ kg/m}^3$ for lengderenner («raceways») (se Ellis mfl. 2002 og referanser deri).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Gjennomsnittlig tetthet i oppdrettsenheten beregnes enkelt som biomasse (kg)/volum (m^3). 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 (Oppedal mfl. 2011b).

Styrke til indikatoren

Produksjonstettheten er som regel kjent, gitt tilstrekkelig biomassekontroll og kjent vannvolum. Tettheten kan være avgjørende blant annet for vannkvaliteten, og høyere tetthet krever større vannomsetning 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 førtilgjengelighet o.l. (se Turnbull mfl. 2008). Videre vil tettheten vise store lokale variasjoner i oppdrettsenheten, og en moderat gjennomsnittlig tetthet vil derfor kunne gi høye lokale tettheter med risiko for lokal hypoksi (Vigen 2008). Derfor bør ikke fisketetthet vurderes alene når man vurderer fiskevelferd (Turnbull mfl. 2005).

4.2.4 Overflateaktivitet hos fisk

Laksefisk har fysostomme (åpne) svømmeblærer som de fyller ved å svømme til vannoverflaten og svelge luft. Når luft går tapt fra blæren, må de fylle opp blæren regelmessig for å opprettholde oppdrift (Dempster mfl. 2009; Korsøen mfl. 2009). Uten overflatetilgang svømmer laksefisk med en oppover vinklet kroppsstilling med raske halebevegelser, og med høyere svømmehastighet for å kompensere for redusert oppdrift, eller hvis det er mulig å søke til bunnen for å hvile (Tait, 1960; Korsøen mfl. 2009). Hos atlantisk laks påvirkes oppdrift fra første dag uten overflatetilgang (Dempster mfl. 2009), og er redusert kraftig etter 3 uker (Korsøen mfl. 2009), sammen med de første tegnene på redusert velferd (Korsøen mfl. 2012a). Etter seks uker uten overflatetilgang kan mer alvorlige tegn på velferdsforringelse oppstå, som komprimerte ryggvirvler (Korsøen mfl. 2009). Redusert overflatetilgang hos regnbueørret er lite undersøkt, men effekten av dette synes å være lik laks (Fosseidengen mfl. 1982). Regnbueørret ved alle stadier skal ikke forhindres fra å fylle opp svømmeblæren i mer enn en uke. I de oppdrettsenhetene som for tiden brukes til ørretproduksjon, vil den naturlige overflaten gi tilgang til luft. Hvis merdene er nedsenket, må alternative ruter til overflaten være tilgjengelige, for eksempel via en «snorkel» eller luftfylte kupler av tilstrekkelig størrelse. Slike alternative overflatetilganger er under utvikling for laks (Stien mfl. 2016b; Korsøen mfl. 2012b), men disse er ennå ikke testet på regnbueørret.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

For å vurdere om lufttilgang under nedsenking har vært tilstrekkelig, kan overflateaktivitet etter heving til overflaten estimeres, hvor høy aktivitet indikerer at lufttilgang har vært begrenset. Antall hopp og vaking («ruller») etter at merden har blitt gitt overflatetilgang igjen, vil avta med tiden etter hvert som flere og flere dyr har kunnet fylt blærene sine. Det er derfor viktig å måle overflateaktivitet ved et standardisert tidspunkt etter retur til overflaten. Overflateaktivitet kan også variere på grunn av atferden til stimen eller stressorer som skremmer fisken mot overflaten (Bui mfl. 2013). Det er derfor viktig å måle overflateaktivitet over en tilstrekkelig periode for at prøven skal være representative, for eksempel i to timer. Antall hopp og ruller konverteres vanligvis til hopp/fisk. Den enkleste måten å måle overflateaktivitet er ved å telle antall hopp og ruller ved bruk av håndholdt teller, men observasjon av kamera og automatisk bildeanalyse er også utviklet (Jovanović mfl. 2016).

Styrke til indikatoren

I åpne oppdrettsenheter vil ørret normalt ha tilgang til overflaten, som er lett å overvåke.

Svakhet til indikatoren

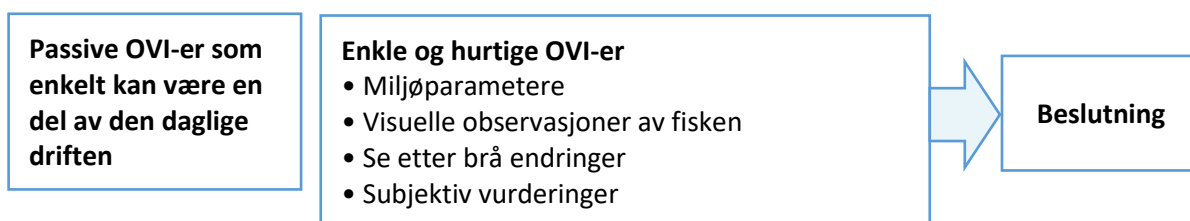
Å sikre tilstrekkelig tilgang til luft under nedsenkning med luftkupper kan være teknisk utfordrende på grunn av den store oppdriften i store luftmengder. Kravene til ørret, f.eks. hva som er tilstrekkelig overflatevolum, er ikke kjent. Ved estimering av overflateaktivitet etter heving kan aktiviteten være forårsaket av andre grunner enn et behov for å fylle svømmeblæren, f.eks. lusnivåer (Furevik mfl. 1993) eller føringstilgang. Dette kan medføre høy aktivitet og pauser som vil kunne gi for høye eller lave observasjonsnetellinger, spesielt hvis telleperioden er kort. Med store gruppestørrelser og høye aktivitetsnivåer kan det også være vanskelig å følge opp på antall overflatbrudd og hopp.

5 OVI og LABVI som verktøy i oppdrett

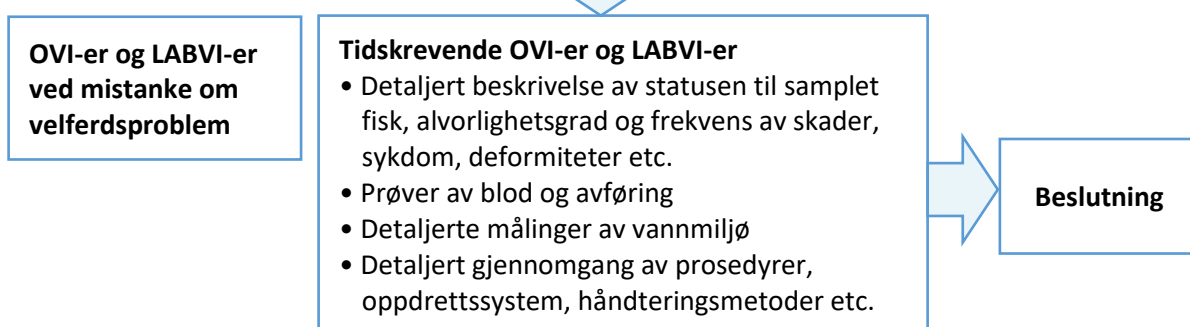
5.1 Hvordan bruke OVI og LABVI i forbindelse med vurdering av velferd

Operasjonelle velferdsindikatorer (OVI-er) er velferdsindikatorer (VI-er) som er praktiske for oppdretter å registrere og bruke i den daglige driften av et anlegg. Laboratoriebaserede 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 velferd statusen 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 på tide 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. For deretter å gjøre de endringene i produksjonen som må til før det blir et alvorlig fiskevelferdsproblem.

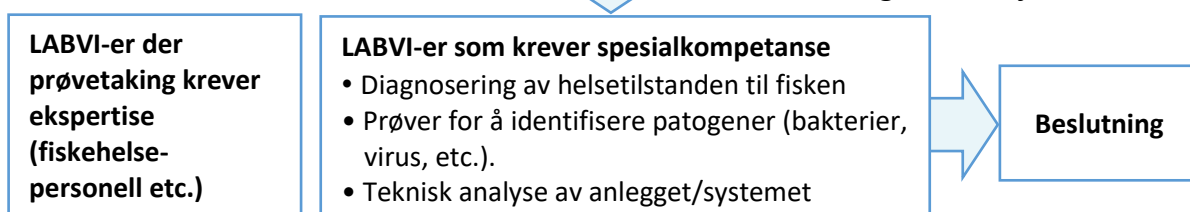
Trinn 1



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, L. H. Stien 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 skåring 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 2 (produksjonssystemer) eller del 3 (håndteringspraksis) av håndboken, og er derfor har disse heller ikke blitt vurdert i del A (se siste kolonne).

Vanntemperatur, saltholdighet, oksygen, CO₂, pH, turbiditet, belysning og tetthet, 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. Skårssystemet 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 skår på 2 (eller mindre) og 3, ble klassifisert som henholdsvis en OVI og LABVI. Skår 4 er verken eller. Brukt = benyttet i del 2 (produksjonssystemer) eller del 3 (håndteringspraksis) av håndboken.

VI	Skår					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Temperatur						x		x
Salinitet						x		x
Oksygen						x		x
CO ₂						x		x
pH og alkalinitet						x		x
Total ammonium nitrogen						x		x
Totalt gasstrykk (TGP), oksygen- og nitrogenovermetning						x		x
Nitritt og Nitrat						x		x
Turbiditet						x		x
Vannstrømhastighet						x		x
Belysning						x		x
Produksjonstetthet						x		x
Ammoniakk						x		x
Totalt suspendert tørrstoff							x	x
Tungmetaller							x	

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 gruppebaserte VI-ene, og vurdering om de er OVI eller LABVI. Se tabell 5.2-1 for nærmere forklaring på forenklet skårings system.

VI	Skår					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Dødelighetsrate	■					x		x
Atferd	■	■				x		x
• Unormal atferd	■	■				x		x
• Aggresjon	■	■				x		x
• Minkende ekko	■	■				x		x
Appetitt	■					x		x
Vekst	■	■				x		x
Sykdom/helse	■	■	■				x	x
Avmagret fisk	■	■				x		x
Skjell og blod i vann	■					x		x

De fleste individuelle VI-er er relativt lette å vurdere på fisken (tabell 5.2-3). Imidlertid er alle kardiovaskulære responser, som nkaα1a og nkaα1b, 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.

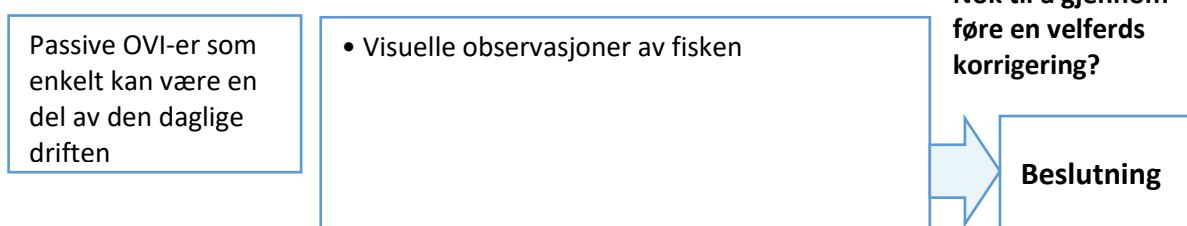
Tabell 5.2-3. Oversikt over alle individbaserte velferdsindikatorer og vurdering om de er OVI eller LABVI. Se tabell 5.2-1 for nærmere forklaring på forenklet skåring system.

VI	Skår					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Gjellelokkrate						x		x
Øyerulling (VOR)						x		x
EEG og ECG								
Sjølus						x		x
Blekhhet av gjeller og status						x		x
Tilstandsindekser						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
• Sjøvannstilpassning						x		x
• Rygggraddeformitet						x		x
• Finneskade og -status						x		x
• Skjelltap og hudtilstand						x		x
• Snute- og kjeveskader						x		x
• Øyebelødnings og -status						x		x
• Gjellelokkskader						x		x
• Håndteringsskader						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
Muskel pH						x		x
Muskel laktat						x		
Muskel glukose						x		
Rigor mortis (tid og varighet)						x		x
Micro morfologi							x	
Kardiovaskulære responser							x	
nkaα1a og nkaα1b							x	
Magnesium og natrium							x	
Klorid							x	
Osmolalitet							x	

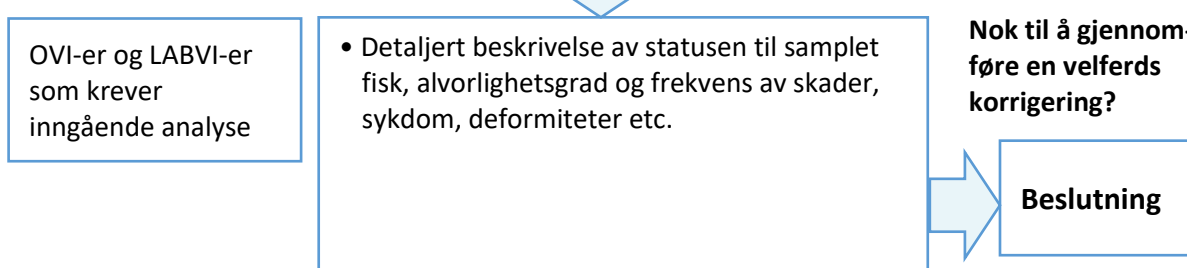
5.3 Et eksempel på hvordan en kan tolke OVI-er og LABVI-er

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. Hvis dette skjer i sjøvannsfasen av produksjonen er spørsmål som trenger å bli stilt: i) er fisken tilpasset sjøvann; 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 korreksjon 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 være å involvere ekspertise utenfor anlegget. Dette kan innebære obduksjon, forskjellige prøver fra ulike laboratorier, og helsepersonell som kan implementere avanserte endringer og behandlinger for å korrigere problemet (se figur 5.3.1).

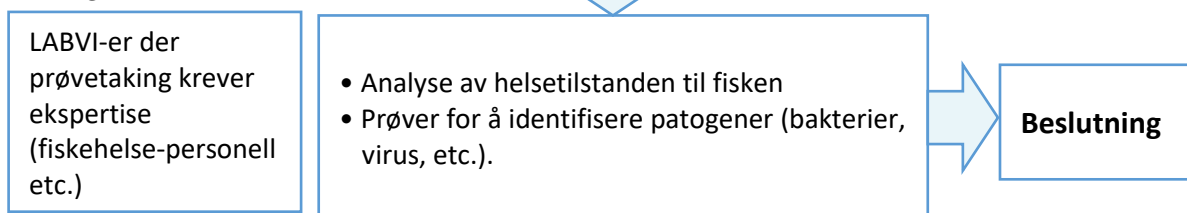
Trinn 1



Trinn 2



Trinn 3



Figur 5.3.1. Bruk av OVI og LABVI ved anlegget i tidlige varselsystem (figur: C. Noble og L. H. Stien).

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 regnbueørret 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 skåring 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 alternativ 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 (ekkolodd) 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 typer 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 tolkingen av disse er komplisert. Den videre utviklingen og bruken 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 oppdrettsvennlige. 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 velferdsindikatorene 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	
• Temperatur • Salinitet • Oksygen • CO₂ • pH and alkalinitet • Total gass • Total ammonium nitrogen • Nitrit og Nitrat • Turbiditet og susp. tørrstoff • Vannstrømhastighet • Belysning • Biomasse tetthet • Overflateadgang	• Dødelighetsrate • Atferd • Appetitt • Vekst • Sykdom/helse • Avmagret fisk • Vannobservasjoner	• Gjellelokkrate • Sjølus • Bleking av gjeller og tilstand • Tilvekstfaktorer • Kondisjonsfaktor • HSI • CSI • Fôr i tarm • Reflekser, øyerulling • Grad av avmagring • Grad av kjønnsmod. • Smoltifiseringsstatus • Rygggraddeformitet • Finneskade og status • Skjelltapp og hudtilstand • Snute- og kjeveskade • Endring i hudfarge • Slim	• Øyebledninger og tilstand • Gjellelokkdeform. • Håndtering og traume • Indre organer • Vaksinerelaterede skader
			Blood
			• Kortisol • Ioner • Glukose • Laktat • pH
			Muscle
			• pH • Rigor mortis

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 tas henholdsvis en blod eller muskelprøve av fisken.

6 Sammendrag av skåreskjemaene

Det følgende avsnittet er et sammendrag av skåreskjemaene som brukes i denne håndboken.

Denne håndboken foreslår et samlet skåringssystem (tabell 6.1-1, 6.1-2, 6.1-3) som først og fremst er rettet mot oppdrettere for å hjelpe dem med å vurdere velferd og raskt oppdage potensielle velferdsproblemer ute på anlegget. Det er en sammenslåing av skadeskåringsskjemaene som er brukt i Salmon Welfare Index Model (SWIM) (Stien mfl. 2013), skadeskåringsskjemaet utviklet av Norsk veterinærinstitutt (NVI) (Grøntvedt mfl. 2015; Gismervik mfl. 2016), og også fra andre skjemaer utviklet av J. F. Turnbull (University of Stirling) og J. Kolarevic og C. Noble (Nofima).

En foreslår i ørretboka å standardisere poengsum for 13 forskjellige indikatorer til et 0-3 skåringssystem:

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

Vi har først og fremst brukt bilder fra laksehåndboken i følgende skåringssystem, ettersom forholdene de beskriver er like anvendelige for regnbueørret.

Bilder som brukes i systemet representerer eksempler på hver poengkategori. Vi foreslår at rygg-, hale- og brystfinner er de viktigste finnene for å overvåke for finnskader. Et omfattende system for klassifisering av vertebrale deformiteter, lignende det som eksisterer i human medisin, er ennå ikke utviklet for regnbueørret, og vi foreslår derfor et forenklet skåringssystem som ligner det som brukes i RSPCA velferdsstandarder for oppdrettsatlantisk laks (RSPCA 2018a).

Kataraktskader klassifiseres ved bruk av et eksisterende og mye brukte 0-4 skåringskjema (Wall og Bjerkås 1999), se Fig. 6.2. Skåringsmetoden registrerer kataraktområdet i forhold til hele linseflaten. En kan raskt vurdere et stort antall fisk med minimalt utstyr for å få et inntrykk av alvorlighetsgraden av problemet. Hvis mulig, bør et valgt antall fisk inspiseres under mørklagte forhold (også med bedre utstyr) for å gi en viss indikasjon på posisjon, type, utvikling og etiologi. Man registrerer imidlertid ikke tettheten til grå stær som kan være viktig og bør merkes separat (T. Wall pers. kom.).

Graden av vaksinens bivirkninger hos individuell fisk blir ofte evaluert i henhold til «Speilberg-skalen» (Midtlyng mfl. 1996), se tabell 6.3 og fig. 6.4. Speilberg skala er mye brukt som en velferdsindikator i norsk oppdrettsnæring, først og fremst for laks, men den har også blitt brukt på ørret. Skalaen er basert på en visuell vurdering av omfanget og plasseringen av kliniske endringer i bukhulen til fisken, og den beskriver endringer relatert til peritonitt; vedheft mellom organer, mellom organer og bukvegg og melaninavleiringer (se også Pettersen mfl. 2014 og referanser deri). En Speilberg-skår på 3 og over er generelt sett uønsket.

Tabell 6.1-1. 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	 Små blødninger / fargeendringer, ofte buk	 Et større område med blødninger, ofte og skjelltap	 Alvorlige blødninger ofte med betydelig skjelltap, sår og ødemer i hud
Sår ^{1,2}	 Ett lite (inntil kronestykke stort) sår ¹ , ikke ned til muskel	 Flere små sår	 Store, alvorlige sår, ofte blottlagt muskel ($\geq$ kronestykke stort)
Skjelltap	 Tap av enkelte skjell	 Skjelltap i små (inntil kronestykke store) felter og $< 10\%$ av fi sken	 Skjelltap i større felter ($\geq 10\%$ av fisken har skjelltap)
Øyeblikning	 Mindre blødninger	 Større blødninger eller traumatisk skade	 Store blødninger/ traume. Kan ha «punktert» øye
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne

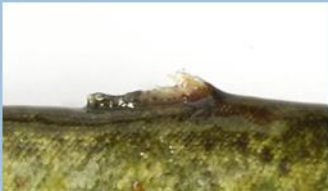
¹ For yngel vil «lite sår» være inntil 1 cm

² NB! Sår som perforerer inn til bukhulen vil uavhengig av størrelse betegnes som alvorlig og gis skår 3

Tabell 6.1-2. 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. Kan omfatte hele hodet
Ryggradsdeformiteter	 Tegn til deformert ryggrad	 Tydelig ryggradsdeformitet (f.eks korthale)	 Ekstreme deformiteter
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 6.1-3. 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	 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 klassifisering av katarakt hos laksefisk. 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.*

Skår	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 sløying	Ingen eller liten grad av opasitet (ugjennomsiktighet) av bukhinne etter sløying
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying	Bare opasitet av bukhinnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremre deler av bukhulen, kan involvere sammenvoksning av blindsekker, lever eller magesekk til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying	Mindre men synlige lesjoner etter sløying, som kan fjernes manuelt
4	Store sammenvoksninger med granulomer, omfattende sammenvokste indre organer, som fremstår som en enhet. Sannsynligst dette blir lagt merke til av ufaglærte under sløying	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 sløying 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 sløying



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



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



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



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



5. Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhulen. I store områder er bukhinnen 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. Speilberg skala 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. Skalaen ble opprinnelig utviklet for atlantisk laks, men har også blitt brukt i studier på regnbueørret (f.eks. Holten-Andersen mfl. 2012; Chettri mfl. 2015).

7 Referanser

- Aamelfot, M., Dale, O. B., & Falk, K. (2014) Infectious salmon anaemia–pathogenesis and tropism. *Journal of fish diseases* **37**(4), 291-307.
- Abbott, J. C. & Dill, L. M. (1985) Patterns of aggressive attack in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42**(11), 1702-1706.
- 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.
- Aggergaard, S. & Jensen, F. B. (2001) Cardiovascular changes and physiological response during nitrite exposure in rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **59**(1), 13-27.
- Agius, C. & Roberts, R. J. (2003) Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. *Journal of Fish Diseases* **26**, 499–509.
- Akiyama, T., Mori, K. & Murai, T. (1986) Effects of temperature on the incidence of scoliosis and cataract in chum salmon fry caused by tryptophan deficiency. *Nippon Suisan Gakkaishi* **52**(11).
- Alanära, A. (1996) The use of self-feeders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production. *Aquaculture* **145**(1-4), 1-20.
- Albrektsen, S. & Torrissen, O. J. (1988) Physiological changes in blood and seminal plasma during the spawning period of maturing rainbow trout held under different temperature and salinity regimes, and the effect on survival of the broodstock and the eyed eggs. *Inter. Council. Exp. Sea C.M.* 1988/ F:3 1-24.
- Alexis, M. N., Papaparaskeva-Papoutsoglou, E. & Papoutsoglou, S. (1984) Influence of acclimation temperature on the osmotic regulation and survival of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) rapidly transferred from fresh water to sea water. *Aquaculture* **40**(4), 333-341.
- Altimiras, J. & Larsen, E. (2000) Non-invasive recording of heart rate and ventilation rate in rainbow trout during rest and swimming. Fish go wireless!. *Journal of Fish Biology* **57**(1), 197-209.
- 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 (Accessed 2016).
- Anras, M. L. B. & Lagardère, J. P. (2004) Measuring cultured fish swimming behaviour: first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture* **240**(1-4), 175-186.
- 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.
- APHA, AWWA, WEF (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association Publication, 18th edition, USA.
- ASC (2019) Aquaculture Stewardship Council (ASC). ASC Freshwater Trout Standard Version 1.2. https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2019/07/ASC-Freshwater-Trout-Standard_v1.2_final.pdf (Accessed 2019).

- 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.
- Aubin, J., Gatesoupe, F. J., Labbé, L. & Lebrun, L. (2005) Trial of probiotics to prevent the vertebral column compression syndrome in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Aquaculture Research* **36**(8), 758-767.
- 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.
- Babaheydari, S. B., Keyvanshokoo, S., Dorafshan, S. & Johari, S. A. (2016) Proteomic analysis of skeletal deformity in diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics* **19**, 1-7.
- Baker, J. A., Gilron, G., Chalmers, B. A. & Elphick, J. R. (2017) Evaluation of the effect of water type on the toxicity of nitrate to aquatic organisms. *Chemosphere* **168**, 435-440.
- Balcombe, J. (2016). What a fish knows: The inner lives of our underwater cousins. Scientific American/Farrar, Straus and Giroux.
- Baldwin, T. J., Vincent, E. R., Silflow, R. M. & Stanek, D. (2000) *Myxobolus cerebralis* infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*) exposed under natural stream conditions. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* **12**(4), 312-321.
- 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. & Schreck, C. B. (1987) Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead. *Transactions of the American Fisheries Society* **116**(2), 257-263.
- 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.
- 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.
- Bash, J., Berman, C. & Bolton, S. (2001) Effects of turbidity and suspended solids on salmonids. *Washington State Transportation Center (TRAC) Report No. WA-RD 526.1*, November 2001, Olympia, WA, 92 pp
- 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.
- Becke, C., M., Steinhagen, D., Schumann, M. & Brinker, A. (2017) Physiological consequences for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) of short-term exposure to increased suspended solid load. *Aquacultural Engineering* **78**, 63-74.
- Becke, C., M., Schumann, M., Steinhagen, D., Geist, J. & Brinker, A. (2018) Physiological consequences of chronic exposure of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to suspended solid load in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* **484**, 228-241.
- Becke, C., Schumann, M., Steinhagen, D., Rojas-Tirado, P., Geist, J. & Brinker, A. (2019) Effects of unionized ammonia and suspended solids on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* **499**, 348-357.
- 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.
- Berli, B. I., Gilbert, M. J., Ralph, A. L., Tierney, K. B. & Burkhardt-Holm, P. (2014) Acute exposure to a common suspended sediment affects the swimming performance and physiology of juvenile salmonids. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **176**, 1-10.
- Bermejo-Poza, R., De la Fuente, J., Pérez, C., de Chavarri, E. G., Diaz, M. T., Torrent, F. & Villarroel, M. (2017) Determination of optimal degree days of fasting before slaughter in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **473**, 272-277.
- 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. & 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.
- 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**.

- Blaufuss, P. C., Gaylord, T. G., Sealey, W. M. & Powell, M. S. (2019) Effects of high-soy diet on S100 gene expression in liver and intestine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & shellfish immunology* **86**, 764-771.
- 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.
- Boltaña, S., Rey, S., Roher, N., Vargas, R., Huerta, M., Huntingford, F. A., Goetz, F. W., Moore, J., Garcia-Valtanen, P., Estepa, A. & MacKenzie, S. (2013) Behavioural fever is a synergic signal amplifying the innate immune response. *Proc. R. Soc. B* **280(1766)**, 20131381.
- Bornø, G. & Linaker, L. (2015) Fiskehelserapporten 2014, Harstad: Veterinærinstituttet 2015.
- Bosakowski, T. & Wagner, E. J. (1995) Experimental use of cobble substrates in concrete raceways for improving fin condition of cutthroat (*Oncorhynchus clarki*) and rainbow trout (*O. mykiss*). *Aquaculture* **130(2-3)**, 159-165.
- 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.
- 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.
- Brännäs, E. & Alanärrä, A. (1992) Feeding behaviour of the Arctic charr in comparison with the rainbow trout. *Aquaculture* **105(1)**, 53-59.
- 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.
- 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.

- Brinkman, S. F., Woodling, J. D., Vajda, A. M. & Norris, D. O. (2009) Chronic toxicity of ammonia to early life stage rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society* **138**(2), 433-440.
- Bromage, N., Porter, M. & Randall, C. (2001) The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture* **197**, 63–98.
- Brooks, G. A. (2018) The science and translation of lactate shuttle theory. *Cell metabolism* **27**(4), 757-785.
- 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.
- Brudeseth, B. E., Wiulsrød, R., Fredriksen, B. N., Lindmo, K., Løkling, K. E., Bordevik, M., Steine, N., Klevan, A. & Gravningen, K. (2013) Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & shellfish immunology* **35**(6), 1759-1768.
- Bruno, D. W., Noguera, P. A. & Poppe, T. T. (2013) *A colour atlas of salmonid diseases* (2nd Ed.). Springer Science & Business Media. 211pp
- Bry, C. (1982) Daily variations in plasma cortisol levels of individual female rainbow trout *Salmo gairdneri*: evidence for a post-feeding peak in well-adapted fish. *General and comparative endocrinology* **48**(4), 462-468.
- Bucking, C. & Wood, C. M. (2008). The alkaline tide and ammonia excretion after voluntary feeding in freshwater rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* **211**(15), 2533-2541.
- 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.
- Bury, N. R. & Sturm, A. (2007) Evolution of the corticosteroid receptor signalling pathway in fish. *General and comparative endocrinology* **153**(1-3), 47-56.
- Cahu, C., Infante, J. Z. & Takeuchi, T. (2003) Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture* **277**, 245-248.
- Caldwell, C. A. & Hinshaw, J. (1994) Physiological and haematological responses in rainbow trout subjected to supplemental dissolved oxygen in fish culture. *Aquaculture* **126**(1-2), 183-193.
- Caldwell, C. A. & Hinshaw, J. M. (1995) Communications: Tolerance of Rainbow Trout to dissolved oxygen supplementation and a *Yersinia ruckeri* challenge. *Journal of Aquatic Animal Health* **7**(2), 168-171.
- Camargo, J. A., Alonso, A. & Salamanca, A. (2005) Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* **58**(9), 1255-1267.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2012a) Canadian Water Quality Guidelines: Nitrate Ion. Scientific Criteria Document.

- Canadian Council of Ministers of the Environment (2012b) Canadian Water Quality Guidelines: Total particulate matter. Scientific Criteria Document.
- Cañon Jones, H. A., Noble, C., Damsgård, B. & Pearce, G. P. (2017) 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.
- Carballo, M. & Muñoz, M. J. (1991) Effect of sublethal concentrations of four chemicals on susceptibility of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to *saprolegniosis*. *Applied and environmental microbiology* **57**(6), 1813-1816.
- Carballo, M., Munoz, M. J., Cuellar, M. & Tarazona, J. V. (1995) Effects of waterborne copper, cyanide, ammonia, and nitrite on stress parameters and changes in susceptibility to *saprolegniosis* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Applied and Environmental Microbiology* **61**(6), 2108-2112.
- 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.
- Chapman, J. M., Proulx, C. L., Veilleux, M. A., Levert, C., Bliss, S., André, M. È., Lapointe, N. W. & Cooke, S. J. (2014) Clear as mud: a meta-analysis on the effects of sedimentation on freshwater fish and the effectiveness of sediment-control measures. *Water research* **56**, 190-202.
- Chervova, L. (1997) Pain sensitivity and behavior of fishes. *Journal of Ichthyology* **37**, 98-102.
- Chettri, J. K., Skov, J., Jaafar, R. M., Krossøy, B., Kania, P. W., Dalsgaard, I. & Buchmann, K. (2015) Comparative evaluation of infection methods and environmental factors on challenge success: *Aeromonas salmonicida* infection in vaccinated rainbow trout. *Fish & shellfish immunology* **44**(2), 485-495.
- Chin, A., Guo, F. C., Bernier, N. J. & Woo, P. T. (2004) Effect of *Cryptobia salmositica*-induced anorexia on feeding behavior and immune response in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of aquatic organisms* **58**(1), 17-26.
- Cho, C. Y. (1992) Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture* **100**(1-3), 107-123.
- Choi, Y. J., Kim, N. N. & Choi, C. Y. (2015) Profiles of hypothalamus–pituitary–interrenal axis gene expression in the parr and smolt stages of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: Effects of recombinant aquaporin 3 and seawater acclimation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **182**, 14-21.
- Choo, P. S., Smith, T. K., Cho, C. Y. & Ferguson, H. W. (1991) Dietary excesses of leucine influence growth and body composition of rainbow trout. *The Journal of nutrition* **121**(12), 1932-1939.
- Christiansen, J. S. & Jobling, M. (1990) The behaviour and the relationship between food intake and growth of juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., subjected to sustained exercise. *Canadian Journal of Zoology* **68**(10), 2185-2191.
- Colson, V., Mure, A., Valotaire, C., Le Calvez, J. M., Goardon, L., Labbe, L., Leguen, I. & Prunet, P. (2019) A novel emotional and cognitive approach to welfare phenotyping in rainbow trout exposed to poor water quality. *Applied animal behaviour science* **210**, 103-112.

- Colt, J. (1986) Gas supersaturation—impact on the design and operation of aquatic systems. *Aquacultural Engineering* **5**(1), 49-85.
- Coutant, C. C. (1977) Compilation of temperature preference data. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **34**(5), 739-745.
- 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.
- 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.
- 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.
- Danley, M. L., Kenney, P. B., Mazik, P. M., Kiser, R. & Hankins, J. A. (2005) Effects of carbon dioxide exposure on intensively cultured rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: physiological responses and fillet attributes. *Journal of the World Aquaculture Society* **36**(3), 249-261.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C. & Summerfelt, S. T. (2011) Abnormal swimming behavior and increased deformities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cultured in low exchange water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural engineering* **45**(3), 109-117.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C. & Summerfelt, S. T. (2014) Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* **59**, 30-40.
- Davies, B. & Bromage, N. (2002) The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **205**(1-2), 183-200.
- Davis, J. C. (1975) Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **32**(12), 2295-2332.
- 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.
- 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.
- De Mercado, E., Larrán, A. M., Pinedo, J. & Tomás-Almenar, C. (2018) Skin mucous: a new approach to assess stress in rainbow trout. *Aquaculture* **484**, 90-97.
- Del-Pozo, J., Crumlish, M., Turnbull, J. F. & Ferguson, H.W. (2010) Histopathology and ultrastructure of segmented filamentous bacteria-associated rainbow trout gastroenteritis. *Veterinary Pathology* **47**, 220-230.
- 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.
- Deschamps, M. H. & Sire, J. Y. (2010) Histomorphometrical studies of vertebral bone condition in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Applied Ichthyology* **26**(2), 377-380.
- Deschamps, M. H., Kacem, A., Ventura, R., Courty, G., Haffray, P., Meunier, F. J. & Sire, J. Y. (2008) Assessment of “discreet” vertebral abnormalities, bone mineralization and bone compactness in farmed rainbow trout. *Aquaculture* **279**(1-4), 11-17.

- 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.
- Doblander, C. & Lackner, R. (1997) Oxidation of nitrite to nitrate in isolated erythrocytes: a possible mechanism for adaptation to environmental nitrite. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**(1), 157-161.
- Dumas, A., France, J. & Bureau, D. P. (2007) Evidence of three growth stanzas in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) across life stages and adaptation of the thermal-unit growth coefficient. *Aquaculture* **267**(1-4), 139-146.
- 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.
- 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.
- Edsall, D. A. & Smith, C. E. (1991) Oxygen-induced gas bubble disease in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **22**(2), 135-140.
- Edwards, S. L. & Marshall, W. S. (2013) Principles and patterns of osmoregulation and euryhalinity in fishes. In: McCormick, S. D., Farrell, A. P., Brauner, C. J. (Eds.), *Euryhaline Fishes*. Academic Press, USA, pp. 2-46.
- 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
- 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.
- Ellis, A. (1997) Vaccines for farmed fish. In: *Veterinary vaccinology*. Pastoret, P. P., Blanco, J., Vanier P. & Verschueren, C. (eds.). Elsevier Press, Amsterdam, The Netherlands, 411-417.

- Ellis, R. P., Urbina, M. A. & Wilson, R. W. (2017) Lessons from two high CO₂ worlds—future oceans and intensive aquaculture. *Global change biology* **23**(6), 2141-2148.
- 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., Turmbull, 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.
- 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.
- 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.
- Farbridge, K. J. & Leatherland, J. F. (1992) Plasma growth hormone levels in fed and fasted rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) are decreased following handling stress. *Fish Physiology and Biochemistry* **10**(1), 67-73.
- 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.
- Fast, M. D., Ross, N. W., Mustafa, A., Sims, D. E., Johnson, S. C., Conboy, G. A., Speare, D. J., Johnson, G. R. & Burka, J. F. (2002a) Susceptibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, Atlantic salmon *Salmo salar* and coho salmon *Oncorhynchus kisutch* to experimental infection with sea lice *Lepeophtheirus salmonis*. *Diseases of aquatic organisms* **52**(1), 57-68.

- Fast, M. D., Sims, D. E., Burka, J. F., Mustafa, A. & Ross, N. W. (2002b) Skin morphology and humoral non-specific defence parameters of mucus and plasma in rainbow trout, coho and Atlantic salmon. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **132(3)**, 645-657.
- 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.
- 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., 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., 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., Hansen, T., Breck, O., Sandvik, R., Waagbø, R., Berg, A. & Ørnsrud, 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. (1998) Pattern and variability in the breeding system of Atlantic salmon (*Salmo salar*), with comparisons to other salmonids. *Canadian journal of fisheries and aquatic science*, **55(S1)**, 59-76.

- 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.
- 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., Stien, L. H., Nilsson, J., Torgersen, T., Fosseidengen, J. E. & Oppedal, F. (2012c) Sea caged Atlantic salmon display size-dependent swimming depth. *Aquatic Living Resources* **25**, 143-149.
- 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.
- Fontagné, S. (2009) The impact of nutritional components of rainbow trout. In: *Control of malformations in fish aquaculture, Science and practice (FineFish)*. Baeverfjord, G., Helland, S. & Hough, C. (eds.). pp. 149.
- Fontagné, S., Silva, N., Bazin, D., Ramos, A., Aguirre, P., Surget, A., Abrantes, A., Kaushik, S. J. & Power, D.M. (2009) Effects of dietary phosphorus and calcium level on growth and skeletal development in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Aquaculture* **297**, 141-150.
- Fosseidengen, J. K., Boge, E. & Huse, I. (1982) A survey with rainbow trout and salmon in submersible cages. *Norsk Fiskeoppdrett* **10**, 24-25.
- Fraser, T. W. K., Fjeldall, 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.
- 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.
- 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.

- Glencross, B. D. (2009) Reduced water oxygen levels affect maximal feed intake, but not protein or energy utilization efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* **15**(1), 1-8.
- GLOBALG.A.P. (2019) The GLOBALG.A.P. Aquaculture Standard. https://www.globalgap.org/uk_en/for-producers/globalg.a.p./integrated-farm-assurance-ifa/aquaculture/ (accessed 2019).
- González, L. & Carvajal, J. (2003) Life cycle of *Caligus rogercresseyi*, (Copepoda: Caligidae) parasite of Chilean reared salmonids. *Aquaculture* **220**(1-4), 101-117.
- 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**(2), 51-56.
- Gorman, K. F. & Breden, F. (2007) Teleosts as models for human vertebral stability and deformity. *Comparative Biochemistry & Physiology Part C* **145**, 28-38.
- Gregory, T. R. & Wood, C. M. (1999) The effects of chronic plasma cortisol elevation on the feeding behaviour, growth, competitive ability, and swimming performance of juvenile rainbow trout. *Physiological and Biochemical Zoology* **72**(3), 286-295.
- Grobler, J. M. & Wood, C. M. (2018) The effects of high environmental ammonia on the structure of rainbow trout hierarchies and the physiology of the individuals therein. *Aquatic Toxicology* **195**, 77-87.
- Grove, D. J., Loizides, L. G. & Nott, J. (1978) Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology* **12**(5), 507-516.
- 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.
- Gültepe, N., Ateş, O., Hisar, O. & Beydemir, Ş. (2011) Carbonic anhydrase activities from the rainbow trout lens correspond to the development of acute gas bubble disease. *Journal of aquatic animal health* **23**(3), 134-139.
- Hafs, A. W., Mazik, P. M., Kenney, P. B. & Silverstein, J. T. (2012) Impact of carbon dioxide level, water velocity, strain, and feeding regimen on growth and fillet attributes of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **350**, 46-53.
- 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.
- Hammer, C. (1995) Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **112**(1), 1-20.
- 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.
- 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.
- Hauge, H., Vendramin, N., Taksdal, T., Olsen, A. B., Wessel, Ø., Mikkelsen, S. S., Alencar, A. L. F., Olesen, N. J. & Dahle, M. K. (2017) Infection experiments with novel Piscine orthoreovirus from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in salmonids. *PloS one* **12(7)**, e0180293.
- Havas, M. & Rosseland, B. O. (1995) Response of zooplankton, benthos, and fish to acidification: an overview. *Water, Air, & Soil Pollution* **85(1)**, 51-62.
- Heming, T. A. & Paleczny, E. J. (1987) Compositional changes in skin mucus and blood serum during starvation of trout. *Aquaculture* **66(3-4)**, 265-273.
- 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.
- Hjeltnes, B., Bæverfjord, G., Erikson, U., Mortensen, S., Rosten, T. & Østergård, P. (2012) Risk assessment of recirculating systems in Salmonid hatcheries. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM), Doc, (09-808).
- Hjeltnes, B., Walde, C., Bang Jensen, B. & Haukaas, A. (Eds) (2016). Fiskehelserapporten 2015. *Veterinærinstituttet*, p 74.
- Hjeltnes, B., Bornø, G., Jansen, M. D., Haukaas, A., & Walde, C (Eds) (2017). Fiskehelserapporten 2016. Oslo, *Veterinærinstituttet*, p. 121.
- Hofer, R., & Gatumu, E. (1994). Necrosis of trout retina (*Oncorhynchus mykiss*) after sublethal exposure to nitrite. *Archives of environmental contamination and toxicology* **26(1)**, 119-123.
- 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.
- Holten-Andersen, L., Dalsgaard, I., Nylén, J., Lorenzen, N. & Buchmann, K. (2012) Determining vaccination frequency in farmed rainbow trout using *Vibrio anguillarum* O1 specific serum antibody measurements. *PloS one* **7(11)**, e49672.
- 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.
- Hosfeld, C. D., Handeland, S. O., Fivelstad, S. & Stefansson, S. O. (2010) Physiological effects of normbaric environmental hyperoxia on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) presmolts. *Aquaculture* **308(1-2)**, 28-33.
- Hoskonen, P. & Pirhonen, J. (2006) Effects of repeated handling, with or without anaesthesia, on feed intake and growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **37(4)**, 409-415.
- Houlihan, D. F. & Laurent, P. (1987) Effects of exercise training on the performance, growth, and protein turnover of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44(9)**, 1614-1621.

- Hoseinifar, S. H., Mirvaghefi, A., Amoozegar, M. A., Sharifian, M. & Esteban, M. Á. (2015) Modulation of innate immune response, mucosal parameters and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) upon synbiotic feeding. *Fish & shellfish immunology* **45**(1), 27-32.
- 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. & Adams, C. (2005) Behavioural syndromes in farmed fish: implications for production and welfare. *Behaviour* **142**(9-10), 1207-1221.
- 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.
- Ihssen, P. E. (1986) Selection of fingerling rainbow trout for high and low tolerance to high temperature. *Aquaculture* **57**(1-4), 370.
- Ip, Y. K., Chew, S. F. & Randall, D. J. (2001) Ammonia toxicity, tolerance and excretion. In: Wright, P.A., Anderson, P.M. (Eds.), *Fish Physiology*, vol. 20. Nitrogen excretion. Academic Press, San Diego, pp. 109–148.
- Iversen, M. & Eliassen, R. A. (2009) The Effect of AQUI-S® Sedation on Primary, Secondary, and Tertiary Stress Responses during Salmon Smolt, *Salmo salar* L., Transport and Transfer to Sea. *Journal of the world aquaculture society* **40**(2), 216-225.
- Iversen, M. & Eliassen, R. (2012) Stressovervåkning av settefiskproduksjonen i Mainstream Norway AS 2009 - 2011. Stresskartlegging av laksesmolt (*Salmo salar* L.), og effekten av stressreduserende 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., 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.
- Jackson, A. J. (1981) Osmotic regulation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) following transfer to sea water. *Aquaculture* **24**, 143-151.
- Jackson, D. & Minchin, D. (1992) Aspects of the reproductive output of two caligid copepod species parasitic on cultivated salmon. *Invertebrate Reproduction & Development* **22**, 87-90.
- Jackson, D., Deady, S., Leahy, Y. & Hassett, D. (1997) Variations in parasitic caligid infestations on farmed salmonids and implications for their management. *ICES Journal of Marine Science* **54**(6), 1104-1112.
- 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, F. B., Andersen, N. A. & Heisler, N. (1987) Effects of nitrite exposure on blood respiratory properties, acid-base and electrolyte regulation in the carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Comparative Physiology B* **157**(5), 533-541.
- Jobling, M. (1994) Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London (1994) 309 pp.
- Jobling, M. & Koskela, J. (1996) Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. *Journal of Fish Biology* **49**(4), 658-667.
- 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.
- 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.
- Johansson, L., Kiessling, A., Kiessling, K. H. & Berglund, L. (2000) Effects of altered ration levels on sensory characteristics, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Quality and Preference* **11**(3), 247-254.
- Johnsson, I. & Clarke, W.C. (1988) Development of seawater adaptation in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*) and domesticated rainbow trout (*Salmo gairdneri*)—Effects of size, temperature and photoperiod. *Aquaculture* **71**, 247-263.
- Johnston, C. E. & Cheverie, J. C. (1985) Comparative Analysis of Ionoregulation in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) of Different Sizes Following Rapid and Slow Salinity Adaptation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42**(12), 1994-2003.
- 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)
- 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
- Jørgensen, E. H., Bernier, N. J., Maule, A. G. & Vijayan, M. M. (2016) Effect of long-term fasting and a subsequent meal on mRNA abundances of hypothalamic appetite regulators, central and peripheral leptin expression and plasma leptin levels in rainbow trout. *Peptides* **86**, 162-170.
- Karlsbakk, E. (2015) Amøbisk gjellesykdom (AGD) – litt om den nye plagen. *Havforskningsrapporten* **2015**, 32-35.
- Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Mäntysaari, E., & Eskelinen, U. (2003). Selection against early maturity in large rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: the quantitative genetics of sexual dimorphism and genotype-by-environment interactions. *Aquaculture* **228**(1-4), 53-68.
- Kaushik, S. J., Cravedi, J. P., Lalles, J. P., Sumpter, J., Fauconneau, B. & Laroche, M. (1995) Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **133**(3), 257-274.
- Kent, M. L., & Poppe, T. T. (2002). Infectious diseases of coldwater fish in marine and brackish water. In: *Diseases and disorders of finfish in cage culture*, (Eds: P. T. K. Woo, D. W. Bruno, and L. H. S. Lim. CABI Publishing, New York, 61-105.
- 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
- Khansari, A. R., Balasch, J. C., Vallejos-Vidal, E., Teles, M., Fierro-Castro, C., Tort, L. & Reyes-López, F. E. (2019) Comparative study of stress and immune-related transcript outcomes triggered by *Vibrio anguillarum* bacterin and air exposure stress in liver and spleen of gilthead seabream (*Sparus aurata*), zebrafish (*Danio rerio*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology* **86**, 436-448.
- Kiessling, A., Bjørnevik, M., Thomassen, M., Røra, M. B., Mørkøre, T., Roth, B., Erikson, U. & Jordheim, O. (2007) From Cage to Table. *Aquaculture Research: From Cage to Consumption*, 45-63.
- Kiilerich, P., Milla, S., Sturm, A., Valotaire, C., Chevolleau, S., Giton, F., Terrien, X., Fiet, J., Fostier, A., Debrauwer, L. & Prunet, P. (2011) Implication of the mineralocorticoid axis in rainbow trout osmoregulation during salinity acclimation. *Journal of Endocrinology* **209**, 221-235.
- Kincheloe, J. W., Wedemeyer, G. A. & Koch, D. L. (1979) Tolerance of developing salmonid eggs and fry to nitrate exposure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **23**(1), 575-578.
- Kitamura S., Ohara S., Suwa T. & Nakagawa K. (1965) Studies on vitamin requirements of rainbow trout. I. On the ascorbic acid. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* **31**, 818-826.
- Kjelland, M. E., Woodley, C. M., Swannack, T. M. & Smith, D. L. (2015) A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. *Environment Systems and Decisions* **35**(3), 334-350.
- Kluger, M. J., O'Reilly, B., Shope, T. R. & Vander, A. J. (1987) Further evidence that stress hyperthermia is a fever. *Physiology & behavior* **39**(6), 763-766.
- 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
- 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., Fjelldal, 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. (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.
- Korsøen, Ø. 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.
- 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.
- Kroupova, H., Machova, J. & Svobodova, Z. (2005) Nitrite influence on fish: a review. *Vet. Med. – Czech* **50 (11)**, 461-471.
- Kroupova, H., Machova, J., Piackova, V., Blahova, J., Dobsikova, R., Novotny, L. & Svobodova, Z. (2008) Effects of subchronic nitrite exposure on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecotoxicology and environmental safety* **71(3)**, 813-820.
- Kwain, W. H. & McCauley, R. W. (1978) Effects of age and overhead illumination on temperatures preferred by underyearling rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in a vertical temperature gradient. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **35(11)**, 1430-1433.
- Landeira-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.
- Landless, P. J. (1976a) Demand-feeding behaviour of rainbow trout. *Aquaculture* **7(1)**, 11-25.
- Landless, P. J. (1976b) Acclimation of rainbow trout to sea water. *Aquaculture* **7(1)**, 173-179.
- Larsen, B. K., Skov, P. V., McKenzie, D. J. & Jokumsen, A. (2012) The effects of stocking density and low level sustained exercise on the energetic efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at 19 °C. *Aquaculture* **324**, 226-233.
- Latham, K. E. & Just, J. J. (1989) Oxygen availability provides a signal for hatching in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) embryo. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **46(1)**, 55-58.
- Laursen, D. C., Silva, P. I., Larsen, B. K. & Höglund, E. (2013) High oxygen consumption rates and scale loss indicate elevated aggressive behaviour at low rearing density, while elevated brain serotonergic activity suggests chronic stress at high rearing densities in farmed rainbow trout. *Physiology & behavior* **122**, 147-154.
- Le Bras, Y., Dechamp, N., Krieg, F., Filangi, O., Guyomard, R., Boussaha, M., Bovenhuis, H., Pottinger, T. G., Prunet, P., Le Roy, P. & Quillet, E. (2011) Detection of QTL with effects on osmoregulation capacities in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *BMC genetics* **12(1)**, 46.
- Leclercq, E., Taylor, J. F., Fison, D., Fjellidal, P. G., Diez-Padriza, 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.
- Lein, I., Helland, S., Hjelde, K. & Baeverfjord, G. (2009) Temperature effects on malformations in trout (*O. mykiss*). In: *Control of malformations in fish aquaculture, Science and practice (FineFish)*. Baeverfjord, G., Helland, S. & Hough, C. (eds.). pp. 149.
- Lekang, O.-I., (2007) *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 432 pp.

- 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.
- Li, H. W. & Brocksen, R. W. (1977) Approaches to the analysis of energetic costs of intraspecific competition for space by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Fish Biology* **11**(4), 329-341.
- 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.
- Ligon, F., Rich, A., Ryneerson, 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*.
- Linton, T. K., Morgan, I. J., Walsh, P. J. & Wood, C. M. (1998). Chronic exposure of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to simulated climate warming and sublethal ammonia: a year-long study of their appetite, growth, and metabolism. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(3), 576-586.
- López-Luna, J., Vásquez, L., Torrent, F. & Villarroel, M. (2013) Short-term fasting and welfare prior to slaughter in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **400**, 142-147.
- López-Patiño, M. A., Hernández-Pérez, J., Gesto, M., Librán-Pérez, M., Míguez, J. M. & Soengas, J. L. (2014) Short-term time course of liver metabolic response to acute handling stress in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **168**, 40-49.
- 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.
- Machova, J., Faina, R., Randak, T., Valentova, O., Steinbach, C., Kroupova, H. K. & Svobodova, Z. (2017) Fish death caused by gas bubble disease: a case report. *Veterinární medicína* **62**(4), 231-237.
- MacIntyre, C., Ellis, T., North, B. P. & Turnbull, J. F. (2008) The influences of water quality on the welfare of farmed trout: a Review. In: *Fish Welfare* (Ed: Branson, E.). Blackwells Scientific Publications, London, 150-178.
- Madsen, L., Arnbjerg, J. & Dalsgaard, I. (2000) Spinal deformities in triploid all-female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **20**, 206-208.
- Madsen, J., Arnbjerg, J. & Dalsgaard, I. (2001) Radiological examination of the spinal column in farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): experiments with *Flavobacterium psychrophilum* and oxytetracycline. *Aquaculture Research* **32**, 235-241.
- Magnoni, L. J., Eding, E., Leguen, I., Prunet, P., Geurden, I., Ozório, R. O. & Schrama, J. W. (2018) Hypoxia, but not an electrolyte-imbalanced diet, reduces feed intake, growth and oxygen consumption in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Scientific reports* **8**(1), 4965.
- Makino, K., Onuma, T. A., Kitahashi, T., Ando, H., Ban, M. & Urano, A. (2007) Expression of hormone genes and osmoregulation in homing chum salmon: a minireview. *General and comparative endocrinology* **152**(2-3), 304-309.
- 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.

- Marras, S., Killen, S. S., Claireaux, G., Domenici, P., & McKenzie, D. J. (2011) Behavioural and kinematic components of the fast-start escape response in fish: individual variation and temporal repeatability. *Journal of Experimental Biology* **214**, 3102–3110.
- 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., 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.
- McCarthy, I. D., Carter, C. G. & Houlihan, D. F. (1992) The effect of feeding hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Biology* **41**(2), 257-263.
- 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. (1987) Preparatory Physiological Adaptations for Marine Life of Salmonids: Osmoregulation, Growth, and Metabolism. *American Fisheries Society Symposium* **1**, 211-229.
- 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.
- McDonald, D. G., Hobe, H. & Wood, C.M. (1980) The influence of calcium on the physiological responses of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*, to low environmental pH. *Journal of Experimental Biology* **88**, 109-131.
- 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.
- McGeer, J. C. & Wood, C. M. (1998) Protective effects of water Cl⁻ on physiological responses to waterborne silver in rainbow trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(11), 2447-2454.
- McKay, L. R. & Gjerde, B. (1985) The effect of salinity on growth of rainbow trout. *Aquaculture* **49**(3-4), 325-331.
- McKenzie, D. J., Höglund, E., Dupont-Prinet, A., Larsen, B. K., Skov, P. V., Pedersen, P. B. & Jokumsen, A. (2012) Effects of stocking density and sustained aerobic exercise on growth, energetics and welfare of rainbow trout. *Aquaculture* **338**, 216-222.
- 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.
- 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.
- 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. & 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., 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.
- 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.
- Milne, I., Seager, J., Mallett, M. & Sims, I. (2000) Effects of short-term pulsed ammonia exposure on fish. *Environmental toxicology and chemistry* **19(12)**, 2929–2936.
- Mommsen, T. P. & Hochachka, P. W. (1988) The purine nucleotide cycle as two temporally separated metabolic units: a study on trout muscle. *Metabolism-Clinical and Experimental* **37(6)**, 552–556.
- 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.
- Moran, D., Tirsgård, B. & Steffensen, J. F. (2010) The accuracy and limitations of a new meter used to measure aqueous carbon dioxide. *Aquacultural engineering* **43(3)**, 101–107.
- 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.
- Morro, B., Balseiro, P., Albalat, A., Pedrosa, C., Mackenzie, S., Nakamura, S., Shimizu, M., Nilsen, T. O., Sveier, H., Ebbesson, L. O. & Handeland, S. O. (2019) Effects of different photoperiod regimes on the smoltification and seawater adaptation of seawater-farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Insights from Na⁺, K⁺–ATPase activity and transcription of osmoregulation and growth regulation genes. *Aquaculture* **507**, 282–292.
- Moutou, K. A., McCarthy, I. D. & Houlihan, D. F. (1998) The effect of ration level and social rank on the development of fin damage in juvenile rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **52(4)**, 756–770.
- Mørkøre, T., Tahirovic, V. & Einen, O. (2008) Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmon 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.

- Mustafa, A., Speare, D. J., Daley, J., Conboy, G. A. & Burka, J. F. (2000) Enhanced susceptibility of seawater cultured rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), to the microsporidian *Loma salmonae* during a primary infection with the sea louse, *Lepeophtheirus salmonis*. *Journal of fish diseases* **23**(5), 337-341.
- Nagasawa, K. (2004) Sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus orientalis* (Copepoda: Caligidae), of wild and farmed fish in sea and brackish waters of Japan and adjacent regions: a review. *Zoological Studies* **43**(2), 173-178.
- 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.
- Nematollahi, A., Decostere, A. & Pasmans, F. (2003) *Flavobacterium psychrophilum* infections in salmonid fish. *Journal of Fish Diseases* **26**, 563-574.
- 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
- Newcombe, C. P. & Hartman, G. F. (1980) Visual signals in the spawning behaviour of rainbow trout. *Canadian Journal of Zoology* **58**(10), 1751-1757.
- Nilsen, M., Amundsen, V. S. & Olsen, M. S. (2018) Swimming in a slurry of schemes: making sense of aquaculture standards and certification schemes. In: *Safety and Reliability-Safe Societies in a Changing World*. Haugen, S., Barros, A., van Gulijk, C., Kongsvik, T. & Vinnem J. E. (eds). Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-8153-8682-7 3149-3156.
- 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
- Nilsson, J., Folkedal, O., Fosseidengen, J. E., Stien, L. H. & Oppedal, F. (2013) PIT tagged individual Atlantic salmon registered at static depth positions in a sea cage: Vertical size stratification and implications for fish sampling. *Aquacultural Engineering* **55**, 32- 36.
- Noble, A. C. & Summerfelt, S. T. (1996) Diseases encountered in rainbow trout cultured in recirculating systems. *Annual Review of Fish Diseases* **6**, 65-92.
- Noble, C., Mizusawa, K. & Tabata, M. (2005) Does light intensity affect self-feeding and food wastage in group-held rainbow trout and white-spotted charr? *Journal of Fish Biology* **66**(5), 1387-1399.
- Noble, C., Mizusawa, K., Suzuki, K., & Tabata, M. (2007a) The effect of differing self-feeding regimes on the growth, behaviour and fin damage of rainbow trout held in groups. *Aquaculture* **264**(1), 214-222.
- Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D. F. & Huntingford, F. A. (2007b) 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), 1137-1143.
- Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D. F. & Huntingford, F. A. (2007c) 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.
- Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. & Turnbull, J. F. (Eds.) (2018). Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare 351pp. ISBN 978-82-8296-556-9
- 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.
- Nolan, D. T., Ruane, N. M., Van Der Heijden, Y., Quabius, E. S., Costelloe, J. & Bonga, S. E. (2000) Juvenile *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) affect the skin and gills of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) and the host response to a handling procedure. *Aquaculture Research* **31**(11), 823-833.
- Norberg, B., Taranger, G. L. & Tveiten, H. (2007) Reproductive Physiology in Cultured Cold-water Marine Fish. *From Cage to Consumption*, 66-79.
- Nordin, R. N., Pommen, L. W. & Meays, C. L. (2009) Water Quality Guidelines for Nitrogen (Nitrate, Nitrite, and Ammonia). *Water Stewardship Division, Ministry of Environment, Province of British Columbia, Canada*, 1-29.
- Nordgreen, J., Garner, J. P., Janczak, A. M., Ranheim, B., Muir, W. M. & Horsberg, T. E. (2009) Thermonociception 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.
- 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.
- O'Donohoe, P., Kane, F., McDermott, T. & Jackson, D. (2016) Sea reared rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* need fewer sea lice treatments than farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol* **36**(5), 2016.
- 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, A. B., Hjortaa, M., Tengs, T., Hellberg, H. & Johansen, R. (2015) First Description of a new disease in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)) similar to heart and skeletal muscle inflammation (HSMI) and detection of a gene sequence related to piscine orthoreovirus (PRV). *PloS one* **10**(7), e0131638.
- 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, R. E., Sundell, K., Mayhew, T. M., Myklebust, R. & Ringø, E. (2005) Acute stress alters intestinal function of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture* **205**, 480–495.
- 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. (1995) Growth, harvest quality, sexual maturation and behaviour of spring transferred rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) given natural or continuous light in sea water. Cand. scient. thesis, University of Bergen, Norway (in Norwegian).
- 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.
- Ortega, V. A., Renner, K. J. & Bernier, N. J. (2005) Appetite-suppressing effects of ammonia exposure in rainbow trout associated with regional and temporal activation of brain monoaminergic and CRF systems. *Journal of Experimental Biology* **208**(10), 1855–1866.
- 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.
- 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**.
- Pedersen, C. L. (1987) Energy budgets for juvenile rainbow trout at various oxygen concentrations. *Aquaculture* **62**(3–4), 289–298.
- Perry, S. F., Rivero-Lopez, L., McNeill, B. & Wilson, J. (2006) Fooling a freshwater fish: how dietary salt transforms the rainbow trout gill into a seawater gill phenotype. *Journal of Experimental Biology* **209**(23), 4591–4596.
- Person-Le Ruyet, J., Labbé, L., Le Bayon, N., Sévère, A., Le Roux, A., Le Delliou, H. & Quémener, L. (2008) Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Living Resources* **21**(2), 185–195.
- 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, 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.
- Pettem, C. M., Briens, J. M., Janz, D. M. & Weber, L. P. (2018) Cardiometabolic response of juvenile rainbow trout exposed to dietary selenomethionine. *Aquatic toxicology* **198**, 175-189.
- 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.
- Phillips, M. J. (1985) Behaviour of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, in marine cages. *Aquaculture Research* **16(3)**, 223-232.
- 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. (1999) Fiskehelse og fiskesykdommer. (Poppe T., ed.). Oslo: Universitetsforlaget, 411.
- 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.
- Poppe, T. T., Bæverfjord, G. & Hansen, T. (2007) Effects of intensive production with emphasis on on-growing production: fast growth, deformities and production-related diseases. *Aquaculture Research: From Cage to Consumption*, 120-135.
- 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.
- Pottinger, T. G. & Carrick, T. R. (1999) A comparison of plasma glucose and plasma cortisol as selection markers for high and low stress-responsiveness in female rainbow trout. *Aquaculture* **175(3-4)**, 351-363.
- Pottinger, T. G., Rand-Weaver, M. & Sumpter, J. P. (2003) Overwinter fasting and re-feeding in rainbow trout: plasma growth hormone and cortisol levels in relation to energy mobilisation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* **136(3)**, 403-417.
- Poulsen, S. B., Jensen, L. F., Nielsen, K. S., Malte, H., Aarestrup, K., & Svendsen, J. C. (2011). Behaviour of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* presented with a choice of normoxia and stepwise progressive hypoxia. *Journal of Fish Biology* **79(4)**, 969-979.

- 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.
- Pounder, K. C., Mitchell, J. L., Thomson, J. S., Pottinger, T. G. & Sneddon, L. U. (2018) Physiological and behavioural evaluation of common anaesthesia practices in the rainbow trout. *Applied Animal Behaviour Science* **199**, 94-102.
- Poynton, S. L. (1987) Vertebral column abnormalities in brown trout, *Salmo trutta* L. *Journal of Fish Diseases* **10**, 53-57.
- 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.
- Quality trout UK (2019). <http://www.qualitytrout.co.uk> (Accessed 2019).
- 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.
- Raida, M. K. & Buchmann, K. (2008) Bath vaccination of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) against *Yersinia ruckeri*: effects of temperature on protection and gene expression. *Vaccine* **26**(8), 1050-1062.
- Randall, D. J. (1991). The impact of variations in water pH on fish. In: *Aquaculture and Water Quality*. Brune, D. E. & Tomasso, J. R. (eds.). World Aquaculture Society. Baton Rouge. 90-104.
- Randall, D. J. & Wright, P. A. (1989) The interaction between carbon dioxide and ammonia excretion and water pH in fish. *Canadian Journal of Zoology* **67**, 2936-2942.
- Randall D. J. & Tsui T. K. N. (2002) Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin* **45**, 17-23.
- 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.
- Reebs, 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., 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.
- 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.
- Remø, S. C., Hevrøy, E. M., Breck, O., Olsvik, P. A. & Waagbø, R. (2017) Lens metabolomic profiling as a tool to understand cataractogenesis in Atlantic salmon and rainbow trout reared at optimum and high temperature. *PLoS one* **12**(4), e0175491.

- Revie, C. W., Gettinby, G., Treasurer, J. W. & Rae, G. H. (2002) The epidemiology of the sea lice, *Caligus elongates* Nordmann, in marine aquaculture of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Scotland. *Journal of Fish Diseases* **25**, 391-399.
- Rey, S., Huntingford, F. A., Boltana, S., Vargas, R., Knowles, T. G. & Mackenzie, S. (2015) Fish can show emotional fever: stress-induced hyperthermia in zebrafish. *Proc. R. Soc. B* **282**(1819), 20152266.
- 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.
- Robards, M. D. & Quinn, T. P. (2002) The Migratory Timing of Adult Summer-Run Steelhead in the Columbia River over Six Decades of Environmental Change. *Transactions of the American Fisheries Society* **131**(3), 523-536.
- 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. (2012) *Fish pathology*, 4th Edition. Wiley Blackwell, Hoboken, NJ. ISBN: 978-1-444-33282-7
- Roberts, S. D. & Powell, M. D. (2005) The viscosity and glycoprotein biochemistry of salmonid mucus varies with species, salinity and the presence of amoebic gill disease. *Journal of Comparative Physiology B* **175**(1), 1-11.
- 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.
- Roberts, R. J. & Shepherd, C. J. (1974) *Handbook of trout and salmon diseases*. Fishing News (Books) Ltd.
- Robertson-Bryan Inc. (2006) Suspended solids and turbidity requirements of freshwater aquatic life and example relationship between TSS (mg/L) and turbidity (NTUs) for a treated municipal effluent (Technical Memorandum), pp.23.
- Rogers, G. (2005) Total Gas Saturation Considerations for Recirculating Aquatic Systems. *International Journal of Recirculating Aquaculture* **6**, 39-48.
- Rojas, V., Sánchez, D., Gallardo, J. A. & Mercado, L. (2018) Histopathological changes induced by *Caligus rogercresseyi* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Latin American journal of aquatic research* **46**(4), 843-848.
- Rønsholdt, B. & McLean, E. (1999) The effect of vaccination and vaccine components upon short-term growth and feed conversion efficiency in rainbow trout. *Aquaculture* **174**(3-4), 213-221.
- Rose, J. D. (2002) The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Reviews in Fisheries Science* **10**, 1-38.
- 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.
- Rowe, D. K., Dean, T. L., Williams, E. & Smith, J. P. (2003) Effects of turbidity on the ability of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, to feed on limnetic and benthic prey in laboratory tanks. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **37**(1), 45-52.
- RSPCA (2014). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed 2016)
- RSPCA (2018a). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon> (Accessed 2018)
- RSPCA (2018b). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed 2018)

- Ruane, N. M., Nolan, D. T., Rotllant, J., Costelloe, J. & Bonga, S. W. (2000) Experimental exposure of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) to the infective stages of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) influences the physiological response to an acute stressor. *Fish & Shellfish Immunology* **10**(5), 451-463.
- Russo, R. C., Smith, C. E. & Thurston, R. V. (1974) Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada* **31**(10), 1653-1655.
- 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.
- Sadoul, B., Leguen, I., Colson, V., Friggens, N. C. & Prunet, P. (2015) A multivariate analysis using physiology and behavior to characterize robustness in two isogenic lines of rainbow trout exposed to a confinement stress. *Physiology & behavior* **140**, 139-147.
- Sadoul, B., Friggens, N. C., Valotaire, C., Labbé, L., Colson, V., Prunet, P. & Leguen, I. (2017) Physiological and behavioral flexibility to an acute CO₂ challenge, within and between genotypes in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **209**, 25-33.
- 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.
- Samraus, F., Glover, K. A., Hansen, T., Fraser, T. W. K., Solberg, M. F. & Fjelldal, P. G. (2014) Vertebra deformities in wild Atlantic salmon caught in the Figgjo River, southwest Norway. *Journal of Applied Ichthyology* **30**, 777-782.
- Samraus, F., Olsen, R. E., Remen, M., Hansen, T. J., Torgersen, T. & Fjelldal, 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.
- Sánchez-Vázquez, F. J. & Tabata, M. (1998) Circadian rhythms of demand-feeding and locomotor activity in rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **52**(2), 255-267.
- Sapolsky, R. M. (2000) Stress hormones: Good and bad. *Neurobiology of diseases* **7**(5), 540-542.
- 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.
- Scannell, P. W. & Jacobs, L. L. (2001) Effects of total dissolved solids on aquatic organisms. In: *Alaska Department of Fish and Game: Division of habitat and restoration*. Technical Report No. 01-06. Technical Report.
- 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.
- Schurmann, H., Steffensen, J. F., & Lomholt, J. P. (1991) The influence of hypoxia on the preferred temperature of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology* **157**(1), 75-86.
- 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.
- 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.
- Shabani, F., Erikson, U., Beli, E. & Rexhepi, A. (2016) Live transport of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and subsequent live storage in market: water quality, stress and welfare considerations. *Aquaculture* **453**, 110-115.
- Shakoori, M., Hoseinifar, S. H., Paknejad, H., Jafari, V., Safari, R., Van Doan, H. & Mozanzadeh, M. T. (2019) Enrichment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings diet with microbial lysozyme: Effects on growth performance, serum and skin mucus immune parameters. *Fish & shellfish immunology* **86**, 480-485.
- Shearer, K.D. & Hardy, R.W. (1987) Phosphorus deficiency in rainbow trout fed a diet containing deboned fillet scrap. *Progressive Fish-Culturist* **49**, 192-197.
- Shephard, K. L. (1994) Functions for fish mucus. *Reviews in fish biology and fisheries* **4**(4), 401-429.
- Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative evaluation of toleration to heating and hypoxia of three kinds of salmonids. *Journal of Ocean University of China* **17**(6), 1465-1472.
- Shrimpton, J. M., Randall, D. J. & Fidler, L. E. (1990) Factors affecting swim bladder volume in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in gas supersaturated water. *Canadian Journal of Zoology* **68**(5), 962-968.
- Skov, P. V., Pedersen, L. F. & Pedersen, P. B. (2013) Nutrient digestibility and growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) are impaired by short term exposure to moderate supersaturation in total gas pressure. *Aquaculture* **416**, 179-184.
- 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.

- 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. (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.
- 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.
- Soutar, R. (2015) Vets and aquaculture: an evolving relationship. *Veterinary Record* **177**(10), 252–255.
- 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.
- Stefansson, S., Bæverfjord, G., Finn, R. N., Finstad, B., Fivelstad, S., Handeland, S., Kristensen, T., Kroglund, F., Rosseland, B. O., Rosten, T. & Salbu, B. (2007) Water quality–salmonids. Aquaculture research: from cage to consumption. *Norwegian Research Council*, Oslo, 101–119.
- Stephen, C. & Ribble, C. S. (1995) An evaluation of surface moribund salmon as indicators of seapen disease status. *Aquaculture* **133**(1), 1–8.
- Stevens, E. D. & Randall, D. J. (1967) Changes in blood pressure, heart rate and breathing rate during moderate swimming activity in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* **46**(2), 307–315.
- Stewart, H. A., Noakes, D. L., Cogliati, K. M., Peterson, J. T., Iversen, M. H. & Schreck, C. B. (2016) Salinity effects on plasma ion levels, cortisol, and osmolality in Chinook salmon following lethal sampling. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **192**, 38–43.
- 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., Amundsen, A., Mørkøre, T., Nortvedt, R. & Økland, S. N. (2006) Instrumental colour analysis of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) muscle. In: *Seafood research from fish to dish*. Luten, J. B., Jacobsen, C., Bekaert, K., Sæbø, A. & Oehlenschläger, J. (eds.). Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 525–541.
- 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. (2016a) 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, Fisker og Havet, særnr; 2-2016, 129–134.

- Stien, L. H., Dempster, T., Bui, S., Glaropoulos, A., Fosseidengen, J. E., Wright, D. W. & Oppedal, F. (2016b). 'Snorkel' sea lice barrier technology reduces sea lice loads on harvest-sized Atlantic salmon with minimal welfare impacts. *Aquaculture* **458**, 29-37.
- Stien, L. H., Gismervik, K. & Kristiansen, T. S. (2017) Risiko for dødelighet og dårlig fiskevelferd i laks- og regnbueørretproduksjonen i sjø (Eng: Risk for increased mortality and poor fish welfare in production of salmon and rainbow trout in sea cages). In: Svåsand, T., Grefsrud, E. S., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Glover, K., Husa, V., Kristiansen, T. S. (eds.) Havforskningsinstituttet, *Fisken og Havet særnr; 2-2017*, 117-123.
- Storebakken, T. & Austreng, E. (1987) Ration level for salmonids: II. Growth, feed intake, protein digestibility, body composition, and feed conversion in rainbow trout weighing 0.5–1.0 kg. *Aquaculture* **60(3)**, 207-221.
- Stormer, J., Jensen, F. B. & Rankin, J. C. (1996) Uptake of nitrite, nitrate, and bromide in rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*): effects on ionic balance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53(9)**, 1943-1950.
- Sugiura, S. H., Hardy, R. W. & Roberts, R. J. (2004) The pathology of phosphorous deficiency in fish – a review. *Journal of Fish Diseases* **27**, 255-265.
- 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.
- Sutterlin, A. M. & Stevens, E. D. (1992) Thermal behaviour of rainbow trout and Arctic char in cages moored in stratified water. *Aquaculture* **102(1-2)**, 65-75.
- Sutterlin, A. M., Jokola, K. J. & Holte, B. (1979) Swimming behavior of salmonid fish in ocean pens. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **36(8)**, 948-954.
- 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.
- 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.
- Tacchi, L., Lowrey, L., Musharrafieh, R., Crossey, K., Larragoite, E. T. & Salinas, I. (2015) Effects of transportation stress and addition of salt to transport water on the skin mucosal homeostasis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **435**, 120-127.
- Taguchi, M. & Liao, J. C. (2011) Rainbow trout consume less oxygen in turbulence: the energetics of swimming behaviors at different speeds. *Journal of Experimental Biology* **214**, 1428-1436.
- Tait, J. S. (1960) The first filling of the swim bladder in salmonids. *Canadian Journal of Zoology* **38**, 179-187.
- Taranger, G. L., Arnesen, A. M., Bæverfjord, G., Handeland, S. O. & Åsgård, T. (2000) Økt kunnskap gir mer effektiv produksjon i oppdrett av laksefisk. *Fisken og havet særnummer 3*, 20-30.
- 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.
- Tautz, A. F. & Groot, C. (1975) Spawning behavior of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada* **32(5)**, 633-642.
- Taylor, J. F., Migaud, H., Porter, M. J. R. & Bromage, N. R. (2005) Photoperiod influences growth rate and plasma insulin-like growth factor-I levels in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *General and comparative endocrinology* **142(1-2)**, 169-185.

- Taylor, J. F., North, B. P., Porter, M. J. R., Bromage, N. R. & Migaud, H. (2006) Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **256**(1-4), 216-234.
- Taylor, J. F., Needham, M. P., North, B. P., Morgan, A., Thompson, K. & Migaud, H. (2007) The influence of ploidy on saltwater adaptation, acute stress response and immune function following seawater transfer in non-smolting rainbow trout. *General and comparative endocrinology* **152**(2-3), 314-325.
- Taylor, J. F., Porter, M. J., Bromage, N. R. & Migaud, H. (2008) Relationships between environmental changes, maturity, growth rate and plasma insulin-like growth factor-I (IGF-I) in female rainbow trout. *General and comparative endocrinology* **155**(2), 257-270.
- 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. & Farrell, A. P. (2011) The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture* **312**(1), 1-14.
- 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., Gallagher, P. & Farrell, A. P. (1996) Cardiac output in swimming rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, acclimated to seawater. *Physiological zoology* **69**(1), 139-153.
- Thurston, R. V. & Russo, R. C. (1983) Acute toxicity of ammonia to rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society* **112**(5), 696-704.
- 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.
- Tröbe, 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.
- Tucker, E. K., Suski, C. D., Philipp, M. A., Jeffrey, J. D. & Hasler, C. T. (2019) Glucocorticoid and behavioral variation in relation to carbon dioxide avoidance across two experiments in freshwater teleost fishes. *Biological Invasions* **21**(2), 505-517.
- 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.
- 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.
- Vedel, N. E., Korsgaard, B. & Jensen, F. B. (1998) Isolated and combined exposure to ammonia and nitrite in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on electrolyte status, blood respiratory properties and brain glutamine/glutamate concentrations. *Aquatic Toxicology* **41**(4), 325-342.
- 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.
- Vendrell, D., Balcázar, J. L., Ruiz-Zarzuela, I., de Blas, I., Gironés, O. & Múzquiz, J. L. (2007) Safety and efficacy of an inactivated vaccine against *Lactococcus garvieae* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Preventive veterinary medicine* **80**(2-3), 222-229.
- 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.
- Villumsen, K. R., Koppang, E. O. & Raida, M. K. (2015) Adverse and long-term protective effects following oil-adjuvanted vaccination against *Aeromonas salmonicida* in rainbow trout. *Fish & shellfish immunology* **42**(1), 193-203.
- Villumsen, K. R., Koppang, E. O., Christensen, D. & Bojesen, A. M. (2017) Alternatives to mineral oil adjuvants in vaccines against *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* in rainbow trout offer reductions in adverse effects. *Scientific reports* **7**(1), 5930.

- 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.
- VKM (2014) Panel on Animal Health and Welfare; Risk assessment of amoebic gill disease, VKM Report 2014: 11 [39 pp], ISBN nr. 978-82-8259-149-2, Oslo, Norway.
- von Uexküll J (1921). *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. 2. verm. u. verb. Aufl. Berlin: J. Springer.
- Vosyliënė, M. Z. & Kazlauskienė, N. (2004) Comparative studies of sublethal effects of ammonia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at different stages of its development. *Acta Zoologica Lituanica* **14(1)**, 13-18.
- 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., Tröbe, 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, H. H. (1974) Photoperiod and temperature regulation of smolting in steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Zoology* **52**, 219-234.
- Wagner, E. J., Bosakowski, T. & Intelmann, S. (1997) Combined effects of temperature and high pH on mortality and the stress response of rainbow trout after stocking. *Transactions of the American Fisheries Society* **126(6)**, 985-998.
- Wall, T. (2008). Disease and Medicines-the Welfare Implications. In: *Fish welfare*. Branson E. J. (ed.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 195-201.
- 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.
- Wedemeyer, G. A. (1996) *Physiology of fish in Intensive culture systems*. London, Chapman Hall.
- 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
- Westin, D. T. (1974) Nitrate and nitrite toxicity to salmonoid fishes. *The Progressive Fish-Culturist* **36(2)**, 86-89.

- Wicks, B. J., Joensen, R., Tang, Q. & Randall, D. J. (2002) Swimming and ammonia toxicity in salmonids: the effect of sub lethal ammonia exposure on the swimming performance of coho salmon and the acute toxicity of ammonia in swimming and resting rainbow trout. *Aquatic Toxicology* **59**(1-2), 55-69.
- Wicks B. J. & Randall D. J. (2002a) The effect of feeding and fasting on ammonia toxicity in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquatic Toxicology* **59**, 71-82.
- Wicks B. J. & Randall D. J. (2002b) The effect of sub-lethal ammonia exposure on fed and unfed rainbow trout: the role of glutamine in regulation of ammonia. *Comp Biochem Physiol A* **132**, 275-285.
- Wilkinson, R. J., Longland, R., Woolcott, H. & Porter, M. J. (2010) Effect of elevated winter-spring water temperature on sexual maturation in photoperiod manipulated stocks of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **309**(1-4), 236-244.
- Wilson, J. M., Iwata, K., Iwama, G. K. & Randall, D. J. (1998) Inhibition of ammonia excretion and production in rainbow trout during severe alkaline exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* **121**(1), 99-109.
- 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., Obach, A., Huysseune, A. & Baeverfjord, G. (2006) Vertebrae fusion in Atlantic salmon (*Salmo salar*): development, aggravation and pathways of containment. *Aquaculture* **258**, 164-172.
- 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.
- Wood, C. M. (2004) Dogmas and controversies in the handling of nitrogenous wastes: is exogenous ammonia a growth stimulant in fish?. *Journal of Experimental Biology* **207**(12), 2043-2054.
- Woyanovich, A., Hoitsy, G. & Moth-Poulsen, T. (2011) Small-scale rainbow trout farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (**561**), 1.
- Wright, P. A. & Wood, C. M. (1985) An analysis of branchial ammonia excretion in the freshwater rainbow trout: Effects of environmental pH change and sodium uptake blockade. *Journal of Experimental Biology* **114**, 329-353.
- Ye, X. & Randall, D. J. (1991) The effect of water pH on swimming performance in rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson). *Fish Physiology and Biochemistry* **9**, 15-21.
- Ye, X., Randall, D. J. & He, X. (1991) The effect of acid water on oxygen consumption, circulating catecholamines and blood ionic and acid-base status in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Fish Physiology and Biochemistry* **9**, 23-30.
- 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.
- Zachariasen, F., (2001). Intraspecific differences in nitrite tolerance of rainbow trout. The role of gill and kidney. Cand. Scient. Thesis, Institute of Biology, University of Southern Denmark, Odense.
- Zhang, L. & Wood, C. M. (2009) Ammonia as a stimulant to ventilation in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Respiratory physiology & neurobiology* **168**(3), 261-271.

- Zhang, L., Nawata, C. M. & Wood, C. M. (2013) Sensitivity of ventilation and brain metabolism to ammonia exposure in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology* **216**(21), 4025-4037.
- Ørnsrud, R., Wargelius, A., Sæle, Ø., Pittman, K. & Waagbø, R., (2004) 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.
- Øverli, Ø., Harris, C. A. & Winberg, S. (1999) Short-term effects of fights for social dominance and the establishment of dominant-subordinate relationships on brain monoamines and cortisol in rainbow trout. *Brain, Behavior and Evolution* **54**(5), 263-275.

Velferdsindikatorer for regnbueørret i oppdrett – Del B. Bruk av operative velferdsindikatorer for ulike produksjonssystem

Jelena Kolarevic^{1*}, Chris Noble^{1*}, James F. Turnbull^{2*}, Lars H. Stien^{3*}, Åsa M. Espmark¹, David Izquierdo-Gomez¹, Jonatan Nilsson³, Frode Oppedal³, Daniel W. Wright³, Kristoffer V. Nielsen⁴, Kristine Gismervik⁴, Martin H. Iversen⁵ and Bjørn-Steinar Sæther¹

* Felles førsteforfatterskap

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

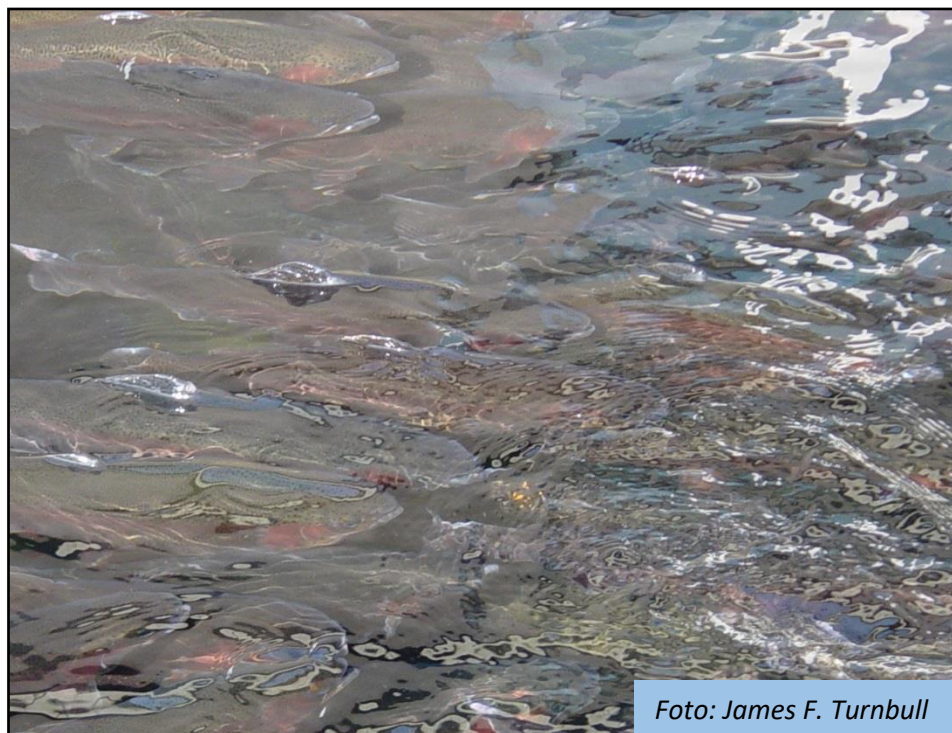


Foto: James F. Turnbull

Innholdsfortegnelse

1	Oppdrett basert på gjennomstrømmingssystem	158
1.1	Regnbueørretproduksjon på land med vanngjennomstrømming	159
1.2	Velferdsutfordringer.....	159
1.3	Operative velferdsindikatorer	162
1.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer	163
1.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer	170
1.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	172
2	Merder i sjø	174
2.1	Oppdrett av ørret i merd.....	175
2.2	Velferdsutfordringer.....	175
2.3	Operative velferdsindikatorer	178
2.4	Miljøbaserte operative velferdsindikatorer	178
2.5	Gruppebaserte operative velferdsindikatorer	182
2.6	Individbaserte operative velferdsindikatorer.....	186
3	Morfologiske skårssystem for vurdering av fiskevelferd i ulike oppdrettssystemer	189
4	Sammendrag og oversikt over OVI-er og LABVI-er egnet er egnet for ulike oppdrettssystemer.	195
5	Referanser	196

1 Oppdrett basert på gjennomstrømmingssystem



1.1 Regnbueørretproduksjon på land med vanngjennomstrømming

I dette kapitelet 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 føres gjennom anlegget før det slippes tilbake til vannmiljøet i henhold til utslippstillatelsen gitt av myndighetene. Hoveddelen av ørretproduksjonen ved ulike livsstadier (egg til voksen) blir gjennomført i GS-systemer på land, selv om man også benytter både merder i ferskvann, brakkvann og sjøvann.

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.** Gjennomstrømningssystemer er åpne systemer hvor store mengder vann føres gjennom produksjonskar. Selv om et visst nivå av rensing av inntaksvann kan brukes (f.eks. UV eller filtre), forhindrer dette ikke inntreden av patogener eller svingninger av mulig giftige vannkvalitetsparametere i oppdrettsmiljøet. GS-systemer er sårbare og kan påvirkes av endringer i nærmiljøet. Noen eksterne trusler kan overvåkes og kontrolleres, mens andre delvis kan holdes under kontroll. Men noen parameter, som for eksempel plutselige uforutsette giftige algeoppblomstringer i kildevannet, kan være vanskelig å unngå eller håndtere med hell. Vannforsyning og kvalitet i GS-systemer bestemmer biomassen som kan produseres samtidig som alle kritiske parametere for vannkvalitet opprettholdes. 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. Selv om oksygenering kan øke kapasiteten til GS-systemet, vil det nå en grense hvor ansamling av avfall nødvendiggjør enten filtrering, resirkulering eller økt vannutveksling.
- **Mangelfull oksygenering.** Oksygen er en av miljøindikatorerne som kan begrense produksjonen av regnbueørret i GS-systemer. Dette skyldes hovedsakelig det høye oksygenbehovet og forbruket hos regnbueørret, forholdsvis lav oksygenløselighet i vann, og begrenset tilførsel av oppløst oksygen i vannet [1]. 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 ørreten sin vekst og velferd. På den annen side kan en overdreven bruk av oksygentilsetning skape hyperoksiske betingelser ($> 100\%$ O_2 metning). I GS-systemer med oksygenering, hvor vannmengden kan være lav og hvor metabolitter kan samle seg (for eksempel CO_2 og TAN), kan hyperoksiske forhold føre til redusert ventilasjonsrate og respiratorisk acidose. Rask reduksjon av O_2 -metning kan føre til metabolsk alkalose og raske endringer i blod-pH [2]. Potensiell dødelighet kan forekomme f.eks. etter svikt i oksygentilførselen, eller etter overføring av fisk fra anlegget med høy-konsentrasjon av oppløst oksygen eller etter 12-24 timers transport under høy-konsentrasjon av oppløst oksygen, på grunn av en rask reduksjon i tilgjengelig oksygen [2].

- **CO₂.** Høye CO₂-nivåer i GS-systemer er hovedsakelig et resultat av fiskens egen metabolisme i karene [3], selv om høye bakgrunnsnivåer av CO₂ i inntaksvannet kan spille en rolle [4]. Høye konsentrasjoner av CO₂ kan ha en negativ virkning på fiskeproduksjon, helse og velferd, men den eksakte effekten kan være avhengig av de spesifikke betingelsene i GS-systemet [4]. For norsk produksjon av laksefisk er den lovlige grensen 15 mg CO₂/L. For mange landbaserte GS-systemer vil det å opprettholde en CO₂-konsentrasjon innenfor denne lovlige grensen være en utfordring. En undersøkelse viste at av 96 vannkilder, som ble benyttet i norsk smoltproduksjon av laks, så hadde 30 % av anleggene en gjennomsnittlig CO₂-konsentrasjon over den anbefalte verdien [5]. Problemet er spesielt relatert til de systemer hvor vannlufting (som kan fjerne CO₂) erstattes med injeksjon av rent oksygen i inntaksvannet. Dette er en mer effektiv måte å opprettholde optimale O₂-nivå i karene sammenlignet med vannlufting, og gjør det mulig med en intensiv produksjon. Men det bør merkes at dette ikke skaper likevekt med andre gasser i vannsystemet. Imidlertid vil fravær av vannutgassing og forhøyede CO₂-konsentrasjoner i inntaksvannet kombinert med lav vannutvekslingshastighet, føre til en opphopning av CO₂ i produksjonsvannet. I bløtt vann med lav alkalitet, kan akkumuleringen av CO₂ føre til en rask reduksjon av vannets pH-verdi. Dette er noe som øker risikoen for metalltoksisitet, eksempelvis av aluminium. Dette vil igjen kunne føre til en reduksjon i den oksygenbærende kapasiteten i blodet og redusere vekst [6]. Teknologiske installasjoner av forskjellige CO₂-strippingenheter i GS-systemene er et effektivt velferdstiltak for å motvirke faren for høyt CO₂. CO₂-strippingssystemer kan være kostbare, men denne type investeringer kan lønne seg på lengre sikt da den kan forbedre fiskens ytelse og produksjonseffektivitet sammenliknet med systemer uten CO₂-stripping [4, Atlantisk laks]. CO₂-konsentrasjoner i akvakulturanlegg er langt høyere enn de som fisk opplever i naturen, inkludert nivåene som er forutsagt av de mest pessimistiske klimaendringsmodellene. Vi begynner å oppdage konsekvensene av noen av disse nivåene [7].
- **Vannhastigheten** i oppdrettskar for yngelproduksjon bestemmes i hovedsak ut fra hvor mye vann som er tilgjengelig [5], 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. Det har også innvirkning på oppførselen til fisken, samt noe uønsket atferd som finnebiting [9, 10].
- **Metaller**, spesielt aluminium og jern, har vært kjent for å forårsake kroniske eller episodiske toksisitetsproblemer. Aluminium er spesielt problematisk i områder med lav pH og påvirker for det meste gjellene, og det er mye forskning tilgjengelig om de skadelige effektene av aluminium [11]. Giftigheten av jern er avhengig av oksidasjon av Fe (II) til Fe (III) som blir påvirket av temperatur, pH og ionestyrke [12]. Begge metallene kan være giftige når jernholdig vann blir blandet med sjøvann [6]. Det er tre metoder som brukes for å behandle potensiell aluminiumstoksisitet: 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 [5].

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.

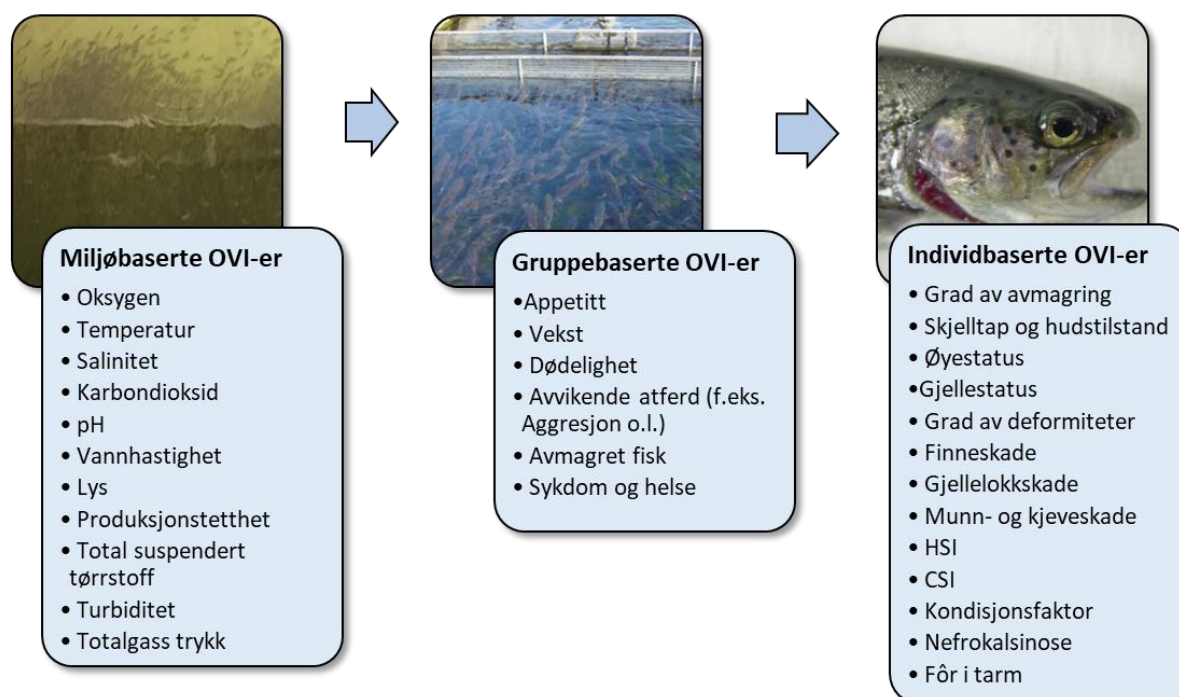
- **God biosikkerhet** sammenfaller med god hygienep praksis (for å forhindre spredning av infeksjoner i og mellom anlegg), og flytting av fiske bør utføres under nøye hygieniske kontroll.
- **Vannet i oppdrettsanlegget** er også en biosikkerhetsrisiko, og kan være en vektor for smittestoffer via f.eks. sprut og søl. Smittestoffer som bakterier og virus kan spres på denne måten [13] og sopp sporer kan også overføres gjennom luften [f.eks. 14].
- **Hvert oppdrettsanlegg** skal ha sitt eget utstyrsett og lite skal deles eller overføres mellom fasilitetene og enhetene. Hvis dette er uunngåelig, bør brukeren følge gode desinfiseringsprosedyrer (f.eks. rengjøring / desinfisering / tørking av settet).

Håndteringsrutiner

- **Overvåking av miljøet** på daglig basis og registrering og tolking av data er en vesentlig del av en effektiv styring av GS-systemet (se § 22. Vannkvalitet og overvåking; <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-6-17-822>). Nødvendigheten og valg av overvåkingsmåte avhenger av type system og omgivelsene. Jo høyere belastning systemet utsettes for, jo flere miljøvariabler må overvåkes og følges tett opp. Sesongvariasjoner i miljøet kan blant annet være forbundet med forhøyet risiko for fall i pH som følge av snøsmelting, flomperioder og likende. Det er viktig å ha kjennskap til hvilke miljøparametere som kan ha negativ innvirkning på ørretene sin velferd i GS-systemet. De viktigste miljøparametere som overvåkes er oksygen og temperatur, mens periodiske målinger av pH, nitrogenholdige forbindelser og CO₂ anbefales.
- **Håndtering** i GS-systemer inkluderer trenging, pumping, sortering, vaksinerings og håndtering i forbindelse med transport. Prosedyrene for behandling kan føre til stress, mekaniske skader og større mottakelighet for infeksjoner. Fisk bør derfor håndteres så lite som mulig, og håndtering bør være så skånsom som mulig for å redusere skader og stress. 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 (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 Chris Noble and James F. Turnbull.

1.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

De anbefalte parameterne for vannkvalitet varierer i henhold til utviklingsstadier, hvor egg og plommeseekkyngel er mest utsatt. Det finnes relativt lite litteratur om potensielle sammenhenger mellom vannkvalitet og velferd hos regnbueørret [15]. Mens litteraturen viser til optimale nivåer for regnbueørret, er imidlertid det meste av konklusjonene basert på grenser hvor svært negative produksjonseffekter blir undersøkt (tabell 1.4-1).

Tabell 1.4-1. Hentet fra RSPCA velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret [16] med tillatelse fra John Avizienius. Dette er nivåer som må overholdes når vann blir resirkulert, men bør være standard for GS-systemer. Alternative kilder er indikert.

Vannkvalitetsparameter	Egg/plommeseekkyngel	Yngel til voksen
O ₂ (mg/L) minimum	7.0	7.0
O ₂ (% metning) min. ved utløp	90	70
NH ₃ ammoniakk (mg/L)	< 0.025 (< 0.02*)	< 0.025 (< 0.02*)
CO ₂ (mg/L)	< 10 (< 2 [§])	< 10 (< 2 [§])
Temp (°C) Min-Max	1 – 10	1 – 12 (yngel) 1 – 16 (voksen) (< 21 [§])
pH Min-Max	7 – 8 (6.5 - 8.5 [§])	7 – 8 (6.5 - 8.5 [§])
Turbiditet (mg/L)	< 25.0	< 25.0
Nitritt (mg/L)	< 0.2	< 0.2
Nitrat (mg/L)	N/A	< 50
Aluminium (mg/L) labil	0.075*	0.075*

*Wedemeyer, [17]

[§]FAO (http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en)

Oksygen er den viktigste miljøparameteren som kan begrense produksjon i GS-systemer. Oksygenbehovet variere mellom ulike livsstadier og oksygenbehovet vil øke med temperaturen etter hvert som metabolske behovet til fisken øker. De viktigste faktorene som avgjør oksygenforbruk er kroppsstørrelse, temperatur, trykk, aktivitet (svømming, fôring) og livsstadium. Shi mfl. [18] har nylig beskrevet effekten av ulike oksygennivåer på appetitt hos ørret ved ulike temperaturer og fiskestørrelser (tabell 1.4-2.). Tabellen beskriver den laveste oksygenmetning der aerob metabolisme kan opprettholdes (LOS) for en rekke fastende diploide og triploid ørretstørrelser (ca. 15-130 g) og temperaturer (13-25 °C). Shi mfl. [18] viste også at toleransen for lave oksygennivåer påvirkes av fôring, og at oksygentoleranse hos fôret og stresset ørret kan være lavere enn hos sultet fisk. Som en generell forsiktighetsregel anbefales oksygenmetningsnivåer over 80 % og godt over LOS, basert på data fra Poulsen mfl. [19] og ifølge RSPCA-velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret anbefales minimum 70 %/7 mg/L i yngel- og matfisk [16].

Tabell 1.4-2. Den begrensende oksygenmetningen (LOS) hos sultet diploid and triploid regnbueørret på ca. 15-130 g (LOS verdier i mg/L). Data gjengitt fra Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative Evaluation of Toleration to Heating and Hypoxia of Three Kinds of Salmonids. Journal of Ocean University of China 17(6), 1465-1472. [18] med tillatelse fra Springer Nature.

Temperatur (°C)	LOS: diploid				LOS: triploid			
	Fiskestørrelse				Fiskestørrelse			
	16 g	40 g	79 g	131 g	16 g	39 g	79 g	130 g
13	4.7	4.4	4.2	3.2	4.1	3.9	3.6	3.1
17	5.0	5.1	4.9	3.8	4.3	4.2	4.0	3.4
21	5.4	5.3	5.2	4.5	4.8	4.7	4.2	3.6
25	5.9	5.6	5.3	4.8	5.0	4.8	4.5	4.0

Temperatur Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [20], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fiskens ulike utviklingsstadier. Hvis den kritiske eller dødelige vanntemperaturen (høyere eller lavere) blir nådd, kan fiskens velferd allerede ha blitt svekket. Oppdrettere anbefales å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området.

Egg kan produseres ved <15 °C, og høyere temperaturer øker risikoen for vevsskader og utviklingsforstyrrelser [21]. EFSA [21] antyder at en temperatur så lav som 0 °C ikke er skadelig for egg. RSPCAs velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret [16] anbefaler et temperaturområde fra 1-10 °C for egg og yngel. Poppe mfl. [22] oppgir at den optimale temperaturen for produksjon av egg er 10 °C, med et toleranseområde på 8-12 °C. Suboptimale temperaturer under egginkubasjon er en kjent risikofaktor for skjelettdeformiteter hos regnbueørret. Det kreves imidlertid mer forskning på dette området. Som for andre laksefiskarter vil trolig vertebrale deformiteter i regnbueørret være av multifaktorielle etiologi eller årsak.

Plommeseekkyngel og yngel har et foretrukket temperaturområde på 7-13 °C [23] og RSPCA velferdsstandarder for oppdrettet regnbueørret [16] anbefaler et temperaturområde på 1 - 12 °C for plommeseekkyngel.

Det har blitt antydnet at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C, og må holdes innenfor et område på 13-19 °C under normale oksygenforhold [24]. RSPCAs velferdsnormer for oppdrettet regnbueørret anbefaler 1-16 °C for voksen fisk [16].

Endringer i temperatur bør også overvåkes og store eller raske endringer bør unngås der det er mulig. Boyd og Tucker [25] anbefaler at den maksimale hastigheten for temperaturendring bør være 0,5 °C/min for temperaturendringer over 5 °C, hvis ikke kan fisken komme i en tilstand av termisk sjokk.

Saltholdighet er spesifikk for ulike livsfaser, hvor regnbueørret har kapasitet til å vokse både i fersk- og sjøvann. EFSA [21] mener at regnbueørret større enn 50 g har god salttoleranse, og fisk som overføres ved 70-100 g har en god overlevelsrate og er tilsynelatende i stand til å håndtere overføringen til sjø uten å gjennomgå en smoltifisering. Fisk som er oppdrettet i ferskvann som inneholder lavt Ca²⁺, kan ha problemer med å tilpasse seg sjøvann etter overføring, men dette kan avhjelpest ved å fôre med spesialfôr som inneholder salter, for å stimulere tilpasning til det marine miljøet [26]. Selv om det er lite litteratur på dette feltet, tyder en studie på at endring i saliniteten kan påvirke appetitten. McKay og Gjerde [27] rapportert at saltholdigheter ≥ 10 ‰ reduserte appetitten betydelig sammenlignet med fisk produsert ved 0 ‰ (ca. 50 - 150g fisk).

Høye CO₂-nivåer er et spesielt problem i ferskvannsproduksjonen av ørret i GS-systemer. Dets løselighet reduseres proporsjonalt med økende temperatur og saltholdighet. Det finnes bevis på at giftigheten av CO₂ øker når O₂-metningen er lav, også ved lav temperatur og pH [28]. De negative effektene av CO₂ på ørret er oppsummert i del A, avsnitt 4.1.4. Oppsummert har tidligere arbeid med ørret (260 g) av Danley mfl. [29], vist at CO₂-nivåer på ~ 34 mg/L og ~ 49 mg/L hadde en betydelig skadelig effekt på vekst og plasmakloridnivåer etter 12 ukers kronisk eksponering sammenlignet med fisk holdt ved ~ 22 mg/L CO₂, men de forhøyede CO₂-nivåene påvirket imidlertid ikke dødeligheten [29]. Andre undersøkelser [3] har i midlertidig vist at regnbueørret (60g) holdt i RAS-anlegg ved CO₂-nivåer på ~ 8 mg/L eller ~ 24 mg/L i 6 måneder ikke opplevde noen signifikante endringer i vekst og overlevelse. Det ble ikke påvist noe utvikling av nephrocalcinose hos noen av forsøksdyrene [3]. Hafs mfl. [30] rapporterte at CO₂-nivåer ~ 49 mg/L resulterte i lavere vekst hos ørret (300-500g) sammenlignet med fisk som ble oppdrettet ved ~ 30 mg/L. De anbefalte at CO₂-nivåene bør være lavere enn 30 mg/L for regnbueørret. RSPCA [16] og Wedemeyer [17] derimot, anbefaler at CO₂ -nivåene bør ligge lavere enn 10 mg/L for egg, yngel og voksen ørret.

pH kan være problematisk for landbaserte GS-anlegg i Norge, særlig når pH i inntaksvannet er under 6. Slike forhold kan være meget skadelig for ørret på grunn av økt toksisitet for metaller, spesielt aluminium i et surt miljø. Kontroll av pH kan sikres ved tilsetning av enten sjøvann, kalk eller silikat [2]. Imidlertid kan tilsetning av sjøvann redusere biosikkerheten i 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 kunne ha negativ effekt på velferden til ørret. pH synker også som et resultat av økt CO₂-akkumulering i produksjonsenhetene. Derfor er det viktig med passende vannutveksling for å opprettholde et lavt nivå av CO₂ i vannet. EFSA [21 og referansene deri] antyder at ørret bør produseres i et pH-område rundt 5,0 - 9,0, og angir at en pH på under 4 kan føre til betydelige dødelighet, og at en pH mellom 4,5 og 5,5 kan induserer subletale effekter.

Vannhastigheten i kar er påvirket av vannstrømmen (HRT = Hydraulisk oppholdstid– hvor lang tid det tar for substratet å passere gjennom systemet), konstruksjon av innløp og utløp og tilstedeværelsen av fisk i karene. Det er godt dokumentert at vannhastigheten som er for høy eller for lav kan ha en negativ effekt på helse, velferd og ytelse til ørreten, men det er ingen klar enighet i litteraturen om hva som er den ideelle vannhastigheten for ørret. Studier har vist at regnbueørret som (ble føret til metning) svømte opptil 3 kroppslengder per sekund hadde sammenliknbar vekst og fôrutnyttelse som fisk eksponert ved lavere svømmehastigheter [31]. Andre studier anbefaler imidlertid vannhastigheter mellom 0 og 1 kroppslengder per sekund for optimal vekst [32, 33]. Nyere arbeid av Larsen mfl. [34] fant at vannhastigheter på 0,9 kroppslengder/s stimulerte stimadferd og reduserte hyppigheten av uberegnelig atferd i forhold til ørret holdt i statisk vann. McKenzie mfl. [35] rapporterte også at vannhastigheter på 0,9 kroppslengder/s reduserte gjenopprettingstida for ørret som ble utsatt for akutt stress sammenlignet med ørret holdt i statisk vann. Praktisk erfaring tyder på at hastigheten bør være høy nok til å stimulere fisken til å svømme på en koordinert måte mot strømmen, i stedet for å bli presset bakover og få et ukoordinert adferdsmønster. Slik kontinuerlig koordinert svømming kan være forbundet med lavere nivåer av aggresjon og finnskader hos laksefisk, både hos atlantisk laks [36] og arktisk røye [37].

Belysning. Det er fortsatt uklart hva som er optimal lyskvalitet (intensitet og bølgelengde) for optimal ytelse og velferd av ørret i GS-systemer. Imidlertid er det klare bevis for at både av lys og fotoperiode påvirker fiskens kjønnsmodning og vekst [38]. Økt daglengde har en positiv effekt på veksten i ferskvannsfasen [39, 40] og stimulerer sjøvannstoleransen uavhengig av størrelse [41], noe som kan forkorte varigheten av ferskvannsfasen. Lysmanipulering kan brukes til å fremme tilpasning til sjøvann [42], men forfatterne fant imidlertid ikke at fotoperioden er en sterk driver («zeitgeber») for sjøvannstoleransen hos ørret og at andre potensielle miljødrivere, som saltholdighet eller temperatur, og bør undersøkes nærmere [42]. RSPCAs velferdsnormer for oppdrett av regnbueørret oppgir at «kartelt eller lysstyringstelt» skal fjernes fra kar minst 12 timer før overføring til sjøvann, slik at fisken kan akklimatisere seg til de potensielt høyere lysintensitetene de vil møte i merdene og at fisk ikke skal utsettes for raske endringer i lysintensitet [16].

Kunnskapsmangel: De optimale lysforhold (både lysintensitet og lyskvalitet) i landbaserte systemer er ukjent.

Tetthet er bare indirekte relatert til velferd gjennom tilgang til mat, vannkvalitet og sosiale interaksjoner. Derfor bør ikke fisketetthet brukes som eneste indikator på god eller dårlig velferd. Risikoen for dårlig velferd øker imidlertid ved høye bestandstettheter og ved svært lave bestandstettheter kan mer territoriell atferd observeres. RSPCAs velferdsnormer for oppdrettet regnbueørret [16] antyder at «for startfôring i kar, lengdekar og dammer, må den maksimale fisketettheten ikke overstige 60 kg/m³». Imidlertid har de tidligere overvåket andre individbaserte OVI-er som finneslitasje, øye- og gjellelokkskader, og anbefalte bare å opprettholde fisketettheter nær det høyeste nivået hvis slike skader ble observert i mindre enn 10% av populasjonen [43]. I praksis opprettholder oppdretteren generelt lavere tetthet på yngre fisk. Effekten av ulike fisketettheter på forskjellige velferdsparametere er oppsummert i del A, kapittel 4.2.3.

Turbiditet er et mål på vannklarhet. Klare anbefalinger for akseptable nivåer av turbiditet er ikke tilgjengelig for ørret, da potensielle effekter avhenger av temperaturen på eksponeringstidspunktet, type suspenderte sedimenter (partikkelstørrelse og utforming), sedimentforurensninger, eksponeringens mengde, varighet og hyppighet (gjennomgått i Kjelland mfl. [44]. Økt turbiditet fører til redusert svømmeprestasjon (Ucrit), endringer i aerob (forhøyet glukose) og anaerob metabolisme (reduert laktat) hos ørret [44]. Økt turbiditet hemmer den visuelle observasjonen av fisken, og kan også påvirke fiskens evne til å se fôrpellets. Det er rapportert at fôringsaktiviteten til regnbueørret avtar kraftig ved turbiditeter over 70 Jackobs turbiditetsenheter (JTU) [44]. Imidlertid rapporterte Rowe mfl. [45], at fôringshastigheten hos ørretyngel ikke ble redusert av turbiditetsnivåer opp til 160 NTU, noe som indikerer at andre ikke-visuelle sanser, for eksempel lateralt linjesystem, kan være involvert under fôring i grumsete vann. Økt turbiditet kan også påvirke vannkvaliteten, da vann med høy turbiditet har mindre oppløst oksygen.

Kunnskapsmangel: De optimale turbiditetsnivåene i landbaserte systemer er ukjent og avhengig av type sediment.

Totalt suspendert tørrstoffkonsentrasjon (TSS) er definert som massen av partikler over 1 μm i diameter av både organisk og uorganisk opphav i et kjent volum av vann [46]. 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 blant annet fordi det påvirker oksygenopptaket. Dette kan gi grobunn for vekst av patogener [46]. En definitiv grense for akseptabel TSS konsentrasjon er enda ikke avklart [46]. En øvre grense på 15 mg/L er blitt foreslått for atlantisk laks [28], og RSPCA [16] anbefaler en maksimal konsentrasjon av suspendert faststoff på <25 mg/L for alle livsfaser hos regnbueørret, mens den anbefalte TSS ikke er gitt. Imidlertid antyder Becke mfl. [47] at denne grensen er for lav og rapporterte at TSS-nivåer opp til 70 mg/L under visse omstendigheter (i RAS) ikke påvirket velferden, helsen og vekstytelsen til regnbueørret, men den økte turbiditeten påvirket fôringsatferden og den bakteriell belastning i systemet. EFSA [21] konkluderte med at de fysiske egenskapene og den totale mengden suspendert faststoff i vann er relevant for å bestemme mulige negative effekter på gjeller og hud hos ørret. Men den maksimale konsentrasjonen av TSS er ikke gitt på grunn av påvirkningen partikkelstørrelse og form har på denne parameteren.

Kunnskapsmangel: De optimale TSS-nivåene i landbaserte systemer er ukjent.

Gasser i vann – totalt gasstrykk (i hovedsak oksygen- og nitrogenovermetning). Overmetning skjer når partialtrykket av en eller flere av gassene oppløst i vannet blir større enn atmosfæretrykket. Plutselige økninger i temperatur, brå endringer i trykk (væromslag og isgang ved råvannskilden) eller overdreven oksygenering er alle typiske årsaker til overmetning av gass i GS-systemer [48]. Superovermatning er en velferdsrisiko for ørret [16]. Temperaturøkningene kan være f.eks. på grunn av blanding av vann med forskjellige temperaturer i kar, og plutselige trykkendringer kan f.eks. på grunn av værforandringer, og isgang i kildevannet. Totalt gasstrykk (TGP) i vann brukes ikke bare til å bestemme det totale trykket i vann, men også til å bestemme mengde og metningsgraden (%) av oppløst nitrogengass i vann. Hvis metningen av nitrogen overskrider 100 % kan fisk utvikle gassblæresyke (GBS) [49], men de samme forfatterne oppgir imidlertid også at TGP synes å være mer viktig enn nitrogenmetning alene [49]. Overmettet oksygen kan imidlertid også spille en rolle i GBS i ørret [50, 51].

Det synes som om yngel er mer utsatt enn voksen fisk. Eksterne tegn på overmetning av gass kan begynne å vises hos fisken etter flere timer med eksponering for gass-overmettet vann. Typiske eksterne tegn er bobler som vises på finnene, halen, gjellelokkene og hodet [48]. Alvorlighetsgraden av symptomene er nært knyttet til prosent overmetning, O_2 : N_2 -forholdet og eksponeringstiden [48].

Når det gjelder effekten av oksygenovermetting på GBS viser forsøk med ørret at GBS kan utvikles etter 4 dager og gi 50 % dødelighet i løpet av 20 dager når fisken eksponeres for oksygentrykk på 200 % og 120 % TGP og nitrogentrykk på 100 % [50]. Machova mfl. [51] rapporterte også om et forsøk der GBS var relatert til oksygenmetning på 136 % med etterfølgende forhøyet dødelighet.

Når det gjelder TGP rapporterte Gültepe mfl. [52] at regnbueørret på 200 g som ble utsatt for 115 % TGP sammenlignet med 104 % TGP, viste tegn til GBS med mørklagt epidermis, blødning i øyne, eksoftalmi, gassbobler på gjellelokkene med betydelig forhøyet partialtrykk av O_2 , partialtrykk av CO_2 , nivåer av carboxyhemoglobin og bikarbonatkonsentrasjoner samt økt svømmeaktivitet, paniske fluktepisoder og redusert karbonanhydraseaktivitet i øyelinsen. Ifølge Mattilsynet skal TGP ikke være høyere enn 100%.

Hos laksearter som atlantisk laks og regnbueørret har det blitt observert negative effekter på fisken ved nitrogenovermetninger over 102 % [53]. Lekang [53] anbefaler en grense under 100,5 % N₂ for laks og regnbueørret. Tilsvarende N₂-metning i intensive produksjonssystemer burde ligge under 110 % [54]. Skov mfl. [55] som studerte effekten av N₂-overmetning på ørretyngel, hvor fisken ble eksponert for både N₂-overmetning alene, og i kombinasjon med økt TGP. De oppdaget at en eksponering på opptil 103% TGP i kombinasjon med nitrogenovermetning mellom 104,5 og 107,6% påvirket energiopptaket og -forbruket negativt. Imidlertid gav N₂-overmetning alene (102,4-105,2%) ingen av ikke de samme effektene. Effektene som ble observert ved 103% TGP og overmettet N₂ var reversible innen 25 dager etter avsluttet eksponering.

Siden det foreligger lite data og mye usikkerhet rundt regnbueørretens toleranse for nitrogengassovermetning anbefales ovennevnte grenseverdier som retningslinjer, og ikke som absolutte grenser før mer kunnskap foreligger. På grunn av at risikoen for nitrogenovermetning øker ved innblanding av sjøvann i ferskvann, samt i vårløsning og under kraftige værerslag, bør totalt gasstrykk overvåkes jevnlig. Som nevnt ovenfor, kan nitrogen imidlertid bare være en av en rekke faktorer som kan påvirke velferden til fisk når den blir utsatt for overmettet gass, og at det må fokuseres mer på TGP enn nitrogenmetning alene [49]. Ettersom det fortsatt er mye forvirring angående dette, er det viktig å se på TGP, oksygen og nitrogenovermettet med tanke på utviklingen av gassblæresyke i fremtiden (GBS).

Kunnskapsmangel: Det er mye usikkerhet om øvre toleransegrense angående TGP, oksygen og nitrogenovermetning hos ørret, og mer kunnskap er nødvendig (se Del A kapittel 4.1.6. av håndboken)

Tabell 1.4-3. Miljøbasert operative velferdsindikatorer som er egnet for bruk i GS oppdrettssystemer

OVI	Relevant livsstadium
Temperatur	Egg, plommesekkyngel, yngel, og voksen. Spesielt kritisk i startfôringsfase
Oksygen	Egg, plommesekkyngel, yngel og voksen
Vannhastighet	Egg, plommesekkyngel, yngel og voksen
pH	Plommesekkyngel, yngel og voksen
CO ₂	Plommesekkyngel, yngel og voksen
Produksjonstetthet	Plommesekkyngel, yngel og voksen
Lys	Plommesekkyngel, yngel og voksen
Turbiditet	Plommesekkyngel, yngel og voksen
TSS	Plommesekkyngel, yngel og voksen

Hvordan måle vannkvaliteten (VK) i GS-systemer:

- Kontinuerlige målinger ved bruk av på-stedet-sensorer eller punktmålinger ved bruk av håndholdte instrumenter, laboratorieutstyr og godkjente måleenheter fra laboratorier.
- Målinger på det samme tidspunkt i forhold til lys og føring.
- Målinger ved samme sted hver gang.
- Bruk korrekte prøvetakingsprosedyrer.
- Følge prosedyrer fra de akkrediterte laboratoriene.
- Noter trender, og bruk disse aktivt i tolkning av situasjonene.
- Riktig vedlikehold av utstyr. Særlig viktig for vedlikehold av på-stedet-sensorer, som er utsatt for biologisk forurensning!
- Identifisere hvilke nitrogenforbindelser som blir målt ved hver metode (TAN, $\text{NO}_2\text{-N}$ eller NO_2 , $\text{NH}_4^+\text{-N}$ eller NH_4^+ , $\text{NH}_3\text{-N}$ eller NH_3).



1.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Mange av disse gruppebaserte OVI-ene er resultatbaserte indikatorer som vekst og dødelighet, og selv om disse har sine begrensninger, kan de være nyttige verktøy hvis de brukes riktig.

Appetitt og fôringsadferd. Appetitt er en robust, passiv OVI for GS-system og kan være et tidlig varselssignal for potensielle velferdsproblemer [56]. Nedgang i appetitt i GS-systemer kan kvalitativt og kvantitativt vurderes ved hjelp av visuell overvåking av fôringsadferden hos fisken. Eksempelvis kan dårlig respons på fôr, eller til og med avvisning av fôr-pellets når fiskene er tilbudt dette, undersøkes. Dette kan også kvantifiseres med overvåking av fôrspill [57] og bør overvåkes kontinuerlig. Appetitt kan påvirkes av dårlig vannkvalitet [f.eks. 58, 59], miljøforhold inkludert daglengde, både naturlige [60] og kunstige [61], produksjonsrutiner, som håndtering [62], sykdomsutbrudd [63] og stress [64]. Det kan også variere mye innen og mellom dager [65, 66]. Denne variasjonen, i tillegg til det høye antallet faktorer som kan påvirke appetitten og fôring, kan gjøre det vanskelig (og uønsket) å anbefale bestemte daglige fôrmengder. Imidlertid kan avvisning av pellets og lav appetitt også bety at fisken er mett (eller overfôret) eller blir matet på et tidspunkt den ikke ønsker å spise. Dette er faktorer som må inkluderes ved bruk av appetitt som en OVI.

Dødeligheten må registreres daglig, se også [16]. 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. Redusert overlevelse er en av de mest robuste indikasjonene på forringet velferd. Dette er også en av de mest følsomme indikatorene på de tidlige stadiene av sykdomsutbrudd i en populasjon, og derfor er registrering av endringer i dødelighetsraten en essensiell del av produksjonsledelse. I oppdrett er forbedret overlevelse sjelden forbundet med en forverring av velferden. Selv om forbedret overlevelse isolert sett ikke indikerer god velferd, kan forbedringer i overlevelse være forbundet med forbedringer i mange deler av produksjonen, både når det gjelder miljø og sykdomskontroll. Derfor kan forbedret overlevelse være bevis på positive endringer i velferden kombinert med andre indikatorer.

Vekst kan påvirkes av flere faktorer, som for eksempel ernæring, sykdom, sosial interaksjon [67, 68], vannkvalitet og kronisk stress [69]. 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. I tillegg til den generelle vekstraten, bør variasjonen i vekst overvåkes, siden en større variasjon i veksten kan indikere ulik tilgang på mat, uoppdagede helseproblemer eller andre problemer. Vekstraten vil variere med belastningen fiskens utsettes for: årstid, livsstadium, oppdrettssystem, diett med flere faktorer. I tillegg til den totale vekstraten, bør variasjonen i vekst overvåkes, siden en økt størrelsevariasjon kan indikere ulik tilgang på mat, underliggende helseproblemer eller andre problemer. Det kan derfor være bedre å bruke kortvarige forandringer i veksthastighet som en OVI i et bestemt kar eller system. På denne måten kan bråe forandringer i vekst brukes som et tidlig varslingsystem for potensielle problemer. Dette gjelder særlig når oppdretteren benytter seg av en robust vekstovervåkingspraksis.

Atferd. Avvik i atferd kan være et tidlig varsel på suboptimale oppdrettsbetingelser [70, 71]. Derfor er det viktig å vite hva som er forventet atferd slik at eventuelle avvik lett kan oppdages. Nedsatt svømmeaktivitet kan også være et tegn på dårlige miljøforhold, f.eks. lave oksygennivåer [72] eller lave oksygennivåer i kombinasjon med høye ammoniakknivåer [73]. Økt svømmeaktivitet og ukoordinert svømming kan også være reaksjon på stress som følge av trenging [74]. Ustrukturert svømming ved bunnen av merden eller karet kan også være en indikator på akutt stress [f.eks. 71, 72].

Svømmeaktivitet kan også bli påvirket av fisketetthet i kar. Anras og Lagardère [71] viste at fisk holdt ved tettheter under 30 kg/m³, for det meste utviste sirkulære daglige svømme-mønstre fulgt av redusert aktivitet om natten, mens fisk produsert ved 136 kg/m³ viste ustrukturert daglige svømme-mønstre, og disse mønstrene ble også opprettholdt på relativt høye nivåer om natten. Aggresjon kan være et problem hos ørret [75, 76, 77] og kan kvalitativt eller kvantitativt overvåkes via visuelle observasjoner av fisken. Ryggfinneskader er den mest utbredte formen for finneskader [78, 79]. Men selv om disse skadene ikke alltid er forbundet med aggresjon, er det en indikator på skadelige interaksjoner som lett kan observeres i GS-systemer med lav turbiditet. Problemet kan være å kvantifisere alvorlighetsgraden og utbredelsen av disse skadene ved overflateobservasjoner. En må derfor i mange tilfeller foreta en nøyere undersøkelse av fisken i laboratoriet (se del A, 3.2.10 finneskadeseksjon).

Småskala forsøk har vist at regnbueørretens adferd kan påvirkes av fôrrutiner, og McFarlane mfl. [80] rapporterte at aktivitetsnivåene er lavest når fisk føres til metning. Videre viste de at aktivitetsnivåene i fisken økte hvis de i tillegg ble stresset to ganger i uken, og økte enda mer når fisken ble utsatt for et sulte - og metningsfôringsregime (fisk ble sultet i en uke og deretter fôret til metning i en uke) [80]. Andre studier har også vist at regnbueørret utviser meget energisk fôringsatferd og kan være svært aggressiv rundt måltider [f.eks. 76, 81]. Svømmehastigheter kan derfor brukes som en mulig OVI for økt konkurranse om en fôrressurs.

Avmagrede fisk nær overflaten isolerer seg selv fra stimen som observert hos Atlantisk laks, men denne adferden er overførbart til regnbueørret. Slik adferd forbindes 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 [82]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig. Forekomsten av døende eller avmagrede fisk bør overvåkes [82], og enhver forandring i frekvensen av avmagrede fisk bør det reageres på så tidlig mulig. Dette kan benyttes som en tidlig OVI og et varsel om redusert velferd.

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 gi raskere respons på potensielle sykdomsutbrudd. Oversikten over sykdommer karakteristiske for både ferskvanns- og sjøvannsstadier av regnbueørret, er gitt i kapittel 3.1.5 i del A av denne håndboken.

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

OVI	Relevante livsstadier
Appetitt og fôringsatferd	Yngel, og voksen
Vekst	Yngel, og voksen
Atferd (svømmeatferd og aggresjon)	Yngel, og voksen
Dødelighet	Yngel, og voksen
Sykdom/helsestatus	Yngel, og voksen
Avmagrede fisk	Yngel, og voksen

1.6 Individbaserte operative velferdsindikatorer

Det er en rekke individbaserte OVI-er som er egnet til bruk i GS-systemer (Tabell 1.6-1).

Morfologiske velferdsindikatorer for regnbueørret kan også bli undersøkt i GS-systemer uten å måtte avlive fisken. Det anbefales å benytte 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 benyttes.

Grad av avmagring. «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. Tilstedeværelse, alvorlighetsgrad og hyppighet av tap av skjell, og epidermalskade og sår bør overvåkes regelmessig. Ofte kan dette indikere problemer i forbindelse med håndtering av fisk. Siden slim og skjell beskytter fisken fra omgivelsene og har en barrierefunksjon, kan tapet av disse barrierene føre til osmoreguleringsproblemer og infeksjoner. Sårheling er avhengig av temperatur- og miljøforhold, i tillegg til sårets status, f.eks. sår dybde [f.eks. 83]. Noen ganger kan sårheling skje relativt raskt, men det er også vist at sår kan ta over 3 måneder å helbrede [84]. I andre studier på regnbueørret (der sår dybde varierte fra ca. 3 mm til dybden av muskellagene) ble det rapportert at hudoverflaten ikke regenererte, selv ikke etter ett år [83].

Øyeskade. Øynene er svært sårbare for mekanisk håndtering og kan få både blødninger og uttørking under håndtering. Utstående øyne er ofte et uspesifikt tegn på sykdom. Katarakt eller tap av gjennomsiktighet i øyelinsen kan være forårsaket av flere faktorer, inkludert ernæringsfaktorer og parasittinfeksjoner. Åpenbare skader på øynene kan også skyldes fysiske skader i forbindelse med håndtering eller fysisk kontakt med omgivelsene. Oversikt over typer øyeskade og effekter på fiskevelferd er gitt i kapittel 3.2.12 i del A av håndboka.

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

Ryggradsdeformiteter kan forekomme tidlig i livet, men vil ikke i de fleste tilfeller vises før i senere stadier. Deformitetene kan være forårsaket av feilernæring, produksjonsforhold i settefiskanlegget eller genetiske forhold [85, 86]. Fisk med vertebrale deformiteter kan ha svekket svømme- og bevegelseskapasitet, noe som gjør individet mindre i stand til å konkurrere om mat og mer utsatt for skader. For nærmere detaljer se kapittel 3.2.9 i del A av håndboken.

Gjellelokkskader og gjellestatus omfatter forkorting, manglende gjellelokk, vridde gjellelokk og «myke» gjellelokk. Dette fenomenet er spesielt knyttet til tidlige livsstadier i ferskvannsfasen, og kan være forårsaket av suboptimale oppdrettsforhold, ernæring og forurensning (se kapittel 3.2.13 i del A av håndboken). Dette kan forstyrre respirasjonseffektiviteten og gjøre fisken mer utsatt ved lave oksygenmetninger i anlegget. Selv om de fleste gjellelokkskadene oppstår tidlig i livet, oppdages de som oftest når fisken har vokst en stund. Slike skader kan gjøre gjellene mer sårbare for andre skader under håndtering. Å inspisere gjellene kan være nødvendig for å få noen indikasjoner på gjellestatusen til fisken.

Finneskade er en indikasjon på mulige problemer i oppdrettsmiljøet. Ryggfinnesskader er den vanligste formen [78]. Dette kan være forårsaket av uhensiktsmessig vannhastighet, fôringsfrekvens eller -fordeling av fisk [f.eks. 9, 87, 88]. Finner kan også bli skadet på grunn av sammenstøt mellom fisk og fysiske installasjoner i oppdrettsmiljøet. Finner har alle nødvendige nervebaner for å oppfatte

skade, og derfor kan skade på finnene forårsake smerte. Videre kan skader på finnene være en inngangsportal for infeksjoner og gi svekket svømme- og bevegelseskapasitet [9].

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

Fôr i tarm. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dagene [65], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Ved obduksjon kan undersøkelse av fôrrester i mage og tarm brukes til å evaluere fôrintak (indirekte appetitt).

Kroppsindekser viser relasjonen mellom ulike organstørrelser i forhold til kroppsstørrelse, og kan være en indikasjon på velferdsstatus. De hyppigst målte indekser er hepato-somatisk indeks (HSI) som er forholdet mellom lever og kroppsstørrelse, og kardio-somatisk indeks (CSI), også kalt forholdet mellom hjerte og kroppsstørrelse.

Kondisjonsfaktor (KF) gir et bilde på fiskens ernæringsstatus og beregnes som $100 \times \text{kroppsvekt (g)} \times \text{kroppslengde (cm)}^{-3}$. Det er forskjellige måter å overvåke kondisjonsfaktor fra subjektiv vurdering av fiskens tilstand til beregninger fra vekt og lengde. Siden kondisjonsfaktoren er variabel og endrer seg med både livsstadium og sesong, er det vanskelig å oppgi klare verdier som gir indikasjon på redusert velferd [82]. Selv i en populasjon med generelt god kondisjonsfaktor kan det være noen tynne eller til og med avmagrede individer som enten har et underliggende helseproblem eller som ikke har tilpasset seg fôret. I langsiktige sultestudier på regnbueørret er det imidlertid rapportert verdier på $< 1,0$ hos ung ørret (ca. 55 g gjennomsnittsvekt) som har fastet i 4 måneder [89]. I en annen studie med større fastende fisk (ca. 280 g middelvekt), er det rapportert at K-verdiene falt fra et begynnelsenivå på ca. 1,15-1,2 til ca. 1,05 etter 1 måned og ca. 0,9 etter 4 måneder [90]. Vi foreslår derfor at en K-faktor på ca. 1,0 eller $< 1,0$ kan være en indikasjon på avmagring hos oppdrettet regnbueørret. Regnbueørret kan også akkumulere store mengder av magefett hvis de blir overfôret i en periode. Velferdsmessige implikasjoner av slik fedme er ikke undersøkt, men kan være et tegn på dårlige fôringsrutiner.

Nefrokalsinose er en patologisk tilstand relatert til høye konsentrasjoner av oppløst CO_2 [91], som innebærer dannelse av store kalsiummineralavleiringer i nyrevevet, synlige for det blotte øyet. Et skåreskjema for å dokumentere nefrokalsinose er for tiden under utvikling.

Tabell 1.6-1. Individuelle operative velferdsindikatorer som passer for bruk i GS-system og deres relevans for ulike livsstadier.

OVI	Relevante livsstadier
Finne-, hud-, øye, munn- og gjellelokkskade	Yngel og voksen
Ryggraddeformiteter	Yngel og voksen
Grad av avmagring	Yngel og voksen
Fôr i tarm	Yngel og voksen
Kroppsindekser	Yngel og voksen
Kondisjonsfaktor	Yngel og voksen
Nefrokalsinose	Yngel og voksen

2 Merder i sjø



Foto: Ola Sveen, Svanøy Havbruk

2.1 Oppdrett av ørret i merd

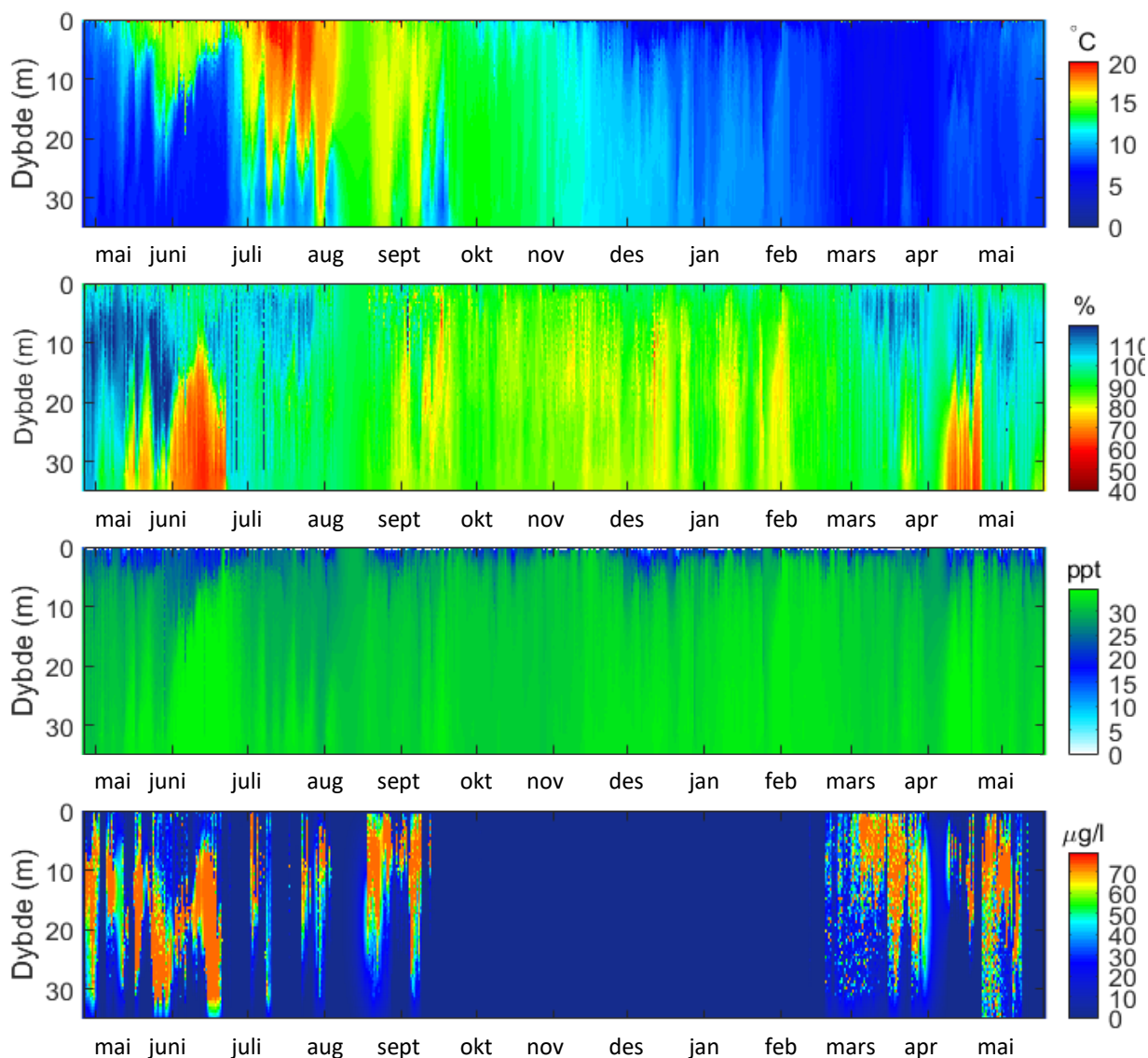
I 2018 ble over 17 millioner regnbueørret overført til merdanlegg i sjø (Norges fiskeridirektorat). En åpenbar fordel med oppdrett av fisk i merd er at havstrømmer naturlig transporterer vann inn og ut av merdene. Dette sikrer tilførsel av nytt oksygenrikt vann, gir fisken et naturlig vannmiljø og på veien ut tar vannstrømmen med seg overskudds fôrparkler 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 m³). Sammenlignet med fiskeoppdrett i kar på land, med høye tettheter og et forholdsvis stabilt vannmiljø, opplever laks og ørret i merder en relativt høy grad av bevegelsesfrihet og de kan bevege seg opp og ned i noten for å finne foretrukket vannmiljø [92, 93]. 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 det 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 medføre fare også for den nye fisken.

2.2 Velferdsutfordringer

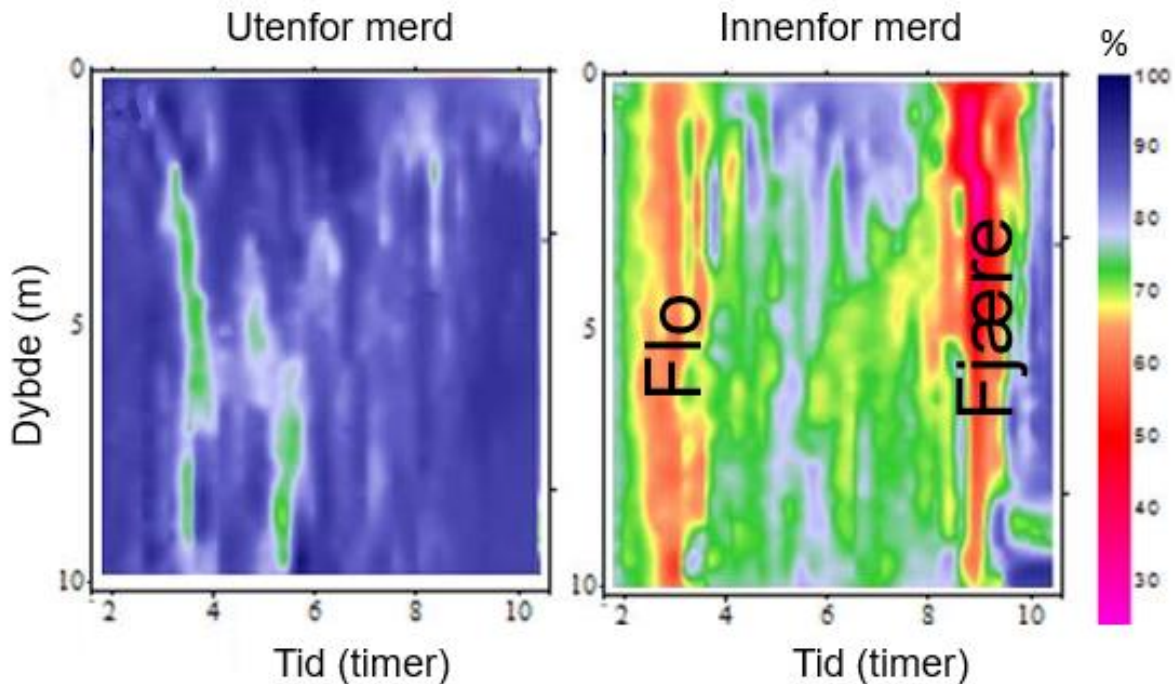
Utfordringer i vannmiljøet: Ørreten blir vanligvis transportert til merder i brønnbåter, og satt ut gjennom rør inn i merdene. Her må de mestre helt nye omgivelser og utfordringer, og de første ukene etter overføring er ofte forbundet med økt dødelighet [94]. Spesielt gjelder dette hvis fisken blir smittet med sykdom, har gjennomgått en «hard transport», eller om deler av populasjonen ikke er sjøvannstilvent 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 ørreten bli utsatt for helt forskjellige utfordringer. For eksempel lange perioder med veldig kaldt vann i nord og perioder med for varmt vann i sør (> 19 °C, [21]). Den kontinuerlige tilførselen av nytt vann i merden betyr også at ørreten opplever sesongmessige endringer, forandringer som følge av tidevannsstrømmer, ferskvannsavrenninger, stormer, oppstrømning av dypvann og oppblomstringer av plante- eller zooplankton (figur 2.2-1). 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 2.2-2). 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 [93]. 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 2.2-1). Alger og zooplankton kan gjøre direkte skade på gjellene til fisken [95], og tilførselen av nytt vann inn i merdene kan bringe inn andre patogener som virus, bakterier, parasitter eller maneter. Foruten bakterier og

virus, er den parasittiske sjølusa en av de største velferdsutfordring for regnbueørreten i dag [96]. 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 [97]. 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), og også ørret er påvirket [98].



Figur 2.2-1. Temperatur (°C), oksygenmetning (%), saltholdighet (‰) og fluoresens (µg/L) målt i en fjord i Vest-Norge. Legg merke til de to forekomstene av oppstrømning, en i juni og en i april-mai. Dette skaper plutselige og langvarig dårlige oksygenforhold under 10 m. Legg også merke til at høye konsentrasjoner av planteplankton (målt som fluorescens) i deler av året med lange dager og mye lys er netto produsenter av oksygen og fører til overmetning. I september derimot kan de være netto forbrukere av oksygen og føre til redusert oksygenmetning (data: Kjetil Frafjord- Ewos Innovation). Figur Lars H. Stien, ikke publisert, gjengitt med tillatelse.



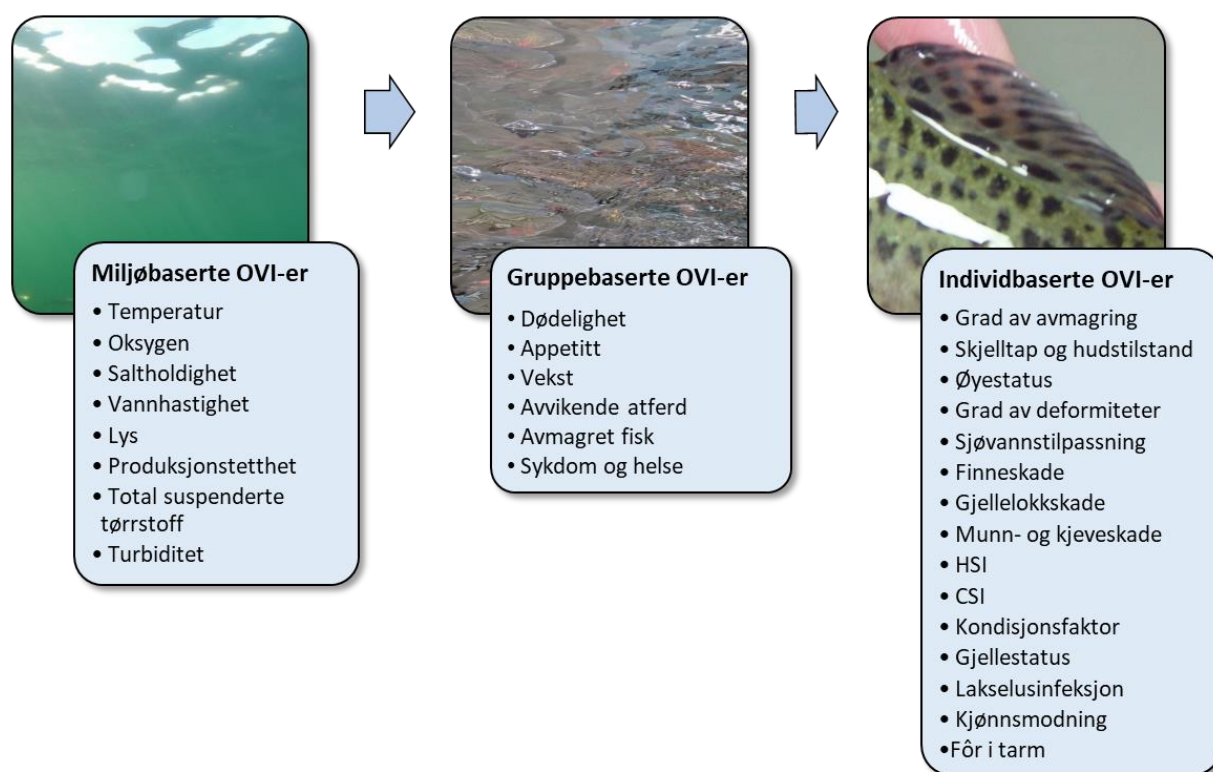
Figur 2.2-2. Eksempel på hypoksiske tilstander inne i en merd i perioden mellom flo og fjære («når den snur») og når det er nesten strømsstille. Illustrasjon tilpasset fra [99].

Farlig miljø: Oppdrett i et naturlig miljø gjør ørreten 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. Sårheling er avhengig av temperatur- og miljøforhold, i tillegg til sårets status, f.eks. sår dybde [f.eks. 83]. Noen ganger kan sårheling være relativt rask, men det er også vist at sår kan ta over 3 måneder å helbrede [83, 84]. I andre studier på regnbueørret (der sår dybder varierte fra ca. 3 mm til dybden av muskellagene) ble det rapportert at hudoverflaten ikke regenererte, selv etter ett år [83]. Se del C for mer informasjon om fiskevelferd i forhold til håndtering.

2.3 Operative velferdsindikatorer

Det finnes tre hovedgrupper av operative velferdsindikatorer som kan benyttes i sjømerder: miljøbaserte, gruppebaserte og individbaserte OVI-er (figur 2.3-1).



Figur 2.3-1. 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 og Chris Noble.

2.4 Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Temperatur er en viktig miljøfaktor som påvirker den vertikale fordelingen av ørret i merder [92]. Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [20], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fiskens ulike utviklingsstadier. Som oppdretter bør man anstrenge seg for å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området. Andre undersøkelser antyder at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C innenfor et område på 13-19 °C under normale oksygenforhold [24]. Alanärä [100] rapporterte at ørret viste maksimal appetitt ved 15-16 °C. Sutterlin og Stevens [92] rapporterte videre at oppdrettet ørret med en gjennomsnittsvekt på ca. 1,9 kg hadde en temperaturpreferanse på ca. 13 °C, og en preferanse på 7-17 °C når de ble holdt i et lagdelt vann. Temperaturer over 19 °C i sjø- eller brakkvann kan medføre høy dødelighet [21]. Endringer i temperatur bør også overvåkes og store eller raske endringer bør unngås der det er mulig f.eks. [25].

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. Ørret øker sin metabolske aktivitet med økende temperatur og trenger derfor mer oksygen ved høye enn ved lave temperaturer (tabell 3.4-1). Når fisketettheten, -metabolismen og -aktiviteten økes på grunn av stress under trenging, er det fare for at lave oksygenforhold utvikles. De viktigste faktorene som avgjør oksygenforbruk er kroppsstørrelse, temperatur, trykk, aktivitet (svømming, fôring) og

livsstadium. I nylig publisert forskning [18] skisseres detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) hos regnbueørret ved forskjellige temperaturer og i forskjellige størrelser (tabell 2.4-2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig respirasjon og nivåer under dette er derfor dødelige. LOS-verdiene i tabell 2.4-2 er målt på sultet fisk, og et høyere oksygennivå kan være nødvendig når fisk blir føret [18] eller er under stressfulle situasjoner som trening. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell forsiktighetsregel anbefaler man oksygenmetningsnivåer over 80%, basert på data fra Poulsen mfl. [19] og i RSPCAs velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret anbefales minimum 70%/7 mg/L [16].

Table 2.4.2. Den begrensende oksygenmetningen (LOS) hos sultet diploid and triploid regnbueørret på ca. 15-130 g (LOS verdier i mg/L). Data gjengitt fra Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative Evaluation of Tolerant to Heating and Hypoxia of Three Kinds of Salmonids. Journal of Ocean University of China 17(6), 1465-1472. [18] med tillatelse fra Springer Nature.

Temperatur (° C)	LOS: diploid				LOS: triploid			
	Fiskestørrelse				Fiskestørrelse			
	16 g	40 g	79 g	131 g	16 g	39 g	79 g	130 g
13	4.7	4.4	4.2	3.2	4.1	3.9	3.6	3.1
17	5.0	5.1	4.9	3.8	4.3	4.2	4.0	3.4
21	5.4	5.3	5.2	4.5	4.8	4.7	4.2	3.6
25	5.9	5.6	5.3	4.8	5.0	4.8	4.5	4.0

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 2.2-1, og [93 og referanser deri]). EFSA [21] mener at regnbueørret større enn 50 g har god salttoleranse, og fisk som overføres ved 70-100 g har en god overlevelseshastighet og er tilsynelatende i stand til å håndtere overføringen til sjø uten å gjennomgå en smoltifisering. Fisk som er oppdrettet i ferskvann som inneholder lavt Ca^{2+} , kan ha problemer med å tilpasse seg sjøvann etter overføring, men dette kan avhjelpest ved å føre med spesialfôr som inneholdende salter, for å stimulere tilpasning til det marine miljøet [26]. Ved mindre fisk sees en forbedring når det skjer en gradvis økning av salinitet eller det marine miljøet er iblandet ferskvann (brakkvann) [101, 102, 103]. Tegn på manglende tilpasning til det marine miljøet ville være mangel på vekst og kroniske lav dødelighet. Sutterlin og Stevens [92] rapporterte at oppdrettet ørret som ble oppdrettet i lagdelt vann hadde en preferanse for saltinnhold < 25 ‰, og en temperaturer > 10 °C. Fisken unngikk aktivt kjøligere, vann med høyere saltholdighet. McKay og Gjerde [27] rapporterte videre at saltinnhold på over 20 ‰ kunne være skadelig for produksjonen (vekst, appetitt, dødelighet) for ørret i størrelsesordenen 50-150g.

Turbiditet og fluoresens er lite brukte velferdsindikatorer, men de kan gi en indikasjon på tilstedeværelsen av plankton og derved risiko for plutselige endringer i oksygenmetning (figur 2.2-1). 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 [95]. Høy turbiditet kan også hindre oppdretteren i å observere fisken og vurdere fiskens appetitt. Dette kan øke risikoen for feil føring og redusere oppdretterens reaksjonstid i forhold til plutselige forandringer i atferden hos fisken og et potensielt begynnende velferdsproblem.

Vannhastigheten er først og fremst en indirekte OVI ved at vannstrømmen gjennom en merd gir nytt oksygen som brukes av fisken og fører ut metabolitter og suspenderte faste stoffer slik som avføring og overskuddsfôr [15]. Det er godt dokumentert at vannhastigheten som er for høy eller for lav kan ha en negativ effekt på helse, velferd og ytelse til ørreten, men det er ingen klar enighet i litteraturen om hva som er den ideelle vannhastigheten for ørret. Studier har vist at regnbueørret som (ble føret til metning) svømte opptil 3 kroppslengder per sekund hadde sammenliknbar vekst og fôrutnyttelse som fisk eksponert ved lavere svømmehastigheter [31]. Andre studier anbefaler imidlertid vannhastigheter mellom 0 og 1 kroppslengder per sekund for optimal vekst [32, 33]. Nyere arbeid av Larsen mfl. [34] fant at vannhastigheter på 0,9 kroppslengder/s stimulerte stimadferd og reduserte hyppigheten av uberegnelig atferd i forhold til ørret holdt i statisk vann. McKenzie mfl. [35] rapporterte også at vannhastigheter på 0,9 kroppslengder/s reduserte gjenopprettingstida for ørret som ble utsatt for akutt stress sammenliknet med ørret holdt i statisk vann. Praktisk erfaring tyder på at hastigheten bør være høy nok til å stimulere fisken til å svømme på en koordinert måte mot strømmen, i stedet for å bli presset bakover og få et ukoordinert adferdsmønster. Hos andre laksefisk kan strømhastigheter som er for lave også føre til problemer med økt finnebiting og aggresjon [104, 105], og ved å opprettholde aktiv svømming (øke vannhastigheten) i populasjonen kan det forbedre vekst og fôrkonvertering siden fisk avleder mer energi til å opprettholde posisjon i stimen, og mindre tid og energi til sosiale interaksjoner [f.eks. 37].

Tetthet i merd er mer enn 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 [35, 106], men hva som er optimal tetthet er avhengig av en rekke variabler, inkludert livsstadium, vannkvalitet, strømhastighet, fôrtilgang, fôrregime, oppdrettssystem og oppdrettsrutiner og -praksiser [75]. RSPCA velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret anbefaler at bestandstetthet for fisk i merd (< 100 g) bør være < 10 kg/m³, og være < 15 kg/m³ for anlegget totalt, og < 17 kg/m³ pr. merd [16]. Men produksjonstettheter under 25 kg/m³ antas å ikke påvirke fisken sin velferd (gjennomgått i [82]). 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.

Belysning. Lysforhold i en merd varierer med dybde, tid på dagen, vær og årstid. Økt daglengde har en positiv effekt på veksten i sjøvannsfasen [107]. Regnbueørret er en naturlige vårgyter og en økning i daglengden fra midtvinters gjennom våren, vil kunne resultere i tidligere gyting [vurdert av 108]. Imidlertid, hvis denne tilnærmingen blir brukt i ett år gammel fisk, kan den forhindre eller forsinke gyting året etter [109]. I tillegg ser det ut til at endringen i daglengde har en langt viktigere effekt på modning enn daglengde per se [108]. Påvirkningen av lysforholdene på svømmeatferden til regnbueørret i merdene er ikke så mye studert sammenliknet med laks. Ørret vil normalt opprettholde daglig svømmeaktivitet og adferd når den blir utsatt for lys om natten, selv om dette i noen tilfeller kan føre til høye tettheter nær overflaten [110]. Deres atferdsrespons på nedsenkede lys er mest sannsynligvis lik den man ser hos laks. RSPCAs velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret oppgir at kardekke skal fjernes fra oppdrettskarene minst 12 timer før overføring til sjøvann slik at fisken kan akklimatisere seg til de potensielle høyere lysintensitetene de vil møte i merdene, og merdene må være dype nok til sørge for at fisken ikke blir skadet av UV-stråling [16].

Hvordan måle vannkvalitet i merder

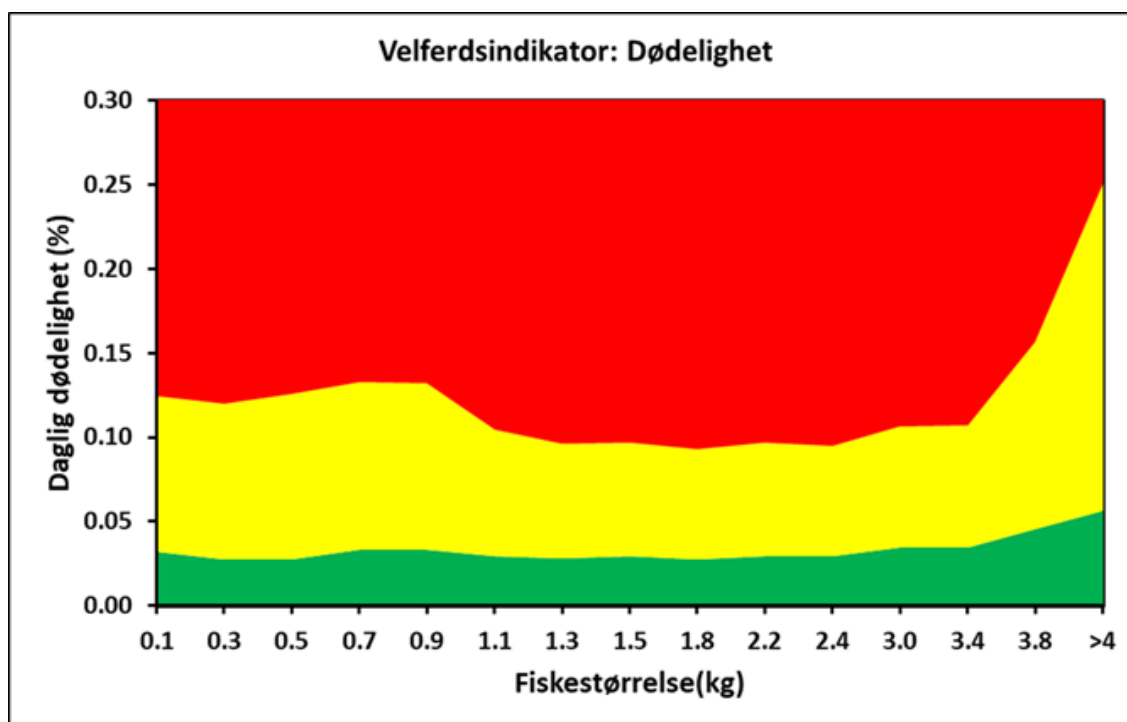
- Hensikten med å måle vannkvalitet i merd er:
 - Få vite hvilken vannkvalitet fisken faktisk opplever
 - Få en helhetlig beskrivelse av vannmiljøet
- Det er derfor viktig å måle i det dypet der fisken står, og måle fra topp til bunn i merden. Det siste er avgjørende for å kunne gi en korrekt tolkning 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 vi vet finnes det ingen anbefalinger om hvordan en best mulig kan måle vannkvaliteten i eksisterende og nye storskala produksjonssystemer.**
- En manuell måling av turbiditeten kan gjøres ved hjelp av en Secchi-skive. Dette 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.
- Vannhastighet kan nå måles på i nåtid online ved hjelp av kommersiell tilgjengelig teknologi i og rundt anleggene.

2.5 Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Appetitt, eller en fiskes tilbøyelighet eller vilje til å spise [111], er en robust og passiv OVI for merder. Endringer i appetitt kan fungere som et tidlig varsel-signal på potensielle problemer med velferden [56]. Men, avvising av fôrpellets, og lav appetitt kan imidlertid også bety at fisk er mett (eller overfôret), eller blir fôret på et tidspunkt hvor de ikke vil spise, så dette må også tas i betraktning når man bruker appetitt som OVI. Appetitt og fôring påvirkes av en rekke faktorer som daglengde [60], oksygenmetning [58], helsestatus [63], ektoparasitnivå [112] og stress [64]. Det er velkjent at appetitten hos ørret kan variere mye innenfor og mellom dager [65]. Denne variasjonen, i tillegg til det store antall faktorer som kan påvirke appetitt og spisemønster, kan gjøre det vanskelig (og uønsket) å anbefale spesifikke daglige utføringsmengder. 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 ofte med kjennskap til fôringsdata fra foregående dag (er), data om vannmiljøet (oksygen, temperatur m.m.) og vanntilstand (strømshastighet - om dette er tilgjengelig).

Vekst kan påvirkes av flere faktorer, som for eksempel ernæring, sykdom, sosial interaksjon [67, 68], vannkvalitet og kronisk stress [69]. Vekst kan være dårlig eller varierende, men selv om man i korte perioder kan ha dårligere vekst enn normalt, så vil dette variere fra lokalitet til lokalitet og brukes som en OVI [56]. Kvaliteten på vekst som OVI, er imidlertid avhengig av robuste og jevnlig veiinger eller biomasseanslag. Det kan derfor være bedre å bruke kortvarige forandringer i veksthastighet som en OVI i et bestemt system. På denne måten kan bråe forandringer i vekst brukes som et tidlig varslingsystem for potensielle problemer. Dette gjelder særlig når oppdretteren benytter seg av en robust vekstovervåkningspraksis.

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 Fiskeridirektoratets 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 [97, 113, 114]. Basert på dødelighetstall for ørret rapportert til Fiskeridirektoratet har man utviklet dødelighetskurver, (figur 2.5-1). Den median daglige dødeligheten hos regnbueørret var 0,02% og den totale akkumulerte dødeligheten var 15% for regnbueørret overført til sjø i perioden 2009-2015, noe som viser at mesteparten av produksjonen hovedsakelig holder seg i det grønne området (figur 2.5.1). 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 2.5-1. Standard dødelighetskurve for regnbueørret i forhold til fiskestørrelse basert på data som rapporteres av den norske oppdrettsindustrien 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. I alle typer produksjonssystemer kan noen individer bli tynne eller avmagrede. Overføring til sjø innebærer et helt nytt og varierende miljø, som medfører stress, og kan bidra til at individer slutter å spise. Avmagrede fisk nær overflaten isolerer seg 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 [115]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig. Forekomsten av døende eller avmagrede fisk bør overvåkes [82], og enhver forandring i frekvensen av avmagrede fisk bør reageres på så tidlig som mulig. Dette kan benyttes som en tidlig OVI for varslings 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 atferd 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. Sammenlignet med atlantisk laks, har adferden til regnbueørret i sjømerder blitt lite undersøkt.

Følgende er et sammendrag av noen av de undersøkelsene som er gjort på adferd av ørret i merd:

- I en studie av Sutterlin og Stevens [92] hvor voksen ørret (ca. 1,9 kg) i merd med vann med stratifisert temperaturer og saltholdighet. Viste ørreten en tydelig preferanse for saltinnhold < 25 ‰ og temperaturer ca. 13 °C, og unngikk aktivt kjøligere, vann med høyere saltholdighet. Ørret viste også døgnvariasjoner i temperaturpreferanse på opptil 3-4 °C.
- Tidlig arbeid av Sutterlin mfl. [116] rapporterte at regnbueørret og atlantisk laks sin atferd i sjømerder kan være ganske forskjellige, der laks viser et sirkulært aktivitetsmønster i stim viste til sammenligning ørret ikke noen konsistent sirkulær svømming eller rotasjonsorientering (man kan ikke utelukke at tilstedeværelse av ansatte i observasjonsperioder påvirket adferden). En annen studie av Phillips, [117] viste imidlertid sirkulær svømmeaktiviteten hos ørret når den ble overvåket ved hjelp av undervannsvideo. Phillips rapporterte også at regnbueørret i merd kan samle seg nær overflaten, utvise lav aktivitet ved lave vannhastigheter, og danne polariserte stimer og opprettholde svømmeposisjonen med høyere vannstrømningshastigheter. Han rapporterte også om hyppige aggressive interaksjoner i form av jakt og utfall mot artsfrender. Fôring ble også synkronisert mellom noen eller hele den observerte populasjonen hvis fôringsatferden til en eller flere av fiskene var rask nok til å få respons fra resten av deres artsfrender. Dette ble også vist i en studie av regnbueørret av Brännäs og Alanära [81] der all fisk reagerte da fôr ble introdusert til merden.
- Sutterlin mfl. [116] rapporterte også at regnbueørret i merd, kan tilpasse seg tilstedeværelsen av personell, og tilpasse deres svømmeadferd i forhold til forventningene av mat.
- Småskala eksperimentelle studier i kar har vist at regnbueørretens adferd kan påvirkes av fôrrutiner, og McFarlane mfl. [80] rapporterte at aktivitetsnivåene var lavest når fisk ble fôret til metning. Imidlertid øker aktiviteten når de fôres til metning samtidig som de stresses to ganger i uken (treningsstressor) til metning, og er på sitt høyeste når fisk blir utsatt for et fôrings-/metningsfôringsregime (hvor fisk ble sultet i en uke og deretter fôret til metning i en uke). Dette var spesielt tydelig når fisk ble sultet og i de tidlige fasene av gjenfôring [80]. Denne typen adferd kan også være aktuelle i merder, selv om denne undersøkelsen er gjort i kar. Andre studier har også vist at regnbueørret utviser energisk fôringsatferd, og kan være svært aggressiv rundt måltider [f.eks. 81, 82 i henholdsvis merd og kar]. Svømmehastighet kan derfor brukes som et mulig OVI for økt konkurranse om en fôrressurs.

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 merdkanten av erfarent personell, og kan føre til raskere respons på potensielle sykdomsutbrudd. Oversikten over sykdommer karakteristiske for både ferskvanns- og sjøvannsstadier av regnbueørret, er gitt i kapittel 3.1.5 i del A av denne håndboken.

Hvordan måle ørretens atferd i merdene:

- Det er mulig å få en god oversikt over fiskens atferd ved hjelp av mobile undervannskameraer. Det er en rekke undersøkelser som knytter for eksempel svømmehastighet og endringer i svømmehastighet til vertikal temperaturfordeling [92] eller forskjeller i fôringsregime [80]. 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 [118]. Så 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 fiskens 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. [119] har utviklet et system for kvantifisering av svømmehastighet av Atlantisk laks 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 kan gi oppdretter et overblikk over den vertikale fordelingen av fisk i en merd. Disse kan være fordelaktig for oppdretter siden de genererer langtidsdata på vertikal fiskefordeling og avvik fra forventet atferd, noe som benyttes som en OVI. Imidlertid er det arbeidskrevende å generere kvantitative data fra disse systemer på en brukervennlig måte. I tillegg gir de en forholdsvis begrenset oversikt over atferden og kan dermed ha beskjedent verdi i store produksjonssystemer.

2.6 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 (§6 Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg, FOR-2012-12-05-1140 [120]). Lusetelling innebærer å ta prøver av fisk fra hver merd, bedøve hver fisk og telle antall lus nøye på fisken og klassifisere dem i forskjellige livsstadier. I Nordland, Troms og Finnmark må det tas prøver av 20 tilfeldige fisk fra hver merd fra og med mandag i uke 19 til (og inkludert) søndag i uke 26, mens det er nok å ta prøver av 10 fisk fra hver merd utenfor denne perioden. Sør for Nordland starter perioden hvor oppdretter må ta prøver av 20 fisk på mandag i uke 14 og varer til søndag i uke 21. Forskriftene krever også at fisken fanges i ei fiskekot eller liknede slik at en får et så representativt prøvetak av populasjonen som mulig. Lusetelling åpner derved muligheten for ikke bare å telle lus, men også for å registrere OVI-er basert på utseendet til fisken som undersøkes for lus.

Skåringssystemer, for eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktiv finneskader, er angitt på slutten av dette dokumentet (bilder basert på laks). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig i forbindelse med en «velferdsrevisjon»).

Avmagrede fisk nær overflaten isolerer seg 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 [115]. De bør derfor fjernes og avlives så langt det er mulig.

Skjelltap og hudstatus. Tilstedeværelse, alvorlighetsgrad og hyppighet av tap av skjell, og epidermalskade og sår bør overvåkes regelmessig. Ofte kan dette indikere problemer i forbindelse med håndtering av fisk. Siden slim og skjell beskytter fisken fra omgivelsene og har en barrierefunksjon, kan tapet av disse barrierene føre til osmoregulatoriske problemer og infeksjoner. Sårheling er avhengig av temperatur- og miljøforhold, i tillegg til sårets status, f.eks. sår dybde [f.eks. 83]. Noen ganger kan sårheling være relativt rask, men det er også vist at sår kan ta over 3 måneder å helbrede [84]. Andre studier på regnbueørret (der sår dybde varierte fra ca. 3 mm til dybden av muskellagene), rapporterte at hudoverflaten ikke regenererte, selv etter ett år [83].

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, inkludert ernæringsfaktorer og parasittinfeksjoner. Åpenbar skade på øynene kan også skyldes fysiske skade i forbindelse med håndtering. Oversikt over typer øyeskade og effekter på fiskevelferd er gitt i kapittel 3.2.12 i del A av håndboka.

Munn- og kjeveskader kan oppstå i forhold til håndteringsprosedyrer (trenging, pumping, netting og likende; se del C i denne håndboken for mer informasjon).

Ryggradsdeformiteter kan forekomme tidlig i livet, men vil ikke i de fleste tilfeller vises før senere i livet. Deformitetene kan være forårsaket av feilernæring, produksjonsforhold i settefiskanlegget eller genetiske forhold [85, 86]. Fisk med vertebrale deformiteter kan ha svekket svømme- og bevegelseskapasitet, noe som gjør individet mindre i stand til å konkurrere om mat og være mer utsatt for skader. For nærmere detaljer se 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. Dette kan forstyrre respirasjonseffektiviteten og gjøre fisken mer utsatt ved lave oksygenmetninger i anlegget. Selv om det ser ut til at det meste av gjellelokkskader oppstår tidlig i livet, oppdages de fleste slike skader når fisken vokset en stund. Slike skader kan gjøre gjellene mer sårbare for skader under håndtering. Å inspisere gjellene kan også gi noen indikasjoner på gjellestatusen til fisken.

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).

Finneskade er en indikasjon på mulige problemer i oppdrettsmiljøet. Ryggfinnesskader er den vanligste formen [78]. Dette kan være assosiert med vannhastighet, fôringsfrekvens eller -fordeling [f.eks. 9, 87, 88]. Finner kan også bli skadet på grunn av sammenstøt mellom fisk og fysiske installasjoner i oppdrettsmiljøet. Finner har alle nødvendige nervebaner for å oppfatte skade, og derfor kan skade på finnene forårsake smerte. Videre kan skader på finnene være en inngangsportal for infeksjoner og gi svekket svømme- og bevegeskapasitet [9].

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

Kondisjonsfaktor (KF) gir et bilde på fiskens ernæringsstatus og beregnes som $100 \times \text{kroppsvekt (g)} \times \text{kroppslengde (cm)}^{-3}$. Det er forskjellige måter å overvåke kondisjonsfaktor fra subjektiv vurdering av fiskens tilstand til beregninger fra vekt og lengde. Siden kondisjonsfaktoren er variabel og endrer seg med både livsstadium og sesong, er det vanskelig å oppgi klare verdier som gir indikasjon på redusert velferd [82]. Selv i en populasjon med generelt god kondisjonsfaktor kan det være noen tynne eller til og med avmagrede individer som enten har et underliggende helseproblem eller som ikke har tilpasset seg fôret. I langsiktige sultestudier på regnbueørret er det imidlertid rapportert verdier på $< 1,0$ hos ung ørret (ca. 55 g gjennomsnittsvikt) som har fastet i 4 måneder [89]. I en annen studie med større fastende fisk (ca. 280 g middelvekt), er det rapportert at K-verdiene falt fra et begynnelsenivå på ca. 1,15-1,2 til ca. 1,05 etter 1 måned og ca. 0,9 etter 4 måneder [90]. Vi foreslår derfor at en K-faktor på ca. 1,0 eller $< 1,0$ kan være en indikasjon på avmagring hos oppdrettet regnbueørret. Regnbueørret kan også akkumulere store mengder av magefett hvis de blir overfôret i en periode. Velferdsmessige implikasjoner av slik fedme er ikke undersøkt, men kan være et tegn på dårlige fôringsrutiner.

Lakselus irriterer fisken og store antall pre-adult og adulte lus kan føre til sår og alvorlige inflammatoriske reaksjoner. RSPCAs velferdsstandarter for oppdrett av regnbueørret oppgir at avmagringstilstanden til fisken skal overvåkes i forhold til luseangrep, i tillegg til infeksjoner, sår, hudtilstand og appetitt. Videre bør enhver fisk med alvorlige fysiske skader fra lus avlives [16].

Sjøvannstilpassning er svært viktig før sjøutsett. Fisk som ikke er, eller som er ufullstendig, sjøvannstilvent vil få problemer med osmoreguleringen, hemmet vekst, og i verste fall dø. Dette er spesifikt for ulike livsfaser, og regnbueørret som har kapasitet til å vokse både i fersk- og sjøvann. EFSA [21] mener at salttoleransen hos regnbueørret oppstår når fisken er større enn 50 g, og fisk som overføres ved 70-100 g har en god overlevelseshastighet og er tilsynelatende i stand til å håndtere overføringen til sjø uten å gjennomgå en smoltifisering. Fisk som er oppdrettet i ferskvann som inneholder lavt Ca^{2+} , kan ha problemer med å tilpasse seg sjøvann etter overføring, men dette kan

avhjelpes med å føre med som spesialfôr som inneholder salter, for å stimulere tilpasning til det marine miljøet [26]. McKay og Gjerde [27] rapportert også at dødeligheten hos regnbueørret som nylig var overført til sjøvann kan være høyere med høyere saltholdighet (32 ‰), og de oppdaget også at veksten ble redusert ved saltinnhold >20 ‰.

Kjønnsmodning. Laksefisk som regnbueørret kan kjønnsmodne både i fersk- og sjøvann [121, 122], og det kan være et problem med tidlig kjønnsmodning i oppdrett av regnbueørret [123]. Under modning benytter ørret 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 (se del A kapittel 3.2.7).

Fôr i tarm. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av en av de siste en til to dagene [65], 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).

3 Morfologiske skårssystem for vurdering av fiskevelferd i ulike oppdrettssystemer

Det følgende avsnittet er et sammendrag av skåreskjemaene som brukes i denne håndboken.

Denne håndboken foreslår et enhetlig skåringssystem (tabell 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3) som først og fremst er rettet mot oppdrettere for å kunne hjelpe dem med å vurdere velferd, og raskt oppdage potensielle velferdsproblemer ute på anlegget. Systemet ble opprinnelig utviklet for laks [124] og har nå blitt tilpasset for regnbueørret. Det er en sammenslåing av ulike skadeskåringsskjema som er brukt i Salmon Welfare Index Model (SWIM) [82], utviklet av Norsk veterinærinstitutt (NVI) [125, 126], og fra andre systemer utviklet av J. F. Turnbull (University of Stirling) og J. Kolarevic og C. Noble (Nofima).

Vårt foreslåtte opplegg standardiserer poengsum for 13 forskjellige indikatorer til et 0-3 skåringssystem:

i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) skader/sår, iv) skalltap, v) øyebledninger, vi) utstående øye vii) gjellelokkskade, viii) snuteskade, ix) ryggrad-deformiteter, x) overkjevemisdannelser, xi) underkjevemisdannelser, xii) aktiv finneskader xiii) helbredede finneskader.

Vi har først og fremst brukt bilder fra laksehåndboken i følgende skåringssystem, ettersom forholdene de beskriver er like anvendelige for regnbueørret.

Bilder som brukes i systemet representerer eksempler på hver poengkategori. Vi foreslår at rygg-, hale- og brystfinner er de viktigste finnene for å overvåke for finnskader. Et omfattende system for klassifisering av vertebrale deformiteter, lignende det som eksisterer i human medisin, er ennå ikke utviklet for regnbueørret, og vi foreslår derfor et forenklet skåringssystem som ligner det som brukes i RSPCA velferdsstandarder for oppdrettsatlantisk laks [127].

Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av et eksisterende og et mye brukt 0-4-skåringsskjema (gjengitt fra Wall og Bjerkås, 1999) [128], se fig 3.2. Skåringsmetoden registrerer kataraktområdet i forhold til hele linseflaten. En kan raskt vurdere et stort antall fisk med minimalt utstyr for å få et inntrykk av alvorlighetsgraden av problemet. Hvis mulig, bør et valgt antall fisk inspiseres under mørklagte forhold (også med bedre utstyr) for å gi en viss indikasjon på posisjon, type, utvikling og etiologi. 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.).

Graden av vaksinens bivirkninger hos individuell fisk blir ofte evaluert i henhold til «Spielberg-skalen» [129], se tabell 3.3 og fig. 3.4. Spielberg skala er mye brukt som en velferdsindikator i norsk oppdrettsnæring, først og fremst for laks, men den har også blitt brukt på ørret. Skalaen er basert på en visuell vurdering av omfanget og plasseringen av kliniske endringer i bukhulen til fisken, og den beskriver endringer relatert til peritonitt; vedheft mellom organer, mellom organer og bukvegg og melaninavleiringer ([129] se også [130] og referanser deri). En Spielberg-skår på 3 og over er generelt sett uønsket.

Tabell 3.1-1. 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	 Små blødninger / fargeendringer, ofte buk	 Et større område med blødninger, ofte og skjelltap	 Alvorlige blødninger ofte med betydelig skjelltap, sår og ødemer i hud
Sår ^{1,2}	 Ett lite (inntil kronestykke stort) sår ¹ , ikke ned til muskel	 Flere små sår	 Store, alvorlige sår, ofte blottlagt muskel ($\geq$ kronestykke stort)
Skjelltap	 Tap av enkelte skjell	 Skjelltap i små (inntil kronestykke store) felter og $< 10\%$ av fi sken	 Skjelltap i større felter ($\geq 10\%$ av fisken har skjelltap)
Øyeblikning	 Mindre blødninger	 Større blødninger eller traumatisk skade	 Store blødninger/ traume. Kan ha «punktert» øye
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne

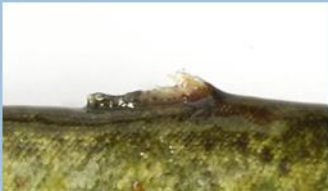
¹ For yngel vil «lite sår» være inntil 1 cm

² NB! Sår som perforerer inn til bukhulen vil uavhengig av størrelse betegnes som alvorlig og gis skår 3

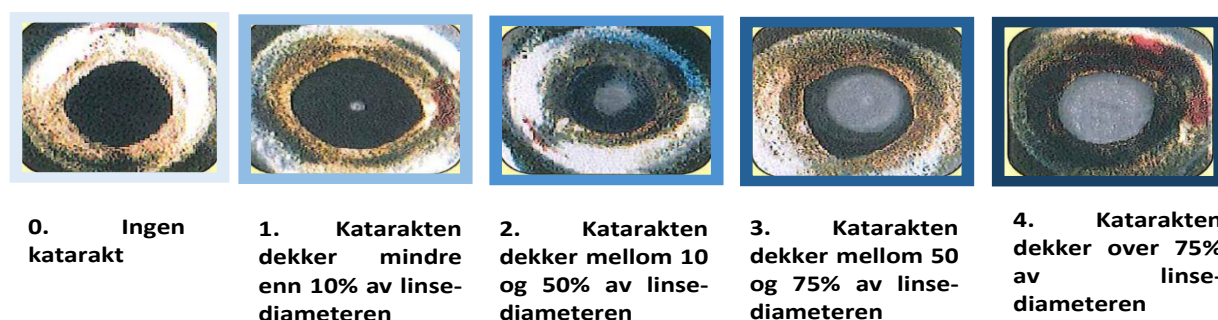
Tabell 3.1-2. Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiske skader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. 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. Kan omfatte hele hodet
Ryggradsdeformiteter	 Tegn til deformert ryggrad	 Tydelig ryggradsdeformitet (f.eks korthale)	 Ekstreme deformiteter
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 3.1-3. 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	 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. Morfologisk skåresystem for klassifisering av katarakt hos laksefisk. 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" [128] 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." [131] med tillatelse fra T. Wall.

Tabell 3.3. Speilberg Skala, gjengitt fra “Midtlyng, P.J., Reitan, L.J. og Speilberg, L. 1996 [129], *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 bukhalen og alvorlighetsgrad av lesjoner. Opprinnelig utarbeidet for laks, men også benyttet på regnbueørret [132, 133].

Score	Synlige forandringer i bukhalen	Alvorlighetsgrad av skader etter sløying
0	Ingen tydelige skader.	Ingen.
1	Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig at det blir lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Ingen eller liten grad av ugjennomsiktighet av bukhalna etter sløying.
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Kun ugjennomsiktighet av bukhalnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene manuelt.
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremre delen av bukhalen, som involverer sammenkobling av blindsekkene, leveren eller magesekken til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Mindre synlige skader etter sløying, 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 sløying.	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt.
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhalen. I store områder er bukhalnen tykkere og ugjennomsiktig, og fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer.	Etterlater synlige skader på fisken etter sløying 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 sløying.



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



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



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



5. Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhulen. I store områder er bukhinnen 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 3.4. Speilberg skala 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" [129] med tillatelse fra Elsevier. Skalaen ble opprinnelig utviklet for atlantisk laks, men har også blitt brukt i studier på regnbueørret [132, 133].

4 Sammendrag og oversikt over OVI-er og LABVI-er egnet er egnet for ulike oppdrettssystemer.

Tabell 4-1. Anbefalte velferdsindikatorer for bruk i ulike produksjonssystemer som er omtalt i del B i håndboken.

Type system		Produksjonssystem	
		GS-system	Sjømerder
Miljøbaserte OVI-er	OVI		
	Temperatur	x	x
	Saltholdighet	x	x
	Oksygen	x	x
	CO ₂	x	
	pH og alkalinitet	x	
	Total gass trykk	x	
	Turbiditet og suspendert tørrstoff (TSS)	x	x
	Vannhastighet	x	x
	Lys	x	x
	Biomasse, tetthet	x	x
Gruppebaserte OVI-er	Dødelighet	x	x
	Atferd	x	x
	Appetitt	x	x
	• Vekst	x	x
	Sykdom og helse	x	x
	Avmagret fisk	x	x
Individbaserte OVI-er	Gjellelokkrate	x	
	Lakselus		x
	Gjellebleking og -status	x	x
	Kondisjonsmål		
	• Kondisjonsfaktor	x	x
	• HSI	x	x
	• CSI	x	x
	Fôr i tarm	x	x
	Grad av avmagring	x	x
	Grad av kjønnsmodning	x	x
	Sjøvannstilpasning	x	x
	Ryggraddeformiteter	x	x
	Finneskade og -status	x	x
	Skjelltap og hudstatus	x	x
	Snute- og kjeveskade	x	x
	Nefrokalsinose	x	
	Øyeblikninger og -status	x	x
	Gjellelokk deformiteter	x	x

5 Referanser

- [1] Smart, G. R. (1981) Aspects of water quality producing stress in intensive fish culture. In: *Stress and Fish* (Ed: Pickering, A. D.) Academic Press, London. 277-293.
- [2] Colt, J. (2006) Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering* **34**, 143-156.
- [3] 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.
- [4] 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 CO₂ stripping technology in Norwegian Atlantic salmon smolt production. *Aquaculture Economics & Management* **16**(4), 414-428.
- [5] 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.
- [6] Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B. O. & Braathen, B. (2004) Mattilsynet / Vannkvalitet / Rapport 09.08.2004, p.85.
- [7] Ellis, R. P., Urbina, M. A. & Wilson, R. W. (2017) Lessons from two high CO₂ worlds—future oceans and intensive aquaculture. *Global change biology* **23**(6), 2141-2148.
- [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) pp. 16.
- [9] Latremouille, D. N. (2003) Fin erosion in aquaculture and natural environments. *Reviews in Fisheries Science* **11**(4), 315-335.
- [10] 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.
- [11] Wang, Z., Meador, J. P. & Leung, K. M. (2016) Metal toxicity to freshwater organisms as a function of pH: A meta-analysis. *Chemosphere* **144**, 1544-1552.
- [12] 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.
- [13] Wooster, G. A. & Bowse, P. R. (1996) The aerobiological pathway of a fish pathogen: survival and dissemination of *Aeromonas salmonicida* in aerosols and its implications in fish health management. *Journal of the World Aquaculture Society* **27**, 7-14.
- [14] Ross, A. J., Yasutake, W.T. & Leek, S. (1975) *Phoma herbarum*, a fungal plant saprophyte, as a fish pathogen. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **32**, 1648-1652.
- [15] 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.
- [16] RSPCA (2018). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout.
<https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed April 2019).
- [17] Wedemeyer, G. A. (1996) *Physiology of fish in Intensive culture systems*. London, Chapman Hall.

- [18] Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative Evaluation of Toleration to Heating and Hypoxia of Three Kinds of Salmonids. *Journal of Ocean University of China* **17**(6), 1465-1472.
- [19] Poulsen, S. B., Jensen, L. F., Nielsen, K. S., Malte, H., Aarestrup, K. & Svendsen, J. C. (2011) Behaviour of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* presented with a choice of normoxia and stepwise progressive hypoxia. *Journal of Fish Biology* **79**(4), 969-979.
- [20] Ihssen, P. E. (1986) Selection of fingerling rainbow trout for high and low tolerance to high temperature. *Aquaculture* **57**(1-4), 370.
- [21] EFSA (2008) 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.
- [22] Poppe, T. T., Bæverfjord, G. & Hansen, T. (2007) Effects of intensive production with emphasis on on-growing production: fast growth, deformities and production-related diseases. *Aquaculture Research: From Cage to Consumption*, 120-135.
- [23] Woynarovich, A., Hoitsy, G. & Moth-Poulsen, T. (2011) Small-scale rainbow trout farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (561), 1.
- [24] Schurmann, H., Steffensen, J. F. & Lomholt, J. P. (1991) The influence of hypoxia on the preferred temperature of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology* **157**(1), 75-86.
- [25] Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Water quality requirements. In: *Pond Aquaculture Water Quality Management* (pp. 87-153). Springer, Boston, MA.
- [26] Perry, S. F., Rivero-Lopez, L., McNeill, B. & Wilson, J. (2006) Fooling a freshwater fish: how dietary salt transforms the rainbow trout gill into a seawater gill phenotype. *Journal of Experimental Biology* **209**(23), 4591-4596.
- [27] McKay, L. R. & Gjerde, B. (1985) The effect of salinity on growth of rainbow trout. *Aquaculture* **49**(3-4), 325-331.
- [28] Thorarensen, H. & Farrell, A. (2011) The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture* **312**, 1-14.
- [29] Danley, M. L., Kenney, P. B., Mazik, P. M., Kiser, R. & Hankins, J. A. (2005) Effects of carbon dioxide exposure on intensively cultured rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: physiological responses and fillet attributes. *Journal of the World Aquaculture Society* **36**(3), 249-261.
- [30] Hafs, A. W., Mazik, P. M., Kenney, P. B. & Silverstein, J. T. (2012) Impact of carbon dioxide level, water velocity, strain, and feeding regimen on growth and fillet attributes of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **350**, 46-53.
- [31] Parker, T. M. & Barnes, M. E. (2015) Effects of different water velocities on the hatchery rearing performance and recovery from transportation of Rainbow Trout fed two different rations. *Transactions of the American Fisheries Society* **144**(5), 882-890.
- [32] 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.
- [33] Houlihan, D. F. & Laurent, P. (1987) Effects of exercise training on the performance, growth, and protein turnover of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**(9), 1614-1621.
- [34] Larsen, B. K., Skov, P. V., McKenzie, D. J. & Jokumsen, A. (2012) The effects of stocking density and low level sustained exercise on the energetic efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at 19 °C. *Aquaculture* **324**, 226-233.

- [35] McKenzie, D. J., Höglund, E., Dupont-Prinet, A., Larsen, B. K., Skov, P. V., Pedersen, P. B. & Jokumsen, A. (2012) Effects of stocking density and sustained aerobic exercise on growth, energetics and welfare of rainbow trout. *Aquaculture* **338**, 216-222.
- [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] Christiansen, J. S. & Jobling, M. (1990) The behaviour and the relationship between food intake and growth of juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., subjected to sustained exercise. *Canadian Journal of Zoology* **68(10)**, 2185-2191.
- [38] Taylor, J. & Migaud, H. (2008) Shining The Light On Trout: Where we are now? *Finfish News* **1 (5)**, 11-17.
- [39] Taylor, J. F., Migaud, H., Porter, M. J. R. & Bromage, N. R. (2005) Photoperiod influences growth rate and plasma insulin-like growth factor-I levels in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *General and comparative endocrinology* **142(1-2)**, 169-185.
- [40] Taylor, J. F., Needham, M. P., North, B. P., Morgan, A., Thompson, K. & Migaud, H. (2007) The influence of ploidy on saltwater adaptation, acute stress response and immune function following seawater transfer in non-smolting rainbow trout. *General and comparative endocrinology* **152(2-3)**, 314-325.
- [41] Wagner, H. H. (1974) Photoperiod and temperature regulation of smolting in steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Zoology* **52**, 219-234.
- [42] Morro, B., Balseiro, P., Albalat, A., Pedrosa, C., Mackenzie, S., Nakamura, S., Shimizu, M., Nilsen, T. O., Sveier, H., Ebbesson, L. O. & Handeland, S. O. (2019) Effects of different photoperiod regimes on the smoltification and seawater adaptation of seawater-farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Insights from Na⁺, K⁺–ATPase activity and transcription of osmoregulation and growth regulation genes. *Aquaculture* **507**, 282-292.
- [43] RSPCA (2014). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed 2016)
- [44] Kjelland, M. E., Woodley, C. M., Swannack, T. M. & Smith, D. L. (2015) A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. *Environment Systems and Decisions* **35(3)**, 334-350.
- [45] Rowe, D. K., Dean, T. L., Williams, E. & Smith, J. P. (2003) Effects of turbidity on the ability of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, to feed on limnetic and benthic prey in laboratory tanks. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **37(1)**, 45-52.
- [46] Timmons, M. & Ebeling, J. (2007) Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- [47] Becke, C., Schumann, M., Steinhagen, D., Rojas-Tirado, P., Geist, J. & Brinker, A. (2019) Effects of unionized ammonia and suspended solids on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* **499**, 348-357.
- [48] Hjeltne, B., Bæverfjord, G., Erikson, U., Mortensen, S., Rosten, T. & Østergård, P. (2012) Risk assessment of recirculating systems in Salmonid hatcheries. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM), Doc. (09-808).
- [49] Weitkamp, D. E. & Katz, M. (1980) A review of dissolved gas supersaturation literature. *Transactions of the American Fisheries Society* **109**, 659-702.
- [50] Edsall, D. A. & Smith, C. E. (1991) Oxygen-induced gas bubble disease in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **22(2)**, 135-140.
- [51] Machova, J., Faina, R., Randak, T., Valentova, O., Steinbach, C., Kroupova, H. K. & Svobodova, Z. (2017) Fish death caused by gas bubble disease: a case report. *Veterinární medicína* **62(4)**, 231-237.

- [52] Gültepe, N., Ateş, O., Hisar, O. & Beydemir, Ş. (2011) Carbonic anhydrase activities from the rainbow trout lens correspond to the development of acute gas bubble disease. *Journal of aquatic animal health* **23**(3), 134-139.
- [53] Lekang, O.-I., (2007) *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 432 pp.
- [54] 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.
- [55] Skov, P. V., Pedersen, L. F. & Pedersen, P. B. (2013) Nutrient digestibility and growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) are impaired by short term exposure to moderate supersaturation in total gas pressure. *Aquaculture* **416**, 179-184.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] Pedersen, C. L. (1987) Energy budgets for juvenile rainbow trout at various oxygen concentrations. *Aquaculture* **62**(3-4), 289-298.
- [59] Ortega, V. A., Renner, K. J. & Bernier, N. J. (2005) Appetite-suppressing effects of ammonia exposure in rainbow trout associated with regional and temporal activation of brain monoaminergic and CRF systems. *Journal of Experimental Biology* **208**(10), 1855-1866.
- [60] Landless, P. J. (1976) Demand-feeding behaviour of rainbow trout. *Aquaculture* **7**(1), 11-25.
- [61] Sánchez-Vázquez, F. J. & Tabata, M. (1998) Circadian rhythms of demand-feeding and locomotor activity in rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **52**(2), 255-267.
- [62] Hoskonen, P. & Pirhonen, J. (2006) Effects of repeated handling, with or without anaesthesia, on feed intake and growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **37**(4), 409-415.
- [63] Chin, A., Guo, F. C., Bernier, N. J. & Woo, P. T. (2004) Effect of *Cryptobia salmositica*-induced anorexia on feeding behavior and immune response in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of aquatic organisms* **58**(1), 17-26.
- [64] Gregory, T. R. & Wood, C. M. (1999) The effects of chronic plasma cortisol elevation on the feeding behaviour, growth, competitive ability, and swimming performance of juvenile rainbow trout. *Physiological and Biochemical Zoology* **72**(3), 286-295.
- [65] Grove, D. J., Loizides, L. G. & Nott, J. (1978) Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology* **12**(5), 507-516.
- [66] Noble, C., Mizusawa, K. & Tabata, M. (2005) Does light intensity affect self-feeding and food wastage in group-held rainbow trout and white-spotted charr? *Journal of Fish Biology* **66**(5), 1387-1399.
- [67] Kaushik, S. J., Cravedi, J. P., Lalles, J. P., Sumpter, J., Fauconneau, B. & Laroche, M. (1995) Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **133**(3), 257-274.
- [68] Li, H. W. & Brocksen, R. W. (1977) Approaches to the analysis of energetic costs of intraspecific competition for space by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Fish Biology* **11**(4), 329-341.
- [69] Person-Le Ruyet, J., Labbé, L., Le Bayon, N., Sévère, A., Le Roux, A., Le Delliou, H. & Quémener, L. (2008) Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Living Resources* **21**(2), 185-195.
- [70] Peakall, D. (1994) *Animal Biomarkers as Pollution Indicators*. London: Chapman and hall, Chapter 7.

- [71] Anras, M. L. B. & Lagardère, J. P. (2004) Measuring cultured fish swimming behaviour: first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture* **240**(1-4), 175-186.
- [72] 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.
- [73] Colson, V., Mure, A., Valotaire, C., Le Calvez, J. M., Goardon, L., Labbe, L., Leguen, I. & Prunet, P. (2019) A novel emotional and cognitive approach to welfare phenotyping in rainbow trout exposed to poor water quality. *Applied animal behaviour science* **210**, 103-112.
- [74] Sadoul, B., Leguen, I., Colson, V., Friggens, N. C. & Prunet, P. (2015) A multivariate analysis using physiology and behavior to characterize robustness in two isogenic lines of rainbow trout exposed to a confinement stress. *Physiology & behavior* **140**, 139-147.
- [75] 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.
- [76] Noble, C., Mizusawa, K., Suzuki, K. & Tabata, M. (2007) The effect of differing self-feeding regimes on the growth, behaviour and fin damage of rainbow trout held in groups. *Aquaculture* **264**(1-4), 214-222.
- [77] Damsgård, B. & Huntingford, F. (2012) Fighting and Aggression. In: *Aquaculture and Behavior* (Eds: Huntingford, F., Jobling, M. & Kadri, S.) Wiley-Blackwell. 248-285.
- [78] St-Hilaire, S., Ellis, T., Cooke, A., North, B. P., Turnbull, J. F., Knowles, T. & Kestin, S. (2006) Fin erosion on rainbow trout on commercial trout farms in the United Kingdom. *Veterinary Record* **159**, 446-450.
- [79] Ellis, T., Hoyle, I., Oidtmann, B., Turnbull, J. F., Jacklin, T. E. & Knowles, T. G. (2009) Further development of the "Fin Index" method for quantifying fin erosion in rainbow trout. *Aquaculture* **289**(3-4), 283-288.
- [80] McFarlane, W. J., Cubitt, K. F., Williams, H., Rowsell, D., Moccia, R., Gosine, R. & McKinley, R. S. (2004) Can feeding status and stress level be assessed by analyzing patterns of muscle activity in free swimming rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)? *Aquaculture* **239**(1-4), 467-484.
- [81] Brännäs, E. & Alanärä, A. (1992) Feeding behaviour of the Arctic charr in comparison with the rainbow trout. *Aquaculture* **105**(1), 53-59.
- [82] 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.
- [83] Schmidt, J. G., Andersen, E. W., Ersbøll, B. K. & Nielsen, M. E. (2016) Muscle wound healing in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & shellfish immunology* **48**, 273-284.
- [84] Takle, H. R., Ytteborg, E., Nielsen, K. V., Karlsen, C. R., Nilsen, H. K., Sveen, L., Colquhoun, D. J., Olsen, A. B., Sørsum, H. & Nilsen, A. (2015) Sårproblematikk og hudhelse i laks-og regnbueørrettoppdrett. Nofima Rapportnr: 05/2015. ISBN: 978-82-8296-260-5.
- [85] Shearer, K.D. & Hardy, R.W. (1987) Phosphorus deficiency in rainbow trout fed a diet containing deboned fillet scrap. *Progressive Fish-Culturist* **49**, 192-197.
- [86] Lein, I., Helland, S., Hjelde, K. & Baeverfjord, G. (2009) Temperature effects on malformations in trout (*O. mykiss*). In: *Control of malformations in fish aquaculture, Science and practice* (FineFish). (Eds: Baeverfjord, G., Helland, S. & Hough, C.) pp. 149.

- [87] Bosakowski, T. & Wagner, E. J. (1995) Experimental use of cobble substrates in concrete raceways for improving fin condition of cutthroat (*Oncorhynchus clarki*) and rainbow trout (*O. mykiss*). *Aquaculture* **130**(2-3), 159-165.
- [88] Ross, R. M., Watten, B. J., Krise, W. F., DiLauro, M. N. & Soderberg, R. W. (1995) Influence of tank design and hydraulic loading on the behavior, growth, and metabolism of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacultural Engineering* **14**(1), 29-47.
- [89] Jørgensen, E. H., Bernier, N. J., Maule, A. G. & Vijayan, M. M. (2016) Effect of long-term fasting and a subsequent meal on mRNA abundances of hypothalamic appetite regulators, central and peripheral leptin expression and plasma leptin levels in rainbow trout. *Peptides* **86**, 162-170.
- [90] Pottinger, T. G., Rand-Weaver, M. & Sumpter, J. P. (2003) Overwinter fasting and re-feeding in rainbow trout: plasma growth hormone and cortisol levels in relation to energy mobilisation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* **136**(3), 403-417.
- [91] Harrison, J. G. & Richards, R. H. (1979) The pathology and histopathology of nephrocalcinosis in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson in fresh water. *Journal of Fish Diseases* **2**(1), 1-12.
- [92] Sutterlin, A. M. & Stevens, E. D. (1992) Thermal behaviour of rainbow trout and Arctic char in cages moored in stratified water. *Aquaculture* **102**(1-2), 65-75.
- [93] Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011) Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture* **311**, 1-18.
- [94] Stien, L. H., Gismervik, K. & Kristiansen, T. S. (2017) Risiko for dødelighet og dårlig fiskevelferd i laks- og regnbueørretproduksjonen i sjø (Eng: Risk for increased mortality and poor fish welfare in production of salmon and rainbow trout in sea cages). In: Svåsand, T., Grefsrud, E. S., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Glover, K., Husa, V., Kristiansen, T. S. (eds.) *Havforskningsinstituttet, Fisken og Havet særnr; 2-2017*, 117-123.
- [95] Rodger, H., Henry, L. & Mitchell, S. (2011) Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **21**, 423-440.
- [96] Fast, M. D., Ross, N. W., Mustafa, A., Sims, D. E., Johnson, S. C., Conboy, G. A., Speare, D. J., Johnson, G. R. & Burka, J. F. (2002) Susceptibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, Atlantic salmon *Salmo salar* and coho salmon *Oncorhynchus kisutch* to experimental infection with sea lice *Lepeophtheirus salmonis*. *Diseases of aquatic organisms* **52**(1), 57-68.
- [97] 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.
- [98] Powell, M. D., Reynolds, P. & Kristensen, T. (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**, 18-28.
- [99] Vigen, J. (2008) Oxygen variation within a sea cage. Master thesis. Department of Biology, University of Bergen, Bergen, 73 pp.
- [100] Alanärä, A. (1996) The use of self-feeders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production. *Aquaculture* **145**(1-4), 1-20.
- [101] Landless, P. J. (1976) Acclimation of rainbow trout to sea water. *Aquaculture* **7**(1), 173-179.
- [102] Jackson, A. J. (1981) Osmotic regulation in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) following transfer to sea water. *Aquaculture* **24**, 143-151.

- [103] Kiilerich, P., Milla, S., Sturm, A., Valotaire, C., Chevolleau, S., Giton, F., Terrien, X., Fiet, J., Fostier, A., Debrauwer, L. & Prunet, P. (2011) Implication of the mineralocorticoid axis in rainbow trout osmoregulation during salinity acclimation. *Journal of Endocrinology* **209**, 221-235.
- [104] 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.
- [105] Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Olsen, R. E., Stien, L. H. & Fernö, A. (2016) Not too slow, not too fast: water currents affect group structure, aggression and welfare in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions* **8**, 339-347.
- [106] North, B. P., Turnbull, J. F., Ellis, T., Porter, M. J., Migaud, H., Bron, J. & Bromage, N. R. (2006) The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **255(1-4)**, 466-479.
- [107] Taylor, J. F., North, B. P., Porter, M. J. R., Bromage, N. R. & Migaud, H. (2006) Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **256(1-4)**, 216-234.
- [108] Bromage, N., Porter, M. & Randall, C. (2001) The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture* **197**, 63–98.
- [109] Davies, B. & Bromage, N. (2002) The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **205(1-2)**, 183-200.
- [110] Oppedal, F. (1995) Growth, harvest quality, sexual maturation and behaviour of spring transferred rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) given natural or continuous light in sea water. Cand scient. thesis, University of Bergen, Norway (in Norwegian).
- [111] 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.
- [112] Nagasawa, K. (2004) Sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus orientalis* (Copepoda: Caligidae), of wild and farmed fish in sea and brackish waters of Japan and adjacent regions: a review. *Zoological Studies* **43(2)**, 173-178.
- [113] 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.
- [114] 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.
- [115] Muzzall, P. M. (1984). Parasites of trout from four lotic localities in Michigan. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* **51**, 261-266.
- [116] Sutterlin, A. M., Jokola, K. J. & Holte, B. (1979) Swimming behavior of salmonid fish in ocean pens. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **36(8)**, 948-954.
- [117] Phillips, M. J. (1985) Behaviour of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, in marine cages. *Aquaculture Research* **16(3)**, 223-232.
- [118] 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.

- [119] 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.
- [120] Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg, FOR -2012-12-05-1140.
- [121] Fleming, I. A. (1998) Pattern and variability in the breeding system of Atlantic salmon (*Salmo salar*), with comparisons to other salmonids. *Canadian journal of fisheries and aquatic science*, **55**(S1), 59–76.
- [122] Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Mäntysaari, E., & Eskelinen, U. (2003). Selection against early maturity in large rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: the quantitative genetics of sexual dimorphism and genotype-by-environment interactions. *Aquaculture* **228**(1-4), 53–68.
- [123] Norberg, B., Taranger, G. L. & Tveiten, H. (2007) Reproductive Physiology in Cultured Cold-water Marine Fish. *From Cage to Consumption*, 66–79.
- [124] Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. & Turnbull, J. F. (Eds.) (2018). Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare 351pp. ISBN 978-82-8296-556-9
- [125] 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.
- [126] 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.
- [127] RSPCA (2018). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon> (Accessed October 2018).
- [128] 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.
- [129] 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.
- [130] 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.
- [131] 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.
- [132] Chettri, J. K., Skov, J., Jaafar, R. M., Krossøy, B., Kania, P. W., Dalsgaard, I. & Buchmann, K. (2015) Comparative evaluation of infection methods and environmental factors on challenge success: *Aeromonas salmonicida* infection in vaccinated rainbow trout. *Fish & shellfish immunology* **44**(2), 485–495.
- [133] Holten-Andersen, L., Dalsgaard, I., Nylén, J., Lorenzen, N. & Buchmann, K. (2012) Determining vaccination frequency in farmed rainbow trout using *Vibrio anguillarum* O1 specific serum antibody measurements. *PloS one* **7**(11), e49672.

Velferdsindikatorer for regnbueørret i oppdrett – Del C. Bruk av operative velferdsindikatorer i forbindelse med ulike håndteringsprosedyrer

Kristine Gismervik^{1*}, Chris Noble^{2*}, James F. Turnbull^{3*}, Kristoffer Vale Nielsen¹, Jonatan Nilsson⁴, Åsa M. Espmark², Cecilie M. Mejdell¹, Bjørn-Steinar Sæther², Lars H. Stien⁴, David Izquierdo-Gomez², Jelena Kolarevic², Kjell Ø. Midling², Kristian Ellingsen¹ og Martin H. Iversen⁵

** Felles førsteforfatterskap*

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



Innholdsfortegnelse

1 Hvordan overvåke velferd under håndterings-operasjoner.....	206
1.1 Trenging.....	207
1.2 Pumping.....	214
1.3 Bedøving og avliving i forbindelse med slakting	220
1.4 Human avliving av individer og grupper med fisk på anlegget	227
1.5 Bade- og medisinbehandlinger.....	232
1.6 Bedøvelse	237
1.7 Vaksinerings	241
1.8 Transport	247
1.9 Fôrstyring, underfôring og sulting.....	252
1.10 Renhold og smittehygiene i forbindelse med f.eks. kar og utstyrvasking	261
1.11 Sortering	263
1.12 Undersøkelse av levende fisk	268
1.13 Sammendrag og oversikt over OVI-er og LABVI-er egnet til ulike håndteringsprosedyrer	273
2 Hvordan overvåke velferd under utvikling av ny teknologi	275
2.1 De første overveielser og en OVI/LABVI verktøykasse for ny teknologi	275
2.2 Beskrivelse av ny teknologi og passende OVI-er for måling og skåring	277
2.2.1 Mekanisk og termisk avlusing	277
2.2.2 Laser	286
2.2.3 Notvask	288
3 Morfologiske skåringssystemer for vurdering av fiskevelferd ved ulike oppdrettssystemer og håndteringsteknologier	292
4 Referanser	298

1 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.
- Avdekke kunnskapshull. Generelt er det svært begrenset kunnskap om validerte velferdsindikatorer hos regnbueørret under norske forhold. Generell kunnskap fra laks er derfor benyttet der det er vurdert som hensiktsmessig.



1.1 Trenging

Regnbueørret blir trengt gjentatte ganger gjennom produksjonssyklusen ved ulike håndteringsprosedyrer som vaksinerings, transport og slakting. I kar trenges fisken sammen ved å tappe ned vannvolumet. 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].

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 hos både laks [2] og ørret [3].
- **Stress.** Alle disse effektene er potensielt stressende. Trenging resulterer i stressrelaterte fysiologiske responser hos regnbueørret som økning i kortisol, glukose, og laktat [4, 5], og redusert pH i blod og muskler [6].
- **Pre-rigor tid og slaktekvalitet.** Høyt stressnivå og muskelaktivitet under trenging kan gi dårligere slaktekvalitet, som splittet filet (gaping) og bløt filet [7]. Dessuten forkortes tiden til dødsstivheten inntreffer (såkalt pre-rigor tid) og vanskeliggjør pre-rigor filetering [4].
- **Sår og dødelighet.** Fysisk skade som følge av trenging kan medføre sårskader, finnskader (f.eks. [3]) og til og med død. Skader på hud og finner kan føre til sekundære infeksjoner. Stresset forårsaket av trenging kan også aktivere subkliniske infeksjoner og gi større sykdomsutbrudd. Trenging øker også smitteoverføringen av patogener.
- **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 merden. Da bevegelsesfriheten reduseres under trenging, kan fisken ha redusert evne til å håndtere sterk strøm og den kan bli klemt mot notveggen.

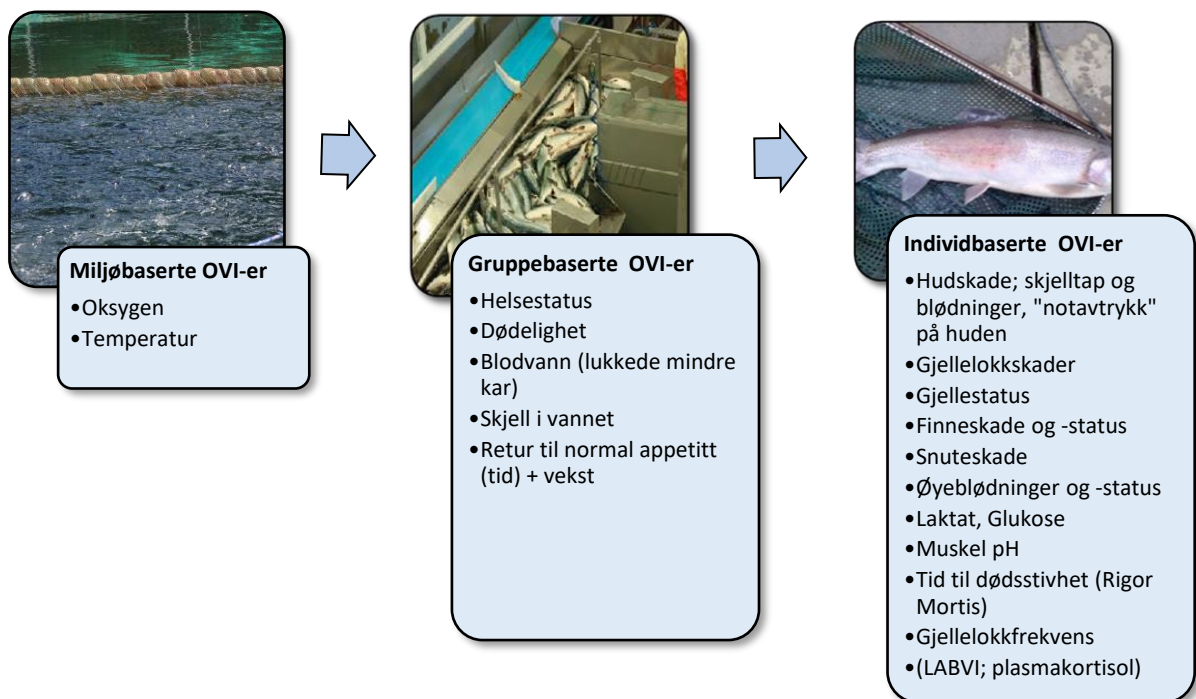
Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Stressnivåer og tiden for å komme seg etter stress øker generelt med trengetiden [3]. Trengetiden bør derfor være så kort som mulig. RSPCAs velferdsnormer for trenging i oppdrett av regnbueørret, mener trengingen ikke må vare lenger enn 2 timer. Den samme gruppen fisk må ikke trenges mer enn i) to ganger i uken eller ii) tre ganger i måneden [8] med mindre ansvarlig veterinær pga. fiskehelseårsaker ordinerer dette. CIWF opplyser også at det bør være 24-48 timer mellom hver trengiepisode hvis gjentatt trenging ikke kan unngås [9].
- 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 [10].
- Fisk skal trenges gradvis [9, 11], og både fisken og trengieoperasjonen bør overvåkes nøye. Operasjonen bør også overvåkes og justeres basert på velferdsindikatorer som atferd [12].
- For å redusere risikoen for oksygenmangel, kan oksygen tilsettes i vannet under trenging.
- Ved opplining av nota er det viktig å unngå lommer eller grunne områder hvor fisken kan gå seg fast [13].

- Ved trenging i sjømerder eller ved bruk av trengenot, bør nota være ren for å unngå potensielle vannkvalitetsproblemer [8]. Området hvor fisken er trengt bør være smalt og dypt i stedet for bredt og grunt [9, 11], da dette kan øke den potensielle slitasjen på fisken på grunn av kontakt med nettveggen. I tillegg kan høyere lysintensitet medføre høyere aktivitetsnivåer i fiskepopulasjonen [11].

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 (minutter-timer) etter at stress er påbegynt. Verdiene påvirkes av fiskens status og kondisjon i utgangspunktet (se del A kapittel 3.2.16-3.2.20). Målinger av laktat og pH kan gi en indikasjon på stressbelastningen dersom man tar gjentatte målinger under hele trengeprosessen [4]. Fysiologiske målinger kan bidra til å finne fremtidige «beste praksis» prosedyrer, men er lite egnet til å overvåke velferd under pågående operasjoner.



Figur 1.1-1. Oversikt over OVI-er som er egnet for trenging av fisk. Miljøbaserte OVI-er angår oppdrettsmiljøet, gruppebasert OVI-er handler om oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI-er gjelder enkeltindividet. Illustrasjon og foto K. Gismervik og J. F. Turnbull.

Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Oksygenmetning. Når fisketettheten økes og metabolismen og -aktiviteten økes på grunn av stress under trenging, er det en fare for at det blir for lite oksygen tilgjengelig. Nylig publisert forskning [14] skisserer detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) hos regnbueørret ved forskjellige temperaturer og fiskestørrelser (tabell 1.1-2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig respirasjon og nivåer under dette er derfor dødelige. LOS-verdiene i tabell 1.1-2 er målt på sultet fisk, og et høyere oksygennivå kan være nødvendig når fisk blir føret [14] eller er i stressfulle situasjoner som trenging. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell retningslinje anbefaler man oksygenmetningsnivåer over 80%, basert på data fra Poulsen mfl. [15] og RSPCA velferdsstandard for oppdrettet regnbueørret anbefaler minimum 7 mg/L [8].

Table 1.1.2. Den begrensende oksygenmetningen (LOS) hos sultet diploid and triploid regnbueørret på ca. 15-130 g (LOS verdier i mg/L). Data gjengitt fra Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative Evaluation of Tolerant to Heating and Hypoxia of Three Kinds of Salmonids. *Journal of Ocean University of China* 17(6), 1465-1472. [14] med tillatelse fra Springer Nature.

Temperatur (° C)	LOS: diploid				LOS: triploid			
	Fiskestørrelse				Fiskestørrelse			
	16 g	40 g	79 g	131 g	16 g	39 g	79 g	130 g
13	4.7	4.4	4.2	3.2	4.1	3.9	3.6	3.1
17	5.0	5.1	4.9	3.8	4.3	4.2	4.0	3.4
21	5.4	5.3	5.2	4.5	4.8	4.7	4.2	3.6
25	5.9	5.6	5.3	4.8	5.0	4.8	4.5	4.0

Temperatur. Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [16], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fiskens ulike utviklingsstadier. Som oppdretter bør man anstrenge seg for å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området, for dersom man når den kritiske eller letale vanntemperaturen (høyere eller lavere), vil fiskens velferd allerede ha blitt redusert. Plommeseekyngel og yngel har et foretrukket temperaturområde på 7-13 °C [17], og RSPCAs velferdsstandard for oppdrett av regnbueørret [8] anbefaler 1-12 °C til yngel. Anbefalte temperaturer for ørret som holdes i merder i sjø er rundt 7-17 °C [18]. Andre undersøkelser antyder at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C, innenfor et område mellom 13-19 °C under normale oksygenforhold [19]. RSPCAs velferdsnormer for oppdrettet regnbueørret anbefaler 1-16 °C for voksen fisk [8].

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 [20]. 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 i vinterperioden [21].

Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

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

Atferd. Det er lite litteratur på atferd hos regnbueørret under trenging. Atferd er imidlertid en sentral OVI og både CIWF [9] og Humane Slaughter Association (HSA) [11] foreslår å bruke en trengintensitetsskala, basert på overflateobservasjoner (tabell 1.1-3). EFSA [3] har også inkludert atferd som et av de viktigste overvåkingspunktene under trenging av regnbueørret og oppgir at det ikke skal være «overdreven svømmeaktivitet, kjemping eller fluktatferd». Målet er å ha rolig svømmeatferd, og for regnbueørret kan ryggfinnen bryte overflaten i noen systemer under normal svømming uten at dette betyr noe negativt for velferden. Derfor må den gitte situasjonen tas med i betraktningen, og dette fanges opp i trengeskalaen ([11], tabell 1.1-3, se også figur 1.1-4).

Tabell 1.1-3. En trengingsintensitetsskala foreslått for bruk på regnbueørret [9, 11]. Tekst gjengitt fra «HSA (2016) Humane Harvesting of Fish. Humane Slaughter Association. <https://www.hsa.org.uk/downloads/publications/harvestingfishdownload-updated-with-2016-logo.pdf>» copyright 2016 [11] med tillatelse fra Humane Slaughter Association (HSA). Både HSA og CIWF oppgir at oppdretteren skal sikte på at trengingsintensiteten til enhver tid er på nivå 1 og nivå 3, 4 og 5 er uakseptable [9, 11].

Nivå	Trengatferd
1	Ingen «voldsom» aktivitet, kun sporadisk bryter finner vannoverflaten.
2	Finner og deler av fisken er over vannet over hele vannoverflaten der fisken er trengt
3	Finner og deler av fisken er over vannet over hele vannoverflaten der fisken er trengt. Noe panikkadferd, gispende og høy aktivitet i deler av populasjonen
4	Hele vannoverflaten er dekt med fisk med kraftig panikkadferd, gispende og plaskende.
5	Hele vannoverflaten “koker” med kraftige plask.

Imidlertid kan overvåking av atferd fra overflaten gi oppdretteren en begrenset oversikt over atferden til gruppen, spesielt under dårlig belysning eller dårlige siktforhold. Under en operativ trenging hos atlantisk laks før slakting, brukte Erikson mfl. [22] et fjernstyrt undervannsfartøy (ROV) for å overvåke atferd under overflaten, og kameraer i merdene og ved overflaten. De observerte ikke panikkadferd under trenging. De konkluderte også med at blodbaserte LABVI-er, som kortisol og pH og OVI-er som laktat, demonstrerte en akutt stressrespons, som de ikke ser med det blotte øye. Forhøyede laktatnivåer i andre studier [4] antyder høye aktivitetsnivåer under trengsel. Ved panikkadferd blir de hvite musklene mobilisert, noe som resulterer i høyere nivåer av laktat. Panikkadferd kan øke risikoen for mekanisk skade. Oppdrettere bør være klar over at fisken selv før den viser panikkadferd, kan være stresset.



Figur 1.1-4. Regnbueørret i lengdeløpsrenne med ryggfinnen stikkende over vannflaten uten noen tegn på avvikende atferd. Foto: J. F. Turnbull.

Dødelighet bør følges nøye og regelmessig opp under og 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 [23]. 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 varselingsystem for mulige problemer, spesielt når oppdretteren har et robust overvåkingssystem for vekst.

Rødt vann (blodvann). Ifølge praktisk erfaring med atlantisk laks (men like anvendelig for ørret), kan man i lukkede og mindre kar oppdage blødninger som fargeskift i vann, såkalt «rødt vann (blodvann)». Dette er aldri et godt tegn, og årsaken bør undersøkes.

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; 3.1.6).

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 trenging.

Skjelltap og hudstatus. Fysisk kontakt med andre individer, merd/kar eller annet utstyr, kan føre til ulike former for hudskader, inkludert skjelltap og «nettavtrykk» på huden. Små blødninger i huden på buksiden kalles ofte for «rødbuk». Siden slim og skjell beskytter fisken i miljøet og fungerer som barrierer, kan tap gi opphav til infeksjoner og problemer med å opprettholde saltbalansen. Sårheling er avhengig av temperatur- og miljøforhold, og sårets utseende, f.eks. sår dybde [24, 25]. Noen ganger kan sårheling være relativt rask, men det er også vist at sår kan ta over 3 måneder å helbrede [25, 26]. Andre studier på regnbueørret (der det ble påført sår fra ca. 3 mm og ned i muskellagene), ble det funnet at skjellene ikke var regenerert selv etter ett år [24].

Gjellelokkskade og gjellestatus. Gjellelokkskade inkluderer ødelagt, forkortet eller mangel på gjellelokk. Det er viktig å skille mellom akutte skader som kan ha oppstått under trengingen, og andre lidelser som berører gjellelokkene og dermed gjør gjellene mer sårbare under trenging. Ved å inspisere gjellene kan man få en indikasjon på gjellestatus og avdekke f.eks. dårlig gjellehelse eller blødninger som kan skyldes mekaniske skader [27].

Snuteskader kan oppstå i forbindelse med håndteringer, der fisken presses mot not eller treffer andre harde flater som f.eks. karvegg.

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 3.2.12). 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 trengingen og gamle skader.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive finneskader, er angitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig i forbindelse med en «velferdsrevisjon»).

Laktat (melkesyre). Panikk og eksplosiv svømming øker den anaerobe muskelaktiviteten og øker dermed melkesyren (laktat) i blodet [4,5].

Muskel pH. Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i musklene på grunn av melkesyre [6].

Glukose kan brukes som en OVI ved trenging [28]. Økningen i plasmaglukose foregår relativt langsomt og topper etter 3-6 timer i laks [29]. Liknende resultater er funnet hos regnbueørret [5]. Glukosenivåer er også avhengig av fôringsstatus, -type og andre faktorer og bør derfor sammenlignes med nivået før operasjonen i stedet for noen «standard stressnivåer».

Tid til dødsstivhet (rigor mortis). Høyt/langvarig stress under trenging kan gi kortere tid til rigor mortis (dødsstivhet) [4, 30]. Veiseth mfl. [30] fant at en aktiv svømmeperiode etter trengingen bidro til å redusere stresseffekten, og igjen øke tiden til dødsstivhet hos atlantisk laks. 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 hos laks [22] og under transport av regnbueørret (involverte trenging, håndtering og transport) [31]. Man fant at eksponeringen til stressorer ga en økning i gjellelokkfrekvensen. Vurdering av gjellelokkfrekvensen utføres best hvis fisken svømmer sakte eller står stille, noe som ofte ikke er så enkelt under trenging av fisk. Endringer i gjellelokkfrekvensen kan være synlig fra over vannet hvis sikten er god, eller ved bruk av undervannskameraer [22]. Det er likevel vanskelige 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 (se også del A kapittel 3.2.16).

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 lusebehandlinger. Dette er noe som resulterer i gjentatte stressbelastninger for fisken [4]. Pumping av både unge og voksne fisk gjøres vanligvis med vakuumpumper. Fisken pumpes under trykk («vakuum») 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. Vakuomet (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 laksefisk [32], men andre studier har imidlertid vist at både trenging og pumping er en stressor for regnbueørret f.eks. [4] og at trenging og pumping er store velferdsrisikoer [3]. Erfaringsmessig er det imidlertid klart at under utvikling av ny teknologi skal man ha fokus på å unngå pumperelaterte skader [10, 33, 34].

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, 35]. Pumpehastigheten skal være over U_{crit} som er kritisk svømmehastighet [36] (se del A, kapittel 4.2.1) for å hindre at fiskene står mot strømmen og blir utmattet i rørene.
- **Høyde.** Det er få undersøkelser gjort på effekten av pumpehøyde, men forsøk hos laks har ikke vist negative effekter av pumpehøyder [2, 32]. 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-bøy (Figur 1.2-1), kan føre til skader på fisken, f.eks. på gjellelokk og finner. Rør-bøyer kan også resultere i andre synlige ytre skader ved at fisken kolliderer med utstyret og med hverandre [3].
- **Gjentatt pumping og håndtering** kan øke stressbelastningen på fisken [4, 32, 37].
- **Pumping av svak fisk.** Pumping skal bare gjøres med fisk som er frisk, robust og klarer å håndtere den ekstra belastningen en pumping innebærer. Syk, skadet eller stresset fisk bør ikke pumpes.
- **Undertrykk (vakuum).** Det er få undersøkelser gjort angående effekten av bruken av vakuum under pumpeprosessen. Forsøk på laks med undertrykk viste ingen negative effekter eller skader forårsaket av vakuum alene sammenliknet med andre pumpeprosedyrer [38]. 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 [38]. Da svømmeblæren utvides når det omkringliggende trykket faller i vakuumpumpen, frigjør laksefisk luft fra blæren [38]. Mindre luft i svømmeblæren vil påvirke oppdriften negativt, til fisken har fylt blæren igjen. Derfor bør laksefisk få tilgang til vannoverflaten etter pumping. EFSA [3] mener fisk kan bli skadet i vakuumtrykkventilen, og man bør sørge for at dette ikke skjer.

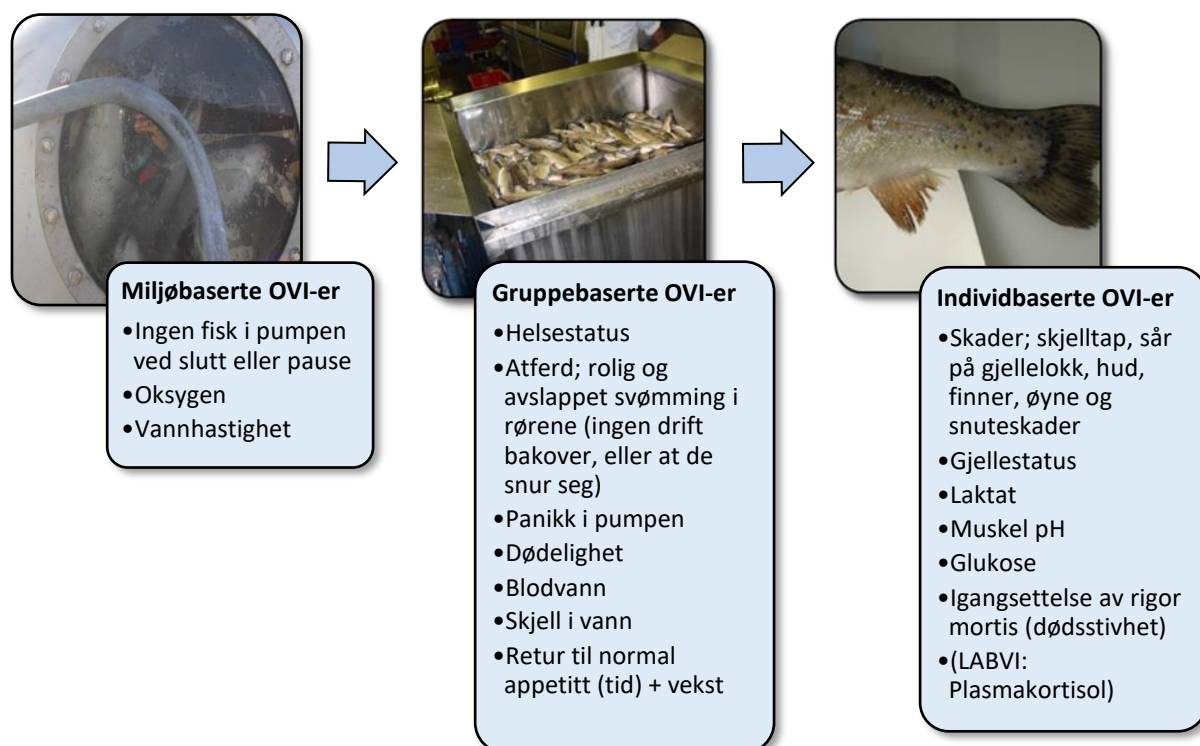


Figur 1.2-1. Rør-bøy kan forårsake skade på fisken. (Foto: Å. M. Espmark).

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: K. Gismervik, foto av pumpe: Å. M. Espmark, andre foto: J. F. Turnbull.

Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Oksygen. Hvis pumpingen stopper vil oksygennivået synke inne i røret, noe som kan resultere i oksygenmangel. Et eksempel på gjentatte stopp under pumpeprosessen er under slaktning [3]. I noen tilfeller er kommunikasjonen mellom slaktelinjen og ventemerdene dårlig, og når slaktelinjen 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. En undersøkelse [14] skisserer detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) av regnbueørret ved forskjellige temperaturer, og i forskjellige størrelser (tabell 1.1.2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig respirasjon, og nivåer under dette anses som dødelige. LOS-verdiene i tabell 1.1.2 blir målt på sultet fisk, og et høyere oksygennivå kan være nødvendig når fisken er foret [14] eller under stressfulle situasjoner. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell forsiktighetsregel anbefales oksygenmetningsnivåer over 80%, basert på data fra Poulsen mfl. [15] og RSPCA velferdsstandard for oppdrett av regnbueørret anbefaler minimum 7 mg/L [8].

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 [36] (Ucrit,

se del A, kapittel 4.2.1). På den annen side kan en vannhastighet som er for høy føre til fiskeskader. 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 [23]. 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 gjennomsiktig, er det mulig å observere atferden inne i røret [38](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 gisping. Fisken bør heller ikke være svært sammentrengt i rør eller i pumpen. 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 del A kapittel 3.1.6 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 [3] (se del A kapittel 3.1.6).



Figur 1.2-3. Fiskens sin 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. Fisk kan miste skjell og få sår [2, 35], 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 [3, 10, 34]. Små blødninger i huden kan vanligvis ses på buken. Skjelltap kan observeres både som frie skjell i vannet og som områder på fisken hvor skjell mangler. Eventuelle skader i forbindelse med pumping er en indikator på dårlig velferd, og bør undersøkes. Sårheling er avhengig av temperatur- og miljøforhold, i tillegg til sårets status, f.eks. sår dybde [24, 25]. Noen ganger kan sårheling være relativt rask, men det er også påvist at sår kan ta opptil 3 måneder å helbrede [25, 26]. Andre studier på regnbueørret (der sår dybden varierte fra ca. 3 mm til dybden av muskellagene) viste at skjell ikke regenererte selv etter ett år [24].

Gjellelokkskade og gjellestatus. Gjellelokkskade inkluderer ødelagte, forkortede eller manglende gjellelokk, hvorpå de to sistnevnte kan skyldes tidligere skader. 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. Likeledes er det viktig å inspisere gjellene, som kan gi noen indikasjoner på gjellestatus f.eks. blødninger i forhold til mekaniske skader [27], eller også avsløre dårlig gjellehelse.

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

Øyblødninger 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 [3], spesielt finnesplitting og blødninger. Finneskader har blitt registrert hos laks under pumping [2], og kan skyldes kollisjoner og feil bruk av utstyr. Som ved andre skader, er det viktig å skille mellom en akutt skade påført under pumpingen og gamle skader.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktiv og helbredet finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

Laktat (melkesyre). Panikk og eksplosiv svømming øker anaerob muskelaktivitet og øker dermed melkesyren (laktat) i blodet [4, 5]. Dette er lett å måle med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet. Imidlertid fant Merkin mfl. [4] ingen signifikant sammenheng mellom laktat og pumping etter både kort- og langvarig trenging hos regnbueørret, og antydnet at dette kan være fordi fisken hadde nådd sine høye/maksimale nivåer allerede under trenging..

Muskel pH. Fisk med høyt stress/muskelaktivitet får redusert pH i musklene på grunn av melkesyre, blant annet vist under både pumping og trenging hos laks [37]. En pH-senkning i muskulaturen som skjer gradvis etter døden er derimot ønskelig, da dette bidrar til økt holdbarhet.

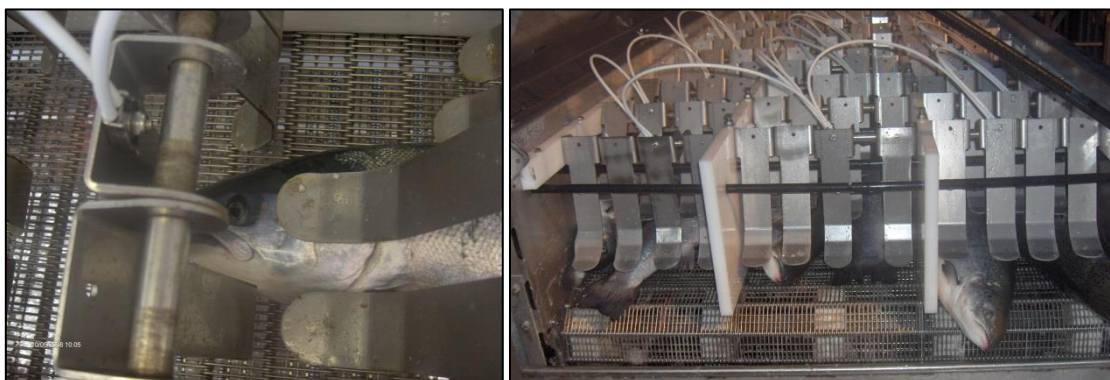
Glukose (blodsukker) kan brukes som en OVI ved trenging [28], og kan også være egnet ved pumping. Økningen i plasmaglukose er relativt langsomt og toppe seg etter 3-6 timer hos laks [29]. Liknende resultater har vært funnet hos regnbueørret [5]. Glukosenivåer er imidlertid også påvirket av fôringsstatus, -type og andre faktorer og bør derfor sammenlignes med nivåer før operasjonen i stedet for noen «standard stressnivåer».

Rigor mortis (dødsstivhet). Pumping under slakting kan forkorte tiden til igangsettelsen av rigor mortis (dødsstivhet) [4].

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 (se også del A kapittel 3.2.16). Imidlertid fant Merkin mfl. [4] ingen signifikant sammenheng mellom kortisol og pumping etter både kort- og langvarig trenging hos regnbueørret, og antydnet at dette kan være fordi fisken allerede hadde nådd sine høye/maksimale nivåer allerede under trengingsprosessen.

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, med 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 bevissthetsen 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 [12]. Prinsippet for slagbedøving er at et hardt slag mot skalletaket forårsaker hjernerystelse med bevissthetstap. Til laksefisk benyttes en ikke-penetrerende slagbolt [12]. 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 et alternativ til bruk ved nødstilfelle.



Figur 1.3-1. Illustrasjoner fra slakting av laks ved hjelp av elektrisk bedøvelse, foto C. M. Mejdell [12]. 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.

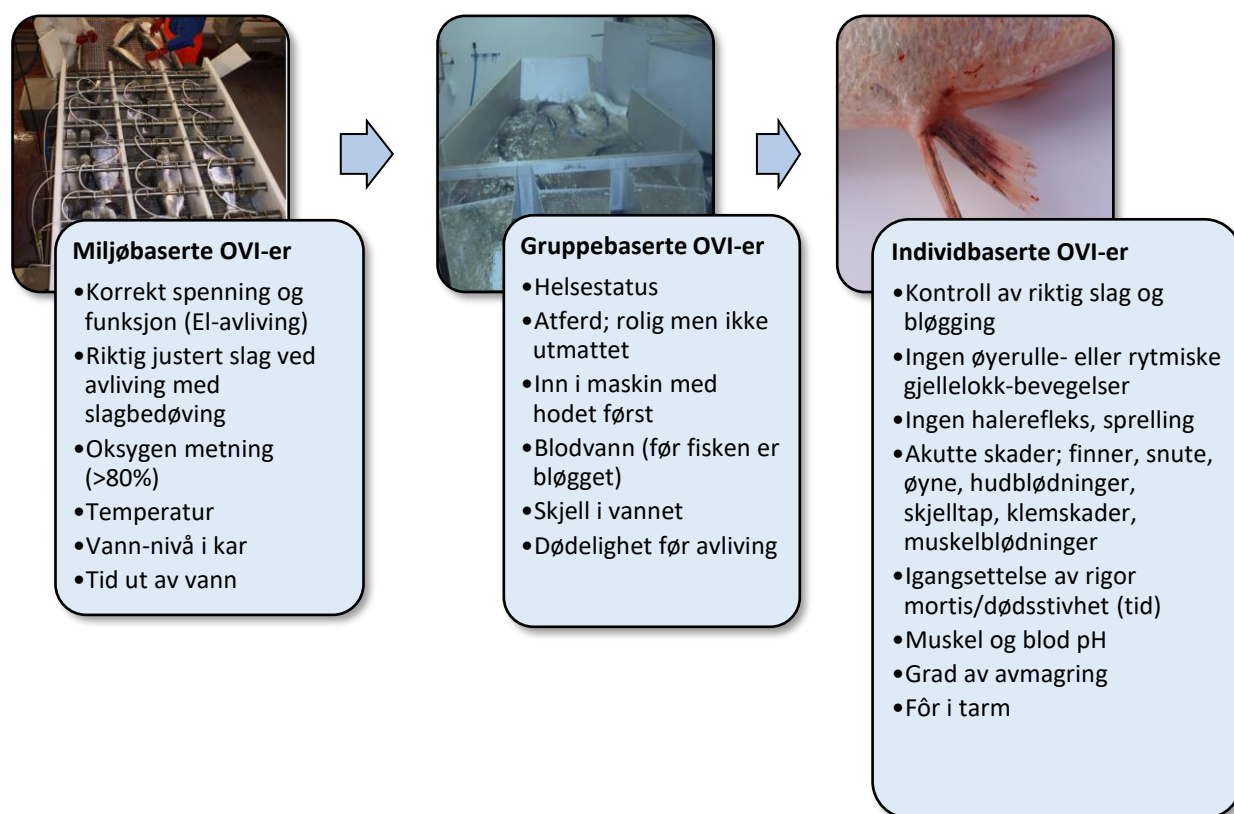
Elektrisk bedøving

- I systemer som bedøver fisken ute av vann bør den retningsstyrtes slik at hodet går først inn i bedøveren [39]. Tiden ute av vann etter avsiling og før avliving, må være så kort som mulig [3]. Strømmen må ha tilstrekkelig styrke til å kunne forårsake den tilsiktede kortslutningen øyeblikkelig. Det er en balanse mellom effekten av bedøvelsen og potensielle skader på kjøttet. Effektiv bedøvelse handler ikke kun om spenning og strømstyrke, men også andre parametere som frekvens (Hz) [13]. 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 [3, 12, 40].
- 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 [12].
- 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 [12].
- Slagmaskinen må justeres etter fiskens størrelse. Eventuelt som alternativ 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 [12].
- «Svøm inn»- systemer krever at fiskene er i god kondisjon og ikke er utmattet. Det kan forventes veldig langt pre rigor-tid ved metoden om fisken behandles skånsomt [12].
- 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, gruppebasert 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, forutsatt at alle virkninger av endringer er overvåket og dokumentert med tanke på fiskevelferd. Se også norske myndigheters veiledning og tolkning av slakteriforskriften [13].

Riktig justert slag ved bedøvelse og avliving. Følg produsentens håndbøker og oppdater med egne erfaringer, forutsatt at alle virkninger av endringer er overvåket og dokumentert med tanke på fiskevelferd. Pass på at maskinen er justert i forhold til fiskens størrelse.

Oksygen og temperatur. Vannkvaliteten under rørtransport av fisken og i oppholdskarene skal være god, og rutiner for overvåking av oksygennivået bør være på plass. En undersøkelse [14] skisserer detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) av regnbueørret ved forskjellige temperaturer, og ulike fiskestørrelser (tabell 1.1.2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig respirasjon, og nivåer under dette anses som dødelige. LOS-verdiene i tabell 1.1.2 blir målt på sultet fisk, og et høyere oksygennivå kan være nødvendig når fisken ikke er sultet [14] eller er under stressfulle situasjoner. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell forsiktighetsregel anbefales oksygenmetningsnivåer over 80%, basert på data fra Poulsen mfl. [15] og RSPCA velferdsstandard for oppdrett av regnbueørret anbefaler minimum 7 mg/L [8]. Oppløseligheten av oksygen avtar med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder

mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metningsgrad. Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [16], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fiskens ulike utviklingsstadier. Som oppdretter bør man anstrenge seg for å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området, om den kritiske eller letale vanntemperaturen (høyere eller lavere) nås, vil fiskens velferd allerede ha blitt kompromittert. anbefalte temperaturer for ørret som holdes i merder i sjø er rundt 7-17 °C [18]. Andre undersøkelser antyder at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C innenfor et område på 13-19 °C, under normale oksygenforhold [19]. RSPCAs velferdsstandard for oppdrettet regnbueørret anbefaler 1-16 °C for voksen fisk [8]. Ørret kan også reagere på akutte temperaturendringer som økning i vanntemperatur [41] eller reduksjon i vanntemperatur [42], ved f.eks. økende gjellefrekvens.

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 [39].

Tid ut av vann. Grad av lufteksponering bør minimeres, da dette kan skade gjellene [43]. RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler videre at lufteksponeringen bør begrenses til 10 sekunder [3]. Det er blitt dokumentert at dødeligheten nesten doblet seg for regnbueørret ved å endre lufteksponeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder, hos fisk utsatt for høy aktivitet [44].

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 ventemerd der dette vurderes som en dårlig velferdsmessig og smittevernmessig løsning [13]. 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 [39]. Fiskene må heller ikke ligge for lenge i tanken. Fisk skal være rolig uten bevis på bevisste bevegelser etter avlivning.

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 del A kapittel 3.1.6 for mer informasjon).

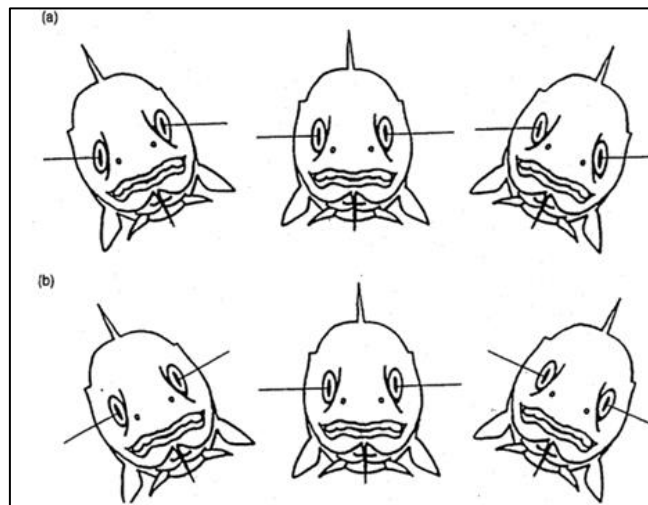
Skjell i vann indikerer tap av skjell og skade på slim og hudlag, noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner. All skade under slakteprosessen før bedøving indikerer nedsatt velferd og bør undersøkes nærmere. Hard håndtering og ødelagt utstyr med framstikkende og ru kanter kan være årsaker [3]. (se del A kapittel 3.1.6).

Dødelighet før avliving. Dersom man ser død eller døende fisk i prosesslinja før avliving bør man forsøke å finne årsaken til dette, og deretter eventuelt korrigere håndteringen av fisken 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 retningsstyrtes 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 [12, 13]. Kutting av aorta eller flere gjellebuer på begge sider betraktes som god praksis under bløgging [45].

Kontroll av bevisstløshet. Det skal kontrolleres at ørreten er bevisstløs eller død før bløgging og andre slakteprosesser finner sted. Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [46]. Når alle reflekser er fraværende, kan det konkluderes med at dyret ikke er i stand til å føle noe [47, 48]. «Øyerulling» (vestibulo-okulær refleks) er svært nyttig på laksefisk. Den er den siste refleksen som går tapt under anestesi, og den første som vises etter oppvåkning [49] (se figur 1.3-3). Vær oppmerksom på at levendekjølt fisk kan ha en veldig sakte øyerullrefleks. 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-refleks» (dvs. ta tak i halen og se om fisken slår med halen) [46]. 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 øyerullrefleks 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 [49]. 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) [12].

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyeblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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 slakting bør optimaliseres med tanke på fiskevelferd [12, 50, 51, 52].

Muskel- og blod pH. Fisk med høy stress/muskelaktivitet får redusert pH i musklene på grunn av melkesyre. Ved langvarig aktivitet vil syreeffekten også kunne påvirke pH i blodet, men blodet har god bufferkapasitet og en pH senkning vil først være synlig der når bufferkapasiteten overskrides [12]. Hvis fisken har vært stresset/utmattet før slakting, 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 slakting som eneste velferdsindikator, og det er svært viktig å begynne overvåkingen med en gang for å få et korrekt nullpunkt og å få registrert endelig pH-verdi [53].

Grad av avmagring. Under slakteprosessen kan andelen av avmagret fisk avdekkes ved å se på størrelse, fasong, bukfett 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 dagene [54], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. På slaktet fisk er det enkelt å kontrollere om det er fôrrester i mage og tarmer. En slik kontroll kan benyttes til å evaluere om sultetiden er tilstrekkelig for å unngå kontaminering, men ikke lenger enn nødvendig av velferdsmessige hensyn [55]. Se også Del C kapittel 1.9 om sulting.

Velferdsmessige sjekkpunkter ved bruk av elektrisk bedøving og slagbedøving [12, 39]

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 sløying) 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 store lidelser 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. [56] 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. Etter avliving, må man sikre seg at dyret er dødt, et krav nedfelt i Dyrevelferdsloven [57].

Tabell 1.4-1. Kriterier for forsvarlig avliving. Teksten er oversatt, tilpasset og opplistet fra Close mfl. (1996) [56], "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., [56]

- 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 [56]. Men dette kan ikke betraktes som god praksis i dag, med mindre dette blir ytterligere velferdsmessig dokumentert. Direkte avliving med fiskekvern som metode for laks postsmolt er ikke akseptabelt [58]. Likevel kan oppkverning brukes som steg to i kombinasjon med elektrisk bedøvelse eller anestesimidler under nødslakting ved sykdomskontroll [40]. Hvis fisken ikke kan transporteres til slakteriet med brønnbåt, f.eks. av helsemessige eller smittehygieniske årsaker, finnes det spesielle båter for å kunne 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 [58]. Ved nødstilfeller kan man benytte avliving ved hjelp av overdoser av bedøvelsesmidler, men fisken kan da ikke brukes til menneskemat etterpå [3].

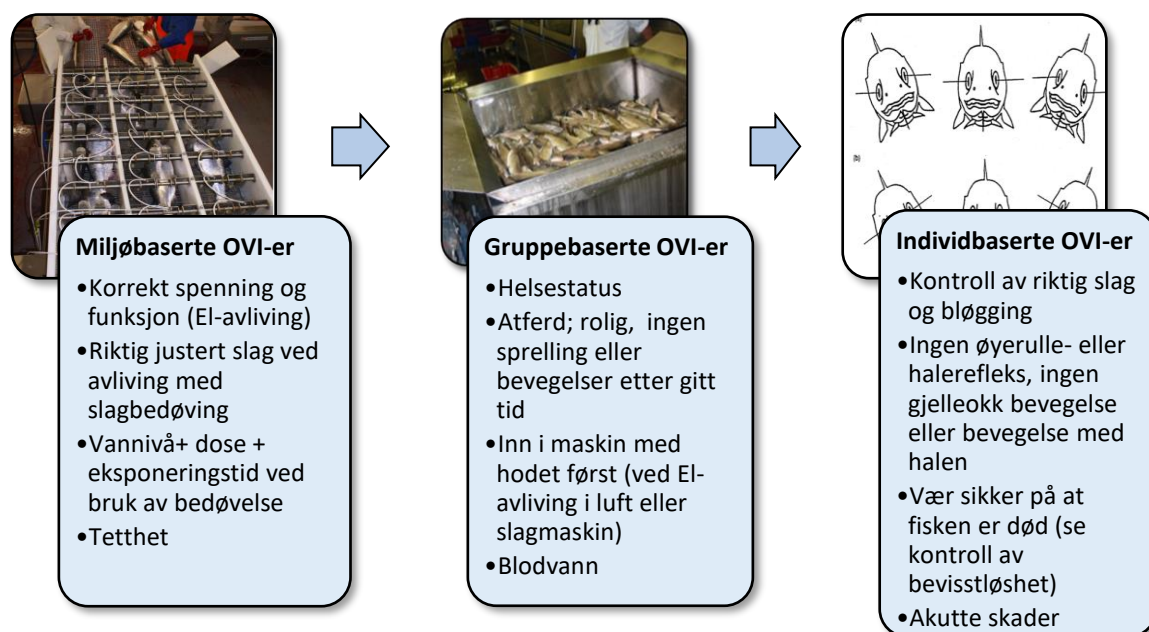
Akseptable metoder for avliving av fisk ved ulike livsstadier

- Yngel – Overdose bedøvelse, enkeltindivid; slag i hodet. Påse at fisken er død (gjelder alle livsstadier).
- Parr – Overdose bedøvelse, eller slag i hodet (bak øynene) etterfulgt av bløgging eller hodeavkapping [59].
- Voksne fisk – Overdose bedøvelse, slag i hodet og bløgging. Ved nødslaktning bruk slaktebåter (eks. elektrisk bedøvelse/avliving og fiskekvern) [3].
- 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 bløggingen. 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 [45].
- Ved bruk av medisiner er det viktig å sikre riktig eksponeringstid, dose i henhold til temperatur og størrelse. Dette er spesielt viktig under nødslaktning med mange individer, for å sikre at alle fiskene blir avlivet [45].
- Metoder som resulterer i dårlig velferd, og som ikke anses å være human avliving er: CO₂-mettet vann, levende kjøling + moderat CO₂ og det å kutte gjellene på bevisst fisk (det kan ta 4,5-6 minutter før fisken er hjernedøde) [45].
- Under daglige rutiner for å ta opp død fisk fra merd er det viktig å kontrollere at all 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 syk fisk under sykdomsutbrudd. Det er svært ønskelig med bedre tekniske løsninger for å sortere ut syke individer.

Hvordan vurdere velferd under avliving



Figur 1.4-1. Oversikt over OVI-er som er egnet for avliving. 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, gruppebasert foto: J. F. Turnbull, og øyerulle refleksskisse fra Kestin mfl. [49], 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 og er dokumentert med tanke på fiskevelferd. Se også norske myndigheters veiledning og tolkning av slakteriforskriften [13].

Riktig justert slag ved bedøvelse og avliving. Følg produsentens håndbøker og oppdater med egne erfaringer, forutsatt at virkningen av eventuelle endringer blir overvåket og er dokumentert 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, med ingen «sprelling» eller plutselige bevegelser. De skal ikke være utmattet eller ha problemer med balansen ved svømming. Ørreten 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 [39].

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

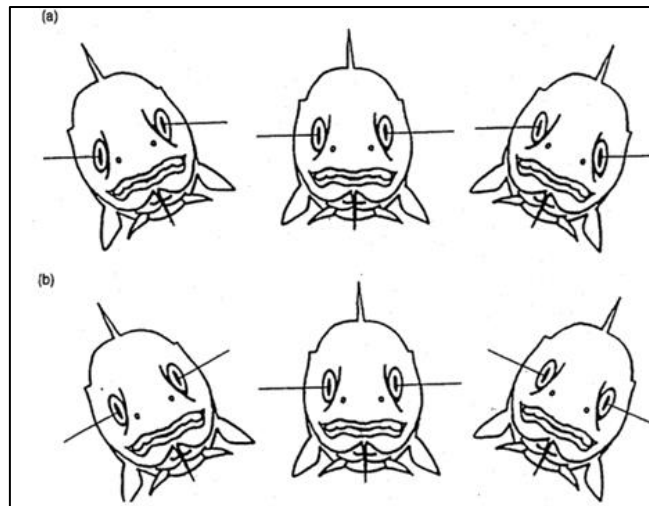
Individbaserte operative velferdsindikatorer

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 bevissthetsen. 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 [12, 13]. Kutting av aorta eller de fleste gjellebuer på begge sider betraktes som god praksis under bløgging [45].

Kontroll av bevisstløshet. Det skal kontrolleres at ørreten er bevisstløs eller død før bløgging og andre slakteprosesser utføres. Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [46]. Når de er fraværende, kan det trygt konkluderes med at dyret ikke er følsomt [47, 48]. «Øyerulling» (vestibulo-okulær refleks) er svært nyttig på laksefisk. Det er den siste refleks som går tapt under anestesi, og den første som vises etter oppvåkning [49] (se figur 1.4-2). Det skal heller ikke observeres rytmiske gjellelokkbevegelser. Et og annet gisp bedømmes mindre strengt. En annen refleks er «hale-refleks» (dvs. ta tak i halen og se om fisken slår med halen) [46]. 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, skalltap, snuteskader, øyeskader, finneskader og muskelblødninger [12]. 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 til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyebledninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).



Figur 1.4-2. Illustrasjon av øyerullerefleks 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 [49]. 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 smittsomme agens, kan behandling være et aktuelt alternativ. Dette kapitlet beskriver OVI-er som kan brukes i forbindelse med medikamentell behandling og mulige bivirkninger av disse. For vaksinasjon se 1.7 og 1.6 om bedøvelse. Mattilsynet har også laget en egen veileder om legemiddelbruk som retter seg mot fiskehelsepersonell [60].

Medikamentell behandling gjennomføres i norsk oppdrettsnæring i varierende omfang og mot ulike agens, i hele fiskens 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 [61].

- 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. I den forbindelse anbefaler en å kontakte Mattilsynet for mer informasjon [60].
- Før badebehandling blir fisken trengt 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, skader på hud, finner og skjelett [3, 4]. (Se Del C kapittel 1.1 og 1.2 om trenging og pumping).

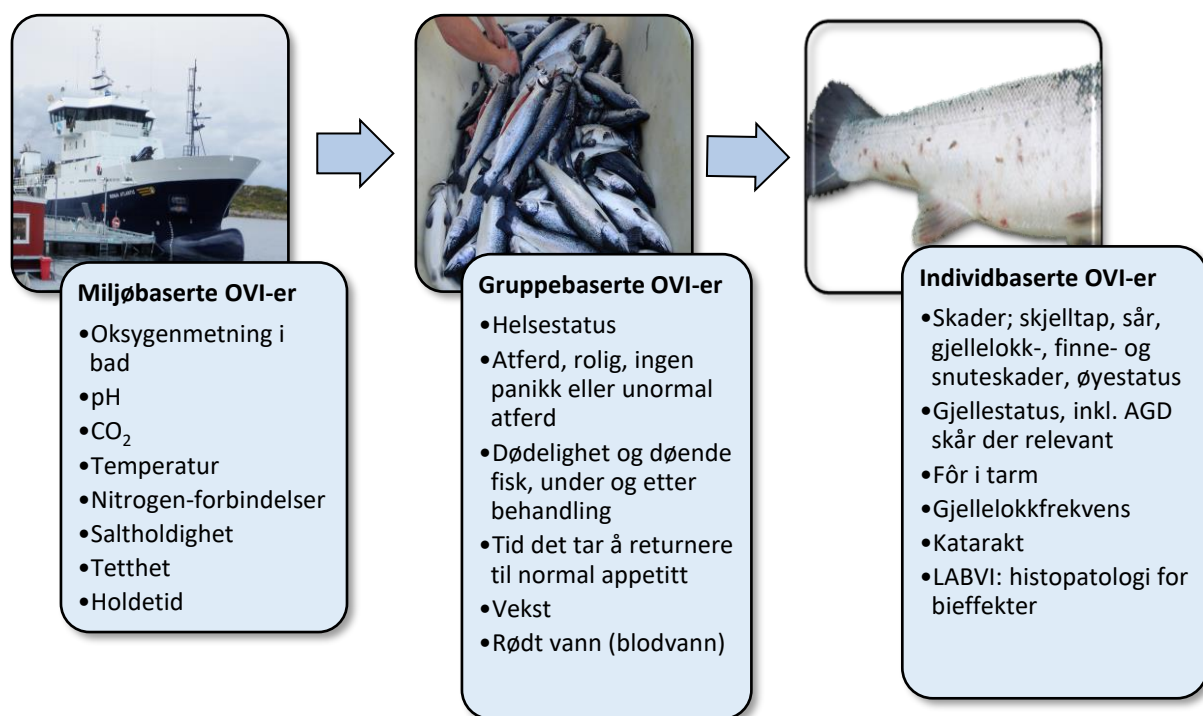
- Økt ventilasjonsrate som følge av stress og/eller oksygenmangel kan medføre økt opptak av legemidler og dermed fare for forgiftning.

Hvordan minimere velferdsutfordringene

- Dyrevelferdsloven § 9 sier [57]: 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 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 sultning 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, gruppebaserte 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 oksygennivået 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. Som en generell retningslinje anbefaler man oksygenmetnings > 80% [15]. RSPCA velferdsstandards for oppdrett av regnbueørret [8] anbefaler en minimumsgrense på 7 mg/L. Moderne brønnbåter benyttes nå ofte til legemiddelbehandlinger, og disse har i tillegg til oksygenlogging også logging av CO₂, pH, temperatur og total ammonium nitrogen (TAN). Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke NH₃: NH₄⁺-forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk. Regnbueørret synes å tåle akutt eksponering (<24 timer) av NH₃-N på <0,5 mg/L [62] (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 [63].

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. 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.

Tid ut av vann. Grad av lufteksponering bør minimeres, da dette kan skade gjellene [43]. RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler videre at lufteksponeringen bør begrenses til 10 sekunder [3]. Det er blitt dokumentert at dødeligheten nesten doblet seg hos regnbueørret ved å endre lufteksponeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder, hos fisk utsatt for høy aktivitet (trening) [44].

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 [23].

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. I ekstreme tilfeller kan disse forandringen registreres makroskopisk, men i mildere former må en bruke histologi (LABVI).

AGD skår og gjellestatus. AGD skår [64] som ble utviklet for laks 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 [63]. 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 [54], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Hele fordøyelsessystemet, inkludert magesekken, 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 også indirekte 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. Det kan også være relevant og overvåke katarakt.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive finneskader og katarakt er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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 [65]. I kommersiell ørretproduksjonen sederer eller bedøver man ikke fisk ofte. Imidlertid i en typisk produksjonssyklus benytter man bedøvelse under prosedyrer som vaksinerings, sortering, håndtering, transport og forskjellige sykdoms- eller parasittbehandlinger. Alle disse prosedyrene er potensielt stressende og kan gi en uønsket stressreaksjon [65, 66, 67, 68, 69, 70].

Sedasjon og anestesi av fisk kan bli induisert ved bruk av narkotiske stoffer, gasser, hypotermi og elektrisk strøm [65, 71]. 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 [72].

Marking og Meyer [73] 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 [74, 75, 76, 77, 78, 79].

I Europa er det tre bedøvelsesmiddel godkjent for bruk i kommersielt 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 etanol, aceton eller propylenglykol [65, 71, 76].
- **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.
- **Finquel Vet** og **Benzoak Vet** er lokalbedøvende midler, selv om de opptrer systemisk i fisk. Lokale anestetika blokker neuronale Na⁺-kanaler og reduserer overføring av nervevirkningspotensialer [82, 83].
- **AQUI-S vet** inneholder 54 % (0,540 g/L) 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 [80, 84, 85]. En ekstra positiv effekt av AQUI-S vet ble oppdaget av Iversen mfl. [76], som viste at doser over 20 mg/L (iso-eugenol) blokkerte en ytterligere økning i plasmakortisol i laks.

- 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 [74, 86].
- Finquel Vet og Benzoak Vet er begge potente stressorer som vil fremkalle stressrespons under bedøvelse hos ørret [67, 80].

Tabell 1.6-1 beskriver de ulike stadiene i anestesen i henhold til Schoettger og Julin [87]. Hikasa mfl. [88] 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 normal adferd og svømmeaktivitet.

Tabell 1.6-1. Ulike bedøvelsesfaser hos fisk [87]. 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).

Ingen håndtering av fisk bør forekomme før stadium 3b eller 4, da dette kan skade huden og slimlaget til fisken.

Velferdsutfordringer

- Feil bruk kan medføre både overdosering og negative effekter på fiskevelferden [65].
- 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 [57] 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 [65, 73]. Minimalisere stress ved bruk av bedøvelse, og sørg for oksygenering av bedøvelsesbadet.

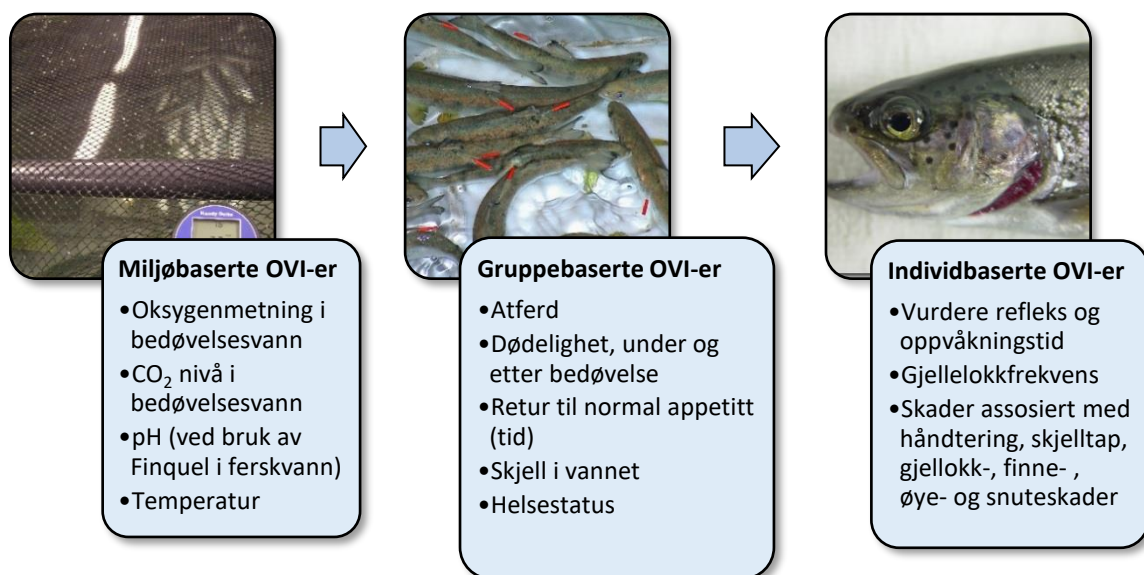
- Unngå overdosering. Prøv ut en dose bedøvelse på noen enkeltindivider, og deretter evaluerer resultat med hensyn til fiskevelferd, før resten av anlegget behandles.
- Resirkuleringspumpe kan sørge for å få en jevn dose legemiddel i hele behandlingsvolumet. Dette kan være spesielt ønskelig for tungt oppløselige bedøvelser som Benzoak vet og Aqui-S vet.
- Anestesi må kun administreres av opplært, og kompetent personale [8]. All anestesi skal brukes i henhold til produsentens instruksjoner.
- Avbryt 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 gjelleokkbevegelser, forlenget oppvåkningstid, skader på fisken og endret adferd (se figur 1.6-2).

Hvordan vurdere velferd under anestesi

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 [73]. 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.

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 1.6-2. 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 C. Noble).

Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Oksygen. Alle bedøvelsesbad må være > 80 % oksygenmettet og om nødvendig være luftet [15]; RSPCA anbefaler også en minimumsgrense på 7 mg/L O₂ for regnbueørret [8]. Hvis natriumbikarbonat (NaHCO₃) brukes til å bufre Finquel Vet, anbefales det å lufte badet med oksygen i minst 15 minutter for å redusere oppbyggingen av CO₂.

Karbondioksid kan akkumuleres i anestesibadet hvis tilført luft er utilstrekkelig. Spesiell forsiktighet bør utvises under Finquel Vet bedøvelse kombinert med natriumbikarbonat (NaHCO₃). De negative effektene av CO₂ på ørret er oppsummert i del A, avsnitt 4.1.4. Oppsummert anbefaler Hafs mfl. [89] at CO₂-nivåer bør være lavere enn 30 mg/L, mens RSPCA [8] anbefaler nivåer lavere enn 10 mg/L, noe som også støttes av Wedemeyer [90].

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. EFSA [91 og referanser deri] antyder at ørret har ett optimalt pH-område på 5,0 - 9,0, og at en pH på under 4 kan føre til betydelig dødelighet, og en pH mellom 4,5 og 5,5 kan induserer subletale effekter.

Vanntemperatur må måles ved bruk av bedøvelse. Ved temperaturer over 10 °C må fisken overvåkes, da overgangen fra stadium 4; bedøvelse til stadium 5; respirasjonstans kan være relativt kort ved høye brukerdoser [92] (se tabell 1.6-1).

Gruppebasert operative velferdsindikatorer

Helsestatus. Fisk skal ha god helse før bruk av bedøvelse, da fisk med dårlig helse er mindre tolerante ovenfor bedøvelse. Dette er spesielt viktig for fisk med AGD og andre sykdommer som påvirker gjelleepitelet.

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 reell smertelindringseffekt (analgesi) av det aktuelle bedøvelsesmiddelet [65, 93].

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 [23]. 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

Kontroll av bevisstheten. Ørreten skal overvåkes under bedøvelse, og under oppvåkning fra bedøvelse. Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [46]. Når de er fraværende, kan det trygt konkluderes med at dyret ikke er følsomt [47, 48]. «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 [49] (se figur 1.3.3). Det skal heller ikke observeres rytmiske gjellelokkbevegelser. Et og annet gisp bedømmes mindre strengt. En annen refleks er «hale-refleks» (dvs. ta tak i halen og se om fisken slår med halen) [46]. 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.

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 til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyebledninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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 basert på anbefalinger fra RSPCA sin velferdsstandard for oppdrett av regnbueørret [8]

- Anestesi skal brukes i henhold til produsentens instruksjoner, alternativt som spesifisert av en veterinær.
- Anestesi må kun administreres av opplært, og kompetent personale.
- Det må være en medarbeider med ansvar for å overvåke oksygenivået i bedøvelsesbadet og opprettholde det ved minimum 7 mg O₂/L (eller 80% oksygenmetning [15]).

Andre anbefalinger:

- Hvis natriumbikarbonat (NaHCO₃) brukes til å bufre Finquel Vet, anbefales det å lufte badet med oksygen i minst 15 minutter for å redusere oppbyggingen av CO₂.

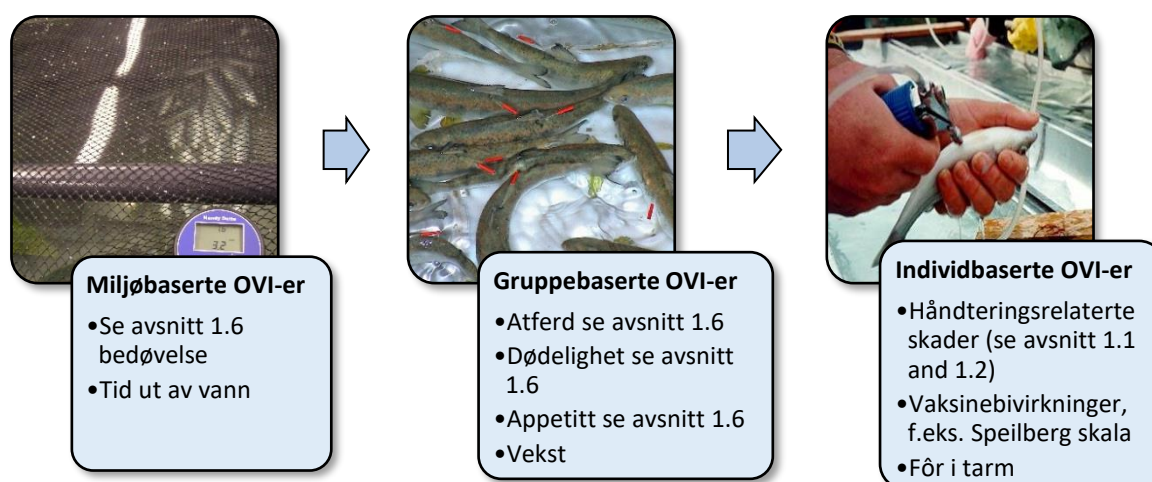
1.7 Vaksinerings

En av de første utfordringene laksen og ørret står overfor under lakseproduksjon er vaksinasjon. Vaksinerings av laksefisk er en vanlig og nødvendig prosedyre i akvakultur. 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 [94, 95]. For å opprettholde helsen og velferden til oppdrettslaksefisk, vaksineres individuelle fisk før overføring til sjø. Injeksjonen av disse vaksinene kan imidlertid være en potent stressor [70].

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 vaksinerings.
- Plasmakortisol forblir forhøyet i minst 72 timer til to uker etter vaksinasjon av laksefisk. Responsen skyldes sannsynligvis betennelsesreaksjon på grunn av at oljeadditivene er tilsatt vaksinen [96].
- 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 hos laksefisk [97].
- I Norge er den vanligste metoden for vaksinerings av laks og regnbueørret at man sprøyter oljebaserte vaksiner, som beskytter mot flere sykdommer, inn i bukhulen. De første oljebaserte vaksinene kom på markedet på begynnelsen av nittitallet. Hver dose hadde et volum på 0,2 ml. Nylig ble volumet av dosene i de fleste vaksinetypene 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 [95].
- Ulike vaksinetyper kan avvike i effekt og bivirkning, men samme vaksine kan også gi ulike resultater fra tid til annen [98, Atlantisk laks].
- Faktorer som er kjent for å påvirke resultatet av en vaksinasjon hos laksefisk, inkludert vaksinasjonsteknikk, vanntemperatur under vaksinasjon [99], fiskens størrelse ved vaksinasjon [99], hygiene, helsestatus, stress og individuelle forskjeller i hvordan fisk reagerer på vaksinen [100, 101, 102].

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 A. Lillehaug.

Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Se avsnitt 1.6 bedøvelse for nærmere detaljer.

Tid ut av vann. Grad av lufteksponering bør minimeres, da dette kan skade gjellene [3]. RSPCA anbefaler maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler videre at lufteksponeringen bør begrenses til 10 sekunder [3]. Det er blitt dokumentert at dødeligheten nesten doblet seg i regnbueørret ved å endre lufteksponeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder hos fisk utsatt for høy aktivitet (trening) [44].

Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Se avsnitt 1.6 bedøvelse for nærmere detaljer.

Atferd. Stim- og unormal atferd kan gi en indikasjon på en god eller en dårlig vaksinasjonsprosess, da stresset laksefisk, vil samle seg i «klumper» på bunnen av tanken eller merden [103]. Det er også typisk at høyt stresset fisk vil reagere på stress med atferd som panikk og rulling i overflaten («blinkende» ørret) [103].

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 [23]. 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.

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 bukhalen og gjennom sulting unngår man at tarminnholdet forurenses vannet. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dagene [54], men dette avhenger av fiskestørrelse og temperatur (se for øvrig 1.9 Sulting).

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

Speilberg skala benyttes for å dokumentere vaksinebivirkninger og er basert på en visuell vurdering av omfanget og lokalisering av patologiske forandringer i bukhalen til fisken [101]. Speilberg-skalen er mye brukt som en velferdsindikator i kommersielt lakseoppdrett, og er gjengitt i fig. 1.7.2 med tillatelse fra Lars Speilberg. Speilberg-skalen har også blitt brukt på regnbueørret med god effekt [104, 105]. Den beskriver endringer knyttet til bukhinnebetennelse (peritonitt); sammenvoksninger mellom organer, mellom organer og bukveggen og melaninflekker [101]. 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 bukhalen og alvorlighetsgrad av lesjoner. Opprinnelig utarbeidet for laks, men også benyttet på regnbueørret [104, 105].

Score	Synlige forandringer i bukhalen	Alvorlighetsgrad av skader etter sløying
0	Ingen tydelige skader.	Ingen.
1	Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig at det blir lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Ingen eller liten grad av ugjennomsiktighet av bukhalna etter sløying.
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Kun ugjennomsiktighet av bukhalnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene manuelt.
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremre delen av bukhalen, som involverer sammenkobling av blindsekkene, leveren eller magesekken til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Mindre synlige skader etter sløying, 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 sløying.	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt.
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhalen. I store områder er bukhalnen tykkere og ugjennomsiktig, og fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer.	Etterlater synlige skader på fisken etter sløying 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 sløying.



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



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



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



5. Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhulen. I store områder er bukhinnen 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. Speilberg skala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. Figur: D. Izquierdo-Gomez. Foto: Lars Speilberg. Opprinnelig utarbeidet for laks, men også benyttet på regnbueørret [104, 105]. 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

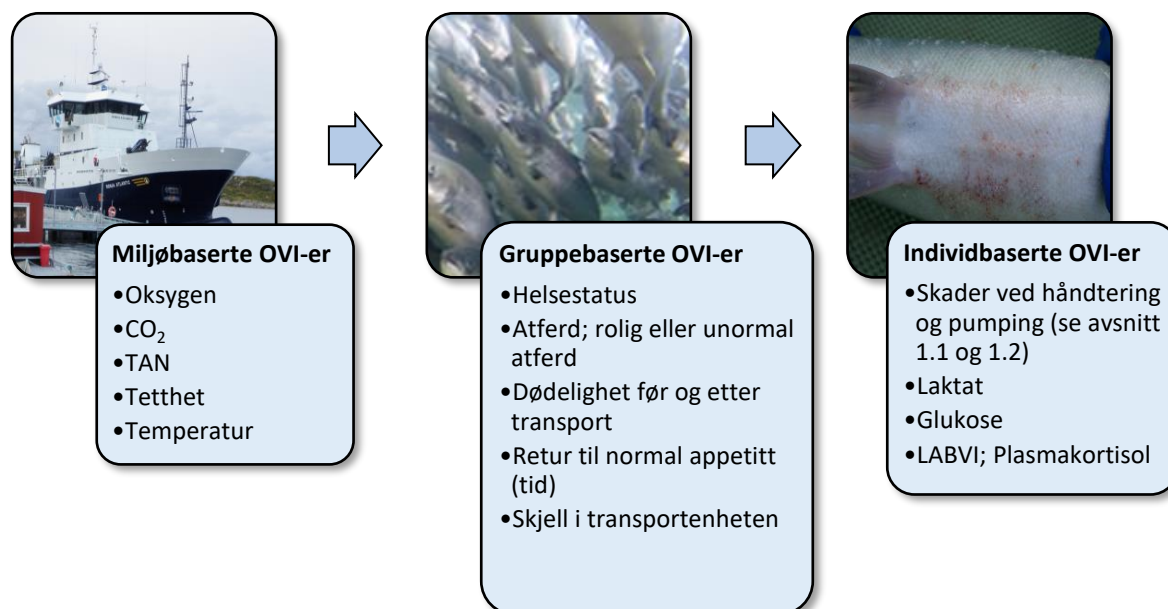
De fleste transporter med levende fisk er gjort enten på veien med lastebil eller på havet ved hjelp av brønnbåter. Alle størrelser fra egg til voksen fisk, håndteres og transporteres i en kommersiell produksjon av både laks og ørret. Transport består av flere potensielt traumatiske stressbelastninger og velferdsrisikoer [106]: Trenging (se Del C avsnitt 1.1), lasting/ pumping (se Del C avsnitt 1.2), transport og lossing. Håndtering og de fysiske forstyrrelsene som er forbundet med lasting, transport og lossing, har 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. Sjøvannstilpasset ørret 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.

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 [107, 108]. Men transporttiden er en viktig del av denne hvilefasen, da fisk oppnår en mer optimal gjenvinning av normale livsfunksjoner ved lengere enn kortere transportlengder [4]. 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 [109]. På grunn av følsomheten til fiskens sidelinjesystem [110], 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. Dette skjer når fartøyet kjører gjennom et område med begrensninger, på grunn av sykdommer eller ugunstige vannsituasjoner. 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 [111]. Under vinterforhold eller hvis vann i transportenheten blir avkjølt, vil den sikre perioden ved transport med lukkede ventiler uten oksygentilsetting forlenges [111]. Ved oksygentilsetting kan ventilene forbli lukkede, men på et tidspunkt vil akkumulering av karbondioksid og ammoniakk i vannet bli problematisk [112].

Hvordan vurdere velferd under transport

Atferdsobservasjoner har lenge vært brukt til å vurdere velferden til landlevende og akvatiske dyr [113, 114]. Det er imidlertid utfordrende å skaffe pålitelige atferdsobservasjoner av dyr i akvatiske miljøer. 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 [f.eks. 31]. (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, gruppebasert 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 % [15], og RSPCA standarden anbefaler en minimumsgrense på 7 mg/L for ørret [8].

Karbondioksid kan akkumuleres under transport. De negative effektene av CO₂ på ørret er oppsummert i del A, avsnitt 4.1.4. Hafs mfl. [89] anbefaler at CO₂-nivåer bør være lavere enn 30 mg/L, mens RSPCA [8] anbefaler CO₂-nivåer lavere enn 10 mg/L når vannet blir resirkulert, noe også Wedemeyer [90] anbefaler.

LABVI - Total ammonium nitrogen (TAN). Egenskaper som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke NH₃:NH₄⁺-forholdet og dermed toksisiteten til ammoniakk. Ifølge Milne mfl. [62] tåler regnbueørret akutte eksponeringer (<24 timer) av NH₃-N-nivåer på <0,5 mg/L (for nærmere beskrivelse se del A, avsnitt 4.1.6). For å begrense risikoen for ansamling av TAN, bør fisken sultes før behandling (se også del C, del 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 for regnbueørret [8] anbefaler at biomassen under vei- og brønnbåttransport ikke overstiger henholdsvis 160 kg/m³ avhengig av fiskestørrelse (se tabell 1.8 – 2).

Tabell 1.8-2. Anbefalte maksimale fisketettheter ved ulike fiskestørrelser av ørret under veitransport, RSPCA [8]. Gjengitt med vennlig tillatelse fra RSPCA.

Fiskestørrelse (gram)	Maksimal fisketetthet (kg/m ³)
1 – 4	40
5 – 19	85
20 – 49	95
50 – 99	110
100 – 224	130
225 – 449	140
450 – 999	160
1000 +	150

Temperatur. Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [16], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fisken sine ulike utviklingsstadier. Som oppdretter bør man anstrenge seg for å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området, for hvis den kritiske eller letale vanntemperaturen (høyere eller lavere) blir nådd, vil fiskens velferd allerede ha blitt kompromittert. Anbefalte temperaturer for ørret som holdes i merder i sjø er rundt 7-17 °C [18]. Andre undersøkelser antyder at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C innenfor et område på 13-19 °C under normale oksygenforhold [19]. RSPCAs velferdsnormer for oppdrettet regnbueørret anbefaler 1-16 °C for voksen fisk [8] (se også del A avsnitt 4.1.1 for mer informasjon). Løseligheten av oksygen avtar også med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metning.

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 [23]. 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 at fisken tar mat som tilbys.

Atferd. Stim- og unormal atferd kan gi en indikasjon på god eller dårlig transport. Dette da typisk stresset fisk 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» fisk) [103].

Skjell i vann. Mye, lite eller ingenting.

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.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

Laktat (melkesyre). Panikk og eksplosiv svømming øker den anaerobe muskelaktiviteten og øker dermed melkesyren (laktat) i blodet [4, 5]. Dette er lett målt med håndholdt apparat, men prøver bør tas omtrent en time etter muskelaktivitet [31].

Glukose (blodsukker) kan brukes som en OVI ved trenging [112]. Økningen i plasmaglukose foregår relativt langsomt og toppe seg etter 3-6 timer på ørret [116], 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» [112].

Plasmakortisol er ikke en OVI, men en LABVI. Vi vet at transport av ørret medfører stress med etterfølgende økning i plasmakortisol [31]. De fysiologiske parameterne som plasmakortisol, glukose og laktat bør ved ankomst på sjølokaliteten være tilnærmet lik hvilenivåene før transport, dersom transporten skal være optimal (se også del A, kap. 3.2.16).

RSPCA's velferdsstandards for oppdrett av regnbueørret [8], gir noen gode retningslinjer i forhold til forskjellige transportmetoder og livsfaser for ørret og laks. En har gjengitt noen punkter her, men anbefaler at leseren gjennomgår RSPCA sine velferdsstandards for å få fullstendig informasjon.

Noen generelle håndteringsprosedyrer for yngeltransport (basert på anbefalinger fra RSPCA, for fullstendig detaljer se [8]). *Gjengitt med tillatelse fra RSPCA.*

- For å minimere det termisk sjokket må vanntemperaturen under transport være så nær fisken opprinnelige vanntemperatur. En anbefaler ikke en forskjell på mer enn 3 eller 4 °C. Der forskjellen er større, bør transportvann blandes med mottakende vann for å akklimere fisken.

Noen generelle håndteringsprosedyrer vedrørende veitransport (basert på anbefalinger fra RSPCA, for fullstendig detaljer se [8]). *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 $\pm 1,5$ °C fra vanntemperaturen ved starten av ferden.
- Fisk må få lov til å roe seg ned før avgang.

Noen generelle håndteringsprosedyrer for brønnbåttransport av laksefisk (basert på anbefalinger fra RSPCA [8], Iversen mfl. [67] og Iversen og Eliassen [117]. For fullstendig informasjon se kildene ovenfor.

- For å sikre at fisken har mulighet til å komme seg etter potensielle håndteringsstressorer under transportprosessen, bør transportveien og tidspunktet for transporten planlegges i henhold til vær og forventet bølgehøyde, prøv å unngå bølger over 3m [67].
- All transport kortere enn 4 timer lang bør vente minst 4 timer på leveringsstedet før lossingen begynner. Dette for å sikre at fisken har en tilstrekkelig mulighet til å komme seg etter ulike transportrelaterte stressorer [117].

1.9 Fôrstyring, underfôring og sulting

I dette avsnittet vil en beskrive effektene av ulike fôringsstrategier på velferden hos regnbueørret. En vil beskrive artsspesifikke egenskaper når en beskriver ulike OVI- og LABVI-er for ørret, og supplere disse med dokumentasjon fra andre laksefisker (for det meste atlantisk laks) der det er aktuelt.

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 [118]. 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 vedlikeholdsraten). Sulting skjer når fisken ikke blir gitt fôr et visst antall dager, og kan klassifiseres som **1)** kortsiktig sulting (7-10 dager), [119] **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 av regnbueørret. (Foto Ola Sveen, Svanøy Havbruk AS)

Velferdsutfordringer

- Regnbueørret utviser meget energisk fôringsatferd og kan være svært konkurransedyktig og aggressiv rundt måltider [f.eks. 120, 121].
- De primære velferdsproblemerne til oppdrettere angående velferdsmessige konsekvenser av fôrstyring, er for det meste knyttet til underfôring og sulting.
- Utfôringsraten kan påvirke konkurransen [118], og hvis frekvensen er for langsom, kan det hende at fisken ikke får nok fôr til å vokse best mulig [122].
- Fôringsfrekvens kan også påvirke velferden hos regnbueørret, men optimal fôringsfrekvens avhenger av fisken sin størrelse. For eksempel har det blitt antydnet at ørretyngel skal fôres ofte, og denne frekvensen bør avta etter hvert som fisken vokser til [91]. For eksempel kan begrensning av daglig fôring til en enkelt 3 timers fôringsperiode øke aggresjonen (selv om fisken, 90g ørret, blir matet til metning) og graden ryggfinneskader sammenlignet med fisk som blir fôret 3 ganger per dag eller gitt fri tilgang til mat via selvfôrere [121]. Gélinau mfl. [123] rapporterte også at ved å gi ørret tidsbegrenset tilgang til selvfôrere økte størrelsesvariasjonen i populasjonen. En annen studie viste at ved å gi faste rasjoner per time (sammenlignet med hvert 10. minutt eller kontinuerlige så kan dette medføre økt dødelighet og redusere vekstutviklingen [124]. Men tilsvarende viste imidlertid fôring med en veldig høy frekvens (32 ganger per dag over 18 timer sammenlignet med 8 ganger per dag i løpet av 2 x 2 timer fôr) regnbueørret (20 g) at var dette skadelig for veksten [125]. Forfatterne antydnet at dette delvis skyldtes den høye konkurransefrekvensen rundt et høyere antall måltider.
- Hos andre laskearter som atlantisk laks er det blitt vist at en dårlig romlig fordeling av fôr kan føre til store størrelsesvariasjoner i populasjonen, da sterkere individer kan potensielt utelukke svakere individers tilgang til «matfatet» [f.eks. 126]. Imidlertid kan regnbueørret utvise lignende fôringsatferd med høy energi uavhengig av om fôr er fordelt over et lite eller stort område [120].
- 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 [127]. Videre viste en annen studie [123] bedre vekst i fôring til metning ved håndfôring i stedet for ved selvfôring.

Hvordan minimerer velferdsutfordringer ved daglig fôrstyring

- Ørret kan være svært konkurransedyktig (og mulig aggressiv) rundt et måltid
- Oppdretter bør overvåke appetitt og fôringsatferd (for eksempel via undervannskameraer) og fôrer fisk med en «responsiv»-rasjon i forhold til forandringer i appetitten (appetittfôring) etter ethvert måltid.
- Fôr med en hastighet som ikke fører til konkurranse, og vær forsiktig når du velger fôringsfrekvens; frekvenser som enten er for lave eller for høye kan være skadelige for velferden. Dette varierer med hvilken livsfase ørreten er i, og 2-8 måltider per dag bør være tilstrekkelig [f.eks. 121, 125] og kanskje oftere hvis man fôrer yngel [91].
- Spre maten over hele kar- eller merdoverflaten.

Mulige velferdseffekter av sulting

- Det er vanskelig å finne informasjon om en klar og kvantifisert sammenheng mellom lengden av tilbaketrekning av mat og fiskevelferd [128, 129].
- Fisk kan tolerere korte og langsiktige perioder med redusert tilførsel av fôr og fôrbegrensninger [130], og regnbueørret kan tilpasse sin metabolske aktivitet som en respons på redusert fôrtilgang [131].

Velferdsrisiko ved 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.
- Sulting kan føre til økt utnyttelse av protein- og fettreserver [3, 91].
- Lengden på sulteperioden kan påvirke stressresponsen hos ørret; fisk sultet i 9 dager hadde en høyere stressrespons enn de som ble sultet i to dager [132]. De samme forfatterne antydte at effekten av sulting før slakting kunne reduseres ved å fôre fisken en gang annenhver dag i måneden før sulting i stedet for daglig.
- Sulting kan føre til redusert kondisjonsfaktor og avmagret fisk [129].
- Stevenson [133] uttalte «*CIWF og WSPA mener at å sulte oppdrettsfisk i lengere perioder, som tidligere har blitt fôret regelmessig er velferdsmessige uakseptabelt*».

Velferdsfordeler ved 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.
- Fasteperioden kan påvirke ørretens stressrespons; fisk fastet i 9 dager hadde høyere stressrespons enn de som faste i 2 dager [132]. De samme forfatterne antydte at effekten av faste før slakting kunne formidles ved å mate fisken en gang annenhver dag i måneden før faste i stedet for daglig.
- Kortsiktig sulting kan også redusere alvorlighetsgraden og effekten av visse fiskesykdommer [134].
- Sulting før visse rutiner som bådebehandling eller transport, reduserer også metabolsk aktivitet og kan redusere akkumuleringen av CO₂ og ammoniakk i transportvann [f.eks. 91, 135].

Mulige velferdseffekter av underfôring

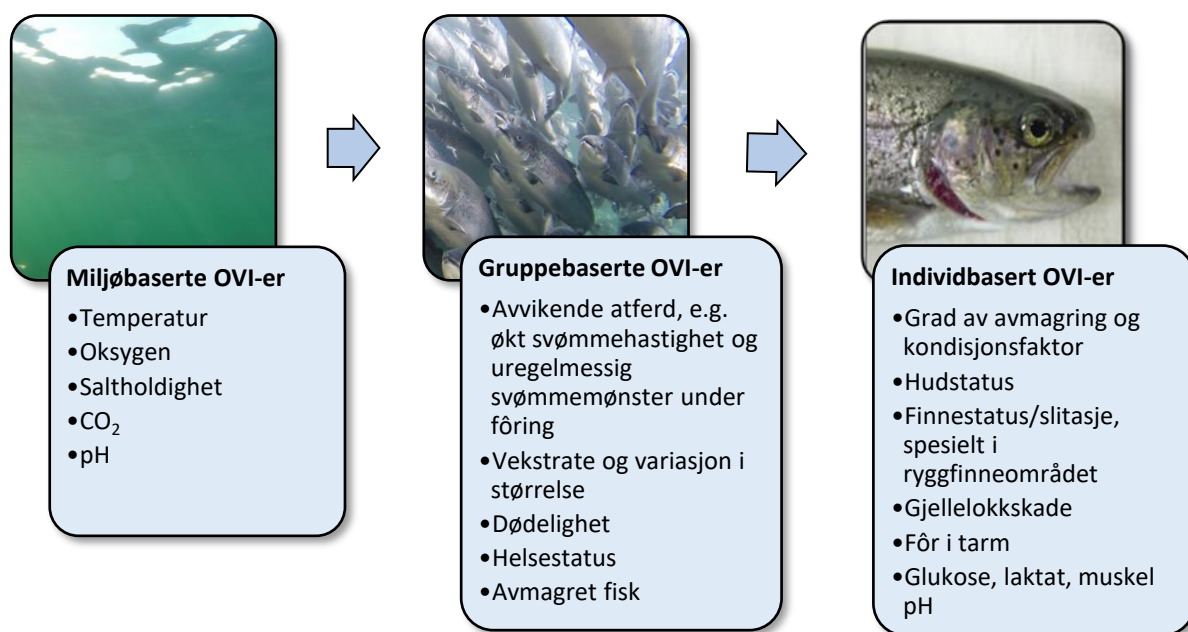
- I følge FAWC [136], er velferdsrisikoen for underfôring på kort sikt mindre enn for varmblodige dyr.
- For bestemte livsstadier hos ørret vil plutselige perioder med kort eller langvarig underfôring, gi økt aggresjon og finneskader. Atferdsmessige ettervirkninger av underfôring kan være langvarig [137].

Velferdsrisiko ved underfôring

- Det er flere årsaker til at fisk blir underfôret og noen har iboende velferdsrisiko (se avsnitt sulting).
- For regnbueørret som veier mindre enn 50 g, så fører underfôring til stor variasjon i fôroptaket [138], mest sannsynlig er dette forårsaket av økt konkurranse om fôr.
- For regnbueørret som veier større enn 230 g så medfører underfôring økt størrelsesvariasjonen i gruppen [139]. Det kan også øke finnskadene hos ørret som veier ca. 25 g [137].
- De langvarige konsekvensene av langvarig underfôring kan være utarming av energireservene og næringsstatus, som fører til redusert kondisjonsfaktor og utmagret fisk [129].

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 for 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 1.9-2. 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. Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [16], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fisken sine ulike utviklingsstadier. Som oppdretter bør man anstrenge seg for å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området, for hvis den kritiske eller letale vanntemperaturen (høyere eller lavere) blir oppnådd, vil fiskens velferd allerede ha blitt kompromittert. anbefalte temperaturer for ørret som holdes i merder i sjø er rundt 7-17 °C [18]. Andre undersøkelser antyder at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C innenfor et område på 13-19 °C under normale oksygenforhold [19]. RSPCAs velferdsnormer for oppdrettet regnbueørret anbefaler 1-16 °C for voksen fisk [8].

Oksygen kan påvirke inntak av fôr og appetitt hos ørret [91], og selve fôringsprosessen kan også redusere oksygenmetningsnivåene [140]. Oksygenløseligheten og dets tilgjengelighet i vannsøyla påvirkes av temperatur og saltholdighet, mens oksygenbehov påvirkes av f.eks. livsfase, fôring, aktivitetsnivå og omgivelsestemperatur. Nylig publisert forskning [14] skisserer detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) hos regnbueørret ved forskjellige temperaturer og fiskestørrelser (tabell 1.1-2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig

respirasjon og nivåer under dette er derfor dødelige. LOS-verdiene i tabell 1.1-2 er målt på sultet fisk, og et høyere oksygennivå kan være nødvendig når fisk blir føret [14] eller er i stressfulle situasjoner som trenging. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell retningslinje anbefaler man oksygenmetningsnivåer over 80%, basert på data fra Poulsen mfl. [15] og RSPCA velferdsstandard for oppdrettet regnbueørret anbefaler minimum 7 mg/L [8].

Saltholdighet er spesifikk for ulike livsstadier hos ørret, men regnbueørret har kapasitet til å vokse godt i både ferskvann og sjøvann. EFSA [91] mener at euryhalinitet (multitolerant for stor variasjon i saltholdighet) utvikles i ørret større enn 50 g, og fisk som overføres ved 70-100 g til sjø viser god overlevelse og er tilsynelatende i stand til å håndtere overføringen til sjø uten å gjennomgå en smoltifiseringsprosess. Selv om det er lite litteratur på området, synes det at saltholdigheten kan påvirke appetitten hos regnbueørret. For eksempel rapporterte McKay og Gjerde, [141], at saltholdigheter $\geq 10\text{‰}$ signifikant reduserte appetitten sammenlignet med fisk produsert ved 0 ‰ (ca. 50 - 150g fisk).

CO₂/pH. Good mfl. [142] viste at veksten ikke ble påvirket av appetitten hos ørret oppdrettet ved CO₂-nivåer på 24 mg/L. EFSA [91] antyder at ørret bør oppdrettes i et pH-område på 5,0 - 9,0 og lavere pH-verdier innenfor dette området (en subletal pH på 5,2 sammenlignet med pH 6,3) kan i noen tilfeller stimulere appetitten i noen situasjoner [143].

Gruppebaserte operative velferdsindikatorer

Atferd. Aggresjon kan forekomme både hos ung [144] og voksen ørret [145], og det har blitt antydning at aggresjonen øker når fisk er underføret, etterfølgende økning i finnskade [137] eller ved økt variasjon i matetinntaket [138].

Vekst kan påvirkes negativt av underføring [146], som kan medføre stor størrelsesvariasjon i en populasjon [139]. Veksten kan også bli negativt påvirket av sulting [147]. Akutte forandringer i veksten kan brukes som et varslingsystem for potensielle problemer, særlig når oppdretter har robuste vekstovervåkingssystemer.

Dødelighet kan øke etter sulting og underføring [148], og er også påvirket av valg av fôringsregime [124]. Man bør derfor følge nøye og regelmessig med dødelighet.

Helsestatus. Fiskens helsestatus kan påvirke appetitten, se for eksempel Chin mfl. [149].

Avmagret fisk. De langvarige konsekvensene av underføring eller sulting, kan være utarming av energireservene og redusert ernæringsstatus. Dette fører igjen til redusert kondisjonsfaktor og avmagret fisk [129].

Individbaserte operative velferdsindikatorer

Finneskade. Det vanligste tegn på problemer knyttet til underføring, sulting eller dårlig fôrstyring i individuell fisk, er i utgangspunktet morfologisk skade, primært ryggfinneskader hos ørret [137]. 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. Ørret kan miste vekt og bli såret under konkurranse om fôr, slik at hudstatus også kan brukes som en OVI.

Gjellelokkskade inkluderer ødelagt eller forkortede gjellelokk og kan bli påvirket av fôring hos atlantisk laks [150]. Det er også antatt at gjellelokkene til ørret kan få traumatiske skader under meget konkurrerende fôringsituasjoner, og har blitt brukt som OVI hos ørret i tidligere studier [151].

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

Grad av avmagring og kondisjonsfaktor. Kondisjonsfaktor kan påvirkes av underfôring [152] og forlenget sulting. Dette kan også føre til en redusert kondisjonsfaktor eller avmagret fisk [153]. Ettersom kondisjonsfaktoren (K) er en variabel og endres med både livsstadium og sesong, er det vanskelig å definere eksakte verdier som et tegn på redusert velferd [114]. I langsiktige fôruttakstudier på regnbueørret, er det imidlertid rapportert om verdier på $<1,0$ hos ung ørret (ca. 55 g gjennomsnittsvekt) fastet i 4 måneder [154]. En sultestudie på større fisk (ca. 280 g gjennomsnittsvekt) rapporterte at K-verdiene falt fra ca. 1,15-1,2 til ca. 1,05 etter en måned, og til ca. 0,9 etter fire måneder [153]. Vi foreslår derfor en K-faktor på ca. 1,0 eller $<1,0$ kan være en indikasjon på avmagring hos oppdrettet regnbueørret. Regnbueørret kan også akkumulere store mengder av magefett hvis de blir overfôret. Velferdskonsekvensene av overvekt er ikke klare, men kan være et tegn på dårlig fôrstyring.

Fôr i tarm. Fôr i tarmen indikerer ofte at fisken har spist i løpet av de siste en til to dagene [54], men dette er avhengig av fiskestørrelse og temperatur. Kontroll av fôrrester i mage og tarm ved obduksjon kan brukes til å evaluere sulteperioder og fôrinntak (indirekte appetitt).

Glukose (blodsukker) og laktat (melkesyre). Glukose kan brukes som en OVI for dårlig fôrstyring [155]. Forhøyelse av plasmaglukose er en relativt langsom respons ved stress og kan toppe rundt seks timer etter hos sultet ørret, for deretter å avta [155]. Merk at denne responsen også er påvirket av fôringsstatus, fôrtype og andre faktorer. Glukosenivåer bør derfor sammenlignes med pre-stressnivåer i stedet for noen «standard stressnivåer». Imidlertid reduseres glukosenivået når ørret er utsatt for sulting sammenlignet med ikke sultede kontrollgrupper [153]. Laktat påvirkes også av faste, med en kortvarig reduksjon seks timer etter påbegynt faste, men generelt er det ingen forskjell i laktatnivåene mellom 1 og 3 dagers faste [155].

Muskel pH. Berøres ikke av sulteperioder opptil 3 dager før slakting [156]

Noen råd angående sulting

Gjeldende råd varierer etter hensiktsmessig og akseptabel lengde av sultingen i forhold til fiskevelferd.

- RSPCA [8] anbefaler ikke sulteperioder som er lengre enn 54 døgngader hos voksen ørret uten godkjenning av veterinær eller noen med tilsvarende kompetanse, og en velferdsrisikovurdering må gjøres. Standardene sier også at «*Etter en hvilken som helst periode med faste, må mat gjeninnføres på en måte som: a) oppmuntrer fisken til å gjenoppta fôring b) minimerer avfall c) kan demonstreres at den ikke går på akkord med fiskevelferd*». RSPCA [8].
- En 72 timers terskel anbefales av Stephenson [133] og CIWF [157].
- FAWC og HSA har foreslått en maksimal sultegrense på 48 timer [158, 159].
- Mattilsynet har ikke fastsatt noen grenser på sulting på grunn av begrenset kunnskap. Men oppgir at det skal være så kort som mulig. Akvakulturforskriften § 27: Fôring sier om sult: «*Fisk skal ikke fôres når fôringen er uheldig ut fra hensyn til fiskens velferd, hygiene eller kvalitet. Perioden uten fôring skal være så kort som mulig*». <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822>
- Lines og Spence [160] antyder også at en sulteperiode på 1-5 dager, ikke kan utgjøre store trusler mot laksvelferden.
- López-Luna mfl. [161] har antydnet at det bør redegjøres for døgngader når man vurderer implikasjonene av en fasteperiode, og som også Stephenson [133] og FAWC [136] støtter. López-Luna mfl. [161] antydnet at en fasteperiode på 68 døgngader (72 timer med faste) ikke påvirket velferden til ørret ved slakting, og at vanntemperaturen alene (22,7 døgngader) hadde større innvirkning. EFSA [3] foreslår en fastegrense på 50 døgngader, og Bermejo-Poza mfl. [131] foreslår en fasteperiode på ca. 17 - 23 døgngader (<96 timer med faste) for å redusere ørretens stressrespons ved slakting.
- Bermejo-Poza mfl. [132] foreslo også å redusere fôringsfrekvensen til annenhver dag i måneden før slakting, som kunne forbedre fisken sin stressrespons i løpet av de siste to dagene med sulting før slakting.
- Videre viste Bermejo-Poza mfl. [162] at 5 dager med sulting (107 døgngader) ikke påvirket kondisjonsfaktor eller HSI sammenlignet med kontrollgruppen. De rapporterte også at leverglykogen og fargen på lever endret seg etter 5 dager med sulting, noe som indikere at energireserver blitt mobilisert

KUNNSKAPSMANGEL

Selv om litteraturen om sulting hos regnbueørret er mer innholdsrik og detaljert enn hos atlantisk laks [f.eks. 131, 132, 154, 156, 162], er det fremdeles stor variasjon i anbefalinger. Serien med tilgjengelige data må fortsatt bygges opp i forhold til forskjellige livsstadier og rutiner.

Denne tilnærmingen bør dekke sulteperioder av ulike varianter og under forskjellige oppdrettsforhold, spesielt med hensyn til temperatur [161].

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 [136] 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. Notvask, er dekket i andre avsnitt (se bla. avsnitt 2.2.4).

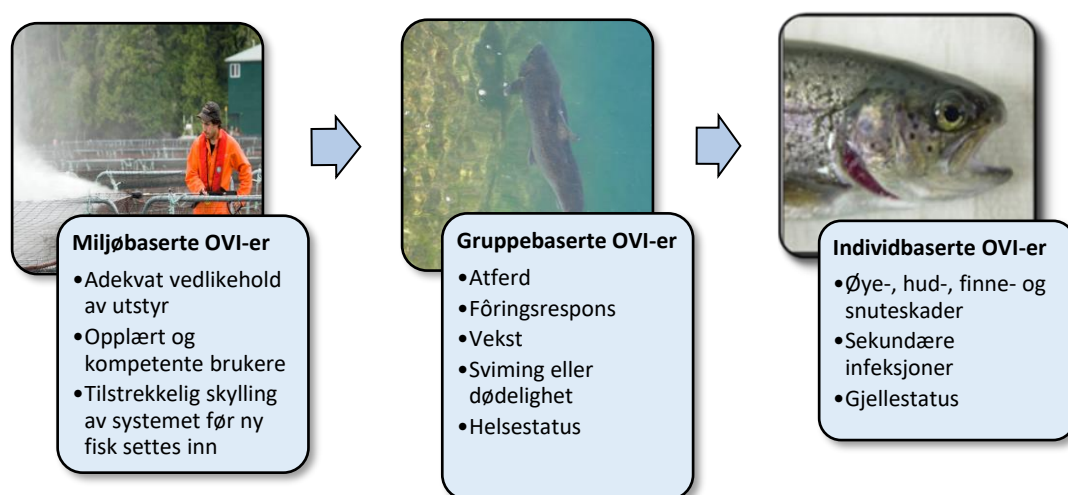
Velferdsutfordringer

- 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 røtterutiner, 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 vanlige daglige forstyrrelser er mindre skadelige enn ved enten svært sjeldne eller vedvarende forstyrrelser hos ørret [163]. 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, gruppebasert OVI-er angår oppdrettspopulasjonen, mens individbaserte OVI-er handler om enkeltindividet. (Miljøfoto: <http://marineharvest.ca/about/blog-marine-harvest-canada/2012-container-blog/september-6-2012/>, foto gruppe: B. Glencross, foto individ: C. Noble).

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 [23].

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 [164]. 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 til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyeblikninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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 lufteksposering eller vann med lavt oppløst oksygen og fysisk skade. Tidligere arbeid av Flos mfl. [165] har rapportert at gradering hadde en betydelig innvirkning på stressnivået av ørret i opptil 10 timer etter hendelsen. Stress i forbindelse med sortering og den fysiske skaden, kan øke risikoen for sekundære infeksjoner som vintersår (*Moritella* 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 sorteringssystem. 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

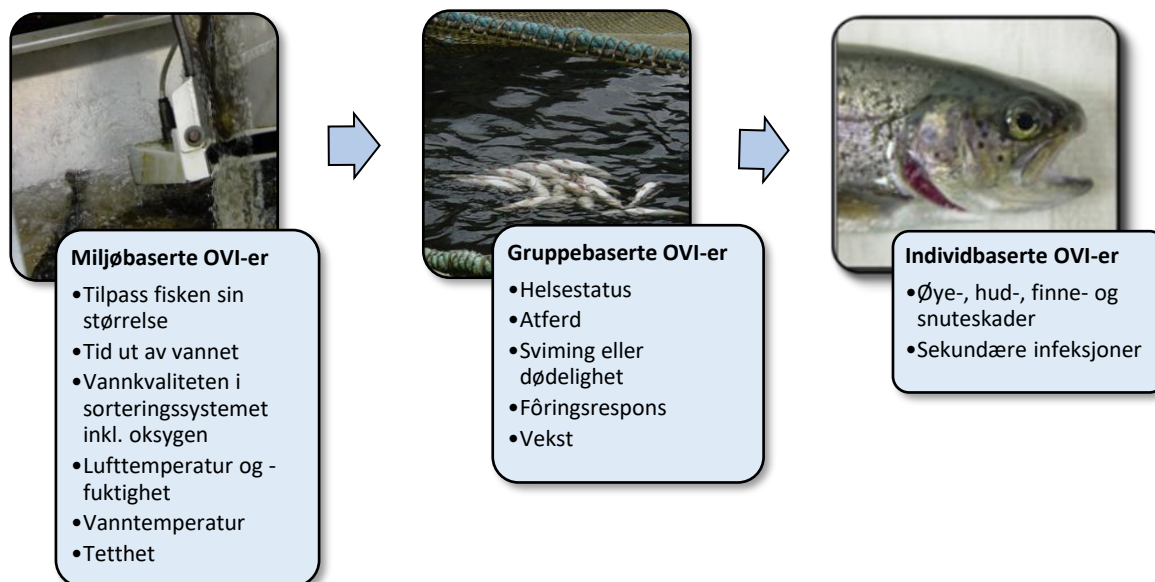
- Utstående kanter
- Skarpe kanter
- Grove overflater
- Tørre flater
- Bråe endringer i retningene
- Høye fall ut av vannet

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. RSPCA velferdsstandard for regnbueørret i oppdrett [8] anbefaler at > 90% av fisken skal veie minst 1,3 g.

For planlagt rutinesortering bør fisken være helsekontrollert og frisk nok til å takle sorteringsprosessen (se også RSPCA [8]), for eksempel kan gjelleforandringer gjøre dem sårbare for lavt oppløst oksygen.

Hvordan vurdere velferd under sortering

Sortering kan komme i tillegg til en rekke håndteringsprosedyrer som sulting (Del C 1.9), pumping (Del C 1.2), og overføring til brønnbåt (Del C 1.8) og detaljer rundt risiko og egnede OVI-er finnes i respektive kapitler.



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: C. Noble.

Miljøbaserte operative velferdsindikatorer

Justert utstyr i forhold til størrelsen på fisken. Ingen fisk bør bli fanget i systemet.

Tid ut av vann. Lufteksposering bør minimeres da langvarig lufteksposering kan skade gjellelamellene [43]. RSPCA velferdsstandards for oppdrettet av regnbueørret anbefaler en maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler at lufteksposering bør begrenses til 10 sekunder [3]. Tidligere undersøkelser har vist at dødeligheten hos ørret doblet seg når man endret lufteksposeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder [44].

Vannkvalitet. Inkludert oppløst oksygen som bør overvåkes i alt utstyret eller holdekarene som er forbundet med sorteringsprosessen. En nylig publisert artikkel [14] skisserer detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) hos regnbueørret ved forskjellige temperaturer og forskjellige størrelser (tabell 1.1-2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig respirasjon, og nivåer under dette er derfor dødelige og påvirker velferden. LOS-verdiene i tabell 1.1-2 er målt på sultet fisk og et høyere oksygennivå kan derfor være nødvendig når fisk blir fôret [14] eller utsatt for stressfulle belastninger som trenging, transport og liknende. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell proaktiv retningslinje anbefales oksygenmetningsnivåer >80%, basert på data fra Poulsen mfl. [15] og RSPCA velferdsstandards for oppdrett av regnbueørret anbefaler minimum 7 mg/L [8].

Lufttemperatur og fuktighet. Unngå for høye eller lave temperaturer og lav luftfuktighet.

Vanntemperatur. Ørret kan tilpasse seg temperaturer i området 0-22 °C [16], men temperaturpreferanser hos regnbueørret kan variere med fisken sine ulike utviklingsstadier. Som oppdretter bør man anstrenge seg for å opprettholde temperaturer innenfor det optimale området, siden hvis den kritiske eller letale vanntemperaturen (høyere eller lavere) blir nådd, vil fiskens velferd allerede ha blitt kompromittert. Anbefalt vanntemperatur for yngel er mellom 7-13 °C [17] og RSPCA velferdsstandard for regnbueørret i oppdrett [8] anbefaler 1-12 °C for yngel. Anbefalte temperaturer for ørret som holdes i merder i sjø er rundt 7-17 °C [18]. Andre undersøkelser antyder at voksen ørret har en foretrukket temperatur på rundt 16 °C innenfor et område på 13-19 °C under normale oksygenforhold [19]. RSPCAs velferdsnormer for oppdrettet regnbueørret anbefaler 1-16 °C for voksen fisk [8]. Ørret kan også reagere på akutte temperaturendringer som økning i vanntemperatur [41] eller reduksjon i vanntemperatur [42] ved f.eks. økende gjellefrekvens (se også del A avsnitt 4.1.1 for mer informasjon). Løseligheten av oksygen avtar også med økende temperatur, slik at varmere vann inneholder mindre oksygen enn kaldere vann ved samme metning.

Tetthet. Det er viktig å unngå for høye tettheter under aktiv sortering.

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 [23]. Appetitt er også lett å måle kvalitativt ved å observere fisken når den tilbys mat.

Vekstreduksjon. Noe reduksjon av vekst er vanlig 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 [164]. 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 håndteringer, der fisken presser mot not eller treffer harde flater med snuten.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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 trengt 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, hvorefter 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.

Utallige undersøkelser gjort på regnbueørret viser at all fiskehåndtering utgjør en risiko for skade og stress [165, 166, 167]. Laksefisk 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 [26]. Toleransen for håndtering varierer med arten, livsstadium, størrelse, vannkvalitet, lufttemperatur, helsestatus, utstyr og bruk av utstyret.

Vitenskapelig undersøkelser for lufteksposering er få, men lufteksposering bør minimeres da langvarig lufteksposering kan skade gjellelamellene [43]. RSPCA velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret anbefaler en maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler at lufteksposering bør begrenses til 10 sekunder [3]. Tidligere undersøkelser har vist at dødeligheten hos ørret doblet seg når man endret lufteksposeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder [44].

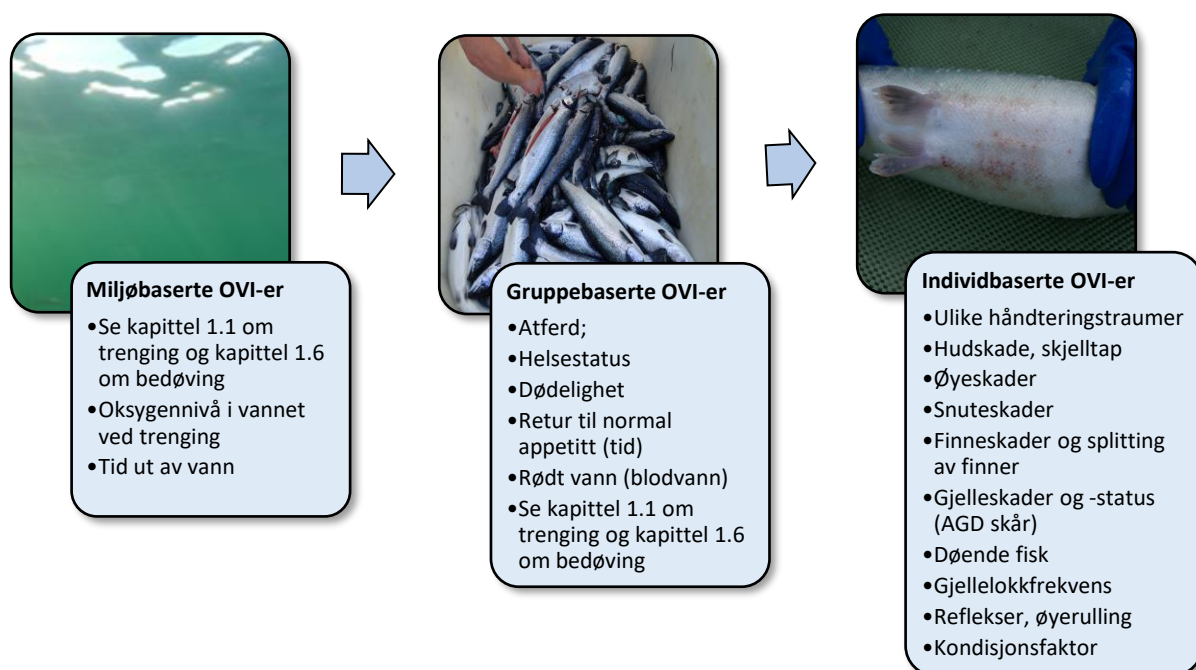
Tabell 1.12-1. Velferdsrisiko ved undersøkelse av levende fisk. Tabell av K. V. Nielsen og K. Gismervik.

Arbeidsoperasjon	Risikomoment	Forsterket /økt risiko
Trenging	Se avsnitt 1.1 om trening	
Håving	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
Bedøving	Overdose bedøvelsesmiddel - forgiftning	Avvik fra bruksanvisning/resept (dose og/eller holdetid)
Se avsnitt 1.6	Utilstrekkelig bedøving kan medføre risiko for skader	Avvik fra bruksanvisning/resept Krever økt kraftbruk Medfører risiko for at man mister fisken
	Ytre skader	For lite kar til bedøvelsen øker risiko for skader
	Vannmiljø	Gjenbruk av bedøvelsesbad, høyt antall fisk
Undersøkelse	Ytre og indre skader	Feil løfteteknikk Utilstrekkelig bedøvd Hansker med ru overflate
	Lufteksponering – skader på hud og gjeller (frost/uttørking) Hypoksi	Lav / høy lufttemperatur, og eventuelt vind Lengde på lufteksponering, maks. 15 sek [8]
Tilbakeføring	Ytre skader, hvis kastes eller håves	Risiko for å treffe for eksempel fuglenett på veien til vannet Håvens standard
Generelt	Stress	Temperaturer nært nedre og øvre kritiske temperaturområde.
	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 trening. 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 1.12-2. 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. Det er nødvendig å overvåke og sikre at fisken har nok oksygen både under trenging (se del C kapittel 1.1), anestesi (del C kapittel 1.6) og oppvåkning. Som en generell retningslinje sier man ofte at oksygennivået skal være over 80% [15] and the RSPCA velferdsstandard for oppdrettet ørret [8] anbefaler minimum 7mg L⁻¹.

Tid ut av vann (varighet av lufteksponering). Lufteksponering bør minimeres da langvarig lufteksponering kan skade gjellelamellene [43]. RSPCA velferdsstandarder for oppdrettet av regnbueørret anbefaler en maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler at lufteksponering bør begrenses til 10 sekunder [3]. Tidligere undersøkelse har vist at dødeligheten hos ørret doblet seg når man endret lufteksponeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder [44]. 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 [23]. 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 gisping 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 [164]. 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 med 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 gi sekundære infeksjoner. Det kan registreres om det er mye, lite eller ingen skjell i vann.

Rødt vann (blodvann). Erfaring med atlantisk laks 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 avlusning [27], hvor rask justering av avlusingsoperasjonen 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 og AGD skår kan også være relevant. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [27], og det er viktig at gjellene håndteres svært varsomt under undersøkelsen slik at de ikke skades.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyebledninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

Gjellelokkfrekvens. Tydelige endringer i gjellelokkfrekvens (som svært hurtige eller utydelige gjellelokkbevegelser) under undersøkelsen kan være tegn på at fisken sliter og optimalisering av prosedyren og må vurderes fortløpende.

Reflekser, øyerulling. Reflekser kan vurderes individuelt (som til stede eller fraværende) eller som et skåringssystem [46].. Når de er fraværende, kan det trygt konkluderes med at dyret ikke er følsomt [47, 48]. «Øyerulling» (vestibulo-okulær refleks) er svært nyttig på laksefisk. Dyret er klassifisert som ufølsomt hvis respons på disse indikatorene mangler [47, 48]. Den vestibulo-okulære refleksen (VOR eller «øyerulling») er den siste refleksen fisken mister under anestesi og er den første refleks som dukker opp igjen etter oppvåkning [49], (se del C, figur 1.3-3). Vær klar over at levendekjølt fisk kan ha en veldig treg VOR-refleks. Rytmiske gjellelokk bevegelser bør også være fraværende hos ikke responsiv fisk. Sporadisk gispning kan forekomme selv om fisken som er fullstendig bedøvd, men merk at hvis det skjer gjentatte ganger på enkelt fisk, er det fisken mest sannsynlig ikke fullstendig bevisstløs. En annen refleks er «hale-refleks» (dvs. ta tak i fiskens hale og se om den prøver å unnsnippe [46]). Operatøren kan også vurdere om fisken reagerer på et nålestikk i leppe eller hud, og også om fisk prøver å justere seg tilbake til normal stilling eller gjøre svømmebevegelser hvis den settes i vann. Refleksindekser er enkle, raske og billige, og det er relativt enkelt å trene folk hvordan de skal brukes.

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 (se del C; kapittel 1.9), eller andre helse relaterte problemer. Operatør 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		x	x
	Saltholdighet						x				x			
	Oksygen		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x
	CO ₂						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	
	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

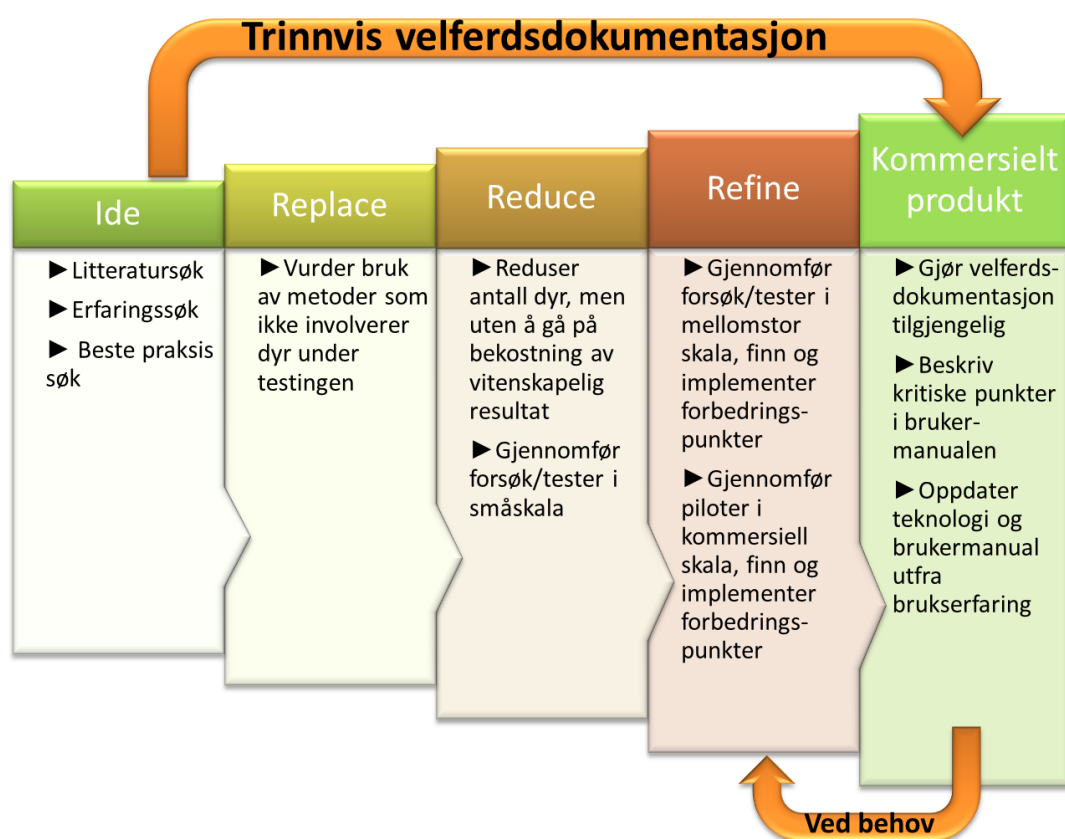
		Håndteringsprosedyrer												
	VI	Bruksområde	Trenging	Pumping	Slakt	Aviving	Bade- og medisinsk-behandling	Bedøvelse	Vaksinering	Transport	Førstyring og sulting	Vaskeprosedyrer	Sortering	Undersøkelse av levede fisk
Gruppebaserte OVI-er	Dødelighet- akutt		x	x	x		x	x	x	x		x	x	x
	• Merdødelighet i tid etter		x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Atferd		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	• Vise buken		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
	• Trengingsintensitet		x	x			x		x	x			x	x
	• Gisping i overflaten		x	x		x	x	x	x	x		x		x
	• Vertikal svømming		x				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	
Sykdom og helsestatus		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Avmagret fisk														x
Skjell og blod i vann		x	x	x	x	x	x	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
	• Øyebldninger og -status		x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
	• Hudbldninger			x	x									
	Katarakt						x							
	Reflekser, øyerulling				x	x		x	x					x
	AGD skår		x	x			x							x
	Gjelleblekhet og -status		x	x			x		x	x				x
	Gjellelokkfrekvens («pusting»)		x		x	x	x	x	x	x				x
	Gjellelokkdeformiteter inkl. skader		x	x								x	x	x
	Kondisjonsfaktor											x		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 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 (figur 2.1-1) [168]. Før en ny teknologi brukes kommersielt, må den testes og vurderes i forhold til fiskevelferd. Denne tilnærmingen krever ofte søknader om tillatelse i henhold til velferdslovgivningen.



Illustrasjon: Kristine Gismervik, VI

Figur 2.1-1. Trinnvis velferdsdokumentasjon fra ide til kommersielt produkt med implementering av «3R» (**Replace**= erstatte, **Reduce**=redusere og **Refine**= forbedre; fra forsøksdyrregelverket) under utvikling av ny teknologi fra Gismervik mfl. [168]. Før teknologien er kommersielt tilgjengelig, må den testes og evalueres som egnet 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 [169] (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 tilfredsstilt. Følgende lenke kan gi en sjekkliste: http://www.imr.no/filarkiv/2015/06/skjema_for_velferdsvurdering_av_ny_teknologi_i_oppdrett_v1_0.pdf/nn-no.
- ✓ 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.
- ✓ Der det er relevant må man også kontrollere om dokumentasjonen dekker forhold rundt potensiell smerte hos fisken.

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 [170]. Likevel kan endringer fra hvile, før, under og etter behandling og håndtering benyttes. For mer detaljer se del C; 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.**

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 balanserer 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 [33, 34]. 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 [27]. I 2016 har mekanisk og termisk avlusing vist seg å kunne gi større negative konsekvenser for fiskevelferden sammenliknet med medikamentell badebehandling [21, 171]. Det er rapporter at regnbueørret har nosiseptorer (smertereseptorer) som responderer på bla. smerte, trykk og kjemisk stimuli [172, 173].

Det er en utfordring at ikke all velferdsdokumentasjon blir offentliggjort for vitenskapelig gjennomgang, og at dokumentasjonen som finnes er gjort tidlig i utviklingsløpene [33, 34, 174]. En oversikt over tilgjengelig velferdsdokumentasjon på mekanisk og termisk avlusing og OVI-er som ble brukt, er gitt i tabell 2.2.1-3.

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 vannavsilere, ulike temperaturer på vannbad eller vannspylingssystemer, 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 [21, 33, 34]. Trenging ble også anført som en stor risikofaktor ved mekanisk og termisk avlusing i en spørreundersøkelse gjennomført av Gismervik mfl. [168].
- 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 [27, 33, 171, 175]. Gjellene, øynene og snuten er spesielt sårbare. Øyne og snute er også funnet rike på smertereseptorer (nosiseptorer) [173, 176]. Ved kalde temperaturer vil det være økt risiko for å utvikle vintersår [21] (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 [177].

- Det er viktig å vurdere fiskens generelle helsestatus før mekanisk og termisk avlusning, da syk fisk har redusert toleranse for håndtering [175]. I en spørreundersøkelse gjennomført av Veterinærinstituttet ble helsestatus rangert som den nest viktigste risikofaktoren i forbindelse med mekanisk og termisk avlusning. Opplæring og kunnskap hos personalet som utfører operasjonene ble også ansett som svært viktig [168].
- Høy dødelighet er observert etter termisk avlusning når fisk ble diagnostisert med AGD og/eller gjelleirritasjon [33]. Generelt viser erfaringer fra fiskehelsepersonell at det er svært vanlig med økt akutt dødelighet hos laks ved bruk av termisk avlusning [21, 177], og dette støttes også av dødelighetstall innrapportert til myndigheter [175, 178].
- En annen risiko ved termisk avlusning er forbundet med vannkvaliteten i de temperaturjustert vannkarene, da høyt nivå av ammoniakk og turbiditet er blitt registrert. Dette antas å være stressende, men fortsatt mangler en del kunnskap [33]. Det er også registrert gassovermetning i vannbadet [177].
- Gjelleblødninger og skjelltap er av Gismervik mfl. [27] identifisert som risikofaktorer ved mekanisk avlusning, og riktig innstilling av utstyret er viktig. Det er også viktig å vite hvilken størrelse på fisk teknologien egner seg for [10, 27].
- Dersom rensefisk benyttes sammen med ørret bør det tas hensyn til f.eks. utfisking eller avsiling [174, 177].

Tabell 2.2.1-1. Svåsand mfl. [179] identifiserte ulike risikofaktorene og potensielle konsekvenser for fiskenes velferd ved bruk av mekanisk og termisk avlusning. Gjengitt med tillatelse fra L. H. Stien

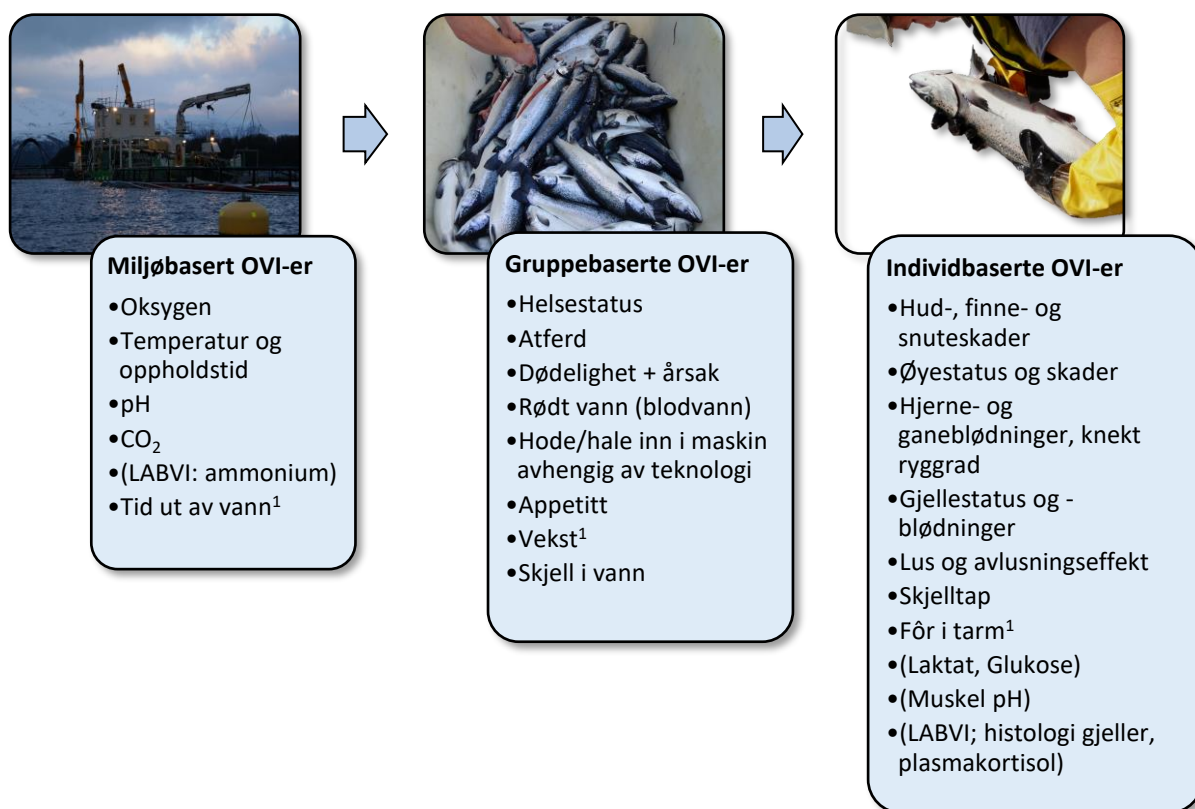
Fare	Farekilde	Konsekvens
Redusert tåleevne	Svekket eller syk fisk	Forhøyet dødelighet
Trengsel	Heving av not og pumping	Stress, forhøyet oksygenbehov, klemskader, finneskader og sår. Påfølgende infeksjoner
Fysisk traume	Feil i pumpesystemet	Slagskader, finne-, gjelleskader og sår. Påfølgende infeksjoner
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 avlusninger [171].
- 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 [27, 33, 34, 174]. Sikre også at fisk ikke blir gående å stange i systemet ved lavintensiv kjøring eller pauser [27, 174].
- Optimaliser trenging og pumping (se avsnitt 1.1 og 1.2), da fysiske traumer fra disse operasjonene har stor innvirkning på velferden.

- Sikre at det finnes rutiner under avlusingsoperasjonen der OVI-er benyttes aktivt for å vurdere velferden (figur 2.2.1-2). Gismervik mfl. [27] fant at skåringer av ytre akutte skader hos atlantisk laks 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 [27, 34, 174]. 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 [27].
- Kameraovervåking i merden fisken pumpes til kan være med på å avdekke unormal adferd og eventuell dødelighet så tidlig som mulig [174].
- 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 [33]. Gassovermetninger er også registrert [177].
- Man må også sørge for riktig temperatur og eksponeringstid [33, 34], og dette kan variere med sjøtemperaturen [34, 177]. Man bør sørge for at man ikke overstiger kritisk temperatur når det gjelder potensiell nosisepsjon, panikkreaksjoner og smerte [177].
- 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. ¹Basert på generell kunnskap, og er ikke nærmere beskrevet i velferdsdokumentasjonen som foreligger på laksefisk. 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. En nylig publisert artikkel [14] skisserer detaljerte data om begrensende oksygenmetninger (LOS) hos regnbueørret ved forskjellige temperaturer og forskjellige størrelser (tabell 1.1-2). LOS er minimumsnivået der fisken kan opprettholde tilstrekkelig respirasjon, og nivåer under dette er derfor dødelige og påvirke velferden. LOS-verdiene i tabell 1.1-2 er målt på sultet fisk og et høyere oksygennivå kan derfor være nødvendig når fisk blir føret [14] eller utsatt for stressfulle belastninger som trenging, transport og liknende. Oksygennivåer bør derfor alltid ligge godt over LOS-nivåene. Som en generell proaktiv retningslinje anbefales oksygenmetningsnivåer >80%, basert på data fra Poulsen mfl. [15] og RSPCA velferdsstandards for oppdrett av regnbueørret anbefaler minimum 7 mg/L [8]. Under mekanisk og termisk avlusning er det viktig å sikre oksygennivåene både i trengingen (særlig om sommeren) og i selve behandlingskammeret (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 [179] 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) [21, 180].

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 [34]. De negative effektene av CO₂ på ørret er oppsummert i del A, kapittel 4.1.4. Oppsummert anbefaler Hafs mfl. [89] at CO₂-nivåer bør være <30 mg/L, RSPCA [8] anbefaler <10 mg/L når vann resirkuleres. Dette er noe som støttes av Wedemeyer [90].

pH kan også brukes til å estimere karbondioksid indirekte. EFSA [91 og referanser deri] antyder at ørret bør oppdrettes i et pH-område på 5,0 - 9,0, og viser til at en pH på under 4 kan føre til betydelige dødelighet, og en pH mellom 4,5 og 5,5 kan induserer subletale negative effekter.

LABVI; ammonium er ikke en OVI, men en LABVI. Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke NH₃: NH₄⁺-forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk. Regnbueørret synes å tåle akutte eksponeringer (<24 timer) av NH₃-N-nivåer på <0,5 mg/L [62]. 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. Lufteksponering bør minimeres da langvarig lufteksponering kan skade gjellelamellene [43]. RSPCA velferdsstandarder for oppdrett av regnbueørret anbefaler en maksimal eksponeringstid på 15 sekunder [8], og EFSA anbefaler at lufteksponering bør begrenses til 10 sekunder [3]. Tidligere undersøkelser har vist at dødeligheten hos ørret doblet seg når man endret lufteksponeringen fra 30 sekunder til 60 sekunder [44]. 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 og mekanisk avlusning kan gi høy dødelighet hos syk eller svak fisk [133, 175].

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 laksefisk som fargeskift i vann, såkalt «rødt vann (blodvann)» [27]. Dette er aldri et godt tegn, og årsaken bør undersøkes (se 1.12 og del A kapittel 3 for mer informasjon).

Posisjon til hodet eller halen inn i maskin (hvis viktig – teknologiavhengig). Noen av avluserene er konstruert for å favorisere hvilken vei fisken kommer inn (med 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 [23]. 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 om det er skjelltap med skade på slim og hudlag. Dette er noe som kan gi problemer med saltbalansen og også sekundære infeksjoner.

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 har gjennomgått påkjenningen og dermed kan ha økt risiko for dødelighet under behandling [63]. Gjelleblødninger bør også overvåkes i forhold til mekaniske skader [27].

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 3.2.12).

Hjerne- og ganeblødninger. I 2017 ble det registrert hjerneblødninger på atlantisk laks i forbindelse med termisk avlusning [177]. Fiskehelsetjenester har sett dette både på tilsynelatende lytfri 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 [177] (og frakturer/blødninger i ryggrad). Det er observert panikkreaksjoner hos laksefisk i og etter varmebadet, og det diskuteres om det kan ha bidratt til skadene [177]. 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 kunne fremskaffe mer kunnskap.

Skåringssystemer til eksempel for hudblødninger, sår, skjelltap, øyebledninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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 dagene [54], 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 [4, 5].

Glukose (blodsukker) kan brukes som en OVI ved trenging [28]. Økningen i plasmaglukose foregår relativt langsomt og topper etter 3-6 timer i laks [29]. Liknende resultater er funnet hos regnbueørret [5]. Glukosenivåer er også avhengig av fôringsstatus, -type og andre faktorer og bør derfor sammenlignes med nivået før operasjonen i stedet for noen «standard stressnivåer».

Indikatorer som glukose og laktat kan også bidra til å korrigere fremtidige prosedyrer for beste praksis, men gir ikke et godt «stoppsignal» angående velferd under pågående operasjoner.

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 [166]. Histologi av gjeller kan være aktuelt for kontroll av mekaniske skader samt gjellestatus (se også del A kapittel 3.2.4).

Tabell 2.2.1-3. Velferdsdokumentasjon på termiske avlusere og OVI-er og LABVI-er brukt

Referanse	Teknologi	Prinsipp	Antall merder/ lokalitet (temperatur)	Antall fisk (+størrelse)	Tid etter fulgt avlusning	OVI/ LABVI benyttet	Avlusnings-effekt (%) B=Bevegelig K=Kjønnsmodenhunn C=Chalimus
Grøntvedt mfl. [33]	Thermolicer	30-34°C (25-30 sek)	1 (nøye kartlagt) /1	50.694 (2,5 kg, regnbueørret)	3 uker	Miljøbasert: ammonium, nitritt+ nitrat, pH, turbiditet Gruppebasert: Dødelighet og appetitt Individbasert: Gjeller, skjelltap, snute-, øye- og finneskade, sår, hudblødninger, AGD skår, total gjelleskår, katarakt, lus LABVI: histologi gjeller	B (75-100 %) C (0 %)
Roth mfl. [34]	Optilicer	28-34°C (20-30 sek)	Flere	Flere	4 uker (dødelig-het)	Miljøbasert: CO ₂ O ₂ , TOC, ammonium Gruppebasert: Dødelighet Individbasert: skjelltap, gjeller, blødninger på buk, snute-, øye- og finneskade, LABVI: histologi gjeller,	B (58-100 %) C (0 %)

KUNNSKAPSMANGEL

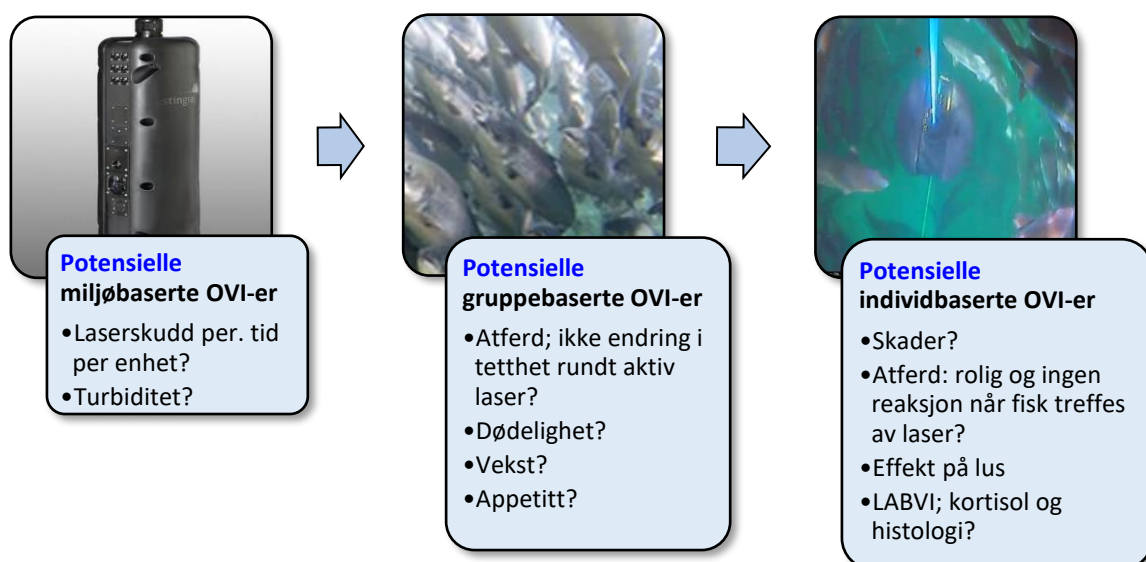
- Mekanisk og termisk avlusningsteknologi er relativt ny, og deres bruk øker raskt.
- Kunnskap om stress, håndtering og miljøfaktorer under gjentatt bruk og hyppige avlusninger mangler. Når man vurderer erfaringsbasert kunnskap fra 2016, viser det seg at hvis det oppstår problemer med prosedyren eller teknologien, kan dette få dødelige konsekvenser for fisken [21]. Tilsvarende kunnskapsmangel gjelder også rensefisk.
- Basisreferanser for øvre grenser og holdetid for temperaturjustert vann samt smerteaspektet betraktes som mangelfullt for ørret, og må relateres til tilpasset vanntemperatur [177, 178, 181, 182].
- Det er kunnskapsmangel om effekten av høy turbiditet og høye ammoniakkverdier, samt gassovermetning i temperert vann ved kort oppholdstid (<1 minutt) [34, 39, 40].
- Hjerneblødninger og blødninger i gane og øyne ble registrert på atlantisk laks etter termisk avlusning i 2017 [177]. 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 splere, er lite dokumentert.
- Det er kunnskapsmangel om effekten mekanisk avlusning på ørret [27, 183].

2.2.2 Laser

Denne teknologien bruker kamera og lasere for kontinuerlig å skyte lusa som er til stede på laksen og ørreten i merdene. Den teoretiske fordel 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 2014, uten noen innmeldte synlige skader fra over 400 millioner laserpulser fra rundt 20 lokaliteter» (se <http://en.stingray.no/>). 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 2.2.2-1.



Figur 2.2.2-1. 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)

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 fôrinntak på grunn av akutt eller kronisk stress. Akutte vektforandringer 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 til eksempel for hudblødninger, sår, skalltap, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, og aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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

- I skrivende stund foreligger det ingen tilgjengelig vitenskapelig dokumentasjon på velferdseffekten eller avlusingseffekten av laserteknologien.
- 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.
- 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.
- Teknologi som lasere er kjent for å kunne gi øyeskader hos mennesker [184]. Hos ørret er dette en problemstilling vi dessverre ikke har funnet åpne publikasjoner på, og det må vurderes derfor som en mulig risiko.

2.2.3 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 oppdrettsnøter har mange negative konsekvenser. De resulterer i redusert vannutveksling gjennom nota og reduserer dermed oppløst oksygen [185, 186]. Dette skaper økt motstand som kan øke forvrengningen av nøtene, samt øke belastningen på den fysiske strukturen og fortøyningene [187]. Organismer som vokser på nota reduserer tilgjengelig oppløst oksygen [188, 189], slipper avfallsprodukter i vannet og kan være et reservoar for infeksjoner [190, 191, 192]. Påvekst på nøter kan også fungere som en kilde til naturlig fôr for rensefisk, noe som reduserer avlusningseffekten av disse [193].

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 2.2.3-1). 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 2.2.3-2). 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 begrodde nota. Dette er potensielt mindre skadelig for fisk, men er ikke praktisk mulig i de fleste tilfeller.



Figur 2.2.3-1. Eksempel på en notrengjøringsrigger fra AKVA med 4 rengjøringshoder. (Foto gjengitt etter tillatelse av N. Ribeiro, 2016).



Figur 2.2.3-2. 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 [194, 195, 196]. Nylig arbeid av Bloecher mfl. [196] har imidlertid rapportert at neslecellene hos fjærblomst (hydroide; *Ectopleura larynx*) kan forbli aktive i avfallet som vaskes av nettet og dermed irritere og skade gjellene til fisken.

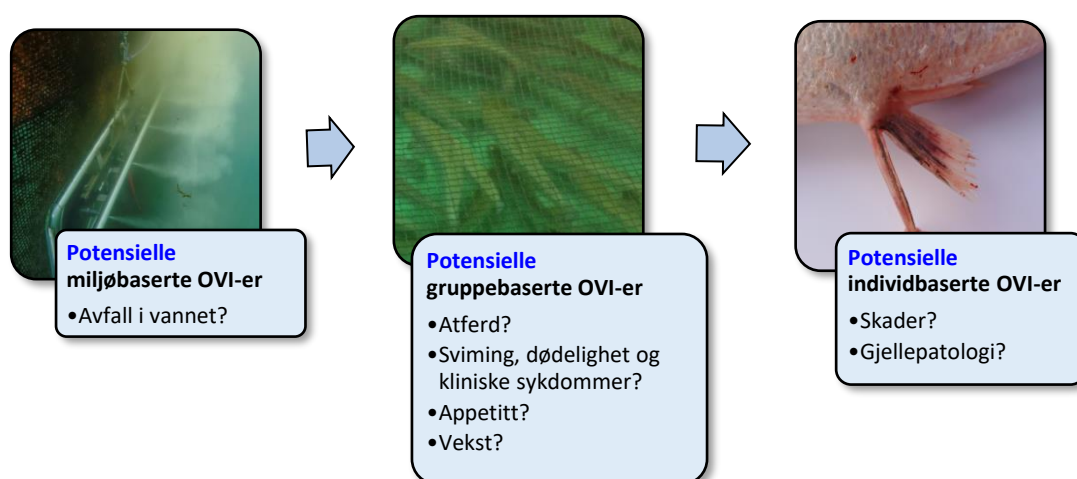
Hvordan minimere velferdsutfordringene

Siden rengjøring av nøter 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 fordelene 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 2.2.3-3. 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, fluktnespons eller vedvarende bevegelse vekk fra avfallet ved rengjøring av nota, kan indikere irriterende materiale i avfallet.

Appetitt? En hvilken som helst reduksjon i fôropptak kan indikere skade eller stress som følge av rengjøringsprosessen, og bør overvåkes nøye [23].

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 [197]. Praktisk oppdretterfaring rapportert i [196] antyder at renseprosessen kan føre til tap av matlyst i noen tilfeller. Imidlertid er ikke denne praktiske kunnskap enda dokumentert av vitenskapelige data.

Sviming, 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 [164].

Potensielle individbaserte operative velferdsindikatorer

Skader? Hvis man oppdager overdreven aktivitet eller fluktnespons, 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, øyblødninger, gjellelokkskader, snuteskader, aktive og helbredede finneskader, er gitt på slutten av dette dokumentet (basert på bilder fra laksefisk). Eksterne skader kan vurderes både kvalitativt (endring i observert status før og etter) og kvantitativt (hvis mer informasjon er nødvendig).

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) [195, 196].

KUNNSKAPSMANGEL

- Det ble ikke funnet noen vitenskapelige publikasjoner som handler om notrengjøring og mulige effekter på fiskevelferden [194, 195, 196].

3 Morfologiske skåringssystemer for vurdering av fiskevelferd ved ulike oppdrettssystemer og håndteringsteknologier

Det følgende avsnittet er et sammendrag av skåreskjemaene som brukes i denne håndboken.

Denne håndboken foreslår et enhetlig skåringssystem (tabell 3.1-1, 3.1-2, 3.1-3) som først og fremst er rettet mot oppdrettere for å kunne hjelpe dem med å vurdere velferd, og raskt oppdage potensielle velferdsproblemer ute på anlegget. Det er en sammenslåing av ulike skadeskåringsskjema som er brukt i Salmon Welfare Index Model (SWIM) [114], utviklet av Norsk veterinærinstitutt (NVI) [10, 33], og fra andre systemer utviklet av J. F. Turnbull (University of Stirling) og J. Kolarevic og C. Noble (Nofima).

Vårt foreslåtte opplegg standardiserer poengsum for 13 forskjellige indikatorer til et 0-3 skåringssystem:

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

Vi har først og fremst brukt bilder fra laksehåndboken i følgende skåringssystem, ettersom forholdene de beskriver er like anvendelige for regnbueørret.

Bilder som brukes i systemet representerer eksempler på hver poengkategori. Vi foreslår at rygg-, hale- og brystfinner er de viktigste finnene for å overvåke for finnskader. Et omfattende system for klassifisering av vertebrale deformiteter, lignende det som eksisterer i human medisin, er ennå ikke utviklet for regnbueørret, og vi foreslår derfor et forenklet skåringssystem som ligner det som brukes i RSPCA velferdsstandarder for oppdrettsatlantisk laks [198].

Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av et eksisterende og et mye brukt 0-4-skåringsskjema (gjengitt fra Wall og Bjerkås, 1999) [199], se fig 3.2. Skåringsmetoden registrerer kataraktområdet i forhold til hele linseflaten. En kan raskt vurdere et stort antall fisk med minimalt utstyr for å få et inntrykk av alvorlighetsgraden av problemet. Hvis mulig, bør et valgt antall fisk inspiseres under mørklagte forhold (også med bedre utstyr) for å gi en viss indikasjon på posisjon, type, utvikling og etiologi. Man registrerer imidlertid ikke tettheten til grå stær som kan være viktig og bør merkes separat (T. Wall pers. kom.).

Graden av vaksinens bivirkninger hos individuell fisk blir ofte evaluert i henhold til «Speilberg-skalen» [101], se tabell 6.3 og fig. 6.4. Speilberg skala er mye brukt som en velferdsindikator i norsk oppdrettsnæring, først og fremst for laks, men den har også blitt brukt på ørret [104, 105]. Skalaen er basert på en visuell vurdering av omfanget og plasseringen av kliniske endringer i bukhalen til fisken, og den beskriver endringer relatert til peritonitt; vedheft mellom organer, mellom organer og bukvegg og melaninavleiringer [101, 200]. En Speilberg-skår på 3 og over er generelt sett uønsket.

Tabell 3.1-1. 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	 Små blødninger / fargeendringer, ofte buk	 Et større område med blødninger, ofte og skjelltap	 Alvorlige blødninger ofte med betydelig skjelltap, sår og ødemer i hud
Sår ^{1,2}	 Ett lite (inntil kronestykke stort) sår ¹ , ikke ned til muskel	 Flere små sår	 Store, alvorlige sår, ofte blottlagt muskel (≥ kronestykke stort)
Skjelltap	 Tap av enkelte skjell	 Skjelltap i små (inntil kronestykke store) felter og < 10 % av fi sken	 Skjelltap i større felter (≥ 10 % av fisken har skjelltap)
Øyeblikning	 Mindre blødninger	 Større blødninger eller traumatisk skade	 Store blødninger/ traume. Kan ha «punktert» øye
Utstående øye	 Litt utstående øye	 Øyet er tydelig utstående	 Svært tydelig og alvorlig utstående øyne

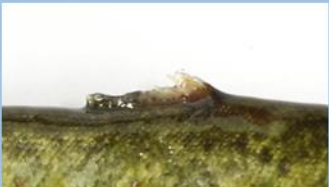
¹ For yngel vil «lite sår» være inntil 1 cm

² NB! Sår som perforerer inn til bukhalen vil uavhengig av størrelse betegnes som alvorlig og gis skår 3

Tabell 3.1-2. 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. Kan omfatte hele hodet
Ryggradsdeformiteter	 Tegn til deformert ryggrad	 Tydelig ryggradsdeformitet (f.eks korthale)	 Ekstreme deformiteter
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 3.1-3. 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	 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. Morfologisk skåresystem for klassifisering av katarakt hos laksefisk. 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" [199] 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." [201] med tillatelse fra T. Wall.

Tabell 3.3. 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 bukhalen og alvorlighetsgrad av lesjoner. Opprinnelig utarbeidet for laks, men også benyttet på regnbueørret [104, 105].

Score	Synlige forandringer i bukhalen	Alvorlighetsgrad av skader etter sløying
0	Ingen tydelige skader.	Ingen.
1	Veldig små sammenvoksninger, oftest lokalisert nær injeksjonsstedet. Lite sannsynlig at det blir lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Ingen eller liten grad av ugjennomsiktighet av bukhalna etter sløying.
2	Mindre sammenvoksninger, som kan koble tykktarm, milt eller blindsekkene til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Kun ugjennomsiktighet av bukhalnen som gjenstår etter å ha fjernet sammenvoksingene manuelt.
3	Moderate sammenvoksninger inkludert fremre delen av bukhalen, som involverer sammenkobling av blindsekkene, leveren eller magesekken til bukveggen. Kan bli lagt merke til av ufaglærte under sløying.	Mindre synlige skader etter sløying, 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 sløying.	Moderate skader som kan være vanskelig å fjerne manuelt.
5	Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhalen. I store områder er bukhalnen tykkere og ugjennomsiktig, og fileten kan ha knuter, fremtredende og/eller pigmenterte lesjoner eller granulomer.	Etterlater synlige skader på fisken etter sløying 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 sløying.



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



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



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



5. Omfattende skader som påvirker nesten alle indre organ i bukhulen. I store områder er bukhinnen 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 3.4. Speilberg skala 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" [101] med tillatelse fra Elsevier. Skalaen ble opprinnelig utviklet for atlantisk laks, men har også blitt brukt i studier på regnbueørret [104, 105].

4 Referanser

- [1] Vigen, J. (2008) Oxygen variation within a sea cage. Master thesis. Department of Biology, University of Bergen, Bergen, 73 pp.
- [2] Espmark, Å. M., Kolarevic, J., Hansen, Ø. A. & Nilsson, J. (2015) Pumping og håndtering av smolt. Nofima rapport nr. 6/2015.
- [3] EFSA (2009) 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.
- [4] 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.
- [5] Olsen, R. E., Sundell, K., Mayhew, T. M., Myklebust, R. & Ringø, E. (2005) Acute stress alters intestinal function of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture* **205**, 480-495.
- [6] Milligan, C. L. & Wood, C. M. (1986) Tissue intracellular acid-base status and the fate of lactate after exhaustive exercise in the rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* **123(1)**, 123-144.
- [7] Lefèvre, F., Bugeon, J., Aupérin, B. & Aubin, J. (2008) Rearing oxygen level and slaughter stress effects on rainbow trout flesh quality. *Aquaculture* **284(1-4)**, 81-89.
- [8] RSPCA (2018). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed July 2019)
- [9] CIWF: Food business (2018). Humane Slaughter: Rainbow trout. <https://www.compassioninfoodbusiness.com/media/7434844/humane-slaughter-rainbow-trout.pdf> (Accessed July 2019).
- [10] 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.
- [11] HSA (2016) Humane Harvesting of Fish. Humane Slaughter Association. <https://www.hsa.org.uk/downloads/publications/harvestingfishdownload-updated-with-2016-logo.pdf> (Accessed July 2019).
- [12] Mejdell, C. M., Midling, K. Ø., Erikson, U., Evensen, T. H. & Slinde, E. (2009) Evaluering av slaktesystemer for laksefisk i 2008–fiskevelferd og kvalitet. *Veterinærinstituttets rapportserie, 01-2009*. Veterinærinstituttet, Oslo, Norge.
- [13] Mattilsynet (2014). Veiledning om krav til god fiskevelferd ved slakteri for akvakulturdyr, Mattilsynet 2014, www.mattilsynet.no
- [14] Shi, K., Dong, S., Zhou, Y., Gao, Q., Li, L., Zhang, M. & Sun, D. (2018) Comparative Evaluation of Tolerance to Heating and Hypoxia of Three Kinds of Salmonids. *Journal of Ocean University of China* **17(6)**, 1465-1472.
- [15] Poulsen, S. B., Jensen, L. F., Nielsen, K. S., Malte, H., Aarestrup, K. & Svendsen, J. C. (2011) Behaviour of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* presented with a choice of normoxia and stepwise progressive hypoxia. *Journal of Fish Biology* **79(4)**, 969-979.
- [16] Ihssen, P. E. (1986) Selection of fingerling rainbow trout for high and low tolerance to high temperature. *Aquaculture* **57(1-4)**, 370.
- [17] Woynarovich, A., Hoitsy, G. & Moth-Poulsen, T. (2011) Small-scale rainbow trout farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper (561)*, 1.

- [18] Sutterlin, A. M. & Stevens, E. D. (1992) Thermal behaviour of rainbow trout and Arctic char in cages moored in stratified water. *Aquaculture* **102(1-2)**, 65-75.
- [19] Schurmann, H., Steffensen, J. F. & Lomholt, J. P. (1991) The influence of hypoxia on the preferred temperature of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology* **157(1)**, 75-86.
- [20] Farrell, A. P. & Richards, J. G. (2009) Defining hypoxia: an integrative synthesis of the responses of fish to hypoxia. *Fish physiology* **27**, 487-503.
- [21] Hjeltnes, B., Bornø, G., Jansen, M. D., Haukaas, A., & Walde, C (Eds) (2017). Fiskehelserapporten 2016. Oslo, *Veterinærinstituttet*, p. 121.
- [22] Erikson, U., Gansel, L., Frank, K., Svendsen, E. & Digre, H. (2016) Crowding of Atlantic salmon in net-pen before slaughter. *Aquaculture* **465**, 395-400.
- [23] 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.
- [24] Schmidt, J. G., Andersen, E. W., Ersbøll, B. K. & Nielsen, M. E. (2016) Muscle wound healing in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & shellfish immunology* **48**, 273-284.
- [25] Schmidt, J. G., Nielsen, M. E. & Ersbøll, B. K. (2013) Wound healing in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and common carp (*Cyprinus carpio*): with a focus on gene expression and wound imaging. Technical University of Denmark Danmarks Tekniske Universitet, Department of Informatics and Mathematical Modeling Institut for Informatik og Matematisk Modellering. 194 pp.
- [26] Takle, H. R., Ytteborg, E., Nielsen, K. V., Karlsen, C. R., Nilsen, H. K., Sveen, L., Colquhoun, D. J., Olsen, A. B., Sørum, H. & Nilsen, A. (2015). Sårproblematikk og hudhelse i laks-og regnbueørrettoppdrett. *Nofima rapport 5/2015*. p. 108.
- [27] 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.
- [28] Kubilay, A. & Uluköy, G. (2002) The effects of acute stress on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Zoology* **26(2)**, 249-254.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] Shabani, F., Erikson, U., Beli, E. & Rexhepi, A. (2016) Live transport of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and subsequent live storage in market: water quality, stress and welfare considerations. *Aquaculture* **453**, 110-115.
- [32] Espmark, Å. M. O., Midling, K. Ø., Nilsson, J. & Humborstad, O. B. (2016) Effects of pumping height and repeated pumping in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Natural Resources* **7(06)**, 377-383.
- [33] 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.
- [34] Roth, B. (2016) Avlusing av laksefisk med Optilice: Effekt på avlusing og fiskevelferd. *Nofima rapport nr. 59-2016*. Nofima. Tromsø. pp. 41.
- [35] Grizzle, J. M. & Lovshin, L. L. (1994) Effect of pump speed on injuries to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) during harvest with a turbine pump. *Aquacultural engineering* **13(2)**, 109-114.
- [36] Hammer, C. (1995) Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **112(1)**, 1-20.

- [37] Roth, B., Grimsbø, E., Slinde, E., Foss, A., Stien, L. H. & Nortvedt, R. (2012) Crowding, pumping and stunning of Atlantic salmon, the subsequent effect on pH and rigor mortis. *Aquaculture* **326**, 178-180.
- [38] Espmark, A.M., Humborstad, O. B. & K. Ø., Midling (2012) Pumping av torsk og laks, faktorer som påvirker velferd og kvalitet. *Nofimarapport nr.6-2012*. Nofima. Tromsø.
- [39] Mejdell, C. & Gismervik, K. (2009) Dokumentasjon av metode for retningsorientering av laksefisk før slaktebedøving, in *Veterinærinstituttets rapportserie 15-2009*, Veterinærinstituttet: Oslo. pp. 14.
- [40] EFSA (2009) 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.
- [41] Hughes, G. M. & Roberts, J. L. (1970) A study of the effect of temperature changes on the respiratory pumps of the rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* **52(1)**, 177-192
- [42] Black, M. C., Millsap, D. S. & McCarthy, J. F. (1991) Effects of acute temperature change on respiration and toxicant uptake by rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). *Physiological Zoology* **64(1)**, 145-168.
- [43] Cook, K. V., Lennox, R. J., Hinch, S. G. & Cooke, S. J. (2015) Fish out of water: how much air is too much? *Fisheries* **40(9)**, 452-461.
- [44] Ferguson, R. A. & Tufts, B. L. (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)**, 1157-1162.
- [45] FAWC (2014) Opinion on the welfare of farmed fish at the time of killing, in *FAWC- Farm Animal Welfare Committee*: London, UK.
- [46] Davis, M. W. (2010) Fish stress and mortality can be predicted using reflex impairment. *Fish and Fisheries* **11**, 1-11.
- [47] Robb, D. H. F., Wotton, S. B., McKinstry, J. L., Sorensen, N. K. & Kestin, S. C. (2000) Commercial slaughter methods used on Atlantis salmon: determination of the onset of brain failure by electroencephalography. *Veterinary Record* **147(11)**, 298-303.
- [48] Mejdell, C. M., Erikson, U., Slinde, E. & Midling, K. Ø. (2010) Bedøvningsmetoder ved slakting av laksefisk. *Norsk veterinærtidsskrift* **2**, 83-90.
- [49] 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.
- [50] Roth, B., Slinde, E. & Arildsen, J. (2006) Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). The effect on rigor mortis and the physical properties of flesh. *Aquaculture* **257(1-4)**, 504-510.
- [51] Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T. S. & Seland, A. (1997) Handling stress and storage temperature affect meat quality of farmed-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science* **62(4)**, 898-905.
- [52] Duran, A., Erdemli, U., Karakaya, M. & Tyilmaz, M. (2008) Effects of slaughter methods on physical, biochemical and microbiological quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and mirror carp *Cyprinus carpio* filleted in pre-, in-or post-rigor periods. *Fisheries Science* **74(5)**, 1146-1156.
- [53] 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
- [54] Grove, D. J., Loizides, L. G. & Nott, J. (1978) Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology* **12(5)**, 507-516.
- [55] Southgate, P. & Wall, T. (2001) Welfare of farmed fish at slaughter. In *Practice* **23(5)**, 277-284.

- [56] Close, B., Banister, K., Baumans, V., Bernoth, E. M., Bromage, N., Bunyan, J., Erhardt, W., Flecknell, P., Gregory, N., Hackbarth, H. & Morton, D. (1996) Recommendations for euthanasia of experimental animals: Part 1. *Laboratory Animals* **30**(4), 293-316.
- [57] Lov om dyrevelferd, LOV-2009-06-19-97, www.lovdata.no
- [58] Tobiassen, T., Mejdell, C. M., Midling, K. Ø. & Akse, L. (2010) Sanitetsslakting på merdkanten, in *Nofima rapport 48-2010*, Nofima. Tromsø. pp. 24.
- [59] Brattelid, T. & Smith, A. (2011) Compendium in laboratory animal science for fish researchers. *Norwegian School of Veterinary Science and Norecopa: Oslo*. pp. 190.
- [60] Mattilsynet (12.09.2016 (versjon 2)) Veileder-forsvarlig forskrivning og bruk av legemidler: www.mattilsynet.no
- [61] Ferner, R. E. & Butt, T. F. (2008) Adverse drug reactions. *Medicine* **36**(7), 364-368.
- [62] Milne, I., Seager, J., Mallett, M. & Sims, I. (2000) Effects of short-term pulsed ammonia exposure on fish. *Environmental toxicology and chemistry* **19**(12), 2929-2936.
- [63] Powell, M. D., Reynolds, P. & Kristensen, T. (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**, 18-28.
- [64] 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**(1-2), 1-8.
- [65] Ross, L. G. & Ross, B. (2008) Anaesthetic & sedative techniques for aquatic animals. Third edition, Blackwell Science, UK, London. pp. 222.
- [66] Anderson, W. G., McKinley, R. S. & Colavecchia, M. (1997) The use of clove oil as an anesthetic for rainbow trout and its effects on swimming performance. *North American Journal of Fisheries Management* **17**(2), 301-307.
- [67] Pirhonen, J. & Schreck, C. B. (2003) Effects of anaesthesia with MS-222, clove oil and CO₂ on feed intake and plasma cortisol in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **220**(1-4), 507-514.
- [68] Wendelaar Bonga, S. E. W. (1997) The stress response in fish. *Physiological Reviews* **77**, 591-625.
- [69] Øverli, Ø., Sørensen, C., Kiessling, A., Pottinger, T. G. & Gjøen, H. M. (2006) Selection for improved stress tolerance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) leads to reduced feed waste. *Aquaculture* **261**(2), 776-781.
- [70] Khansari, A. R., Balasch, J. C., Vallejos-Vidal, E., Teles, M., Fierro-Castro, C., Tort, L. & Reyes-López, F. E. (2019) Comparative study of stress and immune-related transcript outcomes triggered by *Vibrio anguillarum* bacterin and air exposure stress in liver and spleen of gilthead seabream (*Sparus aurata*), zebrafish (*Danio rerio*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & shellfish immunology* **86**, 436-448.
- [71] Burka, J. F., Hammell, K. L., Horsberg, T. E., Johnson, G. R., Rainnie, D. J. & Speare, D. J. (1997) Drugs in salmonid aquaculture—a review. *Journal of veterinary pharmacology and therapeutics* **20**(5), 333-349.
- [72] Cho, G. K. & Heath, D. D. (2000) Comparison of tricaine methanesulphonate (MS222) and clove oil anaesthesia effects on the physiology of juvenile chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum). *Aquaculture research* **31**(6), 537-546.
- [73] Marking, L. L. & Meyer, F. P. (1985) Are better anesthetics needed in fisheries? *Fisheries* **10**(6), 2-5.
- [74] 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**(1-2), 155-168.

- [75] Keene, J. L., Noakes, D. L. G., Moccia, R. D. & Soto, C. G. (1998) The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **29**(2), 89-101.
- [76] 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.
- [77] Davis, K. B. & Griffin, B. R. (2004) Physiological responses of hybrid striped bass under sedation by several anesthetics. *Aquaculture* **233**(1-4), 531-548.
- [78] 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), 177-185.
- [79] Small, B. C. (2004) Effect of isoeugenol sedation on plasma cortisol, glucose, and lactate dynamics in channel catfish *Ictalurus punctatus* exposed to three stressors. *Aquaculture* **238**(1-4), 469-481.
- [80] Holloway, A. C., Keene, J. L., Noakes, D. G. & Moccia, R. D. (2004) Effects of clove oil and MS-222 on blood hormone profiles in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, Walbaum. *Aquaculture research* **35**(11), 1025-1030.
- [81] Ortuno, J., Esteban, M. A. & Meseguer, J. (2002) Effects of four anaesthetics on the innate immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish & shellfish immunology* **12**(1), 49-59.
- [82] Kiessling, A., Johansson, D., Zahl, I. H. & Samuelsen, O. B. (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), 301-308.
- [83] Zahl, I. H., Kiessling, A., Samuelsen, O. B. & Olsen, R. E. (2010) Anesthesia induces stress in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Fish physiology and Biochemistry* **36**(3), 719-730.
- [84] Auperin, B., Goardon, L., Quemeneur, A., Thomas, J. L., Aubin, J., Valotaire, C., Rouger, Y. & Maisse, G. (1998) Preliminary study on the use of Aqui'S (R) as anesthetic for handling and sampling of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **350-51**, 291-301. (in French with English abstract).
- [85] Sanderson, T. B. & Hubert, W. A. (2007) Assessment of gaseous CO₂ and AQUIS as anesthetics when surgically implanting radio transmitters into cutthroat trout. *North American Journal of Fisheries Management* **27**(4), 1053-1057.
- [86] Pickering, A. D. (1992). Rainbow trout husbandry: management of the stress response. *Aquaculture* **100**(1-3), 125-139.
- [87] Schoettger, R. A. & Julin, A. M. (1967) Efficacy of MS-222 as an anesthetic on four salmonids (No. 13). *Invest. Fish Contr., U.S. Dept. Int.* **13**, 1-15.
- [88] Hikasa, Y., Takase, K., Ogasawara, T. & Ogasawara, S. (1986) Anesthesia and recovery with tricaine methanesulfonate, eugenol and thiopemal sodium in the carp, *Cyprinus carpio*. *Japanese Journal of Veterinary Science* **48**, 341-351.
- [89] Hafs, A. W., Mazik, P. M., Kenney, P. B. & Silverstein, J. T. (2012) Impact of carbon dioxide level, water velocity, strain, and feeding regimen on growth and fillet attributes of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **350**, 46-53.
- [90] 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.

- [91] EFSA (2008) 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* **7**(96), 1-22.
- [92] Soivio, A., Nyholm, K. & Huhti, M. (1977) Effects of anaesthesia with MS 222, neutralized MS 222 and benzocaine on the blood constituents of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology* **10**, 91-101.
- [93] Gilderhus, P. A. & Marking, L. L. (1987) Comparative efficacy of 16 anesthetic chemicals on rainbow trout. *North American Journal of Fisheries Management* **7**(2), 288-292.
- [94] Muktar, Y., Tesfaye, S. & Tesfaye, B. (2016) Present status and future prospects of fish vaccination: a review. *J Veterinar Sci Technol* **7**(2).
- [95] Marana, M. H., Sepúlveda, D., Chen, D., Al-Jubury, A., Jaafar, R. M., Kania, P. W., Henriksen, N. H., Krossøy, B., Dalsgaard, I., Lorenzen, N. & Buchmann, K. (2019) A pentavalent vaccine for rainbow trout in Danish aquaculture. *Fish & shellfish immunology* **88**, 344-351.
- [96] 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.
- [97] Lovy, J., Speare, D. J., Stryhn, H. & Wright, G. M. (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), 649-658.
- [98] 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**(3), 219-226.
- [99] Berg, A., Bergh, Ø., Fjelldal, P. G., Hansen, T., Juell, J. E. & Nerland, A. (2006) Animal welfare and fish vaccination—effects and side-effects (in Norwegian). *Fisken og havet* 9-2006.
- [100] Midtlyng, P. J. (1996) A field study on intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* **6**, 553-565.
- [101] 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.
- [102] Midtlyng, P. J. & Lillehaug, A. (1998) Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. *Diseases of Aquatic Organisms* **32**(2), 91-97.
- [103] 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.
- [104] Holten-Andersen, L., Dalsgaard, I., Nylén, J., Lorenzen, N. & Buchmann, K. (2012) Determining vaccination frequency in farmed rainbow trout using *Vibrio anguillarum* O1 specific serum antibody measurements. *PloS one* **7**(11), e49672.
- [105] Chettri, J. K., Skov, J., Jaafar, R. M., Krossøy, B., Kania, P. W., Dalsgaard, I. & Buchmann, K. (2015) Comparative evaluation of infection methods and environmental factors on challenge success: *Aeromonas salmonicida* infection in vaccinated rainbow trout. *Fish & shellfish immunology* **44**(2), 485-495.
- [106] Southgate, P. J. (2008) Welfare of fish during transport. In: *Fish Welfare*. Branson, E. J. (ed.). Blackwell Publishing. 185-194.
- [107] Nomura, M., Sloman, K. A., Von Keyserlingk, M. A. G. & Farrell, A. P. (2009) Physiology and behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts during commercial land and sea transport. *Physiology & behavior* **96**(2), 233-243.

- [108] Iversen, M. & Eliassen, R. A. (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 response. *Nordland Research Institute–NF report no 5/2005*, 1-55.
- [109] Hilbig, R., Anken, R. H., Bauerle, A. & Rahmann, H. (2002) Susceptibility to motion sickness in fish: a parabolic aircraft flight study. *Journal of gravitational physiology: a journal of the International Society for Gravitational Physiology* **9(1)**, P29-30.
- [110] Bone, Q., Marshall, N. & Blaxter, J. (1982) *Biology of Fishes*. Glasgow: Blackie and Son.
- [111] 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)**, 646-652.
- [112] Tacchi, L., Lowrey, L., Musharrafieh, R., Crossey, K., Larragoite, E. T. & Salinas, I. (2015) Effects of transportation stress and addition of salt to transport water on the skin mucosal homeostasis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **435**, 120-127.
- [113] Fraser, A. F. & Broom, D. M. (1990) *Farm animal behaviour and welfare*. 3rd ed. London. Bailliere Tindall. pp. 437.
- [114] 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.
- [115] Schreck, C. B., Solazzi, M. F., Johnson, S. L. & Nickelson, T. E. (1989) Transportation stress affects performance of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture* **82(1-4)**, 15-20.
- [116] Van Heeswijk, J. C. F., Vianen, G. J. & Van den Thillart, G. E. E. J. M. (2006) The adrenergic control of hepatic glucose and FFA metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): increased sensitivity to adrenergic stimulation with fasting. *General and comparative endocrinology* **145(1)**, 51-61.
- [117] Iversen, M. & Eliassen, R. (2012) Stressovervåkning av settefiskproduksjonen i Mainstream Norway AS 2009 - 2011. Stresskartlegging av laksesmolt (*Salmo salar* L.), og effekten av stressreduserende tiltak på stressnivå, dyrevelferd og produksjonsresultatet. *UiN-rapport nr 05/2012*. pp. 54.
- [118] Talbot, C., Corneillie, S. & Korsøen, Ø. (1999) Pattern of feed intake in four species of fish under commercial farming conditions: implications for feeding management. *Aquaculture Research* **30(7)**, 509-518.
- [119] Soengas, J. L., Strong, E. F., Fuentes, J., Veira, J. A. R. & Andrés, M. D. (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)**, 491-511.
- [120] Brännäs, E. & Alanärrä, A. (1992) Feeding behaviour of the Arctic charr in comparison with the rainbow trout. *Aquaculture* **105(1)**, 53-59.
- [121] Noble, C., Mizusawa, K., Suzuki, K. & Tabata, M. (2007) The effect of differing self-feeding regimes on the growth, behaviour and fin damage of rainbow trout held in groups. *Aquaculture* **264(1)**, 214-222.
- [122] Bailey, J. & Alanärrä, A. (2001) A test of a feed budget model for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **32(6)**, 465-469.
- [123] Gélinau, A., Corraze, G. & Boujard, T. (1998) Effects of restricted ration, time-restricted access and reward level on voluntary food intake, growth and growth heterogeneity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed on demand with self-feeders. *Aquaculture* **167(3)**, 247-258.
- [124] Holm, J. C., Refstie, T. & Bø, S. (1990) The effect of fish density and feeding regimes on individual growth rate and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **89(3)**, 225-232.

- [125] Linnér, J. & Brännäs, E. (2001) Growth in Arctic charr and rainbow trout fed temporally concentrated or spaced daily meals. *Aquaculture International* **9**(1), 35-44.
- [126] Thorpe, J. E., Talbot, C., Miles, M. S., Rawlings, C. & Keay, D. S. (1990) Food consumption in 24 hours by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. *Aquaculture* **90**(1), 41-47.
- [127] Suzuki, K., Mizusawa, K., Noble, C. & Tabata, M. (2008) The growth, feed conversion ratio and fin damage of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* under self-feeding and hand-feeding regimes. *Fisheries science* **74**(4), 941-943.
- [128] Robb, D.H.F. (2008) Welfare of fish at harvest. In: *Fish welfare*. Branson, E. J. (ed.). London: Blackwell Publishing. 217-242.
- [129] 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.
- [130] 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.
- [131] Bermejo-Poza, R., De la Fuente, J., Pérez, C., de Chavarri, E. G., Diaz, M. T., Torrent, F. & Villarroel, M. (2017) Determination of optimal degree days of fasting before slaughter in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **473**, 272-277.
- [132] Bermejo-Poza, R., De la Fuente, J., Pérez, C., Lauzurica, S., González de Chávarri, E., Diaz, M. T. & Villarroel, M. (2016) Reducing the effect of pre-slaughter fasting on the stress response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Welfare* **25**(3), 339-346.
- [133] Stevenson, P. (2007) Closed Waters: The welfare of farmed Atlantic salmon, rainbow trout, Atlantic cod, and Atlantic halibut (UK: Compassion in World Farming).
- [134] Wall, T. (2008) Disease and medicines- the welfare implications. In: *Fish welfare*. Branson, E. J. (ed.). London: Blackwell Publishing. 195-201.
- [135] Ashley, P. J. (2007) Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* **104**(3-4), 199-235.
- [136] FAWC (2014) 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 accessed 15th October 2016.
- [137] Moutou, K. A., McCarthy, I. D. & Houlihan, D. F. (1998) The effect of ration level and social rank on the development of fin damage in juvenile rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **52**(4), 756-770.
- [138] McCarthy, I. D., Carter, C. G. & Houlihan, D. F. (1992) The effect of feeding hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Biology* **41**(2), 257-263.
- [139] Jobling, M. & Koskela, J. (1996) Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. *Journal of Fish Biology* **49**(4), 658-667.
- [140] Wagner, E. I., Miller, S. A. & Bosakowski, T. (1995) Ammonia excretion by rainbow trout over a 24-hour period at two densities during oxygen injection. *The Progressive Fish-Culturist* **57**(3), 199-205.
- [141] McKay, L. R. & Gjerde, B. (1985) The effect of salinity on growth of rainbow trout. *Aquaculture* **49**(3-4), 325-331.
- [142] 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**(2), 51-56.

- [143] Dockray, J. J., Reid, S. D. & Wood, C. M. (1996) Effects of elevated summer temperatures and reduced pH on metabolism and growth of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on unlimited ration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53**(12), 2752-2763.
- [144] Abbott, J. C. & Dill, L. M. (1985) Patterns of aggressive attack in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* **42**(11), 1702-1706.
- [145] de Lourdes Ruiz-Gomez, M., Kittilsen, S., Höglund, E., Huntingford, F. A., Sørensen, C., Pottinger, T. G., Bakken, M., Winberg, S., Korzan, W. J. & Øverli, Ø. (2008) Behavioral plasticity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with divergent coping styles: when doves become hawks. *Hormones and behavior* **54**(4), 534-538.
- [146] Storebakken, T. & Austreng, E. (1987) Ration level for salmonids: II. Growth, feed intake, protein digestibility, body composition, and feed conversion in rainbow trout weighing 0.5–1.0 kg. *Aquaculture* **60**(3), 207-221.
- [147] Quinton, J. C. & Blake, R. W. (1990) The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Fish Biology* **37**(1), 33-41.
- [148] Jürss, K., Bittorf, T. & Vökler, T. (1986) Influence of salinity and food deprivation on growth, RNA/DNA ratio and certain enzyme activities in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* **83**(2), 425-433.
- [149] Chin, A., Guo, F. C., Bernier, N. J. & Woo, P. T. (2004) Effect of *Cryptobia salmositica*-induced anorexia on feeding behavior and immune response in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of aquatic organisms* **58**(1), 17-26.
- [150] Kolarevic, J., Bæverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B. K. M., 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.
- [151] Noble, C., Flood, M. J. & Tabata, M. (2012) 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**(1), 125-131.
- [152] Gregory, T. R. & Wood, C. M. (1999) Interactions between individual feeding behaviour, growth, and swimming performance in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed different rations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**(3), 479-486.
- [153] Pottinger, T. G., Rand-Weaver, M. & Sumpter, J. P. (2003) Overwinter fasting and re-feeding in rainbow trout: plasma growth hormone and cortisol levels in relation to energy mobilisation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* **136**(3), 403-417.
- [154] Jørgensen, E. H., Bernier, N. J., Maule, A. G. & Vijayan, M. M. (2016) Effect of long-term fasting and a subsequent meal on mRNA abundances of hypothalamic appetite regulators, central and peripheral leptin expression and plasma leptin levels in rainbow trout. *Peptides* **86**, 162-170.
- [155] Hoseini, S. M., Yousefi, M., Rajabiesterabadi, H. & Paktinat, M. (2014) Effect of short-term (0–72 h) fasting on serum biochemical characteristics in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of applied ichthyology* **30**(3), 569-573.
- [156] López-Luna, J., Torrent, F. & Villarroel, M. (2014) Fasting up to 34° C days in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, has little effect on flesh quality. *Aquaculture* **420**, 63-70.
- [157] CIWF (2009) Compassion in world farming. The welfare of farmed fish. Available from: http://www.ciwf.org.uk/resources/publications/fish_farming/default.aspx Accessed 15th October 2016.
- [158] 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.

- [159] HSA (2005) Humane Slaughter Association. Humane Harvesting of Salmon and Trout. Guidance Notes no. 5 (Wheathampstead, UK).
- [160] Lines, J. A. & Spence, J. (2012) Safeguarding the welfare of farmed fish at harvest. *Fish physiology and biochemistry* **38**(1), 153-162.
- [161] López-Luna, J., Bermejo-Poza, R., Bravo, F. T. & Villarroel, M. (2016) Effect of degree-days of fasting stress on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* **462**, 109-114.
- [162] Bermejo-Poza, R., Fernández-Muela, M., De la Fuente, J., Pérez, C., de Chavarri, E. G., Díaz, M. T., Torrent, F. & Villarroel, M. (2019) Physio-metabolic response of rainbow trout during prolonged food deprivation before slaughter. *Fish physiology and biochemistry* **45**(1), 253-265.
- [163] Jentoft, S., Aastveit, A. H., Torjesen, P. A. & Andersen, Ø. (2005) Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **141**(3), 353-358.
- [164] Ellis, T., Berrill, I., Lines, J., Turnbull, J. F. & Knowles, T. G. (2012) Mortality and fish welfare. *Fish physiology and biochemistry* **38**(1), 189-199.
- [165] Flos, R., Reig, L., Torres, P. & Tort, L. (1988) Primary and secondary stress responses to grading and hauling in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* **71**(1-2), 99-106.
- [166] Barton, B. A., Peter, R. E. & Paulencu, C. R. (1980) Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling, confinement, transport, and stocking. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**(5), 805-811.
- [167] Vijayan, M. M. & Moon, T. W. (1992) Acute handling stress alters hepatic glycogen metabolism in food-deprived rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **49**(11), 2260-2266.
- [168] Gismervik, K., Nilsen, A., Nielsen, K. V. & Mejdell, C. M. (2017) Kapittel 3. Fiskevelferd, in *Fiskehelserapporten 2016*, B. Hjeltne, et al., Editors., Veterinærinstituttet: Oslo. pp. 21-33.
- [169] Akvakulturdriftsforskriften. Forskrift om drift av akvakulturanlegg, FOR-2008-06-17-822, www.lovdata.no
- [170] Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R. & Ramos-Enriquez, R. (2009) Cortisol and glucose: reliable indicators of fish stress. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* **4**(2), 158-178.
- [171] Svåsand T., Grefsrud E. S., Karlsen Ø., Kvamme B. O., Glover, K. S., Husa, V. & Kristiansen, T. S. (2017) Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2017. *Fisken og havet, særnr. 2*-2017.
- [172] 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.
- [173] Sneddon, L. U., Braithwaite, V. A. & Gentle, M. J. (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), 1115-1121.
- [174] Holan, A. B., Roth, B., Breiland, M. S. W., Kolarevic, J., Hansen, Ø. J., Iversen, A., Hermansen, Ø., Gjerde, B., Hatlen, B., Mortensen, A. & Lein, I., Johansen, L. –H., Noble, C., Gismervik, K. & Espmark, A. M. (2017) Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI). *Nofima rapport 10/2017*. Nofima. Tromsø. pp. 124.
- [175] Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K. & Stien, L. H. (2018) Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture* 1-20.
- [176] Sneddon, L. U. (2009) Pain Perception in Fish: Indicators and Endpoints. *Ilar Journal* **50**, 338-342.
- [177] Hjeltne, B., Bang-Jensen, B., Bornø, G., Haukaas, A., Walde, C. S. (2018) Fiskehelserapporten 2017, Veterinærinstituttet: Oslo. pp. 106.

- [178] Grefsrud, E. S., Glover, K., Grøsvik, B. E., Husa, V., Karlsen, Ø., Kristiansen, T., Kvamme, B. O., Mortensen, S., Samuelsen, O. B., Stien, L. H. & Svåsand, T. (2018). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2018. *Fisken og havet, særnr.* 1-2018.
- [179] Svåsand T., Karlsen Ø., Kvamme B. O., Stien, L. H., Taranger, G. L. Boxaspen, K. K., (2016) Risikovurdering av norsk fiskeoppdrett 2016. *Fisken og havet, særnr.* 2-2016. pp. 190.
- [180] Tørud, B. & Håstein, T. (2008) Skin lesions in fish: causes and solutions. *Acta Veterinaria Scandinavica* **50**, 1.
- [181] Elliott, A. (2010). A comparison of thermal polygons for British freshwater teleosts. In: *Freshwater Forum*, (Vol. 5, No. 3).
- [182] 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(3)**, 237-275.
- [183] Nilsen, A., Erikson, U., Aunsmo, A., Østvik, A. & Heuch, P. A. (2010) Mekanisk fjerning av lakselus" FLS avlusersystem"-test av ejektorpumpe fra Flatsetsund Engineering AS. *Veterinærinstituttets rapportserie 11-2010*.
- [184] Barkana, Y., & Belkin, M. (2000) Laser eye injuries. *Surv Ophthalmol*, **44(6)**, 459-78.
- [185] Phillippi, A. L., O'Connor, N. J., Lewis, A. F. & Kim, Y. K. (2001) Surface flocking as a possible anti-biofoulant. *Aquaculture* **195(3-4)**, 225-238.
- [186] Madin, J., Chong, V. C. & Hartstein, N. D. (2010) Effects of water flow velocity and fish culture on net biofouling in fish cages. *Aquaculture research* **41(10)**, 602-617.
- [187] Beveridge, M., (2004) Cage Aquaculture. Third Edition ed., Oxford: Blackwell Publishing.
- [188] Wildish, D. J., Keizer, P. D., Wilson, A. J. & Martin, J. L. (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)**, 303-311.
- [189] Cronin, E. R., Cheshire, A. C., Clarke, S. M. & Melville, A. J. (1999) An investigation into the composition, biomass and oxygen budget of the fouling community on a tuna aquaculture farm. *Biofouling* **13(4)**, 279-299.
- [190] Andersen, R. J., Luu, H. A., Chen, D. Z., Holmes, C. F., Kent, M. L., Le Blanc, M. & Williams, D. E. (1993) Chemical and biological evidence links microcystins to salmon 'netpen liver disease'. *Toxicon* **31(10)**, 1315-1323.
- [191] Cribb, T. H., Adlard, R. D., Hayward, C. J., Bott, N. J., Ellis, D., Evans, D. & Nowak, B. F. (2011) The life cycle of *Cardicola forsteri* (Trematoda: Aporocotylidae), a pathogen of ranched southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyi*. *International Journal for Parasitology* **41(8)**, 861-870.
- [192] Tan, C. K., Nowak, B. F. & Hodson, S. L. (2002) Biofouling as a reservoir of *Neoparamoeba pemaquidensis* (Page, 1970), the causative agent of amoebic gill disease in Atlantic salmon. *Aquaculture* **210(1-4)**, 49-58.
- [193] 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*. Sayer, M. D. J., Treasurer, J. W., & Costello, M. J. (eds.). Wiley-Blackwell: Cambridge. 196-203.
- [194] Baxter, E. J., Sturt, M. M., Ruane, N. M., Doyle, T. K., McAllen, R. & Rodger, H. D. (2012) Biofouling of the hydroid *Ectopleura larynx* on aquaculture nets in Ireland: Implications for finfish health. *Fish Veterinary Journal* **13**, 18-30.
- [195] Floerl, O., Sunde, L. M. & Bloecher, N. (2016) Potential environmental risks associated with biofouling management in salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* **8**, 407-417.
- [196] Bloecher, N., Powell, M., Hytterød, S., Gjessing, M., Wiik-Nielsen, J., Mohammad, S. N., Johansen, J., Hansen, H., Floerl, O. & Gjevre, A. G. (2018) Effects of cnidarian biofouling on salmon gill health and development of amoebic gill disease. *PLoS one* **13(7)**, p.e0199842.

- [197] Neill, W. H., Brandes, T. S., Burke, B. J., Craig, S. R., Dimichele, L. V., Duchon, K., Edwards, R. E., Fontaine, L. P., Gatlin, D. M., III., Hutchings, C., Miller, J. M., Ponwith, B. J., Stahl, C. J., Tomasso, J. R. & Vega, R. R. (2004) Ecophys.Fish: A simulation model of fish growth in time-varying environmental regimes. *Reviews in Fisheries Science* **12**, 233-288.
- [198] RSPCA (2018). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon> (Accessed June 2019).
- [199] 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.
- [200] 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.
- [201] 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.