

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

Jonatan Nilsson^{1*}, Lars H. Stien^{1*}, Martin H. Iversen^{2*}, Tore S. Kristiansen¹, Thomas Torgersen¹, Frode Oppedal¹, Ole Folkedal¹, Malthe Hvas¹, Kristine Gismervik³, Kristian Ellingsen³, Kristoffer Vale Nielsen³, Cecilie M. Mejdell³, Jelena Kolarevic⁴, David Izquierdo-Gomez⁴, Bjørn-Steinar Sæther⁴, Åsa M. Espmark⁴, Kjell Ø. Midling⁴, Bjørn Roth⁴, James F. Turnbull⁵ og Chris Noble⁴

* Felles førsteforfatterskap

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



Hva er fiskevelferden? Foto: Lars H. Stien

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon til fiskevelferd	14
1.1	Dyrevelferd	14
1.2	Fiskens bevissthet og kognisjon	15
1.3	Velferdsbehov	16
1.4	Velferdsindikatordefinisjoner	16
1.5	Velferdsstandarder	18
1.6	EFSA- Risikovurdering	19
1.7	Vurderingsprotokoller for fiskevelferd	20
1.8	Tilnærming til velferdsvurdering i håndboken	22
2	Velferdsbehov hos laks	23
2.1	Spising og ernæring	25
2.2	Respirasjon	26
2.3	Osmotisk balanse	26
2.4	Termisk regulering	27
2.5	God vannkvalitet	28
2.6	Hygiene	28
2.7	Beskyttelse fra farer og skader	28
2.8	Atferdskontroll	29
2.9	Sosial kontakt	29
2.10	Hvile	30
2.11	Utforskning	30
2.12	Sykdomsatferd	31
2.13	Kroppspleie	31
2.14	Seksuell atferd	31
3	Dyrebaserte velferdsindikatorer	32
3.1	Gruppebaserte velferdsindikatorer	32
3.1.1	Dødelighetsrate	32
3.1.2	Atferd	35
3.1.3	Appetitt	36
3.1.4	Vekst	38
3.1.5	Sykdom og sykdomskontroll	39
3.1.6	Indikasjoner i vannet	46
3.1.7	Snitt oksygenopptak (MO ₂)	46
3.1.8	Overflateaktivitet hos fisk	47

3.2	Individbaserte velferdsindikatorer	49
3.2.1	Gjellelokkfrekvens	49
3.2.2	Refleksatferd	50
3.2.3	Lakselus	51
3.2.4	Gjellestatus og bleke gjeller	52
3.2.5	Kondisjonsfaktor og andre betingende faktorer	54
3.2.6	Grad av avmagring.....	54
3.2.7	Kjønnsmodning.....	56
3.2.8	Smoltifiseringsstatus	57
3.2.9	Ryggdeformiteter	59
3.2.10	Finneskade og –status	60
3.2.11	Skjelltap og generell hudtilstand	61
3.2.12	Øyeskade og øyetilstand	62
3.2.13	Deformerte gjellelokk.....	65
3.2.14	Indre organer.....	71
3.2.15	Vaksinerelatert patologi	72
3.2.16	Plasmakortisol	74
3.2.17	Osmolalitet	76
3.2.18	Ionesammensetting.....	77
3.2.19	Glukose.....	79
3.2.20	Laktat	81
3.2.21	Hematokrit.....	82
3.2.22	Rigor mortis (dødsstivhet) og muskel pH	82
3.2.23	Slim	84
4	Miljøbaserte velferdsindikatorer.....	88
4.1	Vannkvalitetsbaserte velferdsindikatorer	88
4.1.1	Vanntemperatur.....	88
4.1.2	Saltholdighet.....	90
4.1.3	Oksygen	91
4.1.4	Karbondioksid (CO ₂)	92
4.1.5	pH	94
4.1.6	Total ammonium nitrogen (TAN)	95
4.1.7	Nitritt og nitrat	96
4.1.8	Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS).....	97
4.2	Velferdsindikatorer som beskriver oppdrettssystemer eller -håndtering	98
4.2.1	Vannstrømhastighet	98

4.2.2	Belysning.....	100
4.2.3	Produksjonstetthet.....	101
5	OVI og LABVI som verktøy i oppdrett.....	104
5.1	Hvordan bruke OVI og LABVI i forbindelse med vurdering av velferd	104
5.2	Vurdering av VI'er sin grad av funksjonalitet	105
5.3	Et eksempel på hvordan en kan tolke OVI'er og LABVI'er	108
5.4	OVI'er og LABVI'er i framtiden.	109
5.5.	Oversikt over OVI'er omtalt i del A, og brukt i del B og C av håndboken.....	110
6	Referanser	111

1 Introduksjon til fiskevelferd

1.1 Dyrevelferd

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

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

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

For å beskytte og sikre god velferd, må vi ha en felles definisjon og forståelse av begrepet «dyrevelferd». Det er imidlertid ingen konsensus i vitenskapen og samfunnet for øvrig om hva god dyrevelferd innebærer. Både myndighetenes håndhevelse og oppdretternes oppfyllelse av lover og forskrifters krav til god dyrevelferd blir vanskeliggjort av denne mangelen på begrepsmessig og konseptuell klarhet. Tradisjonelle naturvitere og veterinærer har ofte likestilt dyrevelferd med biologisk funksjon. Det vil si at et sunt dyr med god vekst og ytelse blir oppfattet som å ha god dyrevelferd. Et annet syn, ofte fremmet av dyrevernorganisasjoner, er retten til et naturlig liv. 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 instiktive 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 reprodusere seg, må fisk sanse og samhandle med omgivelsene sine. Fisk har et rikt utvalg av sanser og en relativt stor hjerne tilpasset den enkeltes arts spesifikke habitat og levested. Det er store forskjeller i sensoriske egenskaper mellom ulike fiskearter, men de mest vanlige sansene er lukt, smak, syn, hørsel, følelse av vibrasjoner, trykk, temperatur, vannbevegelse, kroppens orientering og bevegelse, og ulike typer nosiseptorer (nervereseptorer som aktiveres av stimuli som kan forårsake vevsskade). Hvert sekund kommer det millioner av signaler fra de sensoriske systemene til hjernen. Det har ingen hensikt å samle inn all denne informasjonen hvis fisken ikke kan nyttiggjøre seg av denne. Fra myriadene av innsamlede signaler, må fiskene skape seg en indre forståelse av sin ytre verden og hva som skjer der. Fiskens opplevelse av omverden, eller «Umwelt» (von Uexküll, 1921), er sannsynligvis svært forskjellig fra vår. De ulike fiskeartene har høyst sannsynlig også et variert spekter av hvordan de oppfatter verden, avhengig av deres spesifikke sansesystemer og hjerner. Men, uten evne til noen form for persepsjon, oppfattelse, læring, hukommelse, kognisjon og bevissthet ville ikke fisk kunne oppføre seg og leve slik som vi observerer at de gjør.

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

Studier har vist at fisk har en kvalitativ opplevelse av verden, har god evne til å lære og å huske, har forventninger om fremtiden, en forståelse av tid, kan knytte sammen tid og sted, lage mentale kart over omgivelsene, gjenkjenne grupped medlemmene sine og samarbeide med de (Brown 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 skadelige miljø. **Dyrs behov kan deles inn i ultimate og i proksimate behov. Ultimate behov er behov som er nødvendige for dyrets overlevelse, mens proksimate behov er behov som ikke er nødvendig for å opprettholde liv i seg selv, men som er utviklet gjennom evolusjonen for å øke dyrets evne til å få oppfylt sine ultimate behov i naturen (Dawkins, 1983).** Noen primære behov (f.eks respirasjon, ernæring, termoregulering, vedlikehold av osmotisk balanse og kroppsintegritet) er avgjørende for overlevelse for alle dyr. Proksimate behov er typisk behov for å utføre atferd som promoterer overlevelse. Dette kan være atferd som forbedrer kroppskontroll og styrke (som å hoppe hos laks eller lek hos unge pattedyr), eller atferd SOM øker sannsynligheten for å finne mat og beskyttelse (som utforsking av sine omgivelser og samhandling med andre individ 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 behovene de blir oppfylt eller foret.

1.4 Velferdsindikatordefinisjoner

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

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

Dyrebaserte VI'er er egenskaper med dyrene selv som indikerer hvor godt en eller flere velferdsbehov er oppfylt. Det kan være tidligere svikt i oppfyllelse av velferdsbehov som nå utkrystalliserer ser 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 øker sannsynligheten for at fisk ikke vil klare å oppfylle sitt behov for tilstrekkelig respirasjon, spesielt under stressende eller hypoksiske forhold. Dyrebaserte VI'er basert på atferd kan fortelle mer om den daglige «her og nå» situasjonen. Eksempler på dette er gjellelokkrate og svømmeatferd. Høy pusterate (gjellelokkrate), med gisping og gaping i overflaten, kan tyde på dårlige oksygenforhold i en oppdrettsmerd. Dyrebaserte VI'er blir også noen ganger kalt utfallsbaserte velferdsindikatorer for å understreke at disse VI'ene måler resultatet av behandlingen av dyrene på dyrene selv. Men selv om dyrebaserte VI'er er mer direkte knyttet til tilstanden til dyrene enn miljøbaserte indikatorer er de ofte først synlige etter at problemet allerede har oppstått. Når det gjelder dyrebaserte VI'er som sår og skader på enkelt dyr, er de også for sein, 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 tilfredsstillt 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, kan hvorvidt en oppdretter benytter A eller B defineres som en VI. Men å bruke produksjonssystem som VI utdykliggjør skillet mellom anbefalinger for hvordan en best kan sikre dyrevelferd og 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 oppdretter har funnet en løsning som opprettholder vannkvaliteten? Bildet blir raskt veldig komplisert. En bør derfor benytte VI'er som er generelle og som er så få steg fra det som direkte påvirker eller avspeiler oppfyllelsen av

velferdsbehovene som mulig. I eksemplene over er vannkvalitet å foretrekke som VI fremfor produksjonssystem og behandlingstid.

Definisjon på velferdsindikatorer (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 leve som mat og respirasjon, og proksimatle 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 laboratoriebaserte velferdsindikatorer (LABVI'er).**
- Velferdsindikatorer kan enten være:
 - Direkte dyrebaserte VI'er, basert på observasjoner av og på dyret eller
 - Indirekte ressurs- eller miljøbaserte VI'er, basert på miljø eller ressurser som dyret eksponeres for.
- Velferdsindikatorerne 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. De fleste av disse standardene fokuserer på å minimere miljøkonsekvensene fra akvakultur, eller på hvordan en kan unngå helserisiko og spredning av patogener, men de inneholder også vanligvis noe om fiskevelferd. En av de mest fremtredende standardene er «Aquatic Animal Health Code» som er utviklet av Verdens dyrehelseorganisasjon (OIE) for å sikre hygiesikkerhet i forbindelse med internasjonal handel med akvatiske dyr (OIE, 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 trygg og bærekraftig landbruk. De har utviklet en akvakultur standard som blant annet inneholder omfattende sjekklister som skal sikre at tiltak for å opprettholde fiskevelferd er på plass (GLOBALG.A.P, 2016). Mange av disse kriteriene refererer tilbake til «Aquatic Animal Health Code». GLOBALG.A.P. tilbyr kurs om hvordan en skal forstå og etterleve standarden, og for å bli GLOBALG.A.P. sertifisert må oppdrettsselskapene gå gjennom årlig inspisering og godkjennes av et akkreditert sertifiseringsorgan. De fleste store oppdrettsselskapene har GLOBALG.A.P. sertifisering. Fokus for kriteriene i standarden er i hovedsak om hvorvidt de ansatte har korrekt opplæring, at det utføres korrekt loggføring, og om utstyret og oppdrettsrutinene er tilfredstillende. GLOBALG.A.P. standarden er derfor mer en generell liste over hva som bør være på plass, og gir bare i begrenset grad detaljer om hvordan en sikrer dyrevelferd. Dette er delvis rettet opp i retningslinjene for god praksis for Skotsk akvakultur «Code for Good Practice for Scottish Finfish Aquaculture», som ligner GLOBALG.A.P. standarden, men hvor 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. Overholdelse av koden blir revidert av uavhengige sertifiseringsorganer, og om lag

90 % av skotsk lakseproduksjon benytter seg av dette systemet. «Aquaculture Stewardship Council» (ASC) ble grunnlagt av Verdens naturfond (WWF) og «Dutch Sustainable Trade Initiative» (IDH) i 2010. ASC er en uavhengig ikke-profitt organisasjon, med formål å skulle fremme den beste praksisen innen havbruk. Etter en rekke rundebordskonferanser som inkluderte representanter fra den globale akvakulturnæringen, detaljhandel, restaurantnæringen, frivillige organisasjoner, myndigheter og det vitenskapelige miljø publiserte ASC en standard for lakseoppdrett i 2012 (ASC, 2016). Standarden tar sikte på å begrense miljøkonsekvensene fra oppdrett, men har også noen konkrete kriterier for fiskevelferd. Blant annet kreves det regelmessige besøk fra veterinær, sykdomsovervåking og det er satt en øvre grense for fiskedødelighet fra virusrelatert sykdom. Denne standarden er stadig mer populær og flere og flere oppdrettsanlegg er blitt ASC sertifisert. I 2015 var det 84 ASC sertifiserte oppdrettsanlegg i Norge. Global Aquaculture Alliance er en internasjonal organisasjon for ansvarlig akvakultur som har utviklet et sertifiseringsprogram spesielt for laks (BAP, 2016). Selv om standarden hovedsakelig fokuserer på miljøansvar, dekker standarden også fiskevelferd. Kravene i forhold til fiskevelferd er forholdsvis korte, men listen over krav er ledsaget av en innledende tekst som forklarer hva som menes med fiskevelferd. Det gis også en oversikt over atferdsindikatorer, fargeendringer og morfologiske abnormiteter som bør overvåkes, og hvis tilstede må oppdretter finne årsaken og korrigere disse. I motsetning til de ovennevnte standardene er RSPCA-standardene for atlantisk laks og regnbueørret spesielt utviklet med henblikk for fiskevelferd (RSPCA 2014, 2015). Standardene er basert på ekspertise fra industri, vitenskap og veterinærer, og gir detaljerte og omfattende velferdskrav til dyrehold, miljø, fôring, helse, ledelse, transport, slakting og håndtering. Standardene inneholder også mange direkte dyrebaserte OVI'er, og de mest vanlige indirekte, miljøbaserte OVI'ene. Mer enn 70% av den britiske lakseproduksjonen er RSPCA-sertifisert, og RSPCA har gitt tilbakemelding på at standarden har bidratt til en bedring av fiskevelferden i Storbritania sine oppdrettsanlegg.

1.6 EFSA- Risikovurdering

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

1.7 Vurderingsprotokoller for fiskevelferd

For å dekke opp de ulike aspekter ved dyrevelferd, bruker de fleste dyrevennvurderingsprotokoller en kombinasjon av direkte og indirekte velferdsindikatorer. Direkte VI'er blir noen ganger kalt resultatbaserte velferdsindikatorer noe som understreker at disse VI'ene måler resultatet av behandlingen på dyrene selv. Et «godt» eksempel på dette er **dødelighet**, som ofte benyttes i fiskeoppdrett som mål på velferden til populasjonen som en helhet (Stien mfl. 2016; Kristiansen mfl. 2014). Blant tusenvis av fisk vil det alltid være noe dødelighet, og i tilfelle av økt dødelighet vil det vanligvis være de svakere individene som dør først. Det er også rimelig å anta at forut for de fleste fiskedødsfall i fiskeoppdrett har det vært en periode med lidelse, og at høy dødelighet derfor er forbundet med lav velferd. Høy dødelighet kan være et resultat av en rekke forskjellige ernæringsmessige, miljømessige, genetiske, helsemessige og fysiologiske faktorer, eller summen av en rekke ulike faktorer. Dermed kan raten av dødelighet være et mål på den generelle tilstanden i systemet. Hvis noe er alvorlig galt i et oppdrettssystem, vil det etterhvert føre til økt dødelighet, og hvis dødeligheten er lav gjennom en produksjon, er det rimelig å anta at i de fleste tilfeller har velferden vært bedre enn i tilsvarende produksjoner med høy dødelighet. Plutselige økning i dødelighet eller høyere dødelighet enn det som er «normalt» for produksjonssystemet og den aktuelle livsfasen kan fungere som en advarsel om at noe er galt, og at årsakene til den økte dødeligheten bør undersøkes. Kumulativ dødelighet etter en hel eller lengre deler av en produksjonssyklus kan brukes til å sammenligne ulike produksjoner mot hverandre (Kristiansen mfl. 2014). Forskjeller mellom ulike produksjoner kan være på grunn av iboende egenskaper med oppdrettsanlegget, men det kan også skyldes tilfeldige faktorer som sykdomsutbrudd og uhell under håndtering. For eksempel under avlusning og behandling (Stien mfl. 2016). Oppdrettsanlegg med høy gjennomsnittlig dødelighet, har også vanligvis høy variasjon i dødelighet mellom produksjonene (Kristiansen mfl. 2014). Det er derfor nødvendig å ha mange datapunkter, for eksempel flere års dødelighetsdata for å fatte sikre sammenligninger mellom lokaliteter. Tilsvarende så må en ha mange uttestinger under varierende forhold før en kan konkludere om nye produksjonsteknologier og oppdrettspraksiser.

Mange velferdsprotokoller gir bare svært generelle krav til vannkvalitet (type: vannkvaliteten må være passende), mens andre har tabeller hvor toleransegrenser er gitt for hver enkelt parameter, men også dette er en forenkling. Et dyrs ytelse (SGR, FCR, helse, overlevelse og velferd) er et resultat av dens fysiologiske og mentale prosesser, som igjen er drevet av det dynamiske samspillet mellom dyret og det skiftende miljøet den opplever. Eksempelvis så avgjør kombinasjonen av tilgjengeligheten av oksygen, fiskens evne til å ekstrahere oksygen fra vannet og krav til oksygen fra ulike prosesser og aktiviteter (standard metabolske prosesser, svømming, føring, vekst, flukt atferd og stressresponser) hvorvidt fisken kan fungere optimalt, og ikke oksygentilgjengelighet alene. Metabolisme er summen av alle kjemiske reaksjoner i en organisme som fører til fortsatt liv, vekst og reproduksjon. «Velferdsmeteret» er et spesialisert bøyeyesystem som måler saltinnhold, temperatur, oksygen, fluorescens og turbiditet for hver eneste meter fra toppen til bunnen av en merd. Dataene blir analysert av ekspertprogramvare for å beregne vekstpotensialet (metabolsk margin), og laksens teoretiske robusthet for stress (relativ metabolsk margin) (Aas-Hansen mfl. 2010). **Metabolsk margin** er differansen mellom maksimalt tilgjengelig oksygenopptak under de rådende forhold og metabolsk nødvendig oksygenopptak. Vedvarende negativ metabolsk margin betyr at fisken ikke får nok oksygen til å dekke sin basalmetabolisme. Fisken vil i så fall konsentrere opp melkesyre i muskulaturen og på sikt dø. **Relativ metabolsk margin** er forholdet mellom maksimalt tilgjengelig oksygenopptak og metabolsk nødvendig oksygen opptak. Relativ metabolsk margin mindre enn 1 betyr at fiskens oksygen opptak er for lavt til å dekke oksygenbehovet. Relativ metabolsk margin kan

i praksis benyttes som et mål for hvor mye vannkvaliteten kan forringes eller hvor mye stress fisken kan tolerere før den tar skade (Fry 1947; Neill mfl. 2004). Man kan derfor bruke disse to parameterne til å avgjøre hvor mye fisken bør føres, og om man kan utføre operasjoner som kan være stressende for fisken (eksempelvis trenging og avlusing).

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

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

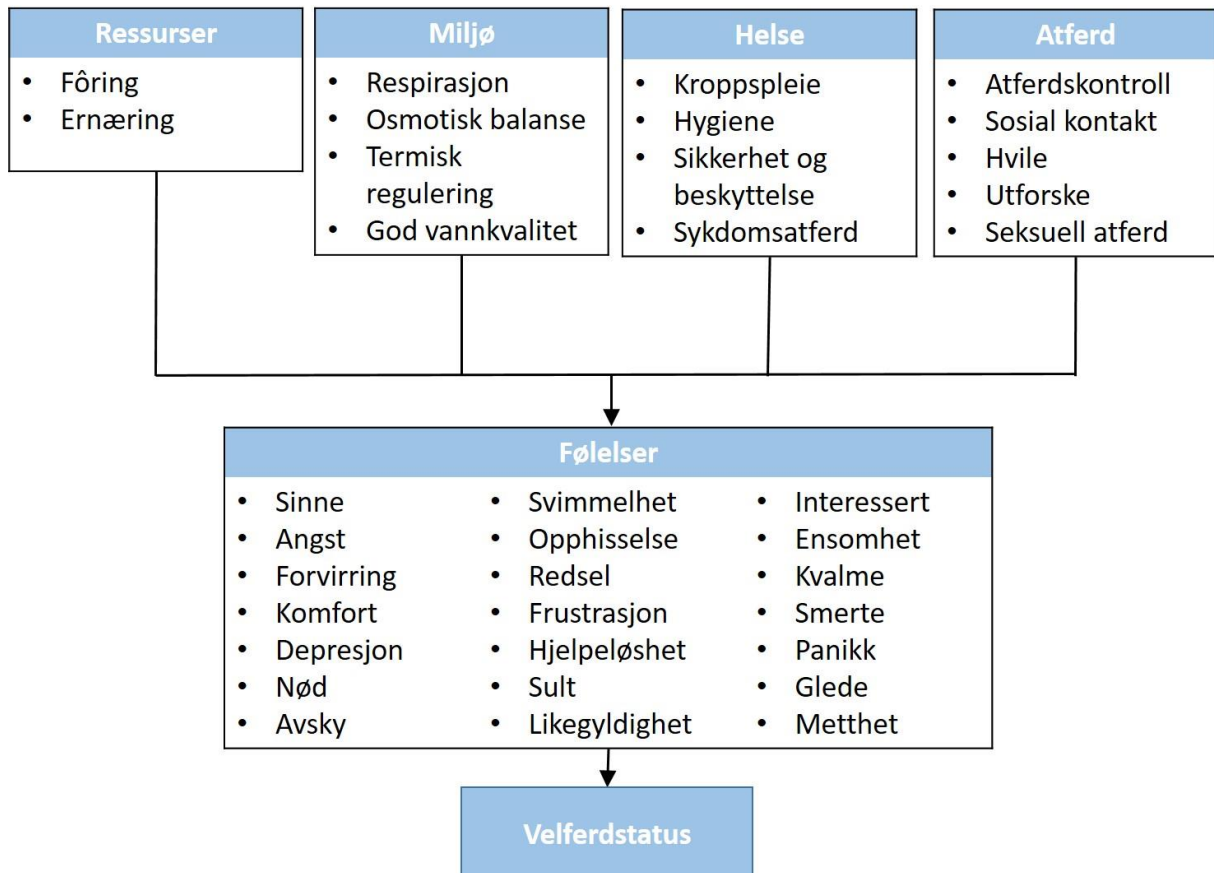
Når forskere og andre ønsker å vurdere effekter av en behandling på fiskevelferd, definere de vanligvis et sett av velferdsindikatorer som de mener er hensiktsmessig for å avdekke mulige effekter ved den aktuelle behandlingen, og som er praktisk og rimelig å bruke. Dette kan omfatte både indikatorer som beskriver oppdrettsmiljøet, den fysiologiske tilstanden til fisken, fiskens atferd og utseende. Også dødelighet brukes ofte som en indikator i slike sammenhenger. Etter forsøket blir så resultatene for indikatorene diskutert enkeltvis eller analysert sammen ved hjelp av statistiske teknikker. Protokoller for registrering av fysisk skade eller misdannelse er foreslått i RSPCA velferdsstandard for laks, velferds vurderingsprotokoll utviklet av Veterinærinstituttet (VI) og lakse velferds Indeks modellen (Salmon Welfare Index Model) (SWIM). Disse protokollene vurderer velferdstilstanden hos enkeltfisk basert på et sett av VI'er som beskriver eventuelle ytre deformasjoner, skader og sykdomstegn (se tabell 1.7-1). Hver VI er delt inn i nivåer fra høy til lav velferd, og resultatene blir vanligvis representert som fordeling av fisk før og etter behandling med de ulike 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 velferdsskår fra 0 (dårligst) til 1 (best) for hver enkelt fisk. På denne måten får en et enkelt tall som kan brukes for å sammenligne gjennomsnittlig velferdsskår mellom to grupper fisk. Fordelen med å bruke utfallsbaserte velferdsindikatorer som i disse protokollene, er at de er uavhengig av system og behandling, og kan brukes i de fleste situasjoner. Slike protokoller har også potensiale til å bli brukt som tidligvarslingssystem. 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.

1.8 Tilnærming til velferdsvurdering i håndboken

Det er en styrke når protokoller som skal vurdere velferd har både miljø- og dyrebaserte indikatorer for god velferd. I tilfeller der de dyrebaserte VI'ene viser dårlig velferd, kan oppdretter gå tilbake og søke etter mulige avvik i oppdrettssystemet og forbedre fiskens velferd for denne, eller i det minste for fremtidige fiskeproduksjoner. Dette kan bli ytterligere forbedret ved hjelp av standard dødelighetskurver og raffinert velferdsovervåking. Senere i denne boken presenterer vi standard dødelighetskurver for post-smolt i merd, atferdsindikatorer for dårlig fiskevelferd og oppdaterte skjema for å registrere velferden til enkeltindivid basert på yttre karakteristika. Vi presenterer også spesifikke velferdindikatorer for de vanligste produksjonssystemer og håndteringsprosedyrer. Målet med denne boken er å presentere VI'er som kan brukes til å vurdere fiskens velferd i ulike oppdrettssystemer og håndteringssituasjoner. Vi har valgt å legge fokus på VI'er som er så nær fisken som mulig og som er så uavhengig av oppdrettssystem og håndteringsprosedyre som mulig.

2 Velferdsbehov hos laks

Grovt sett kan velferdsbehov hos laks deles inn i behov knyttet til tilgjengelige ressurser, vannmiljø, helse og grad av atferdsfrihet (Fig. 2-1) (Stien mfl. 2013). Oppfyllelse eller økt oppfyllelse av behov blir belønnet av belønningssystemer i hjernen som frigjør opioider som gir en god og behagelig følelse og som dermed bekrefter for fisken at den har gjort en riktig handling (Spruijt mfl. 2001; Dawkins 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 laks 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 mfl. 2009).

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

for laks sin tilpasningsevne og kostnaden for å gjøre feilvurderinger kan være høy. Feilvurderingen kan koste mye energi og panikkatferd kan føre til skader og død.

Essensielle velferdsbehov til laks (Stien mfl. 2013)

Spising og ernæring

Tilgang til næringsrik og sunn mat.

Respirasjon

Opptak av oksygen, og utskillelse av karbondioksid ved ventilering.

Osmotisk balanse

Tilgang til vann med riktig saltinnhold og pH. Sikre 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.

Sikkerhet og beskyttelse

Mulighet for å unngå fare, og fysiske skader.

Sykdomsatferd

Mulighet til å hvile uforstyrret for å spare energi når en er syk eller skadet.

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 utføre seksuelle medfødt atferd.

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

2.1 Spising og ernæring

Følelsen av sult er «en følelse av ubehag eller svakhet forårsaket av mangel på mat, kombinert med ønsket om å spise» (Oxford Dictionaries 2016 © Oxford University Press). Sult motiverer fisken til å søke etter mat og spise. Vellykket spising blir belønnet både med følelsen av metthet og opphør av sultfølelse. Laks er tilpasset variabel og sesongmessig mattilgang. Inntak av mat med det riktige innholdet, er et ultimat behov avgjørende for vekst, fysiologiske funksjon og helse. Selve spiseatferden kan ses på som et proksimat behov, men som pga den tette bindingen til overlevelse utgjør en sterk motivasjonsfaktor. Diverse kondisjoneringforsøk har vist at fisk viser sterk preferanseatferd mot den foretrukne maten. Dette gjelder også motsatt; ingen eller liten grad av motivert atferd mot ikke foretrukne mat. Dette indikerer at fisk har emosjonelle, kvalitative komponenter som består av lyst og smak, og en intern «ide» om hva slags mat den foretrekker og forventer (Warburton 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 tilfredsstillere et behov for mat kan det være utskiftbart med begrepet appetitt som defineres som "et naturlig ønske om å tilfredsstillere et kroppslig behov, spesielt for mat" (Oxford Dictionaries 2016 © Oxford University Press). Et sentralt mål i forhold til å tilfredsstillere velferdsbehov vil derfor være å gi fisken en arts- og livsstadium bestemt rasjon, som tilfredsstiller appetittkravene de har. I praksis kan dette målet være vanskelig å oppnå, da appetitten hos både individer og grupper av fisk kan variere fra dag til dag (Juell 1993; Noble 2008). Variasjon i appetitt for en gitt livsfase hos atlantisk laks trenger ikke å være en indikasjon på dårlig velferd *per se*. For eksempel kan lakseyngel utvise naturlig adaptiv anoreksi om vinteren, og dermed velge å ikke spise. Lav appetitt trenger derfor ikke å bety dårlig velferd (Huntingford mfl. 2006).

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

Ved sulting, hvor fôr unndras fisk for et bestemt antall dager, så skjer dette ofte i oppdrett i forbindelse med slakting, 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 fôrstopp i fôring (Branson 2008). Underfôring, hvor fisken fôres på et nivå som er under fiskenes sine reelle behov kan forekomme om oppdrettere har problemer med å vurdere fôrbehovet i store grupper eller fôr etter tabell og ikke tar hensyn til korte- og langvarige variasjoner i gruppes appetittnivåer (Noble mfl. 2008), eller når tekniske- eller miljøforhold hindrer oppdrettere å fôre fisken optimalt en gitt dag. Hos lakseyngel vil både korte (ca. 10 dager) og lange (ca. 30 dager) perioder med fôrbegrensning kunne være skadelig for fiskevelferd og kunne medføre økt aggresjon og påfølgende finneskader (Canon-Jones mfl. 2010;2016). Hos voksen laks kan en dag med sulting betydelig redusere blodsukkernivået (Soengas mfl. 1996).

2.2 Respirasjon

Opptak av oksygen og frigivelse av karbondioksyd er avgjørende for aerob metabolisme, og for å opprettholde stabil pH i kroppen. Uten mulighet til å respirere vil en laks dø i løpet av minutter. Under en viss oksygenmetning i vannet (S_{crit} , som er avhengig av temperaturen) kan ikke standard metabolsk rate opprettholdes (dvs. metabolismen hos en fastende og hvilende fisk). For mett og aktiv fisk er stoffskiftet høyere, og den laveste oksygenmetning for aerob metabolisme hos en slik fisk kalles begrensende oksygenmetning (LOS). I praksis er oppdrettsfisk sjelden eller aldri helt tømte for fôr i magen og under fullstendig hvile, og fiskens aktivitet kan av ulike grunner bli høy. LOS er derfor den mest relevante nedre grense for oksygenmetning i oppdrettsanlegg. Når oksygenmetning er under det nivået som kreves for å opprettholde aerob metabolisme (hypoksi) må fisken ty til anaerob ATP produksjon (glykolyse) (Neill og Bryan 1991). Hypoksi kan føre til en generell stressrespons hos laksefisk (McNeill og Perry 2006; Thomas mfl. 2004; 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. Van Rai mfl. (1996) studerte reaksjoner ved alvorlig hypoksi hos regnbueørret, og rapporterte indikasjoner på at hypoksi er ubehagelig og utløser frykt og panikkatferd, men med store individuelle variasjoner i responsen. Fisk som reagerte med panikkartet unngåelsesatferd døde, mens fisk som ikke fikk panikk og forholdt seg rolig overlevde. Disse atferdsmessige forskjellene sammenfalt med markerte forskjeller i plasmanivåer av katekolaminer, som var 4 til 5 ganger høyere hos døende fisk sammenlignet med overlevende. Motsatt hadde kortisolresponsen en tendens til å være lavere i ikke-overlevende fisk. Den overlevende fisken fikk alvorlig opphopning av kalium i blodet (hyperkalemi) i hvileperioden etter eksponeringen til hypoksi, noe som indikerer tap av intracellulær homeostase. De individuelle forskjellene i atferdsmønsteret og den neuroendokrine aktivering observert hos regnbueørret under stress viser stor likhet med de aktive og passive mestringsstrategier preget hos høyere virveldyr og kan være avgjørende for overlevelse under hypoksi.

2.3 Osmotisk balanse

Laksefisk er anadrom, noe som betyr at de kan tilpasse seg livet i både ferskvann og sjøvann. I ferskvann er laksefisk hyperosmotisk. Dette medfører at laksens kroppsvæsker har høyere saltholdighet enn det omgivende vann og at vann derfor diffunderer inn og saltioner passivt ut. Tapet av ioner motvirkes av et aktivt opptak av ioner (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 Na^+/K^+ -ATPase i gjellene. Dette enzymet er viktig for å opprettholde osmotisk balanse hos laksefisk (Jonsson og Finstad 1995). For å være i stand til å overleve i saltvann må parr, bygge opp en toleranse for det hypoosmotiske sjøvannet. Det er også en fare for at smolt «desmoltifiserer», med andre ord så reverseres smoltifiseringen tilbake til ferskvannsmiljø hvis den holdes for lenge i ferskvann etter smolten har smoltifisert. En ikke-smoltifisert laks vil lide av dehydrering, og dø i løpet av dager hvis den slippes for tidlig ut i sjøen.

2.4 Termisk regulering

Temperatur er en av de viktigste miljøfaktorene i laksefisk sine liv. Laksefisk er vekselvarm, noe som betyr at kroppstemperaturen er bestemt av vanntemperaturen til omgivelsene. Temperaturen påvirker derfor faktorer som vekst, metabolisme, smoltifisering, tid til vandring og migrasjon. Brå og store temperaturendringer for laksen kan også føre til stress og død (Ligon mfl. 1997). Det termiske optimum for en art sammenfaller ofte med artens optimaltemperatur for fysiologisk funksjoner. Optimaltemperaturen kan skifte med alderen, og mellom ulike livsfaser (Sauter mfl. 2001).

Vekselvarme dyr kan kun regulere kroppstemperaturen gjennom atferd. Med andre ord kan en laksefisk svare på en ubehagelig vanntemperatur ved å flytte fra ett sted til et annet for å opprettholde termisk komfort. Slik atferdsmessig temperaturregulering hjelper laksefisk å oppnå optimal kondisjon og overlevelse. Vanntemperatur kan fungere som en direkte eller utviklingsmessig komponent i responser som påvirker atferd (Sauter mfl. 2001). Vanntemperaturen er en potent stressor hos laksefisk, som både er kumulativt og positivt korrelert til varigheten og alvorlighetsgraden av eksponeringen. Jo lengre laks blir utsatt for termisk belastning, jo lavere er sjansene for overlevelse (Ligon mfl. 1997). 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 hos laksen, som kan vare fra dager til uker avhengig av graden av temperaturendring (Brett og Groves 1979; Jobling, 1994).

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

2.5 God vannkvalitet

All fisk behøver å oppholde seg i vann som ikke inneholder skadelige konsentrasjoner av gasser, ioner, metabolitter, toksiner, og partikler. Fisk er kontinuerlig i 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. Minste og høyeste anbefalte konsentrasjoner av de viktigste vannkvalitetsparameterne er gitt av Mattilsynet. Vannkvalitet og variasjon over tid er en viktig faktor som bestemmer produksjonspotensialet (Kristensen mfl. 2009) og fiskevelferden i ulike oppdrettssystemer og oppdrettsrutiner. Bruk av ny teknologi både på land og i sjø kan også utsette laks for nye miljøer med ulik grad av vannkvalitet, og en bør derfor etablere konkrete anbefalinger for hvert livstrinn i nye typer for produksjonssystem (Colt 2006).

2.6 Hygiene

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

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

2.7 Beskyttelse fra farer og skader

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

Laks bruker finner, positur og hudfarge, for å signalisere aggresjon, dominans eller subdominans. Dette gjør laksefisk for å unngå farlige og skadelige kamper. Angrep er ofte av symbolske karakter, som små biting på finnene, og indikerer behovet for å unngå "liv eller død" kamper, som også kan ha negativt utfall for angriperen. Lakseparr forsvare sine territorier i elvene, og er aggressive mot andre fisk ved lave tettheter. Men ved høyere tettheter vil det være svært energikrevende og trolig for risikabelt å forsvare territoriet og parr viser dermed liten aggresjon ved høye tettheter. Atferden til annen fisk, og selv lukten av skadet fisk er viktig informasjon om risiko for mulige angrep i naturen. I

merder kan panikkatferd, som hurtigdykking til bunnen av merden, spre seg i fiskestimen og store mengder fisk kan i værste fall bli presset mot bunnen og kvelt.

I oppdrett er fisken innestengt, og de kan ikke like lett unngå andre, potensielt aggressive, fisk og stressende håndtering påført av oppdretter. Laks tilpasser seg godt til oppdrettssituasjonen, og kan leve i svært høye tettheter. Å svømme sammen med andre kan øke følelsen av trygghet, men ulike røkteprosedyrer, behandlinger og forhold kan gi sosial aggresjon som igjen kan føre til tap av kontroll, frykt og lidelse på grunn av økt skadefrekvens.

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 panikk atferd hvis de blir innestengt eller fanget. Dette ses i fisk som blir rammet av panikk når de vikler seg inn i fiskegarn eller kjemper for å komme seg løs fra en fiskekrok. I fiskeoppdrett skjer dette også når fisken trenges og håndteres. En ser da tydelig unngåelsesatferd, økt oksygenforbruk, og økning i katekolaminer (adrenalin), kortisol og serotonin. Alt dette indikerer stress og frykt.

Frykt i fisk viser seg typisk som økt gjellefrekvens, utskillelse av «alarmferomoner» og utagerende atferdsreaksjoner. Fisk vil unngå rovdyr og andre objekter som oppfattes som fare for deres kropp og liv. Dette er delvis en meget hurtig og refleksiv atferd, men inkluderer også emosjonelle komponenter av frykt og spenning. Det at det er de samme nervestyrt mekanismene som styrer fryktereaksjoner i virveldyr, noe som inkluderer konsistente atferdsmessige og fysiologiske responser til truende stimuli, og evnen til å redusere frykt via medisiner (som bedøvelse og sedasjon), indikerer at også fisk har potensial til å oppleve frykt (Chandoo mfl. 2004; Ashley og Sneddon 2007).

Å leve i konstant frykt fører til kronisk stress og påføre fisk en allostatisk overbelastning. Dette kan best sees i fisk som lever i dominanshierarkier, hvor underordnede fisk reduserer sin svømmeaktivitet og reduserer eller stopper å spise (Øverli mfl. 1998; Cubitt mfl. 2008). Andre symptomer som observeres i slike tilfeller er forhøyet hvilenivå (basalnivå) av plasmakortisol, fisk blir oversensitive og får høyt serotoninomsetning i hjernen (Sørensen mfl. 2013).

Faktorer som kan indusere frykt i oppdrettsfisk er forskjellige typer trenging og håndtering, der fisken blir nektet frie bevegelser. Tett trengsel, vakuumpumping og lufteksponering gir sterke stressreaksjoner hos de fleste fisk, og alvorlighetsgraden er avhengig av varigheten på stressoren. Konkurransen om plass eller gode miljøforhold kan oppstå, når fisken ikke er i stand til å bevege seg bort fra det de oppfatter som en trussel. Dette er noe som blir forsterket i løpet av trenging og av høye biomasser. For eksempel, har foretrukne termiske forhold i merder med vertikal temperaturlagdeling vist seg som en romlig begrenser ved høye biomasser, sammenlignet med lavere biomasser (Oppedal mfl. 2012ab).

2.9 Sosial kontakt

De fleste fiskearter lever, i det minste i deler av livssyklusen, i grupper. Gruppestørrelsen varierer fra å leve i par, som for Europeisk havabbor (*Dicentrarchus labrax*), til stimer av milliarder av fisk som for Atlantisk sild (*Clupea harengus*). Behovet for sosial kontakt er knyttet til behovet for sikkerhet. Fisk kan søke trygghet og kamuflasje blant artsfrender, og viser slik sett behov for deling av informasjon om mat og farer. I tillegg er sosial kontakt viktig for å finne gytepartner. Det sosiale behovet varierer ofte mellom ulike livsfaser. Laks vil som parr forsvare territoriet sitt i elva, men endres til sosial

stimpfisk ved smoltifisering og utvandring i sjø. Laks har vist seg å være aggressive i små grupper, men endrer seg og viser stimatferd og mindre aggressivitet ved høyere tettheter. Både i tanker og merder, svømmer oppdrettslaks i strukturerte grupper. I merdene, begynner laksen normalt å svømme i en sirkulær stim et par uker etter sjøsetting, og fortsetter med dette gjennom hele produksjonsperioden. Stimen blir vanligvis mer "løs" eller spredt i skumringen, trolig for å unngå fysisk kontakt med annen fisk i mørke (Juell 1995). Individuell laks kan være svært motvillig til å bryte ut av stimen. I stedet dannes det ofte undergrupper og bimodale vertikale fordelinger av fisk i merden, noe som tyder på at sosial kontakt er viktig for arten (upubliserte data).

2.10 Hvile

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

På grunn av manglende øyelokk sover aldri fisk, slik pattedyr gjør med lukkede øyner. Men siden de oppfyller mange atferdsmessige og fysiologiske kriterier i form av inaktivitet, 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 være fraværende i perioder med migrasjon og gyting (Reebs 2008-2014). Oppdrettslaks sin stim blir typisk «løsere» eller sprer seg i skumringen og svømmehastigheten avtar (Juell 1995), og svømmehastigheten om natten er ca. 30% lavere enn sammenliknet med svømmehastigheten om dagen (Korsøen mfl. 2009). Reduksjonen i svømmehastighet er sannsynligvis en atferdsmessig tilpasning pga lite lys, snarere enn uttrykk for hvile, og laks velger å opprettholde svømmehastigheten når det er kunstig lys i merden (Oppedal mfl. 2012a). Det finnes lite informasjon om de basale hvile mekanismene eller "hvilemodus" til laksefisk. Imidlertid indikerer anekdotiske bevis på at laks hviler. I løpet av natten med kunstig lys i merdene (kontinuerlig lys), har undergrupper av laks blitt observert å samle seg med vertikal avstanden fra lysene. Fiskene "henger" nesten urørlige med lav respons på plutselige stimuli (O. Folkedal, pers. obs). Videre kan vill laksefisk posisjonere seg i strandsonen på kvelden, hvor de er tilsynelatende i en tilstand av søvn (J. Nilsson, pers. obs).

2.11 Utforskning

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

2.12 Sykdomsatferd

Sykdom reduserer utforskingstrangen, appetitt, seksuellatferd, og fremmer isolasjon, frykt, angst og til slutt apati hos mennesker. Fisk viser tilsvarende «sykdomsatferd» via nedsatt bevegelse, isolasjon, posisjonering nær overflaten, dårlig appetitt, avvikende atferd, og ingen respons til fremmede objekter i vannsøylen. Dette er noe som indikerer at også fisk har sterke følelsesmessige komponenter knyttet til sykdom. Sykdommer som gir hudsår og -skader påvirker nociseptorer i huden, og kan medføre økt smerte og lidelse.

2.13 Kroppspleie

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

2.14 Seksuell atferd

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

3 Dyrebaserte velferdsindikatorer

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

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

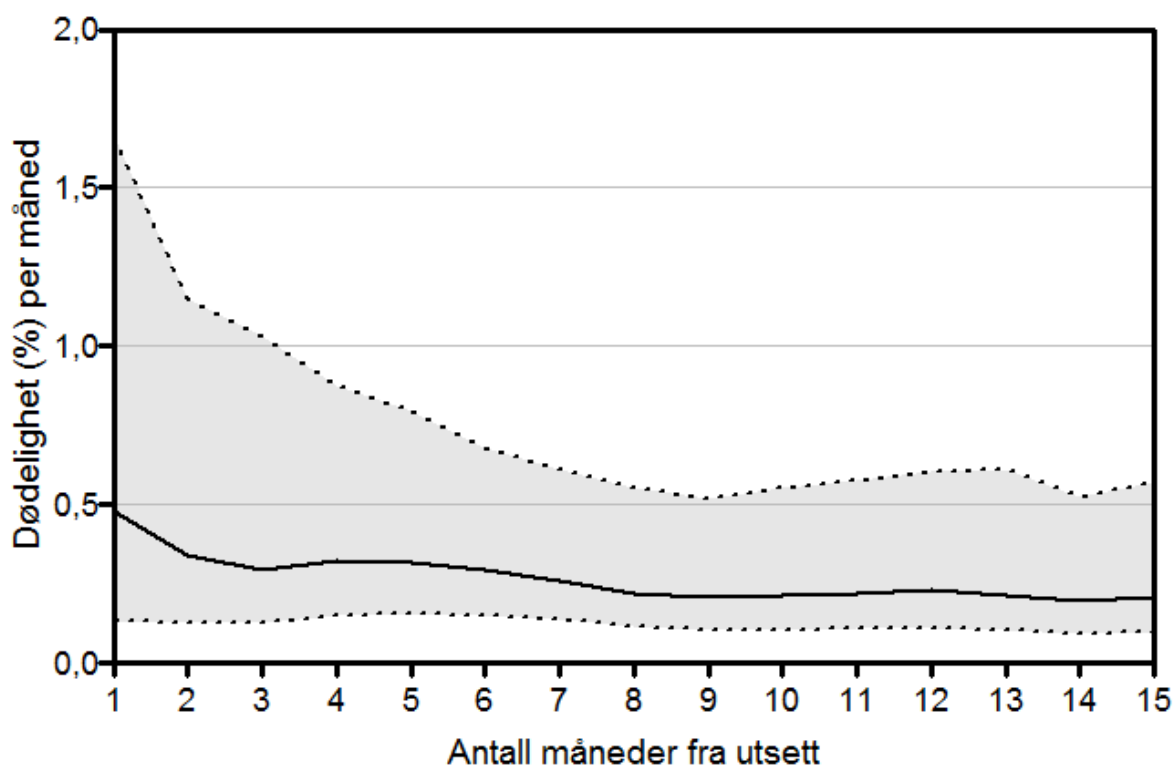
	Behov	Miljø				Helse				Atferd				Res.			
		Respirasjon	Osmotisk bal.	Temperatur reg.	God vannkval.	Kroppspele	Hygiene	Beskyttelse	Sykdomsattferd	Atferdskontroll	Sosialkontakt	Hvile	Utforskning	Seksuell atferd	Spising	Ernæring	
Gruppe	Velferdsindikatorer																
	Dødelighetsrate	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Atferd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Appetitt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Sykdom	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Gjellelokkfrekvens	x			x			x		x							
	Lakselus	x	x			x	x	x	x								
	Bleking av gjeller og status	x	x				x		x			x					
	Kondisjonsfaktor														x	x	
	Utmagringsgrad		x				x		x								
	Kjønnsmodningsgrad		x											x			
	Smotifiseringsgrad		x														
	Ryggsøylededeformitet									x		x					
	Finneskade (ikke fersk)									x		x					
Individ	Finnestatus		x				x	x									
	Skjelltap og hudtilstand		x				x	x									
	Øyeskade og status						x	x	x	x					x	x	
	Gjellelokk deformitet	x															
	Organer i bukhulen						x	x	x							x	
	Vaksinerelatert patologi								x						x	x	
	Blod	Kortisol		x					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 helserelevante VI'en. Høy eller økt dødelighet tyder på at det er et velferdsproblem i karet eller merden og at en umiddelbart bør identifisere årsaken og iverksette forebyggende tiltak. På den andre siden er en lav dødelighet ikke ensbetydende med at det ikke eksisterer et velferdsproblem i anlegget. Mange sykdommer kan eksempelvis redusere velferd uten å forårsake død.

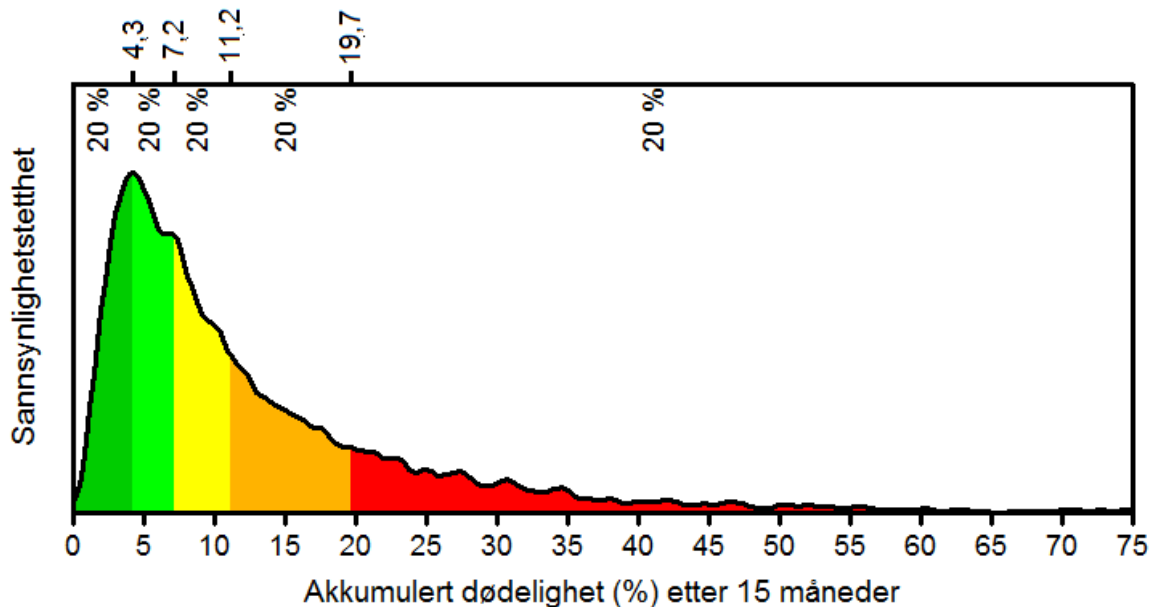
Dødelighet som velferdsindikator kan enten være basert på langsiktig eller kortsiktig dødelighet. Kortsiktig dødelighet gir et øyeblikksbilde av nåværende (daglig, ukentlig eller månedlig) dødelighet sammenlignet med tidligere. Det har vært utviklet flere standardiserte dødelighetskurver for laks (Soares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



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

Langsiktig dødelighet, eller akkumulert dødelighet, er en retrospektiv velferdsindikator som vanligvis brukes til å vurdere velferd av hele eller lengre deler av produksjonssykluser av dyr. En vurdering av hele produksjonen er nødvendig hvis målet er å vurdere en produksjonsmetode, et produksjonssystem eller et produksjonssted. Stien mfl. (2016) brukte fordelingen av total dødelighet etter 15 måneder, basert på innrapporterte månedlig dødelighetsdata fra alle norske lakseoppdrettere 2009-2015, til å klassifisere lakseproduksjoner i fem velferdsklasser: (1) mørk grønn (bedre enn normalt), (2) grønt, (3) gul, (4) og orange (5) rød (verre enn normalt). Å beskrive de 20% av produksjonene med høyest langsiktig dødelighet som verre enn normalt er grunnlagt i at dødelighetskurven er langt fra normalfordelt, men har en lang hale til høyre (Fig. 3.1.1-2). Dette

indikerer at disse produksjonene representerer avvik. Disse avvikene kan skyldes iboende egenskaper ved produksjonsområdene, men kan også skyldes tilfeldige faktorer som sykdomsutbrudd og uhell ved håndtering (eksempelvis lusebehandling). Kristiansen mfl. (2014) viste at oppdrettsanlegg med høy gjennomsnittlig dødelighet, også vanligvis har hatt høy variasjon i dødelighet mellom produksjonene. Det er derfor nødvendig å ha mange observasjoner, for eksempel flere års dødelighetsdata for å gjøre korrekte sammenligninger mellom lokaliteter.



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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.1.2 Atferd

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

(Korsøen mfl. 2009). En annen feilkilde er at fisk nær svingeren kan svømme utenfor det kjegleformede signal området.

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

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

3.1.3 Appetitt

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

Livsfase påvirker også appetitten hos laksefisk. For eksempel, villyngel som velger å utsette migrasjon fra elv til sjø har lave appetittnivåer om vinteren, og kan gå inn i en tilstand av faste (Metcalf og Thorpe, 1992). De mangler ofte motivasjon til å spise selv om deres energistatus tyder på en sterk drivkraft til å gjøre det. Større laks gjennomgår også en periode med faste før gyting, som ofte innledes med en appetittøkning før fisken slutter å spise (Kadri mfl. 1996).

I oppdrett kan eksponering for ulike stressorer også ha en betydelig innvirkning på appetitten. En stressfaktor kan for eksempel være gjentatte forstyrrelser. Dette betyr at tiden det tar for appetitten å komme tilbake etter eksempelvis en behandling, kan også brukes som en OVI i oppdrettssammenheng. Effekten av dette komplekse innbyrdes forholdet av biotiske og abiotiske faktorer ved appetitt er sammensatt. Dette gjelder både innen samme art og mellom ulike arter og livsstadier, og mellom individer og populasjoner av ulike størrelser. Derfor blir det vanskelig å gi klare driftsanbefalinger på appetitten hos fisk. Faktisk, på grunn av den iboende variabiliteten i appetitt, kan anbefalinger om absolutte verdier være potensielt skadelig for velferden til fisken og driften i anlegget. For eksempel er det store individuelle døgnvariasjoner i appetitt på gruppe- og individnivå hos laks, selv under stabile miljøforhold, med minimale forstyrrelser (Noble mfl. 2007; Jobling mfl. 2012). Hvis oppdretter fører en fast rasjon i henhold til en teoretisk appetitt-terskel, kan de risikere enten å underføre eller å overføre fisken med de potensielle velferds konsekvensene 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 indikative tegn for sult, eksempelvis vist via økt motivasjon for å spise og økt beiteatferd. Laks er også tilpasset et svært variabelt miljø, der fôrtilgang kan være uforutsigbart. Fisk er derfor i stand til å tåle både korte og langsiktige perioder uten fôr eller med redusert tilgang til fôr (f.eks Huntingford mfl. 2006). Denne toleransen i forhold til sulting er avhengig av deres ernæringsmessige status og energireserver ved starten av sulteperioden. De potensielle velferds konsekvensene av å ikke gi fisk nok fôr til å kunne tilfredsstillende appetitten deres, er blant annet økt konkurranse, økt aggresjon, økt skade og økt stressnivå (Cañon Jones mfl. 2010). Langvarig vedlikeholds-fôring for å opprettholde fiskestørrelsen eller for å begrense veksten, kan også føre til en markert svekkelse av velferden. Dette vises blant annet ved økt konkurranse og skade (Cañon Jones mfl. 2016). De langvarige konsekvensene av å ikke 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 føret ut i en oppdrettsenhet. Hvis oppdretteren er «trygg» på at denne rasjonsstørrelse er representativ for kort- og langsiktig appetitt på fisken, eller benytter eksempelvis undervannskamera for å overvåke endringer i appetitten, så kan appetitt brukes som en indikator på velferd. For eksempel, selv om en populasjon med laks viser tydelige variasjoner i appetitten, kan visuelle observasjoner av bråe endringer i appetitt og manglende spiseatferd kunne vise og brukes som en kvalitativ OVI (Huntingford mfl. 2006) og indikerer dårlig ytelse (Stien mfl. 2013). Men endringer i appetitt kan også være kontekstspesifikk, da langsiktige endringer i appetitt kan være relatert til vanntemperatur, dagslengde og sesongen, og slik sett ikke være tegn på dårlig velferd (Huntingford og Kadri, 2014; Kadri mfl. 1991; Noble mfl. 2007).

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.1.4 Vekst

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

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Vurdering av vekst i sin enkleste form krever at oppdretteren klarer å fange en representativ gruppe av fisk fra hver produksjonseenhet. Utvalgsstørrelsen er diktert av erfaring, arbeidsmengde, tid og utstyr til rådighet. Deretter gjennomfører en batch vekt (som gir 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 estimeringssystemer 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.

Å bruke vekst som en OVI avhenger av et godt representativt uttak av fisk. Vekst kan uttrykkes som i) vektøkning, ii) relativ eller prosentvis vektøkning, iii) spesifikk vekstrate (SGR) eller iv) termal vekst koeffisient (TGC).

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.1.5 Sykdom og sykdomskontroll

Helseindikatorer kan måles på individ, gruppe, anlegg eller på bransjenivå. Eksempelvis total dødelighet i oppdretts Norge etter utsett i sjø. Noen sykdommer kan diagnostiseres ganske enkelt ved å studere fisken, for eksempel katarakt. Mens andre sykdommer trenger obduksjon, for eksempel bukhinnebetennelse etter vaksinasjon, eller laboratorietester, for eksempel for å utrede bakterievekst. Selv om helse er en av de mest brukte 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 & Kadri, 2014; Segner mfl. 2012).

En sykdom er en unormal tilstand, som medfører en forstyrrelse av en struktur eller funksjon, og denne tilstanden kan påvirke deler av eller hele organismen. Infeksiøse sykdommer er forårsaket av virus, bakterier, sopp eller parasitter, men sykdommer kan også skyldes interne dysfunksjoner

eksempelvis autoimmunitet og misdannelser. Disse kan ha en stor innflytelse på fiskevelferden, fordi det fører ofte til negative opplevelser som utmattelse eller ubehag.

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

Helse utgjør en betydelig del av dyrevelferden og sykdomskontrollen, og er derfor en svært relevant LABVI og også OVI (som scoring av katarakt og AGD). Sykdomskontroll er også et generelt mål, og en tidlig oppdagelse av listeførte eller mulige nye sykdommer kan stoppe et utbrudd og potensielt hindre en reduksjon i velferden. Man kan også forhindre en forverring av sykdomstilstanden ved å unngå stressende situasjoner som sortering, transport og 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 forsøkes på eDNA metoder (environmental DNA) som kan påvise arvestoffet til mikroorganismer i vann.

Sykdomskontroll er også en retrospektiv VI. Verken fravær av sykdom eller upåvirket produksjon er nødvendigvis den samme som god velferd. Derfor er det å finne årsaken til sykdommen viktig for å stoppe en tilstand til å kunne spre seg. Samtidig må indikatoren kombineres med andre mer forebyggende VI'er, for å kunne sikre god dyrevelferd. Som med andre LABVI'er, er sykdomskontroll

ikke nødvendigvis raskt å etablere. Dette kan også kreve ekspertisen til en veterinær eller fiskehelsebiolog i tillegg til spesialisert utstyr.

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

Sykd.	Virus	F	SV	Påvirkning på velferden
Pankreas-sykdom (PD)	PD-virus/ Salmonid alphavirus (SAV 1-6, hvorav SAV2-3 i Norge)	(x)	x	<ul style="list-style-type: none"> Første sykdomstegn er ofte brå appetittsvikt, der syk fisk gjerne står tett i tett i vannoverflaten mot strømreretning (VI, 2017). Syke individer har ofte store muskelskader; i spiserørsmuskulatur, hjerte og kroppsmuskler, noe som hemmer blodsirkulasjon (VI, 2017). Alvorlige skader i bukspyttkjertelmed redusert enzym produksjon, kan forårsake kronisk sykdom med redusert vekst. Utbrudd kan gi høy dødelighet og vare lenge (1-32 uker) (OIE, 2015). Infeksjoner uten symptomer er også rapportert, disse kan bli aktivert under stress (VI, 2015). 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).
	Infeksiøs lakseanemi- virus (ILAV)	(x)	x	<ul style="list-style-type: none"> 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). Kun få tilfeller i ferskvannsfasen er rapportert, inklusiv et tilfelle hos plommeseckyngel (Rimstad mfl. 2011). Ofte lav dødelighet og kronisk progresjon («ulmebrann»), daglig dødelighet typisk 0.05-0.1%, i merd som er rammet, men høy dødelighet er også rapportert (OIE, 2015). Tidlig gjenkjennelse 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 smittehygienisketiltak og bevegelses restriksjoner brukes aktivt for å hindre spredning av smitte (Rimstad mfl. 2011, VI 2017).
Infeksiøs pankreasnekrose (IPN)	Infeksiøs pankreasnekros e virus (IPNV)	x	x	<ul style="list-style-type: none"> Viruset kan angripe bukspyttkjertelen, som er en forutsetning for fordøyelsen av mat, og kan også forårsake nekrotisk enteritt, og fisk som overlever den akutte fasen kan sulte i hjel (EFSA, 2008). Ved utbrudd kan dødeligheten variere fra ubetydelig til 90 %, ofte høyere i FV enn i SV, og yngel og post-smolt er mest mottakelig (VI, 2017). En økning i antall avmagrede fisk i kjølvannet av IPN utbrudd, er vanligvis beskrevet som det mest betydningsfulle resultatet. (Bornø & Linaker, 2015). En stor andel av fisken utvikler en livslang, vedvarende infeksjon, som kan aktiveres under stress som eksempelvis utsett i sjøvann. (EFSA, 2008; VI, 2017). Stress kan også øke dødeligheten under utbrudd. Det kan være mest humant å avlive hele populasjonen ved sykdom hos liten fisk i ferskvannsfasen (EFSA, 2008). Fisk som overlever IPN har nemlig også høyere følsomhet for andre sykdommer som HSMB og PD (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 mfl. 2017). Vaksiner er rapportert å ha begrenset effekt, og sykdommen er ikke meldepliktig.

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

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

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

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

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

	Parasitt	F	S	Påvirkningen på velferd
Lakselus infeksjon	Lakselus; Lepeophtheirus salmonis og skottelus; Caligus elongatus		×	<ul style="list-style-type: none"> 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	Parvicapsula pseudo-branchicola		×	<ul style="list-style-type: none"> Hovedsakelig et problem i de nordligste fylkene hvor det er setthøy dødelighet (Bornø & Linaker, 2015). Høy tetthet av parasitten og tydelige sykdomsforandringer er observert i pseudobranchiene (under gjellelokkene). Pseudobranchiene, som har i oppgave å tilføre øyet oksygen samt være involvert i kontroll av ionebalansen, kan bli fullstendig degenerert eller sterkt skadet (VI, 2017). Fisk med parvicapsulose er typisk tynn, anemisk og har øyebledninger (Bornø & Linaker, 2015; VI, 2015). Parasitten er påvist i minst 39 oppdrettsanlegg i 2016 (Hjeltnes mfl. 2017). P. pseudobranchicola har en komplisert livssyklus der børstemark er hovedvert og fisk mellomvert, og sykdommen parvicapsulose er ikke meldepliktig.
Amøbegjellesykdom (AGD)	Paramoeba perurans		×	<ul style="list-style-type: none"> AGD har blitt en økende alvorlig sykdom hos laks i Norge (Bornø & Linaker, 2015). Den amøbiske parasitten påvirker gjellene og forårsaker respirasjonsproblem. Makroskopiske symptomer er tydelige gjelleforandringer inkludert økt slimproduksjon, noe som kan brukes i et skåringssystem 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 & Linaker, 2015). I 2014 var minst 63 oppdrettsanlegg smittet med AGD, men siden AGD ikke er en meldepliktig sykdom er nok tallet mye høyere (Bornø & Linaker, 2015). Fisk med amøbegjellesykdom har lav stresstoleranse, og en behandlig på fisk med langt framskredet sykdomsbilde kan i seg selv være negativt for fiskens velferd.
Saprolegniose (soppinfeksjon)	Saprolegniose Saprolegnia parasitica Saprolegnia diclina + andre		×	<ul style="list-style-type: none"> Hovedsakelig et problem på egg, men også yngel, parr 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 oppformering av sporer i anleggets vannsystem unngås. For rogn er det viktig med hyppig fjerning av dødrogn 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, 1999), og har blitt observert i forbindelse med bruk av mekanisk avlusing (Gismervik, 2017). Observasjoner fra histopatologiske prøver i 2016 tyder på at gjelleblødninger har blitt mer vanlig (Hanne Skjelstad, Veterinærinstituttet, pers. komm). Histopatologiske gjelleblødninger kan også ses på som frambrakt, forbundet med fangst og avlivning av fisk (Poppe, 1999).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren.

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

3.1.7 Snitt oksygenopptak (MO_2)

Som en indirekte vurdering av fiskevelferd under transport, kan gjennomstrømnings-respirometri brukes under brønnbåttransporter. Dette gjøres ved å måle gjennomsnittlig oksygenopptakopptak (MO_2) for en stor masse av laks under transport over 10 timer. Tabell 3.1.6-1 viser hvordan MO_2 er ulik for laksefisk under ulike forhold.

Tabell 3.1.7-1. Sammenligning av MO_2 hos ulike arter av laks under ulike aktiviteter og miljøforhold (etter Tang mfl. 2009).

Lakseart	Aktivitetsnivå	MO_2 (Mg O_2 /min/kg)	Temperatur	Referanse
Atlantisk laks (<i>S. salar</i>) (1.5-5.5 kg)	Transport start	2.98±0.13	7.8–15.0	Tang mfl. 2009
	Transport slutt	2.00±0.06		
	Hvile ^a	1.32±0.13	12.1±0.2	Bergheim mfl. 1991
	Hvile ^a	1.5–4.5	5.5–10.3	Bergheim mfl. 1993
	Hvile ^a	1.7–3.5	7.2–9.1	Forsberg, 1997
Rødlaks (<i>O. nerka</i>) (1.9–3.3 kg)	Hvile ^a	0.89–2.15	8.5	
	Hvile ^b	2.99±0.23	16.3±0.3	Farrell mfl. 2003
	Maks ^b	12.28±0.75		
	Pukkellaks (<i>O. gorbuscha</i>) (1.3–1.9 kg)	Hvile ^b	4.25±0.69	11.8±0.2
Maks ^b		12.63±0.44		
Coho-laks (<i>O. kisutch</i>) (2.1–2.5 kg)	Hvile ^b	2.23±0.09	5–12	Lee mfl. 2003
	Maks ^b	8.77±0.0		
Kongelaks (<i>O. tshawytscha</i>) (3.7 - 6.4 kg)	Hvile ^b	1.99±0.15	8–17	Geist mfl. 2003
	Maks ^b	10.94±0.52		

a=Massemåling (bulk); b=Individmåling.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

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

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til Indikatoren.

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

3.1.8 Overflateaktivitet hos fisk

Overflateaktivitet i forhold hvor man måler antall ruller og antall hopp på overflaten, er ofte brukt etter opphaling av neddykket merd med laks, for å bestemme om de er i stand til å opprettholde oppdrift. Laksefisk har fysiske, åpne svømmeblærer, som fylles ved at luft i overflata gulpes. Siden gass gradvis lekker ut av blæren må de fylle blæren regelmessig for å opprettholde oppdrift (Dempster mfl. 2009; Korsøen mfl. 2009). Laks ser ut til å justere oppdrift ved å endre blæreinholdet etter hva som kreves. Smolt og post-smolt svømmer høyere i vannet enn yngel og parr, og det relative luftvolumet i svømmeblæren er større hos smolt enn i parr (Saunders, 1965; Wedemeyer, 1996). Laks som lever i hurtigrennende vann har mindre gass enn de som lever i stillestående vann. Dette skyldes at negativ oppdrift gir bedre kontroll i strømmen (Saunders 1965). Uten overflatetilgang tvinges laksefisk til å svømme i en oppadgående tiltet posisjon med raske halebevegelser og høyere hastighet for å kompensere for redusert oppdrift. Alternativt kan fisken hvile på bunnen av karet hvis dette er mulig (Tait, 1960; Korsøen mfl. 2009). Redusert oppdrift som følge av mangel på overflatetilgang begrenser derfor fiskens behov for hvile og atferdskontroll. Laks oppdrettet uten overflatetilgang får ofte en redusert kondisjonsfaktor, noe som tyder på at de ikke er i stand til å fullt ut oppfylle behovet for ernæring (Tait, 1960; Korsøen mfl. 2009). Økt overflateaktivitet etter at yngel og post-smolt gis tilgang til overflaten igjen, tyder på at fisk har behov for å fylle blæren (Dempster mfl. 2011; Tait 1960). Svømmeblæren begynner å skille ut gass fra den første dagen etter nedsenkning, og etter ca tre uker har laksen mistet 95% av gassinnholdet i blæren (Dempster mfl. 2009; Korsøen mfl. 2009). De første tegn på redusert velferd er synlige etter

ca. 3 uker uten overflatetilgang. Etter 6 uker opptrer mer alvorlige symptomer som f.eks komprimerte ryggvirvler (Korsøyen mfl. 2009; 2012).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakheter til Indikatoren.

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

3.2 Individbaserte velferdsindikatorer

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

3.2.1 Gjellelokkfrekvens

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

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

Livsstadier	Terskel- og referanseverdier	% forandring (hvile til stress)	Stressor	Refereanse
Post-smolt	56 gjelleslag/min (hvile) og 61 gjelleslag/min (stress 30.0-56.2 mg/l ammoniakk). Høyere ammoniakknivå medførte død	8.2	Høye ammoniakk-nivå	Knoph, 1996
Post-smolt	108 gjelleslag/min (normoksia), 120 gjelleslag/min (hypoksi), 162 gjelleslag/min (avlusingsbehandling)	11 (hypoksi) 50 (avlusning)	Hypoksi etter luseskjørt var påført merd og etter-følgende avlusning	Vigen, 2008
Slakt	64±2 (bulk) - 56±1 og 80±2 gjelleslag/min (trenging) og 81±1	ca. 25-50	Trenging	Erikson mfl. 2016

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

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

Kvantitative endringer i gjellelokkfrekvensen er vanskelig å kvantifisere på merdkanten, og må som regel vurderes via videoopptak. Hvis fisken står mer eller mindre i ro kan dette også utføres manuelt, eksempelvis med en stoppeklokke. Merk 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.

3.2.2 Refleksatferd

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Reflekser kan vurderes individuelt, som tilstede eller fraværende, eller som en kombinasjon av reflekser som kan graderes (Score 0-5) (Davis, 2010). Reflekser som er automatisk kontrollert av hjernestammen, som rytmiske åndedrag eller hornhinnerefleksen, er mye brukt til å vurdere responsen hos pattedyr og fugler under slakteprosessen. Disse refleksene er de første klare tegn på oppvåkning etter bedøving (Anil, 1991). Refleksene er allment akseptert som robuste indikatorer på hjernens funksjon hos dyr (Gergory & Wotton, 1983). Når de ikke er tilstede, kan det trygt fastslås at dyret er ikke bevisst (Anil, 1991). Vestibulum-okulær refleks (VER, «øyerulling»), ser ut til å være en lignende indikator. Dette er den siste refleksen som går tapt under anestesi og den første til å vises etter oppvåkning hos fisk (Kestin mfl. 2002). Det er imidlertid et behov for å validere og utvikle en rekke refleksresponsen som er tilpasset laksefisk (regnbueørret og atlantisk laks). Like fullt kan noen brukes som de er. Eksempelvis «øyetrulling» (VER); «korrigierenderefleks» (å rulle fisk på ryggen og se om det gjenvinner oppreistposisjon innen 3 sekunder), og «halerefleks» (å ta tak i halen og se om fisken «skvetter» bort). Disse metodene krever ikke noe spesialutstyr og gir en umiddelbar (<20 s) mål på fiskens vitalitet. Man kan også benytte mer avansert utstyr som elektroencefalografi (EEG) og elektrokardiogram (EKG), som brukes henholdsvis til å overvåke aktivitet i hjernen eller hjertet. Dette

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.3 Lakselus

I Norge er det hovedsaklig to arter av lus som parasiterer på laks; lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) og skottelus (*Caligus elongatus*). Lakselus er generelt et større velferdsproblem enn skottelus. Laksens reaksjon på lakselus manifesterer seg via overflatehopp (Furevik mfl. 1993), og forhøyede primære stressresponser som plasmakortisol og glukose (Bowers mfl. 2000; Finstad mfl. 2000). Disse stressresponsene oppstår selv om det infeksjose copepodittstadiet ennå ikke er begynt å spise på laksen (f.eks Finstad mfl. 2011). Ved høye infeksjoner av lakselus påvirkes svømmeytelsen negativt ved høye strømhastigheter (Bui mfl. 2016). Grimnes og Jakobsen (1996) og Finstad mfl. (2000) fant ingen alvorlige effekter på fisk ved ekstreme infeksjoner av fastsittende lakselus (> 1 lus/cm² fisk eller > 100 lus/fisk ved copepoditt- og chalimustadiet). Derimot de fant en plutselig økning i verten sin dødelighet når pre-adult stadiet til lakselus dukket opp. Responsen ved infisering av pre-adult og voksen lakselus inkluderer primære stressresponser, inflammatoriske responser, endringer i appetitt, hud og gjeller, forsinket helning av skader, osmotiske problemer og vevsdestruksjon (Ross mfl. 2000; Boxaspen 2006; Skugor mfl. 2008). Lakselus initierer kortsiktige fysiologiske responser allerede ved 0,01 lus/cm² fisk, og langtidseffekter kan observeres ved 0,05 lus/cm² fisk (Nolan mfl. 1999). Grimnes og Jakobsen (1996) fant ut at en tetthet av lakselus over 0,15 lus/cm² på fisk kunne være dødelig, men mente at den faktiske dødelighetsgrensen sannsynligvis var lavere. Stien mfl. (2013) foreslo en grense på 0,12 lus/cm² for laks, hvor høyere infeksjonsgrad ville være dødelig. For en 100 g laks tilsvarer 0,05 lus/cm² rundt 7 lus, og for en 1000 g fisk 35 lus (se tabell 3.2.3-1). Mens vill laksefisk ofte har et lusenivå som fører til mistrivsel og dødelighet (Holst mfl. 2003; Torrissen mfl. 2013), så er lusenivå strengt kontrollert og regulert i kommersiell akvakultur. Slike nivåer er ikke vanlig på oppdrettsfisk (Folkedal mfl. 2016), selv om det kan forekomme på enkelte individer, og da spesielt avmagret fisk. Derfor er avlusing med hyppig håndtering og kjemisk behandling for oppdrettslaks og -ørret et mer alvorlig velferdsproblem enn selve lusa (se nedenfor).

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

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.4 Gjellestatus og bleke gjeller

Bakterielle infeksjoner, parasitter, virus, sopp og dårlig vannkvalitet kan føre til gjelleproblemer. Oksygenopptaket kan begrenses på grunn av fortykning av gjelleoverflaten og slimproduksjonen. Slik kan fiskene bli svært følsomme overfor stress, som igjen krever mer oksygen enn det syke organet kan gi. Fisken kan dermed bli kronisk stresset eller i verste fall dø på grunn av kvelning. Gjelleproblemer kan også påvirke osmoreguleringen. I ferskvann kan parasitter som *Costia (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 er kronisk gjellesykdom det første året laksen er i sjø et vanlig og alvorlig velferdsproblem. Dette kan skyldes flere faktorer, og ofte blir det sett gjellecyster (epiteliocyster) (Veterinærinstituttet, 2017). *Candidatus Branchiomonas cysticola* har blitt identifisert som den dominerende årsaken til gjellecystedannelse hos norsk laks (Steinum mfl. 2015). Også andre arter som *Syngnamydia salmonis*,

Piscichlamydia salmonis og mikrosporidier kan spille en rolle. Kronisk gjellebetennelse er fortsatt ikke fullt ut forstått, men har en klar innvirkning på velferden hos laks. Man kan oppleve dødelighet på 10-20 %, dårlig vekst og økt stressrelatert dødelighet i forbindelse med håndtering. Gjelleinfeksjoner er multifaktorielle og ikke meldepliktig, noe som gjør det utfordrende å vite forekomsten og årsakene bak. Gjelleinfeksjoner regnes fortsatt som en av de vanligste årsakene til produksjonstap (3), og kan derfor ha betydelig innvirkning på dyrevelferden.

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

AGD forårsaker gjellebetennelse og påvirker respirasjon negativt. AGD blir klinisk uttrykt som slapphet, redusert appetitt, ansamlinger ved vannoverflaten og økt gjellelokkfrekvens (Kent mfl. 1988; Munday mfl. 1990). I noen tilfeller, og i fravær av behandling, kan dødeligheten nå ekstreme nivåer, som for eksempel det norske utbruddet i 2006 med over 80 % dødelighet (Steinum mfl. 2008).

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Makroskopisk evaluering av gjellene kan fortelle noe om tilstanden til gjellene og alvorlighetsgraden av eventuelle skader. For AGD finnes det et skåringssystem som kan brukes til å overvåke både infeksjonen og effektiviteten av behandlingen. For at skåringssystemet skal være effektivt er det viktig å ha riktig opplæring for å standardisere verktøyet samt for å unngå å skade de skjøre gjellene på levende fisk. Ved å bruke et mikroskop på gjelleprøvene, kan parasitter som *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-scoring kan brukes til behandlingsbeslutninger og evalueringer av effekten. Histopatologiske prøver kan gi en endelig diagnose, og kan gjøres relativt raskt ved laboratoriet. Makroskopisk evaluering av gjellene kan være viktig for å vurdere også den kliniske betydning av histologiske prøver.

Svakhet til indikatoren

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

3.2.5 Kondisjonsfaktor og andre betingende faktorer

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

Siden kondisjonsfaktoren er variabel og endrer seg med både livsstadium og sesong, er det vanskelig å oppgi klare verdier som er en indikasjon på redusert velferd, men en kondisjonsfaktor lavere enn 0,9 indikerer avmagring (Stien mfl. 2013). Tilstandsindeks av velferd inkluderer i tillegg til lengde-vekt forhold (kondisjonsfaktor) også organosomatiske indekser (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 (for organosomatiske indekser). Organosomatiske indekser sammenligner forholdet av vekten av et organ til kroppsvekten slik som; hepatosomatisk indeks (lever: kroppsvekt, HSI), gonadosomatisk indeks (gonader: kroppsvekt, GSI), innvollesomatisk indeks (hele innvoller: kroppsvekt, VSI), og miltsomatisk indeks (milt: kroppsvekt, SSI) (Barton mfl. 2002).

Styrke til indikatoren

Dette er enkle og billige metoder. En god indikator på den samlede tilstanden til fisken som for eksempel kan påvise kronisk stress (Barton 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.

Svakhet til indikatoren

Noen av kritikken om bruk av tilstandsindeks 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». Tilstandsindeks kan være påvirket av årstidene, utviklingsstadium, kjønnsmodning og sykdomstilstand. Det krever ofte store størrelseseffekter for å kunne oppdage stress og svekket velferd.

3.2.6 Grad av avmagring

I oppdrett vil noen oppdrettslaks ende opp med forkrøplet vekst, svært lav kondisjonsfaktor (tynn) og generelt dårlig utseende (Folkedal mfl. 2016, fig. 5.8.1). Disse er ofte referert til som «tapere», pinner, eller avmagret fisk. Kjennetegn på avmagret fisk er, i tillegg til deres ytre utseende, manglende eller lite buk fett, og fargeflekker på nyrene (melanisering). I tillegg viser fisken atferdsmessige forstyrrelser som treg og «sløv» svømming langs notveggen nær overflaten. De står

ofte alene adskilt fra hovedgruppen. Disse individene er ofte tungt infisert med indre parasitter (eksempelvis bendelorm), men det er ikke kjent om dette er en årsak eller konsekvens av ernæringstilstanden. Laks kan bli avmagret av ulike grunner, inkludert sykdom (Hjeltnes mfl. 2016). Laksen kan også bli syk grunnet ufullstendig smoltifisering (Duston, 1994; Hjeltnes mfl. 2016), lakselus (Finstad mfl. 2011), stress (Huntingford mfl. 2006) og negativt sosialt miljø (Jobling & Reinsnes 1986; Adams mfl. 2000). Overføring fra ferskvann til sjø medfører et helt nytt og mer variabelt miljø som sammen med transportstress kan gjøre at individer slutter å spise eller går over til dyreplanktondiett. Dyreplanktondiett gir lavere vekst enn kommersielt fôr, og planktontilgangen kan være begrenset. Dette er noe som gjør at disse individene vokser dårlig. Zooplanktondiett kan også føre til infeksjoner av kveis (*Anisakis* sp.), som har blitt funnet i utmagrede, men ikke friske, individer (Levsen & Maage, 2015).

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til Indikatoren.

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



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

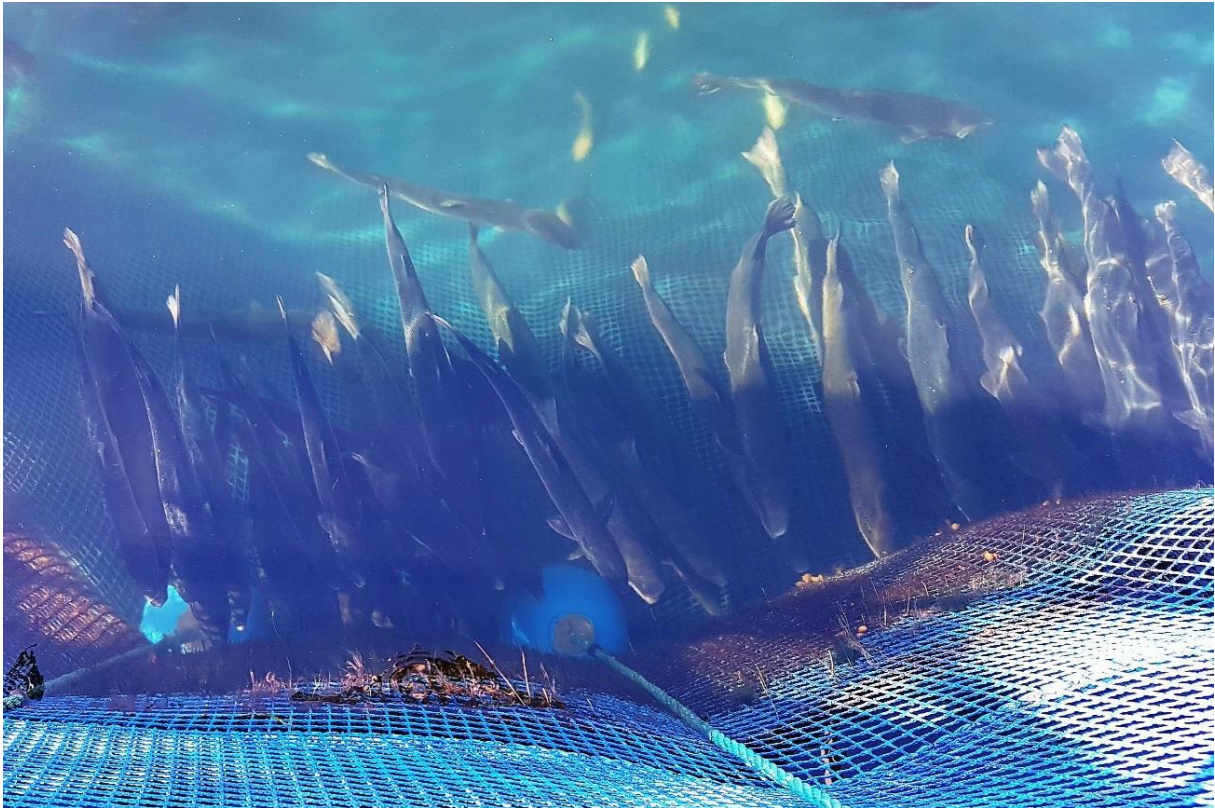
3.2.7 Kjønnsmodning

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Som med prøvetaking for fisk ved andre individuelle basert OVI'er er det svært vanskelig å anslå hvor stor andel av fisken som er kjønnsmoden, da deres avvikende atferd vil påvirke hvor representert de er i prøvetaket. Tidlig kjønnsmodning kan oppdages via økte nivåer av hormoner tidlig i vårsesongen

(Pall mfl. 2006), mens de første synlige tegnene på kjønnsmodning vanligvis blir observert i juni, som økt GSI hos kjønnsmodne individer (F. Oppedal, pers. komm.). Kroppsvekt og kjøttkvalitet begynner å bli negativt påvirket av kjønnsmodning mot slutten av sommeren (Aksnes mfl. 1986).



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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.8 Smoltifiseringsstatus

Fysiologiske forstyrrelser i løpet av eksponering for sjøvann er større ved høy (> 14 ° C) sammenliknet med mellom (10 ° C), og lav (<7 ° C) temperatur. Dette kan føre til langvarig osmotisk stress og økt dødelighet (Sigholt & Finstad, 1990; Handeland mfl. 2000, 2003). Overføring av laks til fullt sjøvann (34 – 35 ‰) før de er helt smoltifisert, gir høy dødelighet og hemmet vekst i et tidsrom på 1-2 måneder, selv ved normale temperaturer (Duston, 1994). Disse problemene er mindre alvorlige, men fortsatt tilstede ved overføring til brakkevann på 20 ‰ (Bjerknes mfl. 1992; Duston, 1994). Fullt

smoltifisert fisk har få problemer med osmoregulering i sjøvann (Duston, 1994). Det er derfor viktig å sikre at alle fiskene har fullført smoltifiseringen før de blir overført til sjø (Fig. 3.2.8-1).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

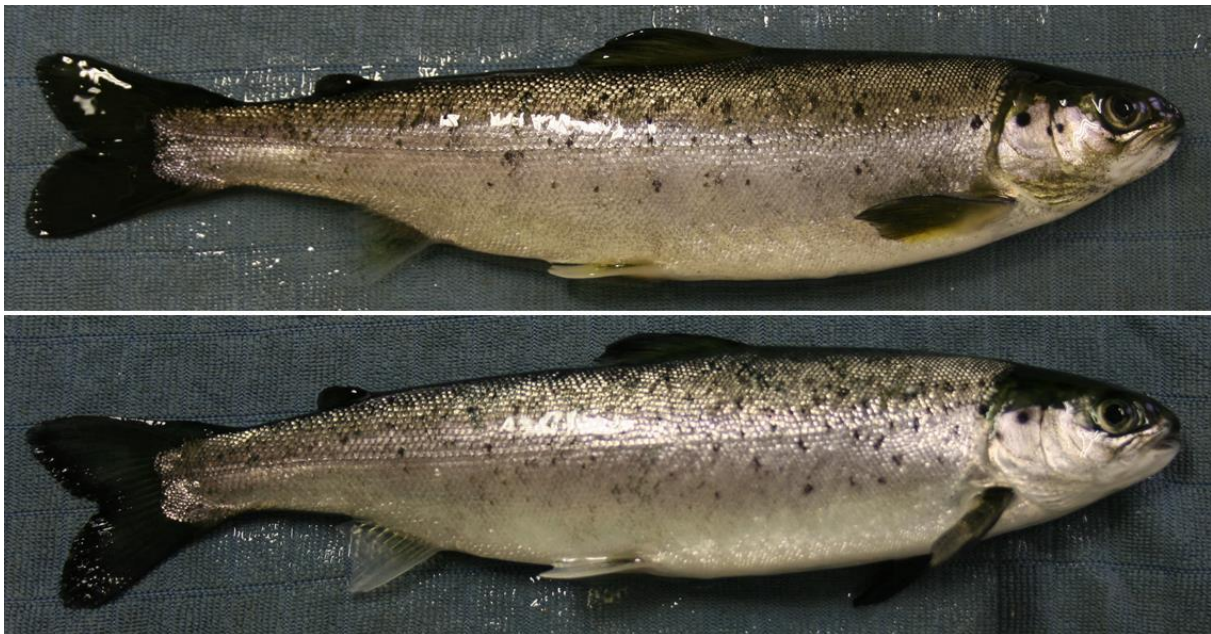
https://www.pharmaganalytiq.com/sfiles/75/1/file/v6_prosedyre_010601_vurdering_av_smoltindeks.pdf

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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



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

3.2.9 Ryggdeformiteter

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

I tillegg til å ha en økonomisk betydning medfører ryggdeformiteter velferdsimplikasjoner. Opplysninger etter en radiologisk undersøkelse utført av Hansen mfl. (2010) viste at veksten til atlantisk laks er signifikant korrelert med mengden av deformerte ryggvirvler i enkeltindivider. Disse dataene er i samsvar med tidligere studier som har antydning 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 & 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 & 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 & Turnbull, 2008). Deres nedsatte bevegelser kan også resultere i en større mottakelighet for smittsomme sykdommer. Det er lite publiserte bevis som knytter ryggvirveldeformiteter til smittsomme sykdommer, men det er rimelig å anta at dårlig svømmeferdighet kan resultere i større smittetrykk som lakselus, og forvisning til sub-optimale deler av merden som kan føre til fysiske skader med etterfølgende sekundære infeksjoner (Samsing mfl. 2015).

Observerte ryggmisdannelser hos oppdrettslaks har tidligere blitt beskrevet som (a) komprimering (b) sammenvoksing (fusjon) (c) leddstivhet (ankylose) og (d) forvridning (Fjelldal mfl. 2007). Selv om det finnes et omfattende system for klassifisering av ryggdeformiteter i humanmedisinen (Fardon & Millette, 2001; Kaplan mfl. 2005), har det ennå ikke blitt utviklet et for atlantisk laks (Kvellestad mfl. 2000). Witten mfl. (2009) utviklet et mer sofistikert system for kategorisering av ryggvirveldeformiteter hos atlantisk laks, som kan bidra til å etablere forbindelser mellom ulike deformiteter og spesifikk etiologi. Tidligere studier har også antydning metoder for klassifisering av skjelettdeformiteter i andre fiskearter (f.eks. Boglione mfl. 2001).

I atlantisk laks og andre fiskearter har forskning identifisert ulike risikofaktorer i forbindelse med vertebrale deformiteter. Disse omfatter ulike ernæringsmessige faktorer (Dabrowski mfl. 1990; Cahu mfl. 2003; Gorman & Breden, 2007), smittsomme sykdommer (Kent mfl. 1989), egginkubasjonstemperatur (Ørnsrud mfl. 2004; Fitzsimmons & Perutz, 2006), rask vekst i nullårs-smolt (Fjelldal mfl. 2006; Fjelldal mfl. 2008), vaksinasjon (Berg mfl. 2006), vannstrøm og -kvalitet (Divanach mfl. 1997), miljøforurensning (Sfakianakis mfl. 2006), og triploditet (Fjelldal & Hansen, 2010; Leclercq mfl. 2011; Fraser mfl. 2012; 2015).

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Ryggvirveldeformasjon kan graderes fra mindre til alvorlig (se scoringsark). 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. Witten (2009) har definert ni (9) forskjellige typer vertebralmisdannelse: 1) Redusert intervertebral plass, 2) homogen komprimering, 3) komprimering og redusert intervertebral plass, 4) komprimering uten X-struktur, 5) ensidig komprimering, 6) kompresjon og fusjon, 7) fullstendig fusjon, 8) fusjon sentrum og 9) forlengelse.

Styrke til indikatoren

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





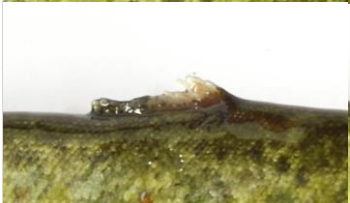

Svakhet til indikatoren

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

3.2.10 Finneskade og –status

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

Finneskader kan klassifiseres på mange forskjellige måter i henhold til forfatterens preferanser eller bakgrunn (se Noble mfl. 2012). MacLean mfl. (2000) 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 3.2.10-1).

Aktiv skade, splitting og blødninger	Ingen skade eller glatte og helbredet eller sunne vev	Gjenværende finne
		3 Meste av finnen består
		2 Halparten av finnen består
		1 Veldig lite av finnen består
A AKTIV	H HELBREDET	

Figur 3.2.10-1. Foreløpig forslag til en oppdatert, operasjonell finneskadescore for laks og ørret.

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 aktiv finneskader kan være en åpning for sykdomsfremkallende infeksjoner til å etablere seg (se figur 3.2.10.1.) (Turnbull mfl. 1996; Andrews mfl. 2014 og se også Noble mfl. 2012 og referanser deri), da den epidermale barrieren ødelegges (Andrews mfl. 2014). Det må presiseres at forholdet mellom i) alvorlighetsgrad, ii) frekvens og iii) type finneskader og velferd, ikke fullstendig klar. Spesielt gjelder dette med hensyn til forskjellige arter og livsstadier (Ellis mfl. 2008; Noble mfl. 2012). Risikoen kan også variere avhengig av hvilken livsfase laksen er i. Eksempelvis i parr kan tapet av brystfinner redusere kapasiteten til å holde seg i posisjon (Arnold mfl. 1991). Mens den i smolt og post-smolt, kan utsette dyrene for osmotisk ubalanse (Andrews mfl. 2014).

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 & Djupvik, 1998).

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

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

Det skjer fargeendringer i huden hos fisk under ulik grad av stress. Kittilsen mfl. (2009) viste at stressresponsen gjenspeiles i det visuelle inntrykket av to arter av beinfisk; regnbueørret og laks. Laksens og ørretens hud varierte fra nesten flekkfri til tett flekket, med svarte flekker dannet av melanin-produserende kromatoforer. Hos regnbueørret med lav kortisol-respons var huden mer gjennomgående flekket. Lignende viste laks med flere flekker lignende egenskaper som regnbueørret med reduserte fysiologiske og atferdsmessige reaksjoner på stress. Men flere studier må gjøres på ulike laksestammer for å bekrefte om denne egenskapen er en vedvarende egenskap som kan brukes som en OVI.

Når det gjelder effekter på fiskevelferden, vil epidermale skader på friskt vev påvirke nociceptorene og smerteopplevelsen av et sår (Kotrschal mfl. 1993). Epidermale skader påvirker de fysiske velferdsbehov hos atlantisk laks med hensyn til i) osmotisk balanse, ii) helse og atferdsmessige behov for iii) beskyttelse selv om dette varierer med livsstadium. For eksempel trenger yngel og parr- god helse og beskyttelse, mens smolt og post-smolt trenger osmotisk balanse, gode helse forutsetninger og beskyttelse. Epidermal skade er redegjort for i ulike nasjonale velferdsordninger. RSPCA for laks (2015) anbefaler at et utvalg av 50 fisk bør undersøkes under slakting. Eventuelle epidermale skader og lesjoner over 25 mm bør bemerkes og responderes på ved hjelp av utstyr eller bedre undersøkelser. Man foreslår også at epidermal skade bør bli vurdert utfra en skala på 0, 1 og 2 (ingen / lett / alvorlig - a) ingen, b) < 10% hver side og c) overfladisk > 10% hver side og / eller dyp hud skade), og brukes i mulige velferdsovervåkingsprogrammer. Håndtering av traumer kan også ha innvirkning på eksterne (og interne) morfologiske indikatorer. For eksempel, kan klemskader fra håv eller fisk som tilfeldigvis blir fanget i en lukkende pumpeventil, bli gitt diagnose via tydelig skade på overhuden og også som potensiell underhuds- (subkutan) skade.

3.2.12 Øyeskade og øyetilstand

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

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

Tabell 3.2.12-1. Øyeskade, årsaker og risikofaktorer

Øyeskade	Risikofaktorer	Effekter på velferd	Redusere risiko ved å	References
Mekaniskskade	Håndtering Håving Pumping Sortering	Antatt smertefullt; huden rundt øynene og hornhinnen har smertereseptorer. Sekundære infeksjoner. Kan miste synet.	Vakuumpumpe i stedet for manuell håving. Individuell håving. Optimalisere utstyr til håndtering.	Noble mfl. (2012) Pettersen mfl. (2014) Gismervik mfl. (2016) Chervova (1997) Sneddon (2009)
Utstående øyne (Eksoftalmus)	Mikroorganismer Kardiovaskulære problemer Ødem Trauma Gassblære syke Super-overmetning (>110% saturation) Generell sykdom	Avhengig av årsak, men er et tydelig tegn på kompromittert velferd Risiko for blindhet.	Avhengig av årsak	Poppe (1999) Noble mfl. (2012) Pettersen mfl. (2014)
Øye-snapping	Fôrrutiner Lysforhold	Antatt smertefullt. Sekundære infeksjoner, og eventuelt død.	Unngå å skape skyggeforhold/ujevn belysning i kar. Optimal fôring.	Noble mfl. (2012) 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 øyebledninger. Parasittene kan gi høy dødelighet (post-smolt).	Unngå parvicapsulosis	Pettersen mfl. (2014) Hjeltnes mfl. (ed) (2016)
Skader fra irritanter	Kjemiske stoffer Termiske Toksiske UV-lys	Smerte og nedsatt syn.	Avhengig av årsak, bla. unngå overdosering av legemidler.	Pettersen mfl. (2014)

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

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

3.2.13 Deformerte gjellelokk

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

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

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

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

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



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

Prøvetaking og analytiske betraktninger angående morfologiske VI.

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

Kvantitative vurderinger av morfologiske OVI'er er mulig å gjennomføre relativt raskt ved merdkanten, men er avhengig av prøvetaking og manuell håndtering av fisken. Prøvetakingen må gjøres forsiktig for å ikke skade fisken, og på en slik måte at den fangede fisken er representativ for populasjonen i merden eller karet. Dette er tidkrevende, arbeidskrevende og kan forstyrre både fisk



















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

Vi har brukt et 0-3 scoresystem for:










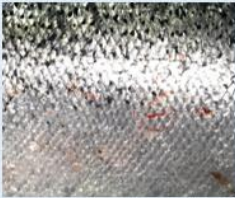








- i) avmagring, ii) hudblødninger, iii) skader/sår, iv) skjelltap, v) øyeblikninger og utstående øye, vi) gjellelokkskade, vii) snuteskade, viii) rygggrad-deformiteter, ix) overkjevemisdannelser, x) underkjevemisdannelser, xi) lakselusinfeksjoner, xii) aktiv og helbredete finneskader.

Kataraktskader er klassifisert ved hjelp av en eksisterende og mye brukt 0-4 scoreordning (Wall og Bjerkås, 1999, Figur 3.2.13-3).






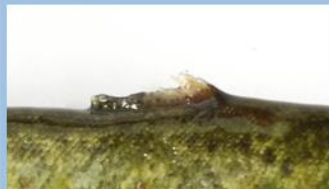
Tabell 3.2.13-2-del 1. Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. F. Turnbull, K. Gismervik, J. Nilsson. Foto: K. Gismervik, L. H. Stien, J. Nilsson, J. F. Turnbull, P. A. Sæther, I.K. Nerbøvik, I. Simeon, B. Tørud, B. Klakegg)

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

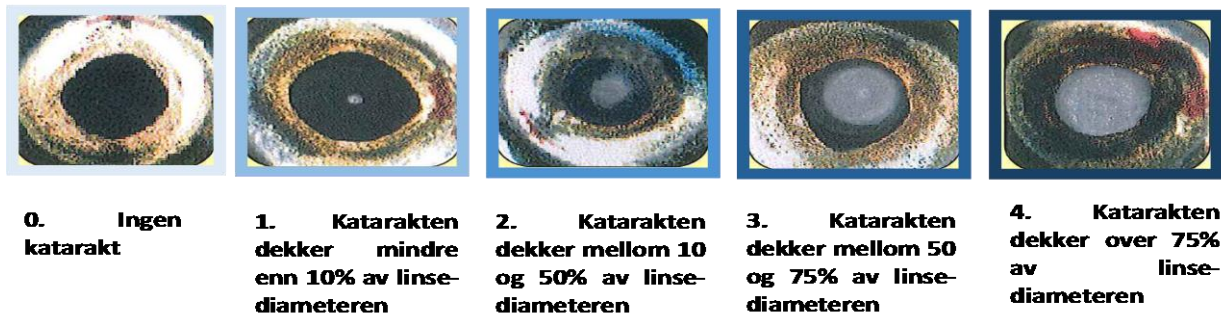
Tabell 3.2.13-2-del 2. Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. F. Turnbull, K. Gismervik, J. Nilsson. Foto: K. Gismervik, L. H. Stien, J. Nilsson, J. F. Turnbull, P. A. Sæther, I.K. Nerbøvik, I. Simeon, B. Tørud, B. Klakegg)

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

Tabell 3.2.13-2-del 3. Morfologisk scoresystem for diagnostikk og klassifisering av viktige eksterne morfologiskeskader. Nivå 0: Liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelsen av denne VI, det vil si normal (ikke vist). Nivå 1-3; VI gradvis blir verre. (Figur: C. Noble, D. Izquierdo-Gomez, L. H. Stien, J. F. Turnbull, K. Gismervik, J. Nilsson. Foto: K. Gismervik, L. H. Stien, J. Nilsson, J. F. Turnbull, P. A. Sæther, I.K. Nerbøvik, I. Simeon, B. Tørud, B. Klakegg)

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

*Splitting og/eller blødende sår



Figur 3.2.13-3. Morfologiske scoresystem for diagnostikk og klassifisering av katarakt hos laks (etter Wall og Bjerkås, 1999). Figur: David Izquierdo-Gomez, Foto og tekst: T. Wall.

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.

3.2.14 Indre organer

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.15 Vaksinerelatert patologi

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

I Norge benyttes hovedsakelig oljebaserte multivalente vaksiner til vaksinering av laks og regnbueørret, vaksiner som injiseres i fiskens bukhule. Det brukes også en del dypp og badevaksiner, men disse har ikke kjente bivirkninger. De første oljebaserte vaksiner kom på markedet i begynnelsen av nittitallet. På de første 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 adjuvanten også til de negative bivirkningene hos fisk. Endringene i vaksineformuleringene i løpet av årene er et resultat av et ønske om å balansere forholdet mellom effekt og bivirkning. Formålet er å kunne oppnå full beskyttelse gjennom hele produksjonssyklusen, mens bivirkninger minimaliseres.

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

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. 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. God fiskevelferd er avhengig av minimale vaksinebivirkninger, og det er derfor viktig å overvåke bivirkninger, for å arbeide for en kontinuerlig forbedring av vaksineformulering og optimalisering av vaksinasjonsrutinene.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Tabell 3.2.15-1. Spielberg Skala, gjengitt fra Midtlyng mfl. 1996b Resultatene baserer seg på det visuelle inntrykket av bukhalen og alvorlighetsgrad av lesjoner.

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

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 & Breck, 1997).



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



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



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



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



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



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

Figur 3.2.15-2. Spielbergsskala for innvollsskader etter intraperitoneal vaksinerings av laks. *Figur: David Izquierdo-Gomez. Foto og tekst: Lars Spielberg.*

3.2.16 Plasmakortisol

De fysiologiske responser til økte plasmakatekolaminer (CA) og kortisol blir ofte påvist i sekundære og tertiære stressresponser. Sekundære stressresponser blir ofte kategorisert som et resultat av den primære stressresponsen på ulike målbare fysiologiske parametre på celle- og organnivå. Mens tertiære stressresponser ofte refererer til de primære og sekundære effekter på individet, populasjonen eller hele økosystemer. Denne klassifiseringen er forenklet, da stress avhenger av omfanget og varigheten av responsen, som kan påvirke fisk på alle nivåer fra molekylært- og biokjemisk- til populasjonsnivå (Wedemeyer, 1996). Da CAer 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 & Iwama, 1991; Wendelaar Bonga, 2011).

Plasmakortisol synes å være en god kandidat til å vurdere det psykologiske aspektet av følelsesdelen innen dyrevelferd. De fleste av studiene om fisk og følelser, har fokusert på neurofysiologi og atferd (Chandroo mfl. 2004a, 2004b; 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. 2012; Schreck, 1981).

Laks regulerer plasmakortisol innenfor snevre grenser, og viser en daglig rytme i forhold til sine hvilenivåer av plasma kortisol (ustresset fisk) (Ebbesson mfl. 2008). Iversen & Eliassen (2012) viste at det var en signifikant sammenheng mellom høye hvilenivåer av plasma kortisol i vanlig smoltproduksjon og dødelighet etter overføring til sjø. Hvis hvilenivåene av plasmakortisol ble holdt over 50 nmol/l (18,1 ng/ml) i løpet av produksjonen av smolt, økte den relative risikoen for å få en dødelighet over 5% etter 90 dager i sjøen med 3,1 ganger. Risikoen for en sykdomsdiagnose øktevillig økt med hele 4,9 ganger. Lignende studier av hvilenivå av plasmakortisol har vist at en ustresset fisk hadde et utgangsnivå så lavt som 13,8 nmol/l, mens kronisk stresset fisk hadde et hvilenivå over 27,5 nM (Maule mfl. 1987; Pickering & Pottinger, 1989; Van Zwol mfl. 2012). Imidlertid har nyere studier vist at plasmakortisol kan ha både en positiv og en negativ effekt på fysiologien av dyret og dets overlevelsessevne, avhengig av størrelsen og varigheten av hormonet (Maule mfl. 1989; Davis, 2006; Iversen og Eliassen, 2014).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Steroidhormoner er vanligvis målt ved hjelp av enten radio-immunologiske-analyse (RIA) eller enzytbundet 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 & Eliassen, 2012; Iversen & 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 & Eliassen, 2014).

Svakhet til indikatoren

Sirkulerende plasmakortisol reagerer raskt (i praksis ofte innen 5-10 min) på håndtering i forbindelse med prøvetaking. Det ofte vanskelig å måle hvilenivåer i fisk. Men dette kan motvirkes ved hjelp av en bedøvelse som blokkerer responsen fra HPI-aksen (Iversen & Eliassen, 2009; Iversen mfl. 2003; Small, 2003, 2004). Sammenhengene mellom både hvile- og stressrelatert kortisolnivå, og fremtidige resultater og overlevelse er kontekst-spesifikke. Resultatene kan dermed være vanskelig å tolke (Sopinka mfl. 2016). Dette innebærer relativt kompliserte analyser, som det tar en (1) til to (2) dager å fullføre. Dermed representerer dette en typisk LABVI.

Tabell 3.2.16-1. Oppsummering av viktige faktorer som påvirker ulike metoder som ikke krever blodprøvetaking av kortisol- (steroid)overvåking i fisk (Modifisert og tilpasset etter Ellis mfl. 2013 og Scott mfl. 2008).

	Vannprøver			
	Slim og skjell	Dynamisk (Gjennomstrømming)	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	Krever spesielt forsøksoppsett; 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 (ikke 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 & Hyndman, 2006; Evans mfl. 2005; Evans, 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 (sjøkvannsfisk) sin indre osmolalitet lavere enn det omgivende miljøet. Anadrome arter som atlantisk laks og regnbueørret bytter mellom hypo- og hyperosmotisk miljø i løpet av migrasjon fra fersk- til sjøvann og tilbake (McCormick, 2013). Tabell 3.2.18-1. viser ionesammensetning og osmolalitet i fisk, og generelt forsøker fisk å holde en osmolalitet mellom 290-340 mOsm/kg, uavhengig av omgivende saltholdighet. Betydelige avvik fra disse grensene vil forårsake dødelighet (McCormick, 2013).

Arnesen mfl. (1998) rapporterte at typisk osmolalitet i ferskvann var omtrent 320 mOsm/kg, mens osmolaliteten varierte mellom 325-345 mOsm/kg i smoltifisert laks.

Frigivelsen av kortisol i blodet er en primær stressrespons hos fisk, og en av de viktigste fysiologiske rollene til kortisol er regulering av hydromineralbalansen og energimetabolismen i fisk. Derfor er endringer i plasma osmolalitet, klorid og magnesium alle en funksjon i den sekundære stressresponsen (Veiseth mfl. 2006). Plasma osmolalitet og ionsammensetningen kan derfor være nyttige indikatorer i vurderingen av effektiviteten i gjeller, tarm og nyre for å opprettholde en hydromineralbalanse både i ferskvann og sjøvann (Mommensen mfl. 1999; Wendelaar Bonga, 1997). Tidligere studier har vist at plasma osmolalitet og ionekonsentrasjonen går ned i ferskvannstilpasset fisk og øker i sjøvannstilpasset fisk som respons på behandling eller håndtering (Barton, 2002; Barton & Iwama, 1991; Iversen mfl. 1998). Andre studier kan derimot ikke påvise slike endringer i osmolalitet (Barton & 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; Trischitta mfl. 2005).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.18 Ionesammensetting

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

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

I ferskvannsfasen, varierer natrium og klorid i fisken henholdsvis mellom 130 til 150 mmol/l og 111 til 135 mmol/l. I perioden før smoltifisering, kan man også se en liten nedgang under normalverdiene i ferskvann (Folmar og Dickhoff, 1980). I sjøvann øker ioner litt i post-smolt, og varierer mellom 130-160 (Cl⁻) til 140-175 mmol/l (Na⁺) (Arnesen mfl. 1998; Handeland mfl. 1998; Handeland mfl. 2000;

Iversen mfl. 2009; Iversen mfl. 1998; Sigholt & Finstad, 1990; Staurnes mfl. 2001). 24 til 72 timers sjøvannstester (Blackburn & Clarke, 1989) brukes ofte for å kontrollere om laksen er klar for overføring til sjø. Natrium og klorid under henholdsvis 160 og 150 mmol/l i lpost-smolt anses som tilstrekkelig for å overleve og vokse i sjøvann (Blackburn & Clarke, 1989; Finstad mfl. 1988). Forsiktighet i tolking av sjøvannstester bør utøves, da ione- og vannbalansen etter overføring til sjøvann blir påvirket av temperatur (Finstad mfl. 1988; Handeland mfl. 2000; Handeland mfl. 2004). Handeland mfl. (2000) viste at utsett i sjø ved for høye temperaturer resulterte i en hurtig økning i plasmaklorid nivåene, og en økning av dehydrering i vevet i løpet av 24 timer. Mens lave temperaturer resulterte i en forsinket osmotisk forstyrrelse, og en forlenget periode av osmotisk stress.

Marin fisk drikker sjøvann for å kompensere for osmotisk drevet vanntap og for å unngå dehydrering, og samtidig må de eliminere toverdige ioner som Mg^{2+} og SO_4^{2-} fra kroppsvæskene under denne prosessen (Redding & Schreck, 1983). Plasma magnesium (Mg^{2+}) opptak og utskillelse skjer via tarm og nyrer (Redding & Schreck, 1983). Kirschner mfl. (1974) konkluderte imidlertid med at gjelleepitelet til regnbueørret var lett gjennomtrengelig for Mg^{2+} . I de fleste tilfeller overstiger ikke den totale magnesiumkonsentrasjoner av blodplasma hos 2 mmol/l og den ioniske konsentrasjon er normalt mindre enn 1 mmol/l uavhengig av saltholdigheten (Iversen & Eliassen, 2009; Iversen mfl. 2009; Iversen & Eliassen, 2014; Liebert & Schreck, 2006).

Tabell 3.2.18-1. Rapportert normalverdier av ionesammensetningen i blodplasma hos fisk (Arnesen mfl. 1998; Evans, 1979; Evans, 1993; Handeland mfl. 1998; Handeland mfl. 2000; Iversen & Eliassen, 2009; Iversen mfl. 2009).

	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

Plasmaklorid (Cl⁻).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

Plasmanatrium (Na⁺).

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

Plasmamagnesium (Mg²⁺).

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.19 Glukose

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

nivå av leverglykogen (Olsen mfl. 2003). Allikevel blir ikke glukosenivå merkbart påvirket av kostholdets sammensetning i laks (Krogdahl mfl. 2004).

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

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

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

3.2.20 Laktat

Laktat er produktet av anaerob ATP produksjon (glykolyse) i cellene, noe som forekommer når tilstrekkelig oksygen ikke er tilgjengelig for aerob cellemetabolisme. Årsaker til dette kan være redusert oksygennivået i vannet (Remen mfl. 2012) eller hard fysisk aktivitet (Milligan & Girard, 1993). Da laktat produseres primært i muskelcellene tar det litt tid før den vises i blodet, og responsen er forsinket med noen timer. Toppen av plasmalaktat under vanlige stressfaktorer som transport og håndtering, varierer fra 6,4 til 13,3 mmol/l (Hatløy, 2015; Iversen & Eliassen, 2009; Iversen mfl. 2003; Small, 2003, Tabell 3.2.20-1). Dette er ikke høye nivåer i forhold til nivåer målt (> 20 mmol/l) etter hard fysisk aktivitet og lufteksponering i flere arter laksefisk (Liebert & Schreck, 2006; Olsen mfl. 1995; Pagnotta & Milligan, 1991; Schreck mfl. 1976). Laktat er først og fremst en indikasjon på høy muskelaktivitet, som ofte er knyttet til stress. En typisk økning i laktat etter en stressende hendelse inntreffer en (1) til to (2) etter hendelsen, og i de fleste tilfeller vil dyret komme seg etter 6-12 timer (Hatløy, 2015).

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger angående glukose og laktat.

Glukose og laktat kan måles gjennom kolorimetriske analyser i plasma eller vevshomogenater. Laktat og glukose kan også bli målt i helblod ved hjelp av bærbare målere beregnet for diabetikere eller for atletisk trening. Wells & 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), spesielt hvor fisk jages og må håndteres (Wood mfl. 1990). De lett tilgjengelige bærbare målerne gjør både laktat og glukose billige og lette å måle. Dette gjøres ved hjelp av svært små blodprøver uten spesialutstyr, noe som gjør disse til gode parameter å kunne måle under feltforhold ved vurdering av akutte stressfaktorer. Merk at forsiktighet bør brukes og vurderes, når man sammenligner med andre målemetoder (Wells & Pankhurst, 1999).

Svakhet til indikatoren

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

3.2.21 Hematokrit

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

3.2.22 Rigor mortis (dødsstivhet) og muskel pH

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

Når pH-nivået når et visst nivå, påvirker den omformeringen av glykogen til melkesyre som produserer nytt ATP, og til slutt stopper produksjonen fullstendig (Robb, 2001). Rigor mortis prosessen starter når ATP-nivået når et minimum (Robb, 2001). Det er første kontraktifase, som karakteriseres ved at muskelfibrene kontraherer. Deretter inntreer andre fase hvor stivhet oppstår ved en permanent binding av de kontraktile proteinene myosin og aktin (Törnberg mfl. 2000). I full rigor mortis har nesten alle myosin hodene danne kryss broer til aktin på en unormal, fast og motstandsdyktig måte (Schmidt-Nielsen, 1997).

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

Start og varighet av rigor mortis, er sterkt avhengig av lagringstemperatur. For å få nøyaktige mål må man gjennomføre prøver på fisken flere ganger for å få en kurve som viser rigor utvikling, og dermed rigor styrke og utvikling i tid. Å måle muskel hardhet ved sondering vil påvirke fisken sin muskeltekstur, og hyppige undersøkelser på samme sted kan derfor gi unøyaktige resultater. De ulike

transformasjonsprosessene begynner umiddelbart etter slakting. Spesielt for muskel pH er det viktig å begynne å overvåke med en gang for å få et korrekt nullpunkt (Kristoffersen mfl. 2006). Dette er også en stor svakhet med å bruke muskel pH etter slakting, og en anbefaler ikke å bruke muskel pH som eneste alenestående VI.

3.2.23 Slim

Slim er et biokjemisk grensesnitt mellom fisken og det omkringliggende vannet. Den dekker alle overflater av fisken som er i kontakt med det ytre miljøet eller i kontakt med gjenstander fra det ytre miljøet, inkludert huden, gjellene og tarmen (Castro & 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 & 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 andre sekretoriske og ikke-sekretoriske celler også kan bidra til produksjonen. Gobletcellene produserer slimete granuler som frigjør innholdet på celleoverflaten i epitelet (Elliott, 2011). Slimproduksjonshastigheten er avhengig av sammensetningen og overflaten av epidermale slimete cellene og omsetningshastigheten av disse cellene (Landeira-Dabarca mfl. 2014). Tetthet og størrelse på slim-celler påvirkes av miljøfaktorer, slik som økt saltholdighet (Shephard, 1994), høyt nitratnivå, lavt oksygen (Vatsos mfl. 2010), lav pH eller syreeksposering (Berntsen mfl. 1997, Ledy mfl. 2003), samt tilstedeværelsen av patogener (Nolan mfl. 1999) eller til og med ved lavt patogentrykk (Van Der Marel mfl. 2010).

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

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

Antall slimceller i atlantisk lakseskinn reduseres med 50% ved begynnelsen av smoltifisering (O'Byrne-Ring mfl. 2003) og variasjonen i visse hudslimproteiner og -lysozymaktivitet tyder på at slimproduksjonsdynamikk påvirkes av ulike livsstadier (Fagan mfl. 2003).

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. 2002). Fast mfl. (2002) viste at atlantisk laks hadde det tynneste epidermalelaget og den tynneste fordeling av slim-celler med den laveste aktiviteten av slim lysozym og proteaser sammenlignet med to andre laksefiskene i sjøvann. I tillegg hadde atlantisk laks i ferskvann høyere lysozymaktivitet sammenlignet med laks i sjøvann (Fast mfl. 2002).

En analyse av sammensetningen av epidermal slimproteiner hos atlantisk laks som var infisert med lakselus, viste økt proteolytisk aktivitet (Easy og Ross, 2009) og endringer i proteiner relatert til metabolisme, genuttrykk og antall immunrelaterte proteiner (Provan mfl. 2013). I tillegg forstyrrer en infeksjon med lakselus slimmikrobiomet i huden av atlantisk laks, noe som reduserer mikrobiell variasjon, øker redusert mangfold og en destabilisering av sammensetningen av det mikrobielle samfunnet (Llewellyn mfl. 2017). Endringene i sammensetningen av slim kan være relatert til reduksjonen i antall slimproduserende celler i lakseskinn etter en lakselussinfeksjon (Nolan mfl. 1999). Når atlantisk laks ble utfordret med *Vibrio* og *Aeromonas*, ble det registrert signifikant forhøyede dødeligheter hos fisk med hudssår og i fisk uten slimete epidermallag, sammenlignet med en kontrollgruppe med inntakt slimlag (Svendsen og Bøggwald, 1997).

En annen ektoparasitt, *Neoparamoeba perurans* som forårsaker amøbisk gjellesykdom (AGD), har vist seg å initiere overdreven slimproduksjon i gjellene (Koppang mfl. 2015) og påvirker proteinsammensetningen av både hud- og gjelleslim i laks (Valdenargo-Vega mfl. 2014).

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

Et tidligere forsøk (Easy og Ross, 2010) for å studere sammenhengen mellom stress (plasmakortisol) og endringer i slim enzym/proteinprofiler, viste positiv sammenheng etter en uke. De understreket imidlertid også at det var høye individuelle variasjoner i enzymnivåene, noe som tyder på andre mulige faktorer som kan forårsake for endringer i slimproteinsammensetning.

Laksesmolt produsert ved tettheter $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ viste strukturelle endringer i hudepitelet, samt endringer i messenger-RNA (mRNA) i endel slimrelaterte proteiner, mens en lav spesifikk vannstrøm ($\leq 0,3 \text{ L/kg/min}$) økte transkriptomet av proteiner relatert til stress og immunrespons i huden (Sveen mfl. 2016). Produksjonstemperaturen påvirker også hud- og slimtranskriptomet og sammensetning. Det ble vist at atlantisk laks produsert ved 4°C hadde en betydelig tykkere epidermis, både i rygg- og hoderegionen og lavere slimcelle tetthet sammenlignet med individer produsert ved 16°C (Jensen mfl. 2015b). Videre viste en analyse av hudtranskriptomet en økning i slim-mediert immunitet ved både høy og lav temperatur, og en oppregulering av et antall «varmesjokkproteiner» (HSP-70) ved 16°C som sammen med reduksjonen i epidermisk tykkelse antyder at det skjedde en stressrespons i huden ved denne temperaturen (Jensen mfl. 2015b).

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

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

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

Siden sliminnholdet og antallet slimhinne-celler er avhengig av fysiologiskstatus, miljøforhold, ernæringsstatus, kjønn og plass på kroppen (se ovenfor), er det svært viktig at alle disse faktorene blir tatt i betraktning ved bruk av slim som en velferdsindikator. Da en økning i slimsekresjon har vært korrelert med visse stressfulle situasjoner, for eksempel håndtering og bedøvelse før prøvetaking, har effekten av prøvetakingsprosedyren på slimsekresjon blitt stilt spørsmål ved (Koppang mfl. 2015). Samme forfattere konkluderer derfor at det kan være svært utfordrende å undersøke et slimlag i uforstyrret fisk. Det ville også være fordelaktig å undersøke effekten av forskjellige prøvetakingsmetoder på slimkomposisjon, og status av slimceller. Videre må prøvetakingsstedet på fisken også standardiseres når man 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 på eksternt laboratorium og ekspertise, er det for tiden en marginell LABVI, men som vitenskapen utvikler og forbedrer seg, så kan slimanalyse bli en svært verdifull LABVI eller OVI.

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

4 Miljøbaserte velferdsindikatorer

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

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

Velferdsindikator		Miljø				Helse				Atferd				Resurser		
		Respirasjon	Osmotiskbalanse	Termisk reg.	God vannkval.	Kroppspole	Hygiene	Beskyttelse	Sykdomsutfordring	Atferdsrestriksj.	Sosialkontakt	Hvile	Utforskning	Seksuell atferd	Spising	Ernæring
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		x					
	Overflatetilgang								x		x					
	Lys								x	x	x	x		x		
	Produksjonstetthet				x				x	x	x					

4.1 Vannkvalitetsbaserte velferdsindikatorer

4.1.1 Vanntemperatur

Fisk er vekselvarm, og deres fysiologiske og metabolske systemer må derfor være tilpasset det temperaturområdet de lever i. Temperaturen påvirker fiskens enzymatiske reaksjoner, hormonell- og nervøskontroll, fordøyelsesrate, respirasjon, osmoregulering, samt mange aspekter ved deres ytelse og atferd. Standard atferdsmessige endringer i forhold til stress ved kritiske temperaturer er forbundet med tap av likevekt, panikkatferd med hyppige kollisjoner med tanksidene, etterfulgt av roterende bevegelser med rask ventilering (Elliot og Elliot, 1995; EFSA 2008). Temperatur påvirker også mengden av oksygen som kan være oppløst i vann. Jo høyere vanntemperatur, desto mindre oksygen blir tilgjengelig for fisken.

Den foretrukne temperaturen for laks varierer for de forskjellige livsstadier.

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

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

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

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

I kar er vannet blandet og vanntemperaturen kan måles hvor som helst i vannet. I merder hvor temperaturen kan variere vesentlig etter dybde (Oppedal mfl. 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 laks. Andre VI'er påvirkes også, som oksygen, sykdom og parasitter (lakselus).

Svakhet til indikatoren

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

4.1.2 Saltholdighet

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

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

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Selv om det er lite som tyder på at saltholdighet har signifikant effekt på velferden til post-smolt laks, kan tilgangen til brakkvann være til nytte. I en merd som inneholder 10-400 000 individer er det sannsynlig at noen fisk har en kompromittert osmotisk balanse, på grunn av dårlig smoltifisering eller kjønnsmodning. Fisk infisert med AGD og lakselus vil også kunne dra fordel av tilgang til et lag med brakkvann (Oldham mfl. 2016). Den beste måten å måle om det er et lag med brakkvann, og hvor dypt det er, er ved hjelp av en CTD-sonde. En CTD er en sonde som måler ledningsevne, temperatur og dybde som langsomt senkes ned i vannet. Dette kan normalt gjøres fra en lekter, siden saltholdighetsprofilen er forholdsvis stabil i området ved et oppdrettsanlegg, og ikke vil variere mye fra merd til merd. En CTD gir høykvalitetsdata med temperatur og saltholdighet beregnet ut fra ledningsevne målinger, noe som gjør det mulig å identifisere den nøyaktige plasseringen av eventuelle overganger i saltholdighet.

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

4.1.3 Oksygen

Da fisk er vekselvarme vil deres metabolske rate og oksygenbehov øke ved økende vanntemperaturer (Brett, 1979; Fry, 1971; Pörtner 2010, Pörtner og Farrell, 2008; Remen mfl. 2013; Barnes mfl. 2011). I det oksygenmetning avtar (på grunn av økende vanntemperaturer) reduseres den metabolske marginen («scope»). Når oksygenmetningen synker under et visst nivå (DO_{maxFI}), medfører dette også til å redusere appetitten og fôrintaket (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, og selv om fisken overlever vil velferden være negativt påvirket. En kortere periode (timer, for eksempel under operasjoner) med slike nivåer, vil ikke ha alvorlige eller langvarige konsekvenser for velferden, men bør unngås så langt det er mulig. Man må videre ta hensyn til at LOS stiger ved plutselig høyere aktivitet i merdene (for eksempel panikkatferd), og man bør derfor unngå oksygenmetning ned til LOS.

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

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

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

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

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

Tabell 4.1.3-1. Nedre grense for oksygenmetning med maksimalt 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. Dette vil være i lesiden av vannstrømmen, og når vannstrømhastigheten er på det laveste i forbindelse med tidevannet (Oppedal mfl. 2011b). Da både løseligheten av oksygen i vann og fisk sitt oksygenbehov er avhengig av temperaturen, bør temperaturen måles sammen med oksygen. Ideelt sett bør oksygen måles som en vertikalprofil ved hjelp av en CTD som samtidig måler andre miljøbaserte indikatorer, slik som temperatur og saltholdighet. Oksygenmåler er også integrert i noen kamerasystemer som brukes i merder. Oksygensonder skal kontrolleres og kalibreres med jevne mellomrom, og vise 100% metning når den eksponeres i luft.

Styrke til indikatoren.

Oksygenmetning er enkel og rask å måle og tolke.

Svakhet til indikatoren.

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

4.1.4 Karbondioksid (CO₂)

Høyt karbondioksyddinnhold 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). 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 vann CO₂ (Fivelstad, 2013). Og forhøyede blodkonsentrasjoner av CO₂ reduseres blodet sitt oksygenbærende evne (Wood & Jackson, 1980). Laks 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). Langvarig eksponering (uker og måneder) til forhøyede CO₂-nivåer har vist negative effekter på vekst i 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). Noe som i senere studier har blitt funnet å være forbigående ved kronisk høye eksponering, noe som tyder på akklimatisering til forhøyet CO₂ (Fivelstad mfl. 2003; Hosfeld mfl. 2008). Dette innebærer fysiologisk tilpasning og kortvarig innvirkning på oksygentilgjengelighet, men en mulig langsiktig virkning (måneder) med svelling av erytrocyttene (Fivelstad mfl. 2003). For post-smolt holdt i sjøvann ved 15 til 16°C, vil en CO₂-konsentrasjon på 10,6 mg/l ikke påvirke blodparametere (hematokrit, plasmaklorid og natrium-plasma) eller vekst. Ved 26 mg/l reduserte dette plasmaklorid, og ved 44 mg/l økte plasmanatrium og pH, og reduserte plasma klorid, oksygenforbruk og vekst (Fivelstad mfl. 1998). Graden av effekten av CO₂ er avhengig av temperaturen. Fivelstad mfl. (2007) fant ut at

vektreduksjonen på grunn av høyt CO₂ var mye lavere ved 15°C (ca. 30% reduksjon) enn ved 5 ° C, hvor det var nesten ingen vekst i løpet av 47 dager med eksponering på 43 mg CO₂/l. Karbondioksidet sin toksisitet er avhengig av andre faktorer, særlig vanns ledningsevne (alkaliteten) (Summerfelt mfl. 2000), og generelt trygge nivåer er derfor vanskelig å angi. For norsk produksjon av smolt benyttes en grense på 15 mg/l. Men det bør merkes at negative effekter på vekst og kondisjonsfaktor, har imidlertid blitt funnet ved konsentrasjoner under 10 mg/l hos yngel og smolt (studier sammenfattet i Fivelstad, 2013).

- **Anbefalt maksimale nivå av CO₂ 15 mg/l (FOR, 2004)**

Prøvetaking og analytiske betraktninger

CO₂ bør måles jevnlig i ferskvannsfasen eller under landbasertproduksjon av post-smolt, særlig i tilfeller hvor biomassen er høy og vannstrømmen og vannutvekslingen i systemet er lav. Målinger av CO₂ bør fortrinnsvis gjøres utløpet av karet. CO₂ kan måles ved bruk av håndholdte instrumenter eller «in-line» selvstående instrumenter eller prober som er koblet til større overvåkingssystemer. Det finnes hovedsakelig to måter å måle 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 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 metode er billigere, men de er avhengige av nøyaktig måling av pH. I tillegg kan interferens fra antallet stoffer i vann forekomme, noe som påvirke alkalitet og dermed redusere presisjonen av denne metoden.

Styrke til indikatoren

Blodkonsentrasjoner av 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 ble kronisk eksponert for denne gassen, og om dette har forårsaket noen langsiktige konsekvenser for fisken.

Kunnskapsmangel

Gasser i vann – total gasstrykk og nitrogen overmetning.

- Total gasstrykk i vann brukes ikke bare til å bestemme det totale trykket i vann, men brukes også til å bestemme mengde og metningsgraden (%) av oppløst nitrogengass i vann.
- Hvis metningen av nitrogen overskrider 100% kan fisk utvikle gassblæresyke. Det synes til at yngel er mer utsatt enn voksne fisk (Weitkamp & Katz, 1980). Hos laksearter som atlantisk laks og regnbueørret har det blitt observert negative effekter på fisken ved nitrogenovermetninger over 102% (Lekang, 2007), og Lekang (2007) anbefaler en grense under 100,5% N₂. Tilsvarende mente Wedemayer (1997) at N₂ metningen i intensive produksjonssystemer burde ligge under 110%.
- Siden det foreligger lite data og mye usikkerhet rundt laks sin toleranse til nitrogengassovermetning anbefaler en at man bruker ovennevnte grenseverdier som retningslinjer, og ikke som absolutte grenser til mer kunnskap foreligger.

4.1.5 pH

pH-verdien (hydrogen-ioner: H^+) av ferskvann er i de fleste tilfeller positivt korrelert med vannhardheten (oppløst kalsiumkonsentrasjon). Fisk er utsatt for surt vann som: 1) høye H^+ nivåer resulterer i tap av Ca^{2+} i gjelleepitelet, og kan forårsake osmoregulatoriske problemer (tap av Na^+ og Cl^-), og blodacidose. 2) Aluminium-konsentrasjoner er omvendt korrelert med pH-verdien. Det inkluderer toksiske effekter respiratoriske problemer med Al-binding til inter- lamellære mukus, redusert membranfluiditet og osmoregulatoriske problemer ved tap av ioner (Havas og Rosseland, 1995). Giftigheten av aluminium er avhengig av dets kjemiske tilstand, interaksjoner med H^+ og organiske syrer, og vil derfor variere med forskjellige vannkvaliteter (Havas og Rosseland, 1995). I Norge er ferskvann sin bufferkapasitet generelt lav, hvor ca. 20% av settefiskanleggene (perioden 1999-2001) hadde pH-verdi lavere enn 6 i deres inntaksvann (Rosten mfl. 2004). Tiltak for å øke pH-verdien i fiskeproduksjon omfatter tilføring av sjøvann, kalk eller silikat (Rosten mfl. 2004). Smolt er særlig utsatt for lav pH, tatt i betraktning deres osmoregulatoriske forberedelse til overgangen til sjøvann. Naturlige svingninger i pH-verdien grunnet fortynning av kalsiumkonsentrasjon i vannet ved regn og snø-smelting kan øke andelen uorganiske monomert aluminium. Dette kan føre til økt dødelighet hos pre-smolts (Henriksen mfl. 1984).

Under langtidseksposering (3 måneder) ved lav pH (4,2-4,7), vil både vekst og smoltifisering bli hemmet hos lakseparr (Saunders mfl. 1983). I produksjonsenheter vil en opphopning av CO_2 senke pH-verdien, og endre de kjemiske egenskapene til aluminium. Fivelstad mfl. (2003) undersøkte industri CO_2 -drevet nedgang i pH i laksesmolt. Til tross for lave nivåer av labile aluminiumkonsentrasjoner opplevde oppdrettsfisk ved lav pH-verdi på henholdsvis 6 og 5,7 en 5 og 7 ganger stor gjelleavsetning av aluminium sammenlignet med en kontrollgruppe produsert ved pH 6,6. Den lave pH-verdien ga redusert plasmaklorid, gjelle $Na^+ K^+$ -ATPase-aktivitet, videre ble vekst redusert og betydelig dødelighet ble funnet (Fivelstad mfl. 2003). Osmoregulatorisksvikt omfatter også slimlaget til huden, og smolt eksponert over 80 t til pH 5,6 til 6,2 viste et lineært forhold mellom tap av plasmaklorid, hud slimceller og høy dødelighet (Berntssen mfl. 1997). I løpet av de tidligste fasene i livet, har inkubasjon ved pH 5 og lavere blitt funnet å indukere subletale effekter i yngel som påvirker gjeller og det vaskulære system. Mens ved pH 4,5 og lavere inntrådte skader på hjernen, optisk retina og milt (Daye & Garside, 1980). Betydelig reduksjon i klekkesuksess og larvevekst hos laks oppsto ved pH 4,5 - 5, hvor larvedødeligheten økte ved pH 4,5. Samtidig ble spise- og svømmeatferd svekket ved pH 6,5 og lavere (Buckler mfl. 1995). Tilsvarende dødelighet på grunn av redusert spiseatferd ble påvist i tidlig startfôringsfase hos yngel av atlantisk laks ved pH 5 (70% dødelighet over 30 dager), sammenlignet med den en fant ved en pH på 6,1 (4% dødelighet) (Lacroix mfl. 1985). For vill laksesmolt i elver fant McCormick mfl. (2009) den minste fysiologiske responsen til pH endringer var mellom 6,5 og 7, og responsen økte raskt med avtagende pH.

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Måling av pH-verdien i vannet er en forholdsvis enkel prosess, og kan utføres ved hjelp av forskjellige typer av pH-meter. Det er imidlertid viktig å kalibrere proben og måleren i henhold til produsentens spesifikasjoner. En bør kalibrere måleren ved å teste den i et stoff

med en kjent pH-verdi, og deretter justere måleren tilsvarende. Legg merke til at pH-skalaen er en logaritmisk skala, noe som betyr at forskjeller i et enkelt heltall faktisk representerer en tidobbelte forskjell i surhet eller alkalitet. For eksempel, en substans som har en pH-verdi på 2 er faktisk 10 ganger mer surt enn en med en pH-verdi på 3, og 100 ganger mer surt enn en substans med en pH-verdi på 4. Skalaen fungerer på samme måte for alkaliske stoffer, med ett helt tall som angir en tidobbelte forskjell i alkalitet.

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

Uregelmessig eller enkeltmålinger av pH kan gi oss bare et øyeblikksbilde av produksjonen, og nivåene kan variere i tid og rom. Hvis disse er målt på feil sted eller på feil tidspunkt, kan reelle lave nivåer ikke oppdages. Endringer i pH er ofte ikke tilstrekkelig til å identifisere et spesifikt produksjonsproblem. Ytterligere målinger av andre OVI'er og LABVI'er som oksygen, tungmetaller, CO₂ og total ammoniakk-nitrogen, må gjøres for å sikre en viss forståelse av årsaken til pH-endringene.

4.1.6 Total ammonium nitrogen (TAN)

Ammoniakk (NH₃) er et toksisk sluttprodukt av proteinkatabolismen. Ammoniakk reagerer med vann og danner ionisert ammonium (NH₄⁺). Summen av NH₃ og NH₄⁺ 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 NH₃: NH₄⁺ 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 & Farell, 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 resultere i forhøyede plasmanivåer av ammoniakk (Thorarensen & Farell, 2011).

Den akutte toksisitet av ammoniakk er hovedsakelig på grunn av effekten på sentralnervesystemet. Dette omfatter også ødeleggelse av enzymer, membranstabiliteten, gjelleskader og histologiske lesjoner i forskjellige indre organer og osmoregulatoriske forstyrrelser (Thorarensen & Farell, 2011 og referanser deri). Kortvarige effekter av forhøyede ammoniakknivåer omfatter mangel på spiseaktivitet, redusert svømmeytelse, økt gjelleventilasjon, uberegnelige og raske bevegelser, hoste, kramper, tap av likevekt og til slutt død. Mens kronisk eksponering øker metabolsk hastighet reduseres derimot veksthastigheten, sykdomsresistensen og fruktbarheten (Thorarensen & Farell, 2011 og referanser deri).

De maksimale sikre nivåene for lengre tidseksponering av forhøyede nivåer av NH₃-N (konsentrasjon av nitrogen bundet som NH₃), er omkring 0,012 mg/l (Fivelstad mfl. 1995). Mens maksimalt nivå for kortvarig eksponering (4 t) er 0,1 mg/l (Wedemeyer, 1996). Egenskaper slik som temperatur, pH og saltholdighet kan påvirke NH₃: NH₄⁺-forholdet, og således toksisiteten av ammoniakk (Randall og Wright, 1995).

Trygge maksimale nivåer av NH₃-N:

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

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

4.1.7 Nitritt og nitrat

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

Nitrat (NO_3^-) er sluttproduktet av nitrifikasjonsprosessen og kan ha ugunstige effekter på laks, men det anses å være mer ufarlig, og det anbefales å holde konsentrasjonen i oppdrettssystemene under 100 mg/l (Bregnballe 2010). Nitrat kan imidlertid nå høye nivåer i resirkuleringsanlegg og må overvåkes.

Anbefalte øvre konsentrasjoner

- **Nitritt: 0,1 mg/l (Wedermeyer 1996; Thorarensen & Farell, 2011).**
- **Nitrat: 100 mg/l (Bregnballe, 2010).**

Prøvetaking og analytiske betraktninger

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

Styrke til indikatoren

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

Svakhet til indikatoren

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

4.1.8 Turbiditet og total suspendert tørrstoff (TSS)

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

- **Anbefalt øvre konsentrasjon av totalt suspenderte tørrstoffer: 15 mg/l (Thorarensen & Farell, 2011).**

Prøvetaking og analytiske betraktninger

Turbiditet er et mål på hvor mye materiale som er suspendert i vann (partikler i størrelsesområdet mellom 0,004 μm - 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 vann kvalitetsparametere. For eksempel så avtar oppløseligheten av oksygen i vannet ved økt turbiditet og temperatur. TSS i vann kan gi dårligere vannkvalitet, tette til utstyr og kan være skadelig for fiskene sine gjeller, og bør derfor måles.

Svakhet til indikatoren

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

4.2 Velferdsindikatorer som beskriver oppdrettssystemer eller -håndtering

4.2.1 Vannstrømhastighet

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

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

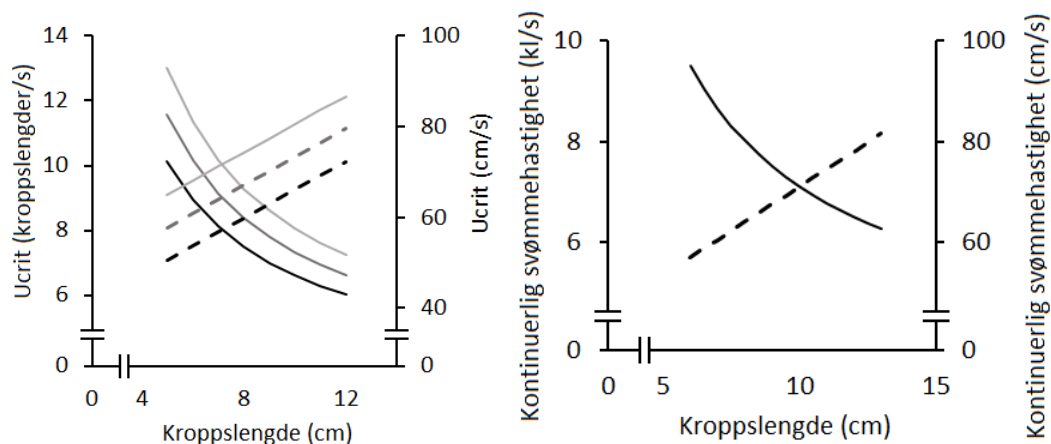
Vannstrømhastigheten påvirker svømmekapasiteten hos fisk. Fisk kan opprettholde sin posisjon i forhold til bunnen (parr i tank) eller svømme mot vannstrømmen. Fritt svømmende fisk, som fisk i merder, beveger seg både i forhold til vannstrømmen og bunnen. Strømhastigheten som overstiger fiskens svømmekapasitet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

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

fiskestørrelse påvirker svømmeferdighet for fisk, og er derfor presentert her. For korte perioder av gangen (sekunder) kan fisk spurtsvømme betydelig raskere enn U_{crit} .

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

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



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

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

Absolutte vedvarende svømmehastigheter fra 50-114 cm/s er funnet for smolt på 12 til 18 cm kroppslengde i temperaturområdet 13 til 17,5°C.

- **Absolutt kritisk svømmehastighet for laksesmolt: 64-109 cm/s, øker med kroppslengde og temperaturen.**
- **Absolutte vedvarende svømmehastighet for laksesmolt: 50-113 cm/s.**

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

Den maksimale vedvarende svømmehastighet for atlantisk laks, post-smolt, med en kroppslengde på 30-50 cm er ca. 91 cm/s (2 kroppslengder / s) ved 11 ° C. Imidlertid bør det merkes at liten (22 cm) post-smolt, som er tvunget til å svømme mot en strøm med en hastighet lavere enn dette nivået (1,5 kroppslengder/s) i 6 uker, er blitt funnet å ha begrenset vekst sammenlignet med fisk holdt ved 0,8 eller 0,2 kroppslengder/s (Solstorm mfl. 2015, 2016).

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

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

4.2.2 Belysning

Ferskvann.

Lys påvirker flere endokrine prosesser i laksefisk, inkludert smoltifisering (Berge mfl. 1995), og kjønnsmodning (Hansen mfl. 1992). For å kontrollere og synkronisere tidspunktene for smoltifisering og for å frembringe høstsmolt («0+»), blir laks vanligvis holdt ved simulerte lange dager (konstant lys) fra førstegangs fôringen. For å starte smoltifiseringsprosessen, reduseres dagslengden til 12:12 (lys: mørke) for å simulere en vinter («vintersignal» i minimum fire uker). Dette etterfølges av en ny periode med lange dager med lys som simulerer vår, for å igangsette smoltifisering (Berge mfl. 1995; Stefansson mfl. 1991). Det er foreslått at lysintensiteten har mindre virkning på effekten av smoltifisering enn fotoperioden, da ingen forskjell i veksten eller smoltifisering ble funnet mellom 27, 335 og 715 Lux (Stefansson mfl. 2003). For vellykket smoltifisering må parren nå en viss størrelse før initiering av vintersignal (Skilbrei, 1991; Handeland mfl. 2013.). Denne terskelstørrelsen kan variere mellom populasjoner. Ved studier gjort av Skilbrei (1991) var minimumstørrelsen rundt 75 mm. Den egnede varigheten av de forskjellige lysregimene er avhengig av vanntemperaturen (Handeland mfl. 2004, 2013), men vintersignalet er vanligvis 4-6 uker etterfulgt av en periode med tilsvarende varighet med konstant lys (24L:0M). Lysregimer for styring av smoltifisering må gjennomføres på riktig måte, da en fisk som ikke er helt smoltifisert eller har begynt å reversere smoltifiseringsprosessen ikke er tilpasset til sjøvann. Usmoltifisert laks kan dermed lide under osmotisk ubalanse (se avsnitt «smoltifiseringsstadiet»). Konstant lys er funnet å kunne ha negative effekter på nevrologiske utvikling av parr (Ebbesson mfl. 2007). Hos karpe har konstant lys vist å forstyrre «soverytmen» til fisken (g. Flik mfl. upubliserte data), men det er ikke kjent om konstant lys har noen negative konsekvenser for velferden hos laksefisk. Ved overgangen lys/mørke, i det lyset plutselig blir skrudd på, kan denne plutselige endringen i lysintensiteten lede til en akutt stressrespons som involverer panikkatferd (Mork og Gulbrandsen, 1994) og økt oksygenforbruk (Folkedal mfl. 2010). Laks synes imidlertid å tilvenne seg disse endringene i forhold til lys innen en uke etter overgangen til lys/mørke (Folkedal mfl. 2010).

Sjøvann.

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

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

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

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

4.2.3 Produksjonstetthet

Tetthet er vanligvis angitt som “fisketetthet til en gitt tid” i et oppdrettssystem (Ellis mfl. 2002). Dette uttrykkes som kg/m³. Den ideelle tettheten for atlantisk laks avhenger av flere variabler, som livsfase, vannkvalitet, vannhastighet, sosiale interaksjoner, førtilgang, oppdrettspraksis og valg av oppdrettssystem (f.eks Turnbull mfl. 2008). Interaksjoner mellom disse faktorene gjør det vanskelig å definere en bestemt optimal tetthet, men det er liten tvil om at både for lav og for høy tetthet kan svekke velferden (Adams mfl. 2007). Negative effekter av tetthet trenger ikke alltid være forårsaket av tettheten i seg, men snarere fra redusert vannkvalitet (Boujard mfl. 2002; Hosfeldt mfl. 2009; Thorarensen og Farrell, 2011) og redusert førtilgang forårsaket av tetthet. Hygiene, god vannkvalitet, atferdskontroll, sosial kontakt og hvile er velferdsbehov som kan bli direkte eller indirekte berørt av tetthet. Eksempler på effekter av tetthet på velferd fra ulike studier er gitt i tabell 4.2.3-1.

Yngel og parr: Lav tetthet (8 kg/m³) reduserte aggresjon og finneskader sammenliknet med yngel holdt på 30 kg/m³ (Cañon Jones mfl. 2011). Vekst og allmenntilstanden var imidlertid lavere ved 8

kg/m³ sammenlignet med 30 kg/m³, og den totale graden av aggressive interaksjoner var høyere ved lavere tetthet. Dette antyder at effekten av tettheten på velferd også er avhengig av hvilke indikatorer som er valgt for å vurdere velferden. I den andre enden av skalaen har man påvist redusert ytelse ved en tetthet på 146 kg/m³ og høyere (Soderberg mfl. 1993). Ved tettheter i området 21 til 86 kg/m³ ble det ikke vist noen negative effekter på velferden så lenge vannkvaliteten og ernæringsrasjoner ble holdt som anbefalt (Hosfeld mfl. 2009).

Smolt og post-smolt i kar: Som med parr kan lave tettheter øke aggresjonen også hos post-smolt, og både hud og finneskader var høyest ved 15 kg/m³ og mer alvorlig ved 35 kg/m³ enn 25 kg/m³ (Adams mfl. 2007). Vekst og kondisjonsfaktor av stor post-smolt holdt i tettheter på 35 til 125 kg/m³ ble ikke signifikant påvirket av tetthet. Dette antyder at det ikke var noen effekt på kroniske stressfaktorer eller velferdstrusler i relasjon til de målte tetthetene (Kjartansson mfl. 1988). Veksthastigheten var lavere og kortisol høyere i fisk som er oppdrettet på 30-61 kg/m³ sammenlignet med lavere tettheter (Liu mfl. 2015).

Post-smolt i merd: I merder vil suboptimale omgivelsesfaktorer slik som vanntemperatur gjøre at stimende laks samles ved mye høyere lokale tettheter (opp til 190 kg/m³), selv om gjennomsnittstettheten (biomasse/merdvolum) er moderat (32 kg/m³). Dette kan resulterer i lokal hypoksi (Oppedal mfl. 2011b). En studie i et kommersielt oppdrettsanlegg (Turnbull mfl. 2005) viste at det ikke finnes noen klar sammenheng mellom tetthet og velferd opp til ca. 22 kg/m³, men en økning i over 22 kg/m³ ble korrelert med dårligere velferd.

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

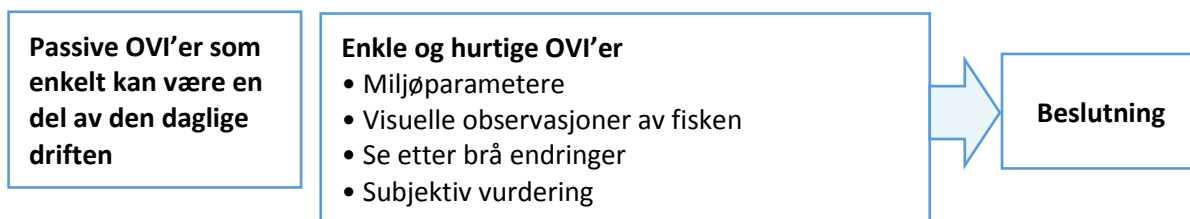
	Tetthet	Kommentarer	Referanser
Parr	146 kg/m ³	Opptil 146 kg/m ³ : Ingen effekt på dødelighet eller vekt. Over 146 kg/m ³ : redusert vekst og fôrfaktor var høyere	Soderberg mfl. (1993)
Parr	21, 43, 65, 86 kg/m ³	Ingen negative effekter så lenge vannkvalitet og matrasjoner ble holdt som anbefalt	Hosfeld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

5 OVI og LABVI som verktøy i oppdrett

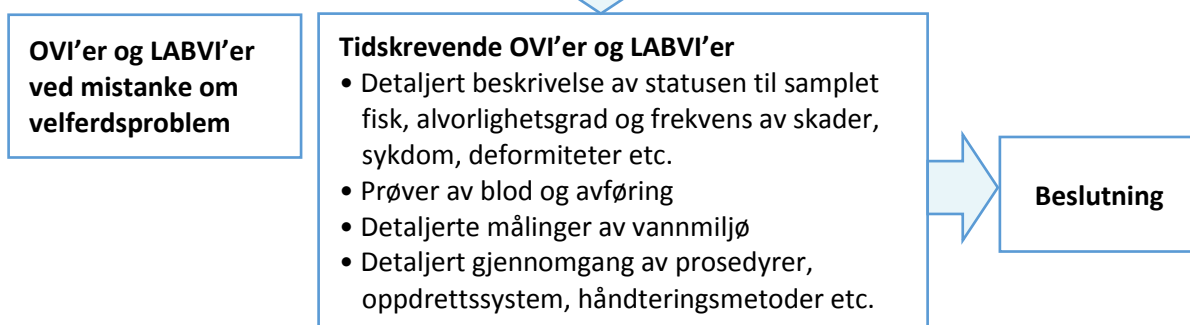
5.1 Hvordan bruke OVI og LABVI i forbindelse med vurdering av velferd

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

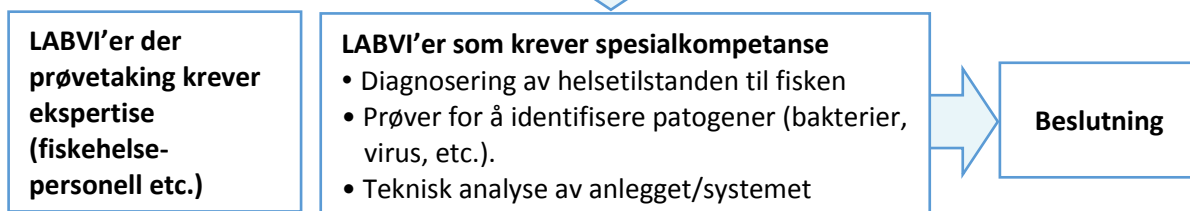
Trinn 1



Trinn 2



Trinn 3



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

5.2 Vurdering av VI'er sin grad av funksjonalitet

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

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

Vanntemperatur, saltholdighet, oksygen, CO₂, pH, turbiditet, belysning, tetthet og spesifikk vannstrømhastighet av vannet, ble alle vurdert til relativt lette å måle (tabell 5.2-1). Turbiditet måles ofte ved hjelp av spesielle sonder som trenger mye vedlikehold, men turbiditet kan også måles ved å senke en standardisert hvit disk (Secchi-skive; siktedyp) i vannet, og notere den dybden disken så vidt kan skimtes.

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

VI	Score					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Temperatur						x		x
Salinitet						x		x
Oksygen						x		x
CO ₂						x		x
pH og alkalinitet						x		x
Total ammonium nitrogen						x		x
Nitritt og Nitrat						x		x
Turbiditet						x		x
Vannstrømhastighet						x		x
Belysning						x		x
Produksjonstetthet						x		x
Ammoniakk						x		x
Spesifikk vannhastighet						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 gruppebasert VI'ene, og vurdering om de er OVI eller LABVI. Se figur 5.1-1 for nærmere forklaring på forenklet scorings system.

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

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

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

VI	Score					OVI	LABVI	Brukt
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0			
Gjellelokkrate						x		x
Øyerulling (VER)						x		x
EEG og ECG								
Sjølus						x		x
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
• Smoltifiseringsstatus						x		x
• Rygggraddeformitet						x		x
• Finneskade og -status						x		x
• Skjelltap og hudtilstand						x		x
• Snute- og kjeveskader						x		x
• Øyeblikninger og -status						x		x
• Gjellelokkskader						x		x
• Håndteringsskader						x		x
Hudforandringer (farge)						x		x
Indre organer						x		x
Vaksinere relatert patologi						x		x
Blod – Kortisol							x	x
Blod – Ionesammensetning							x	x
Glukose						x		x
Blod- laktat						x		x
Blod- pH						x		x
Muskel pH						x		x
Muskel laktat						x		
Muskel glukose								
Rigor mortis (tid og varighet)						x		x
Micro morfologi							x	
Kardiovaskulære responser							x	
NKA1a og NK1b							x	
Magnesium og natrium							x	
Klorid							x	
Osmolalitet							x	
Hematokrit							x	

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

Når oppdretter begynner å observere utmagret fisk med i) hemmet vekst, ii) meget lav kondisjonsfaktor (tynn), iii) allment dårlig utseende, iv) atferdsmessige forstyrrelser som langsom svømming i nærheten av nettet ved overflaten, og isolasjon fra hovedgruppe), skal oppdretter reagere. Som nevnt i kapittel 3.2.6 er det mange mulige grunner for at dette kan skje i et oppdrettsanlegg. Det første oppdretter trenger å gjøre er å prøve å identifisere kilden for dette velferdsproblemet. Spørsmål som trenger å bli stilt er: i) er fisken fullt smoltifisert; li) 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 å involvere ekspertise utenfor anlegget. Dette kan innebære obduksjon, forskjellige prøver for forskjellige laboratorier, og helsepersonell som kan implementere avanserte endringer og behandlinger for å korrigere problemet (se figur 5.3.1).

Trinn 1

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

- Visuelle observasjoner av fisken



Nok til å gjennomføre en velferds korrigering?

Beslutning

Trinn 2

OVI'er og LABVI'er som krever inngående analyse

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



Ikke tilstrekkelig?

Nok til å gjennomføre en velferds korrigering?

Beslutning

Trinn 3

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

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

Ikke tilstrekkelig?

Beslutning

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

5.4 OVI'er og LABVI'er i framtiden.

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

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

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

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

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

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

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

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

Velferdsindikatorer(VI)							
Miljøbaserte VI	Dyrebaserte VI						
	Gruppebaserte VI	Individbaserte VI					
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur • Salinitet • Oksygen <ul style="list-style-type: none"> • Total gass • CO₂ • pH og alkalinitet • Total ammonium nitrogen • Nitritt og Nitrat • Turbiditet and susp. tørrstoff • Vannstrømhastighet • Belysning • Biomasse tetthet 	<ul style="list-style-type: none"> • Dødelighetsrate • Atferd <ul style="list-style-type: none"> • Avtagende ekko • Reflekser, øyerulling • Appetitt <ul style="list-style-type: none"> • vekst • Fôr i tarm • Sykdom/helse <ul style="list-style-type: none"> • Avmagret fisk • Vannobservasjoner • Bulk oksygenopptak • Overflateaktivitet 	<ul style="list-style-type: none"> • Gjellelokrate • Sjølus • Bleking av gjeller og tilstand • Tilvekstfaktorer <ul style="list-style-type: none"> • Kondisjonsfaktor • HSI • CSI • Grad av avmagring • Grad av kjønnsmod. • smoltfiseringsstatus • Rygggraddeformitet • Finneskade og-status • Skjelltap og hudtilstand <ul style="list-style-type: none"> • Snute- og kjeveskade 	<ul style="list-style-type: none"> • Øyeblikninger og tilstand • Gjellelokkdeform. • Håndtering og traume • Endring i hudfarge • Indre organer • Vaksineallerte skader 				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Blod</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Kortisol • ioner • Glukose • Laktat • pH </td> </tr> <tr> <th>Muskel</th> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • pH • Rigor mortis </td> </tr> </tbody> </table>	Blod	<ul style="list-style-type: none"> • Kortisol • ioner • Glukose • Laktat • pH 	Muskel	<ul style="list-style-type: none"> • pH • Rigor mortis
Blod							
<ul style="list-style-type: none"> • Kortisol • ioner • Glukose • Laktat • pH 							
Muskel							
<ul style="list-style-type: none"> • 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 taes henholdsvis en blod eller muskelprøve av fisken.

6 Referanser

- Aamelfot, M., Dale, O. B., & Falk, K. (2014) Infectious salmon anaemia–pathogenesis and tropism. *Journal of fish diseases* **37(4)**, 291-307.
- Aas-Hansen, Ø., Stien, L. H., Gytte, T., Tennøy, T., Bjørnsen, J. E., Evensen, T. H., Sæther, B. -S., Damsgård, B., Brataas, R., Finne, D., Koren, C., Alfredsen, J. A., Rikardsen, A.H. & Kristiansen, T. S. (2010) Ny teknologi for overvåking av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i oppdrettsmerder. Sluttrapport for FHF prosjekt 900085. (fulltekst) 2010 (3/2010) ISBN 978-82-7251-743-3. ISSN 1890-579X.
- Adams, C. E., Turnbull, J. F., Bell, A., Bron, J. E. & Huntingford, F. A. (2007) Multiple determinants of welfare in farmed fish: stocking density, disturbance, and aggression in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64(2)**, 336-344.
- 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.
- Agius, C. & Roberts, R.J. (2003) Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. *Journal of Fish Diseases* **26**, 499–509.
- Aksnes, A., Gjerde, B. & Roald, S. O. (1986) Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* **53**, 7-20.
- Andrews, M., Stormoen, M., Schmidt-Posthaus, H., Wahli, T. & Midtlyng, P. J. (2015) Rapid temperature-dependent wound closure following adipose fin clipping of Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of fish diseases* **38(6)**, 523-531.
- Anil, M. H. (1991) Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science* **30(1)**, 13-21.
- Anon (2014) A Review of Farm Animal Welfare in the UK. Freedom Foods, Farm animal welfare: Past, present and future-Report, September 2014. https://www.rspcaassured.org.uk/media/1041/summary_report_aug26_low-res.pdf (Accessed 2016)
- Arnesen, A. M., Johnsen, H. K., Mortensen, A. & Jobling, M. (1998) Acclimation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts to 'cold' sea water following direct transfer from fresh water. *Aquaculture*, **168**, 351-367.
- Arnold, G. P., Webb, P. W. & Holford, B. H. (1991) Short communication: the role of the pectoral fins in station-holding of Atlantic salmon parr (*Salmo Salar* L.). *Journal of Experimental Biology* **156(1)**, 625-629.
- ASC (2012) Aquaculture Stewardship Council (ASC). Salmon Standard Version 1.0 June 2012. http://www.asc-aqua.org/upload/ASC%20Salmon%20Standard_v1.0.pdf (Accessed 2016)
- Ashley, P. J. & Sneddon, L.U. (2007) Pain and fear in fish. In: *Fish Welfare*. Branson, E., (ed.) Oxford, Blackwell Publishing, 49-69.
- Ashley, P. J. (2007) Fish welfare: current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* **104(3)**, 199-235.
- Aunsmo, A., Bruheim, T., Sandberg, M., Skjerve, E., Romstad, S. & Larssen, R. B. (2008) Methods for investigating patterns of mortality and quantifying cause-specific mortality in sea-farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms* **81**, 99-107.
- Aunsmo, A., Guttvik, A., Midtlyng, P.J., Larssen, R.B., Evensen, Ø. & 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**, 515-524.
- Austreng, E., Storebakken, T. & Åsgård, T. (1987) Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture* **60**, 157-160.
- Bæverfjord, G. & Krogdahl, A. (1996) Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *Journal of Fish Diseases* **19**, 375-387.

- Baeverfjord, G., Asgard, T. & Shearer, K. D. (1998) Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts. *Aquaculture Nutrition* **4**(1), 1-12.
- 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. & 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., Morgan, J. D., Vijayan, M. M. & Adams, S. M. (2002) Physiological and condition-related indicators of environmental stress in fish. In: *Biological Indicators of Aquatic Ecosystem Stress*. Adams, S. M. (ed.). Maryland, American Fisheries Society, 111–148.
- Barton, B. A., Ribas, L., Acerete L. & Tort, L. (2005) Effects of chronic confinement on physiological responses of juvenile gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., to acute handling. *Aquaculture Research* **36**, 172-179.
- Barton, B. A., Zitzow, R.E. (1995) Physiological-Responses of Juvenile Walleyes to Handling Stress with Recovery in Saline Water. *Progressive Fish-Culturist* **57**, 267-276.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- Berge, Å. I., Berg, A., Fyhn, H. J., Barnung, T., Hansen, T. & Stefansson, S. O. (1995) Development of salinity tolerance in underyearling smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared under different photoperiods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**, 243-251.
- Bergheim, A., Forsberg, O. I. & Sanni, S. (1993). Biological Basis for Landbased Farming of Atlantic Salmon: Oxygen Consumption. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Bergheim, A., Seymour, E. A., Sanni, S., Tyvold, T. & Fivelstad, S., (1991) Measurements of oxygen-consumption and ammonia excretion of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-scale, single-pass fresh-water and seawater landbased culture systems. *Aquacultural Engineering* **10**, 251–267.
- Berntssen, M. H. G., Kroglund, F., Rosseland, B. O. & WendelarBonga, S. E. (1997) Responses of skin mucous cells to aluminium exposure at low pH in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**, 1039–1045.
- Birkeland, K., Jakobsen, P.J. (1997) Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, infestation as a causal agent of premature return to rivers and estuaries by sea trout, *Salmo trutta*, juveniles. *Environmental Biology of Fishes* **49**, 129–137
- Bito, M., Yamada, K., Mikumo, Y. & Amano, K. (1983) Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method. *Bulletin-Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* **109**, 89–93.

- Bjerkås, E. & Bjørnstad, E. (1999) Is there a connection between rapid fluctuation in water temperature and cataract development in the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)? *Bulletin-European Association of Fish Pathologists* **19**, 166–169.
- Bjerkås, E. & Sveier, H. (2004) The influence of nutritional and environmental factors on osmoregulation and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **235**, 101–122.
- Bjerkås, E., Bjørnstad, E., Breck, O. & Waagbø, R. (2001) Water temperature regimes affect cataract development in smolting Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **24**, 281–291.
- Bjerkås, E., Holst, J. C., Bjerkås, I. & Ringvold, A. (2003) Osmotic cataract causes reduced vision in wild Atlantic salmon postsmolts. *Diseases of Aquatic Organisms* **55**, 151–159.
- Bjerknes, V., Duston, J., Knox, D. & Harmon, P. (1992) Importance of body size for acclimation of underyearling Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) to seawater. *Aquaculture* **104(3-4)**, 357-366.
- Björnsson, B. T., Stefansson, S. O. & McCormick, S. D. (2011) Environmental endocrinology of salmon smoltification. *General and Comparative Endocrinology*, **170**, 290-298.
- Blackburn, J. & Clarke, W. C. (1989) Revised procedures for the 24 hour seawater challenge test to measure seawater adaptability of juvenile salmonids. *Canadian Technical Report for Fisheries and Aquaculture*, **1515**.
- Boeuf, G. & Payan, P. (2001) How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* **130(4)**, 411-423.
- Boglione, C., Gagliardi, F., Scardi, M. & Cataudella, S. (2001) Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758). *Aquaculture* **192**, 1-22.
- Bolger, T. & Conolly, P.L. (1989) The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology* **34**, 171–182.
- Bornø, G. & Linaker, L. (2015) Fiskehelsesrapporten 2014, Harstad: Veterinærinstituttet 2015.
- Boujard, T., Labbé, L. & Aupérin, B. (2002) Feeding behaviour, energy expenditure and growth of rainbow trout in relation to stocking density and food accessibility. *Aquaculture Research* **33(15)**, 1233-1242.
- Bowers, J. M., Mustafa, A., Speare, D. J., Conboy, G. A., Brimacombe, M., Sims, D. E. & Burka, J. F. (2000) The physiological response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., to a single experimental challenge with sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*. *Journal of Fish Diseases* **23(3)**, 165-172.
- Boxaspen, K. (2006) A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science* **63**, 1304–1316.
- Boyd, C.E. (2000) Water Quality — an Introduction. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- Braithwaite, V. A. & Droege, P. (2016) Why human pain can't tell us whether fish feel pain. *Animal Sentience: An Interdisciplinary Journal on Animal Feeling* **1(3)**, 3.
- Braithwaite, V. A. & Huntingford, F. A. (2004) Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering? *Animal Welfare* **13**, 87-92.
- Branson, E. J. (2008) *Fish Welfare*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, U.K, 300 pp.
- Branson, E.J. & Turnbull, T. (2008) Welfare and deformities in fish. In: *Fish welfare*. Branson E. J. (ed.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 202-216.
- Bratland, A., Stien, L. H., Braithwaite, V. A., Juell, J. –E., Folkedal, O., Nilsson, J., Oppedal, F., Fosseidengen, J. E. & Kristiansen, T. S. (2010) From fright to anticipation: using aversive light stimuli to train reward conditioning in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture International* **18**, 991-1001.
- Breck O. & Sveier, H. (2001) Growth and cataract development in two groups of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post smolt transferred to sea with a four week interval. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **21**, 91–103.
- Breck, O., Bjerkås, E., Campbell, P., Arnesen, P., Haldorsen, P. & Waagbø, R. (2003) Cataract preventative role of mammalian blood meal, histidine, iron and zinc in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of different strains. *Aquaculture Nutrition* **9**, 341–350.

- Breck, O., Bjerkås, E., Campbell, P., Rhodes, J. D., Sanderson, J. & Waagbø, R. (2005) Histidine nutrition and genotype affect cataract development in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **28**, 357–371.
- Bregnballe, J. (2010) A guide to recirculation aquaculture. Copenhagen, Denmark: Eurofish
- Brett, J. R. (1964) The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **21(5)**, 1183-1226.
- Brett, J., (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. & Groves, T. D. D. (1979) Physiological energetics. *Fish physiology* **8(6)**, 280-352.
- 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.
- Broom, D. M. (1986) Indicators of poor welfare. *British veterinary journal* **142(6)**, 524-526.
- Broom, D. M. (2016) Fish brains and behaviour indicate capacity for feeling pain. *Animal Sentience: An Interdisciplinary Journal on Animal Feeling* **1(3)**, 4.
- Brown, C. (2015) Fish intelligence, sentience and ethics. *Animal Cognition* **18**, 1-17.
- Brown, C., Laland, K. & Krause, J. (2011) *Fish Cognition and Behaviour*. John Wiley & Sons, Oxford, UK.
- Buckler, D. R., Cleveland, L., Little, E. E. & Brumbaugh, W. G. (1995) Survival, sublethal responses, and tissue residues of Atlantic salmon exposed to acidic pH and aluminum. *Aquatic toxicology* **31(3)**, 203-216.
- Bui, S., 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
- 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
- Burgetz, I. J., Rojas-Vargas, A. N. I. B. A. L., Hinch, S. G. & Randall, D. J. (1998) Initial recruitment of anaerobic metabolism during sub-maximal swimming in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Experimental Biology* **201(19)**, 2711-2721.
- Burnley, T. A., Stryhn, H., Burnley, H. J. & Hammell, K. L. (2010) Randomized clinical field trial of a bacterial kidney disease vaccine in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **33**, 545-557.
- Cahu, C., Infante, J. Z. & Takeuchi, T. (2002) Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture* **277**, 245-248.
- Cañon Jones, H. A., Noble, C., Damsgård, B. & Pearce, G. P. (2011) Social network analysis of the behavioural interactions that influence the development of fin damage in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) held at different stocking densities. *Applied Animal Behaviour Science* **133(1)**, 117-126.
- Cañon Jones, H. A., Hansen, L. A., Noble, C., Damsgård, B., Broom, D. M., Pearce, G. P. (2010) Social network analysis of behavioural interactions influencing fin damage development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during feed-restriction. *Applied Animal Behaviour Science* **127**, 139–151.
- Cañon Jones, H. A., Noble, C., Damsgård, B., Pearce, G. P. (2016) Evaluating the effects of a short-term feed restriction period on the behavior and welfare of Atlantic salmon, *Salmo salar*, parr using social network analysis and fin damage. *Journal of the World Aquaculture Society* **48**, 35-45.
- Carey, J. B. & McCormick, S. D. (1998) Atlantic salmon smolts are more responsive to an acute handling and confinement stress than parr. *Aquaculture* **168**, 237–253.
- Carragher, J. F. & Sumpter, J. P. (1991) The mobilization of calcium from calcified tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) induced to synthesize vitellogenin. *Comparative Biochemistry and Physiology* **99**, 169-172.
- Castro, R. & Tafalla, C. (2015) Overview of fish immunity. In: *Mucosal health in Aquaculture*. Beck, B.H., Peatman, E. (Eds.), Academic Press, Oxford, UK. pp. 3-55.

- Chandroo, K. P., Duncan, I. J. H. & Moccia, R. D. (2004a) Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stress. *Applied Animal Behaviour Science* **86**, 225-250.
- Chandroo, K. P., Yue, S. & Moccia, R. D. (2004b) An evaluation of current perspectives on consciousness and pain in fishes. *Fish and Fisheries* **5**, 281-295.
- Chervova, L. (1997) Pain sensitivity and behavior of fishes. *Journal of Ichthyology* **37**, 98-102.
- Colt. J. (2006) Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering* **34**, 143-156.
- Costello, M. J. (2006) Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends in parasitology* **22(10)**, 475-483.
- Coyne, R., Smith, P., Dalsgaard, I., Nilsen, H., Kongshaug, H., Bergh, Ø. & Samuelsen, O. (2006) Winter ulcer disease of post-smolt Atlantic salmon: An unsuitable case for treatment? *Aquaculture* **253(1)**, 171-178.
- Craik, J. C. A. & Harvey, S. M. (1988) A preliminary account of metal levels in eggs of farmed and wild Atlantic salmon and their relation to egg viability. *Aquaculture* **73(1-4)**, 309-321.
- Crisp, D. T. (1996) Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia* **323(3)**, 201-221.
- Crosbie, P. B., Bridle, A. R., Leef, M. J. & Nowak, B. F. (2010) Effects of different batches of *Neoparamoeba perurans* and fish stocking densities on the severity of amoebic gill disease in experimental infection of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* **41(10)**, e505-e516.
- Cubitt, K. F., Winberg, S., Huntingford, F. A., Kadri, S., Crampton, V. O. & Øverli, Ø. (2008) Social hierarchies, growth and brain serotonin metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) kept under commercial rearing conditions. *Physiology & behavior* **94(4)**, 529-535.
- Dabrowski, K., El-Fiky, N., Köck, G., Frigg, M. & Wieser, W. (1990) Requirement and utilization of ascorbic acid and ascorbic sulfate in juvenile rainbow trout. *Aquaculture* **91**, 317-337.
- Damsgård, B. & Huntingford, F. A. (2012) Fighting and Aggression. In: *Aquaculture and Behavior*. Huntingford, F. A., Jobling, M., Kadri, S. (Eds). Wiley-Blackwell West Sussex, UK, 248-285.
- Damsgård, B., Mortensen, A., & Sommer, A. I. (1998) Effects of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) on appetite and growth in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture* **163(3)**, 185-193.
- Damsgård, B., Sørum, U., Ugelstad, I., Eliassen, R. A. & Mortensen, A. (2004) Effects of feeding regime on susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to cold water vibriosis. *Aquaculture* **239(1)**, 37-46.
- Davis, M. W. (2010) Fish stress and mortality can be predicted using reflex impairment. *Fish and Fisheries* **11**, 1-11.
- Davis, K.B. (2006) Management of Physiological Stress in Finfish Aquaculture. *North American Journal of Aquaculture* **68**, 116-121.
- Dawkins, M.S. (1983) Battery hens name their price: Consumer demand theory and the measurement of ethological 'needs'. *Animal Behaviour* **31**, 1195-1205.
- Dawkins, M.S. (1990) From an animal's point of view: Motivation, fitness, and animal welfare. *Behavioral and Brain Sciences* **13**, 1-9.
- Daye, P. G. & Garside, E. T. (1980) Structural alterations in embryos and alevins of the Atlantic salmon, *Salmo salar* L., induced by continuous or short-term exposure to acidic levels of pH. *Canadian Journal of Zoology* **58(1)**, 27-43.
- Dempster, T., Korsøen, Ø., Folkedal, O., Juell, J. E., & Oppedal, F. (2009). Submergence of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial scale sea-cages: a potential short-term solution to poor surface conditions. *Aquaculture* **288(3)**, 254-263.
- Divanach, P., Papandroulakis, N., Anastasiadis, P., Koumoundouros, G. & Kentouri, M. (1997) Effect of water currents on the development of skeletal deformities in sea bass (*Dicentrarchus Labrax* L.) with functional swimbladder during postlarval and nursery phase. *Aquaculture* **156**, 145-155.
- Duncan, I. J. H. (1993) Welfare is to do with what animals feel. *Journal of agricultural and environmental ethics* **6 (Suppl. 2)**, 8-14.

- Duncan, I. J. H. (2005) Science-based assessment of animal welfare: farm animals. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* **24(2)**, 483–92.
- Duncan, I. J. H. (1996) Animal welfare defined in terms of feelings. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A. Animal Science. Supplementum* **27**, 29–35.
- Duncan, N., Mitchell, D. & Bromage, N. (1999) Post-smolt growth and maturation of out-of-season 0+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Aquaculture* **177(1)**, 61-71.
- Duston, J. (1994) Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. *Aquaculture* **121(1-3)**, 115-124.
- Duston, J., Saunders, R. L. & Knox, D. E. (1991) Effects of increases in freshwater temperature on loss of smolt characteristics in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48(2)**, 164-169.
- Ebbesson, L. O. E., Björnsson, B. T., Ekström, P. & Stefansson, S. O. (2008) Daily endocrine profiles in parr and smolt Atlantic salmon. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* **151**, 698-704.
- 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.
- EFSA (2008) AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed trout. *The EFSA Journal* **796**, Annex 1, 1-97.
- EFSA (2008a) Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed Atlantic salmon. *The EFSA Journal* **736**, 1-31
- EFSA (2008b) Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Animal Welfare on a request from the European Commission on the Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed trout. *The EFSA Journal* **796**, 1-22.
- EFSA (2009a) Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on welfare aspect of the main systems of stunning and killing of farmed Atlantic salmon. *The EFSA Journal* **1012**, 1-77.
- EFSA (2009b) Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed rainbow trout. *The EFSA Journal* **1013**, 1-55
- Einen, O., Mørkøre, T., Rørå, A. M. B. & Thomassen, M. S. (1999) Feed ration prior to slaughter – a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* **178**, 149–169.
- Einen, O., Waagan, B. & Thomassen, M. S. (1998) Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture* **166**, 85–104.
- 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.
- Elliot, J.M. & Hurley, M.A. (1997) A functional model for maximum growth of Atlantic Salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England. *Functional Ecology* **11**, 592-603.
- Elliott, J. M. & Elliott, J. A. (1995) The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout. *Journal of Fish Biology* **47(5)**, 917-919.
- Elliott, J. M. & Elliott, J. A. (2010) Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology* **77(8)**, 1793-1817.
- Elliott, J. M. (1991) Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology* **25(1)**, 61-70.
- Elliott, S. R., Coe, T. A., Helfield, J. M. & Naiman, R. J. (1998) Spatial variation in environmental characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55(S1)**, 267-280.

- Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M. & Gadd, D. (2002) The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology* **61(3)**, 493-531.
- Ellis, T., Oidtmann, B., St-Hilaire, S., Turnbull, 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. (2012) 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. (2012) Cortisol and finfish welfare. *Fish physiology and biochemistry* **38(1)**, 163-188.
- Ellis, T., Sanders, M.B. & Scott, A.P. (2013) Non-invasive monitoring of steroids in fishes. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* **100**, 255-269.
- Endal, H. P., Taranger, G. L., Stefansson, S. & Hansen, T. (2000) Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, reared in sea cages. *Aquaculture* **191**, 337–349.
- Eriksen, M.S., Espmark, Å., Braastad, B.O., Salte, R. & Bakken, M., (2007) Long-term effects of maternal cortisol exposure and mild hyperthermia during embryogeny on survival, growth and morphological anomalies in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* offspring. *Journal of Fish Biology* **70**, 462-473.
- Erikson, U., Gansel, L., Frank, K., Svendsen, E., & Digre, H. (2016) Crowding of Atlantic salmon in net-pen before slaughter. *Aquaculture* **465**, 395-400.
- Ersdal, C., Midtlyng, P.J. & Jarp, J. (2001) An epidemiological study of cataracts in seawater farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms* **45**, 229–236.
- Espmark, Å.M., Kolarevic, J., Aas-Hansen, Ø. & Nilsson, J. (2015) Pumping og håndtering av smolt. *Rapport 6/2015*, Nofima.
- Evans, D. H. (2008) Teleost fish osmoregulation: what have we learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* **295**, R704-R713.
- Evans, D. H. & Hyndman, K. A. (2006) Paracrine control of fish gill perfusion and epithelial transport. *Journal of Experimental Zoology Part a-Comparative Experimental Biology* **305A**, 125-125.
- Evans, D. H., Piermarini, P. M. & Choe, K. P. (2005) The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews* **85**, 97-177.
- Evans, D. H. C., Claiborne, J. B. & Currie, S. (2006) The physiology of fishes. CRC Taylor & Francis.
- Evensen, O. (2009) Development in fish vaccinology with focus on delivery methodologies, adjuvants and formulations. *Options Mediterraneennes Serie A, Seminaires Mediterraneens* **86**, 177–186.
- Fardon, D.F. & Milette, P.C. (2001) Nomenclature and classification of lumbar disc pathology. *Spine* **26**, E93–E113.
- Farmer, G. J., Ritter, J. A. & Ashfield, D. (1978) Seawater adaptation and parr–smolt transformation of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **35(1)**, 93-100.
- Farrell, A. P. (2006) Bulk oxygen uptake measured with over 60,000 kg of adult salmon during live-haul transportation at sea. *Aquaculture* **254(1)**, 646-652.
- Farrell, A. P. (2007) Cardiorespiratory performance during prolonged swimming tests with salmonids: a perspective on temperature effects and potential analytical pitfalls. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **362(1487)**, 2017-2030.
- Farrell, A. P., Johansen, J. A., Suarez, R. K. (1991) Effects of exercise-training on cardiac performance and muscle enzymes in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiology and Biochemistry* **9**, 303–312.
- Farrell, A. P., Lee, C. G., Tierney, K., Hodaly, A., Clutterham, S., Healey, M., Hinch, S. & Lotto, A. (2003) Field-based measurements of oxygen uptake and swimming performance with adult Pacific salmon using a mobile respirometer swim tunnel. *Journal of Fish Biology* **62**, 64–84.

- Fast, M.D., Hosoya, S., Johnson, S.C. & Afonso, L.O.B. (2008) Cortisol response and immune-related effects of Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus) subjected to short- and long-term stress. *Fish & Shellfish Immunology* **24**, 194–204.
- Ferguson, H. W., Speare, D. J. (2006) Gills and Pseudobranchs. In: *Systemic Pathology of Fish: A Text and Atlas of Normal Tissues in Teleosts and their Responses in Disease*. Ferguson, H. W. (ed). Scotian Press, London. 25–63.
- 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., Bjørn, P. A., Grimnes, A. & Hvidsten, N. A. (2000) Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture Research* **31(11)**, 795-803.
- Finstad, B., 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., Schwarz, J., Strømsnes, H. & Olsen, A. B. (1995) Sublethal effects and safe levels of ammonia in seawater for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.). *Aquacultural Engineering* **14(3)**, 271-280.
- Fivelstad, S., 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.
- 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.
- Fjelldal, P. G., Lock, E. J., Grotmol, S., Totland, G. K., Nordgarden, U., Flik, G. & Hansen, T. (2006) Impact of smolt production strategy on vertebral growth and mineralisation during smoltification and the early seawater phase in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) *Aquaculture* **261**, 715-729.
- Fjelldal, P. G., Hansen, T. J. & Berg, A. E. (2007) A radiological study on the development of vertebral deformities in cultured Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **273**, 721-728.
- Fjelldal, P. G., Hansen, T., Breck, O., Sandvik, R., Waagbø, R., Berg, A. & Ørnstrud, R. (2009a) Supplementation of dietary minerals during the early seawater phase increase vertebral strength and reduce the prevalence of vertebral deformities in fast-growing under-yearling Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolt. *Aquaculture Nutrition* **15(4)**, 366-378.

- Fjelldal, P. G., van der Meeren, T., Jørstad, K.E. & Hansen, T.J. (2009b) A radiological study on vertebral deformities in cultured and wild Atlantic cod (*Gadus morhua*, L.). *Aquaculture* **289**, 6-12.
- Fjelldal, P. G. & Hansen, T. J. (2010) Vertebral deformities in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) underyearling smolts. *Aquaculture* **309**, 131-136.
- Fleming, I. A. & Reynolds, J. D. (2004) Salmonid breeding systems. In: *Evolution illuminated, Salmon and their relatives*. Hendry, A. P., Stearns, S. C. (Eds.). Oxford University Press, Oxford, UK. 264-294.
- Fleming, I. A. & Einum, S. (2011) Reproductive Ecology: A tale of two sexes. In: *Atlantic Salmon Ecology*. Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A., Skurdal, J. (Eds.), Blackwell Publishing, Oxford. 33-66.
- Folkedal, O., Torgersen, T., Nilsson, J. & Oppedal, F. (2010) Habituation rate and capacity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr to sudden transitions from darkness to light. *Aquaculture* **307**, 170-172.
- Folkedal, O., Torgersen, T., Olsen, R. E., Fernö, A., Nilsson, J., Oppedal, F., Stien, L. H. & Kristiansen, T. S. (2012a) Duration of effects of acute environmental changes on food anticipatory behaviour, feed intake, oxygen consumption, and cortisol release in Atlantic salmon parr. *Physiology & Behavior* **105**, 283-291.
- Folkedal, O., Stien, L.H., Torgersen, T., Oppedal, F., Olsen, R.E., Fosseidengen, J.E., Braithwaite, V.A. & Kristiansen, T.S. (2012b) Food anticipatory behaviour as an indicator of stress response and recovery in Atlantic salmon post-smolt after exposure to acute temperature fluctuation. *Physiology & Behavior* **105**, 350-356.
- Folkedal, O., Pettersen, J. M., Bracke, M. B. M., Stien, L. H., Nilsson, J., Martins, C., Breck, O., Midtlyng, P. J., Kristiansen, T. S. 2016. On-farm evaluation of the Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0) - Theoretical and practical considerations. *Animal Welfare* **25**, 135-149.
- Folmar, F. C., Dickhoff, W. W. (1980) The parr-smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids: a review of selected literature. *Aquaculture* **21**, 1-37.
- FOR (2004) Regulations relating to Operation of Aquaculture Establishments (Aquaculture Operation Regulations). FOR 2004-12-22 no. 1785, § 19. Norwegian Ministry of Fisheries and Coastal Affairs.
- Forsberg, O. I. (1997) The impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* **28(1)**, 29-41.
- Fraser, T. W. K., Fjelldal, P. G., Hansen, T. & Mayer, I. (2012) Welfare considerations in of triploid fish. *Reviews in Fisheries Science* **20**, 192-211.
- Fraser, T. W. K., Hansen, T., Fleming, M. S. & Fjelldal, P. G. (2015) The prevalence of vertebral deformities is increased with higher egg incubation temperatures and triploidy in Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **38**, 75-89.
- Frenzl, B., Stien, L. H., Cockerill, D., Oppedal, F., Richards, R. H., Shinn, A. P., Bron, J. E. & Migaud, H., (2014) Manipulation of farmed Atlantic salmon swimming behaviour through the adjustment of lighting and feeding regimes as a tool for salmon lice control. *Aquaculture* **424**, 183-188.
- Fry, F. E. J. (1947) Effects of the environment on animal activity. *Publications of the Ontario Fisheries Research Laboratory* **68**, 1-62.
- 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., Rackebandt, S., Oppedal, F. & McClimans, T. A. (2014) Flow fields inside stocked fish cages and the near environment. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* **136(3)**, 031201.
- Geist, D.R., Brown, R.S., Cullinan, V.I., Mesa, M.G., Venderkooi, S.P., McKinstry, C.A. (2003) Relationships between metabolic rate, muscle electromyograms and swim performance of adult chinook salmon. *Journal of Fish Biology* **63**, 970-989.

- Gismervik, K., Østvik, A. & Viljugrein, H. (2016) Pilotflåte Helixir - dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus. Del 1 uten legemiddel. *Rapport 15, 2016. Veterinærinstituttets rapportserie*. Veterinærinstituttet, Oslo, Norge.
- Gismervik, K., Nielsen, K. V., Lind, M. B. & Viljugrein, H. (2017a) Mekanisk avlusing med FLS-avlusersystem- dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus. In: *Veterinærinstituttets rapportserie 6-2017*. Veterinærinstituttet, Oslo, pp. 41.
- GLOBALG.A.P. (2015) The GLOBALG.A.P. Aquaculture Standard. http://www.globalgap.org/uk_en/for-producers/aquaculture/ (accessed 2016)
- Gorman, K. F. & Breden, F. (2007) Teleosts as models for human vertebral stability and deformity. *Comparative Biochemistry & Physiology Part C* **145**, 28-38.
- Grimnes, A. & Jakobsen, P. J. (1996) The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **48**, 1179-1194.
- Grøntvedt, R. N., Nerbøvik, I. -K. G., Viljugrein, H., Lillehaug, A., Nilsen, H. & Gjerve, A. -G. (2015) Termisk avlusing av laksefisk – dokumentasjon av fiskevelferd og effekt. *Rapport 13, 2015. Veterinærinstituttets rapportserie*. Veterinærinstituttet, Oslo, Norge.
- Gutierrez, A. X., Kolarevic, J., Sæther, B. -S., Bæverfjord, G., Takle, H., Medina, H. M. & Terjesen, B. F. (2011) Effects of sublethal nitrite exposure at high chloride background during the parr stage of Atlantic salmon. In: *Aquaculture Europe 2011, Abstracts*, p. 1080-1081.
- Halver, J. E., Ashley, L. M. & Smith, R. R. (1969) Ascorbic acid requirements of coho salmon and rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society* **98(4)**, 762-771.
- Hammenstig, D., Sandblom, E., Axelsson, M. & Johnsson, J. I. (2014) Effects of rearing density and dietary fat content on burst-swim performance and oxygen transport capacity in juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **85(4)**, 1177-1191.
- Hammer, C. (1995) Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **112(1)**, 1-20.
- Hamre, K., Christiansen, R., Waagbø, R., Maage, A., Torstensen, B.E., Lygren, B., Lie, Ø., Wathne, E. & Albrektsen, S. (2004) Antioxidant vitamins, minerals and lipid levels in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.): effects on growth performance and fillet quality. *Aquaculture Nutrition* **10**, 113-123.
- Handeland, S. O., Berge, Å., Björnsson, B. T. & Stefansson, S. O. (1998) Effects of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in seawater. *Aquaculture* **168(1)**, 289-302.
- Handeland, S. O., Berge, Å., Björnsson, B. T., Lie, Ø., Stefansson, S. O. (2000) Seawater adaptation by out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at different temperatures. *Aquaculture* **181**, 377-396.
- Handeland, S. O., Arnesen, A. M. & Stefansson, S. O. (2003) Seawater adaptation and growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) of wild and farmed strains. *Aquaculture* **220(1)**, 367-384.
- Handeland, S. O., Wilkinson, E., Sveinsbø, B., McCormick, S. D. & Stefansson, S. O. (2004) Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture* **233(1)**, 513-529.
- Handeland, S. O., Imsland, A. K. & Stefansson, S. O. (2008) The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture* **283(1)**, 36-42.
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., Björnsson, B. T. & Stefansson, S. O. (2013) Long-term effects of photoperiod, temperature and their interaction on growth, gill Na⁺, K⁺-ATPase activity, seawater tolerance and plasma growth-hormone levels in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **83(5)**, 1197-1209.
- Hansen, T., Stefansson, S. & Taranger, G. L. (1992) Growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reared in sea cages at two different light regimes. *Aquaculture Research* **23(3)**, 275-280.

- Hansen, T., Fjellidal, P. G., Yurtseva, A. & Berg, A. (2010) A possible relation between growth and number of deformed vertebrae in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Applied Ichthyology* **26(2)**, 355-359.
- Hatløy, T. (2015) Effekten av akutt allostatisk belastning på hypothalamus –hypofyse - interrenal aksene, og dets betydning på dyrevelferden hos diploid og triploid atlantisk laksesmolt (*Salmo salar* L.). M.sc. thesis, Nord Universitet, 2015.
- Havas, M. & Rosseland, B. O. (1995) Response of zooplankton, benthos, and fish to acidification: an overview. *Water, Air, & Soil Pollution* **85(1)**, 51-62.
- Henriksen, A., Skogheim, O. K. & Rosseland, B. O. (1984) Episodic changes in pH and aluminium-speciation kill fish in a Norwegian salmon river. *Vatten* **40**, 255-260.
- Hevrøy, E. M., Waagbø, R., Torstensen, B. E., Takle, H., Stubhaug, I., Jørgensen, S. M., Torgersen, T., Tvenning, L., Susort, S., Breck, O. & Hansen, T. (2012) Ghrelin is involved in voluntary anorexia in Atlantic salmon raised at elevated sea temperatures. *General and Comparative Endocrinology* **175**, 118–134.
- 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., Walde, C., Bang Jensen, B. & Haukaas, A. (Eds) (2016). Fiskehelse rapporten 2015. *Veterinærinstituttet*, p 74.
- Hjeltnes, B., mfl. (2017). Fiskehelse rapporten 2016. Oslo, *Veterinærinstituttet*, p. 121.
- Holmer, M. (2010) Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions* **1**, 57-70.
- Holst, J. C., Jakobsen, P., Nilsen, F., Holm, M., Asplin, L. & Aure, J. (2003) Mortality of seaward-migrating post-smolts of Atlantic salmon due to salmon lice infection in Norwegian salmon stocks. In: *Salmon at the Edge*. Mills, D. (ed.). Blackwell Science, Oxford. 136–137.
- Hosfeld, C. D., 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., 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.
- Howes, G.B. (1894) On synostosis and curvature of the spine in fishes, with special reference to the sole. *Proceedings of the Zoological Society of London* 95-101.
- Hulland, T. J. (1992) Muscles-II. General Reactions of Muscle. In: *Pathology of Domestic Animals: v.1 (Pathology of Domestic Animals Series)*. Jubb, K. V. F., Kennedy, P. C. & Palmer, N. (Eds). Academic Press Inc., London, UK, 190-191.
- Huntingford, F. A., & Kadri, S. (2009) Taking account of fish welfare: lessons from aquaculture. *Journal of Fish Biology* **75(10)**, 2862-2867.
- Huntingford, F. A., & Kadri, S. (2014) Defining, assessing and promoting the welfare of farmed fish. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* **33(1)**, 233-244.
- Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P. & Turnbull, J. F. (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of fish biology* **68(2)**, 332-372.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R. S. & Eliassen, R. A. (2003) The efficacy of metomidate, clove oil, Aquil-S (TM) and Benzoak (R) as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture* **221**, 549-566.
- Iversen, M., Finstad, B., 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.
- Iversen, M. & Eliassen, R. (2012) Stressovervåking av settefiskproduksjonen i Mainstream Norway AS 2009 - 2011. Stresskartlegging av laksesmolt (*Salmo salar* L.), og effekten av

- stressreducerende tiltak på stressnivå, dyrevelferd og produksjonsresultatet. *UiN-rapport nr 05/2012*. 54 pp.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S., Eliassen, R.A., Carlsen, K.T & Evjen, T. (2005) Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea. *Aquaculture* **243**, 373–382.
- Iversen, M.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.
- Iwata, M., Komatsu, S., Collie, N.L., Nishioka, R.S. & Bern, H.A. (1987) Ocular cataract and seawater adaptation in salmonids. *Aquaculture* **66**, 315–327.
- Jason, T., Quigley, J. T. & Hinch, S. G. (2006) Effects of rapid experimental temperature increases on acute physiological stress and behaviour of stream dwelling juvenile chinook salmon. *Journal of Thermal Biology* **31**, 429–441
- Jensen, F. B. (2003) Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **135(1)**, 9-24.
- Jobling, M., Alanr a, A., Noble, C., S anches-V azquez, 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.
- Jobling, M. (1994) Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London (1994) 309 pp.
- Jobling, M. (1983) Growth studies with fish—overcoming the problems of size variation. *Journal of Fish Biology* **22(2)**, 153-157.
- Johansen, S. J. S. & Jobling, M. (1998) The influence of feeding regime on growth and slaughter traits of cage-reared Atlantic salmon. *Aquaculture International* **6**, 1–17.
- Johansson, D., Laursen, F., Fern o, A., Fosseidengen, J.E., Klebert, P., Stien, L.H., V agseth, T. & Oppedal, F. (2014) The interaction between water currents and salmon swimming behaviour in sea cages. *PLoS one* **9(5)**, p.e97635.
- Johansson, D., Ruohonen, K., Juell, J. E. & Oppedal, F. (2009) Swimming depth and thermal history of individual Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages under different ambient temperature conditions. *Aquaculture* **290(3)**, 296-303.
- Johansson, D., Ruohonen, K., Kiessling, A., Oppedal, F., Stiansen, J. E., Kelly, M. & Juell, J. E. (2006) Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. *Aquaculture* **254(1)**, 594-605.
- Jonathan, B. (2016) Cognitive evidence of fish sentience. *Animal Sentience* 2016.003
- Jones, M. (2004) Cultured Aquatic Species Information Programme. *Salmo salar*. Cultured Aquatic Species Information Programme. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department*. [Online]. Available: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo_salar/en [Accessed 28.09. 2016].
- Jonsson, N. & Finstad, B. (1995) Sj orret:  kologi, fysiologi og atferd (Sea trout: ecology, physiology and behaviour). *NINA Fagrapport* 6 (1995), pp. 1–32 (In Norwegian with English summary)
- Jonsson, B. & Ruud-Hansen, J. (1985) Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42(3)**, 593-595.
- Jovanovi , V., Risojevi , V., & Babi , Z. (2016) Splash detection in surveillance videos of offshore fish production plants. *2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Bratislava, 23-25 May 2016
- Juell, J. –E. (1995) The behaviour of Atlantic salmon in relation to efficient cage-rearing. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **5**, 320–335.
- Juell, J. –E., Bjordal,  ., Fern o, A. & Huse, I. (1994) Effect of feeding intensity on food intake and growth of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management* **25**, 453–464.
- Juell, J. –E., Furevik, D. M. & Bjordal,  . (1993) Demand feeding in salmon farming by hydroacoustic food detection. *Aquacultural Engineering* **12**, 155-167.

- Juell, J. -E. & Fosseidengen, J. E. (2004) Use of artificial light to control swimming depth and fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in production cages. *Aquaculture* **233(1)**, 269-282.
- Juell, J. E., Oppedal, F., Boxaspen, K. & Taranger, G. L. (2003) Submerged light increases swimming depth and reduces fish density of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in production cages. *Aquaculture Research* **34(6)**, 469-478.
- Kadri, S., Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A. & Thorpe, J. E. (1991) Daily feeding rhythms in Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture* **92**, 219-224.
- Kadri, S., Mitchell, D. F., Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A. & Thorpe, J. E. (1996) Differential patterns of feeding and resource accumulation in maturing and immature Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* **142(3)**, 245-257.
- Kaplan, K.M., Spivak, J.M. & Bendo, J.A. (2005) Embryology of the spine and associated congenital abnormalities. *The Spine Journal* **5**, 564-576.
- Karlsbakk, E. (2015) Amøbisk gjellesykdom (AGD) – litt om den nye plagen. *Havforskningsrapporten* **2015**, 32-35.
- Kent, M.L., Groff, J.M., Morrison, J.K., Yasutake, W.T. & Holt, R.A. (1989) Spiral swimming behavior due to cranial and vertebral lesions associated with *Cytophaga psychrophila* infections in salmonid fishes. *Diseases of Aquatic Organisms* **6**, 11-16.
- Kent, M. L., Traxler, G. S., Kieser, D., Richard, S. C., Dawe, R. W., Shaw, G., Prospero-Porta, G., Ketcheson, J. & Evelyn, T. P. T. (1998) Survey of salmonid pathogens in ocean-caught fishes in British Columbia. *Journal of Aquatic Animal Health* **10**, 211–219.
- 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.
- Kestin, S. C. (1994) Pain and stress in fish. RSPCA, Horsham, West Sussex UK. 36 pp.
- Key, B. (2016) Why fish do not feel pain. *Animal Sentience* 2016.003
- Kirschner, L., Greenwald, L. & Sanders, M. (1974) On the mechanisms of sodium extrusion across the irrigated gill of seawater adapted rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of General Physiology* **64**, 148-165.
- Kittilsen, S., Schjolden, J., Beitnes-Johansen, I., Shaw, J. C., Pottinger, T. G., Sorensen, C., Braastad, B.O., Bakken, M. & Øverli, O. (2009) Melanin-based skin spots reflect stress responsiveness in salmonid fish. *Hormones and Behavior* **56**, 292-298.
- Kjartansson, H., Fivelstad, S., Thomassen, J. M. & Smith, M. J. (1988) Effects of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in circular tanks. *Aquaculture* **73(1)**, 261-274.
- Knoph, M. B. (1996) Gill ventilation frequency and mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to high ammonia levels in seawater. *Water Research* **30**, 837-842
- Kolarevic, J., Bæverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Megård Reiten, B. K, Nergård, S., Terjesen, B. F (2014) Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture* **432**, 15-25.
- 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. (2012) Individual variation in swimming depth and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) subjected to submergence in sea-cages. *Aquaculture* **334-337**, 142–151.
- Kotrschal, K., Whitemar, 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., Fjelldal, P. G. & Hansen, T. (2014) Dyrevelferd i lakseoppdrett (eng: Animal welfare in salmon aquaculture). In: Taranger, G. L., Svåsand, T., Kvamme, B. O., Kristiansen, T. & Boxaspen, K. K., *Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013, Fisken og havet særnr 2-2014*, 145-154.
- Kristoffersen, S., Tobiassen, T., Steinsund, V. & Olsen, R. L. (2006) Slaughter stress, postmortem muscle pH and rigor development in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *International Journal of Food Science + Technology* **41**, 861-864
- Krogdahl, Å., Sundby, A. & Olli, J.J. (2004) Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effects of water salinity and dietary starch level. *Aquaculture* **229**, 335–360.
- Kvellestad, A., Høie, S., Thorud, K., Tørud, B. & Lyngøy, A. (2000) Platyspondyly and shortness of vertebral column in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in Norway-Description and interpretation of pathological changes. *Diseases of Aquatic Organisms* **39**, 97-108.
- Lacroix, G. L. (2013) Population-specific ranges of oceanic migration for adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) documented using pop-up satellite archival tags. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **70**, 1011-1030.
- Lacroix, G. L., Gordon, D. J. & Johnston, D. J. (1985) Effects of low environmental pH on the survival, growth, and ionic composition of post emergent Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42(4)**, 768-775.
- Ladeira-Dabarca, A., Álvarez, M. & Molist, P. (2014) Food deprivation causes rapid changes in the abundance and glucidic composition of the cutaneous mucous cells of Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **37**, 899–909.
- Leclercq, E., Taylor, J. F., Fison, D., Fjelldal, P. G., Diez-Padrisa, M., Hansen, T. & Migaud, H. (2011) Comparative seawater performance and deformity prevalence in out-of-season diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* **158**, 116-125.
- Lee, C. G., Farrell, A. P., Lotto, A., MacNutt, M. J., Hinch, S. G. & Healey, M. C. (2003) The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon stocks. *Journal of Experimental Biology* **206**, 3239–3251.
- Lekang, O.-I., (2007) *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 432 pp.
- Levsen, A. & Maage, A. (2015) Nasjonal undersøkelse av forekomst av *Anisakis* i norsk oppdrettslaks. Rapport NIFES, 2015 10 pp. (<http://nifes.no/wp-content/uploads/2015/12/sluttrapportfhnifesanisakisioppdrettslaks151216.pdf>)
- Lewis Jr, W. M. & Morris, D. P. (1986) Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* **115(2)**, 183-195.
- Liebert, A. M. & Schreck, C. B. (2006) Effects of acute stress on osmoregulation, feed intake, IGF-1, and cortisol in yearling steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) during seawater adaptation. *General and Comparative Endocrinology* **148**, 195-202.
- Lightfoot, G. 2008. The thermal biology of brown trout and Atlantic salmon [Online]. Available: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291742/scho1008boue-e-e.pdf [Accessed 06.10. 2016].
- Ligon, F., Rich, A., Rynearson, G., Thornburgh, D. & Trush, W. (1999) Report of the scientific review panel on California forest practice rules and salmonid habitat. *Prepared for the Resources Agency of California and the National Marine Fisheries Service. Sacramento, CA, 2.*
- Lind, M. B. (2015) Fluidpermeabelt luseskjørt (SalGard™) og fiskevelferd i oppdrett av atlantisk laks (*Salmo salar* L.) i Nord-Norge - effektiv og skånsom ikke-medikamentell bekjempelse av lakselus? *Masteroppgave i Fiskehelse, Fakultet for biovitenskap, fiskeri og økonomi, Universitetet i Tromsø.*
- Liu, B., Liu, Y. & Wang, X. (2015) The effect of stocking density on growth and seven physiological parameters with assessment of their potential as stress response indicators for the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* **48(3)**, 177-192.

- Løvoll, M., Wiik-Nielsen, C. R., Tunsjø, H. S., Colquhoun, D., Lunder, T., Sørsum, H. & Grove, S. (2009) Atlantic salmon bath challenged with *Moritella viscosa*—pathogen invasion and host response. *Fish & shellfish immunology* **26**(6), 877-884.
- Lucas, J. S., Southgate, P. C. (2012) Aquaculture, farming aquatic animals and plants. John Wiley & Sons Ltd. Sussex, UK, 648 pp.
- 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.
- MacIntyre, C. M., Ellis, T., North, B. P. & Turnbull, J. F. (2007) The Influences of Water Quality on the Welfare of Farmed Rainbow trout: a Review. In: *Fish Welfare*. Branson, E. J. (ed.) Oxford: Blackwell Publishing
- MacLean, A., Metcalfe, N. B. & Mitchell, D. (2000) Alternative competitive strategies in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): evidence from fin damage. *Aquaculture* **184**(3), 291-302.
- Manteifel, Y.B. & Karelina, M. A. (1996) Conditioned food aversion in the goldfish, *Carassius auratus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **115**, 31-35.
- Marine Harvest, 2016 <http://hugin.info/209/R/2023118/751659.pdf>
- Marschall, E. A., Quinn, T. P., Roff, D. A., Hutchings, J. A., Metcalfe, N. B., Bakke, T. A., Saunders, R. L. & Poff, N. L. (1998) A framework for understanding Atlantic salmon (*Salmo salar*) life history. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(S1), 48-58.
- Martins, C. I. M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgard, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J. C., Carter, T., Planellas, S. R. & Kristiansen, T. (2012) Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry* **38**, 17-41.
- Maule, A.G., Schreck, C.B. & Kaattari, S.L. (1987) Changes in the immune system of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the parr-to-smolt transformation and after implantation of cortisol. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**, 161–166.
- Maule, A.G., Tripp, R.A., Kaattari, S.L. & Schreck, C.B. (1989) Stress alters immune function and disease resistance in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Journal of Endocrinology* **120**, 135-142.
- McCormick, S. D. (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. (1994) Opercular membranes and skin. *Analytical Techniques* **3**, 231.
- McCormick, S. D., Keyes, A., Nislow, K. H. & Monette, M. Y. (2009) Impacts of episodic acidification on in-stream survival and physiological impairment of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **66**(3), 394-403.
- McCormick, S. D., Saunders, R. L. & MacIntyre, A. D. (1989) The effect of salinity and ration level on growth rate and conversion efficiency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Aquaculture* **82**(1-4), 173-180.
- McCormick, S. D., Shrimpton, J. M., Carey, J. B., O'dea, M. F., Sloan, K. E., Moriyama, S. & Björnsson, B. T. (1998) Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insulin-like growth factor I and cortisol. *Aquaculture* **168**(1), 221-235.
- McDonald, G. & Milligan, L. (1997) Ionic, osmotic and acid-base regulation in stress. In: *Stress and Health in Aquaculture*. Iwama, G. K., Pickering, A. D., Sumpter, J. P. & Schreck, C. B. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press. 119-145.
- McKinnon, B. M. (1993) Host response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to infection by sea lice (*Caligus elongatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **50**, 789-792.
- McNeill, B., Perry, S. F. (2006) The interactive effects of hypoxia and nitric oxide on catecholamine secretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of experimental biology* **209**, 4214–4223.
- Mejdell, C., Lund, V. & Håstein, T. (2007) Fish welfare in aquaculture. *Journal of Commonwealth Veterinary Association* **23**(2), 21-26.
- Mellor, D. J., Patterson-Kane, E. & Stafford, K. J. (2009) The Sciences of Animal Welfare. John Wiley & Sons Ltd, Oxford, UK, 212 pp.

- Menzies, F. D., Crockford, T., Breck, O. & Midtlyng, P. J. (2002) Estimation of direct costs associated with cataracts in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **22**, 27–32.
- 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.
- Metcalf, N. B. & Thorpe, J. E. (1992) Anorexia and defended energy levels in over-wintering juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology* **61**, 175–181.
- Midtlyng, P. J. (1997) Vaccinated Fish Welfare: Protection Versus Side-Effects. In: *Fish Vaccinology*. Gudding, R., Lillehaug, A., Midtlyng, P. J. & Brown, F. (eds): Dev Biol Stand. Basel, Karger, vol 90, 371–379.
- Midtlyng, P. J., Reitan, L. J. & Speilberg, L. (1996) Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis. *Fish & Shellfish Immunology* **6**, 335–350.
- Midtlyng, P.J. & Lillehaug, A. (1998) Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. *Diseases of Aquatic Organisms* **32**, 91–97.
- Midtlyng P. J., Ahrend M., Bjerås E., Waagbø, R. & Wall T. (1999). Current research on cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **19**, 299–301.
- Milligan, C.L. & Girard, S.S. (1993) Lactate metabolism in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* **180**, 175–193.
- Millot, S., Nilsson, J., Fosseidengen, J. E., Bégout, M. –L., Fernö, A., Braithwaite, V. A. & Kristiansen, T. S. (2014) Innovative behaviour in fish: Atlantic cod can learn to use an external tag to manipulate a self-feeder. *Animal Cognition* **17**, 779–785.
- Mommsen, T. P., Vijayan, M. M. & Moon, T. W. (1999) Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **9**, 211–268.
- Mork, O. I. & Gulbrandsen, J. (1994) Vertical activity of four salmonid species in response to changes between darkness and two intensities of light. *Aquaculture* **127(4)**, 317–328.
- Mørkøre, T., Tahirovic, V. & Einen, O. (2008) Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*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.
- Munro, A. L. S., Ellis, A. E., McVicar, A. H., McLay, H. A. & Needham, E. A. (1984) An exocrine pancreas disease of farmed Atlantic salmon in Scotland. *ICES CM* **1983/F:19**.
- 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.
- 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., Brandes, T. S., Burke, B. J., Craig, S. R., Dimichele, L. V., Duchon, K., Edwards, R. E., Fontaine, L. P., Gatlin, D. M., Hutchins, 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.
- Neill, W. H. & Bryan, J. D. (1991) Responses of fish to temperature and oxygen, and response integration through metabolic scope. In: *Aquaculture and Water Quality, Advances in World Aquaculture*. Brune, D. E. & Tomasso, J. R. (eds.). Baton Rouge, LA: The World Aquaculture Society 30–57.
- Neves, K.J. & Brown, N.P. (2015) Effects of Dissolved Carbon Dioxide on Cataract Formation and Progression in Juvenile Atlantic Cod, *Gadus morhua* L. *Journal of the World Aquaculture Society* **46**, 1: doi: 10.1111/jwas.12166

- Nilsson, J., Kristiansen, T. S., Fosseidengen, J. E., Stien, L. H., Fernö, A., van den Bos, R. (2010) Learning and anticipatory behaviour in a “sit-and-wait” predator: The Atlantic halibut. *Behavioural Processes* **83**, 257–266
- Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D. F. & Huntingford, F. A. (2007) The impact of environmental variables on the feeding rhythms and daily feed intake of cage-held 1+ Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **269(1)**, 290-298.
- Noble, C., Kadri, S., Mitchell, D. F. & Huntingford, F. A. (2008) Growth, production and fin damage in cage-held 0+ Atlantic salmon pre-smolts (*Salmo salar* L.) fed either a) on-demand, or b) to a fixed satiation–restriction regime: Data from a commercial farm. *Aquaculture* **257**, 163-168.
- Noble, C., Cañon Jones, H. A., Damsgård, B., Flood, M. J., Midling, K. Ø., Roque, A., Sæther, B. -S. & Cottee, S. Y. (2012a) 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. (2012b) Using rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* as self-feeding actuators for white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis*: Implications for production and welfare. *Applied Animal Behaviour Science* **138**, 125-131.
- Nolan, D.T., Reilly, P. & Bonga, S.E.W. (1999) Infection with low numbers of the sea louse, *Lepeophtheirus salmonis*, induces stress-related effects in post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**, 947–959.
- Nylund, A., Hovland, T., Hodneland, K., Nilsen, F. & Lovik, P. (1994) Mechanisms for transmission of infectious salmon anaemia (ISA). *Diseases of Aquatic Organisms* **19**, 95-95.
- OIE (2015) Aquatic Animal Health Code. <http://www.oie.int/international-standard-setting/aquatic-code/> (accessed 2016)
- OIE (2015). Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. <http://www.oie.int/international-standard-setting/aquatic-manual/access-online/> accessed 19.02.16
- Oldham, T., Rodger, H. & Nowak, B. F. (2016) Incidence and distribution of amoebic gill disease (AGD)—an epidemiological review. *Aquaculture* **457**, 35-42.
- Olsen, A. B., Birkbeck, T. H., Nilsen, H. K., MacPherson, H. L., Wangel, C., Myklebust, C., Laidler, L. A., Aarflot, L., Thoen, E., Nygård, S. & Thayumanavan, T. (2006) Vaccine-associated systemic *Rhodococcus erythropolis* infection in farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of aquatic organisms* **72(1)**, 9-17.
- Olsen, R.E., Sundell, K., Hansen, T., Hemre, G.-I., Myklebust, R., Mayhew, T.M. & Ringø, E. (2003) Acute stress alters the intestinal lining of Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: An electron microscopical study. *Fish Physiology and Biochemistry* **26**, 211–221.
- Olsen, Y. A., Einarsdottir, I. E. & Nilssen, K. J. (1995) Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress. *Aquaculture* **134**, 155-168
- Oppedal, F., Taranger, G. L., Juell, J. E., Fosseidengen, J. E. & Hansen, T. (1997) Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. *Aquatic Living Resources* **10(6)**, 351-357.
- Oppedal, F., Taranger, G. L. & Hansen, T. (2003) Growth performance and sexual maturation in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in seawater tanks exposed to continuous light or simulated natural photoperiod. *Aquaculture* **215(1)**, 145-162.
- Oppedal, F., Berg, A., Olsen, R. E., Taranger, G. L. & Hansen, T. (2006) Photoperiod in seawater influence seasonal growth and chemical composition in autumn sea-transferred Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given two vaccines. *Aquaculture* **254(1)**, 396-410.
- Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011a) Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture* **311(1)**, 1-18.
- Oppedal, F., Vågseth, T., Dempster, T., Juell, J.E. & Johansson, D. (2011b). Fluctuating sea-cage environments modify the effects of stocking densities on production and welfare parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **315**, 361–368.
- Ørnsrud, R., Gil, L. & Waagbø, R. (2004) Teratogenicity of elevated egg incubation temperature and egg vitamin A status in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* **27**, 213-223.

- Øverli, Ø., Winberg, S., Damsgård, B. & Jobling, M. (1998) Food intake and spontaneous swimming activity in Arctic char (*Salvelinus alpinus*): role of brain serotonergic activity and social interactions. *Canadian Journal of Zoology* **76**, 1366-1370.
- Pagnotta, A. & Milligan, C. L. (1991) The role of blood glucose in the restoration of muscle glycogen during recovery from exhaustive exercise in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *Journal of Experimental Biology* **161**, 489–508.
- Pall, M., Norberg, B., Andersson, E. & Taranger, G.L. (2006) Kjønnsmodning hos atlantisk laks (*Salmo salar*). In: *Kyst og havbruk 2006*. Svåsand, T. , Boxaspen, K., Dahl, E., Jørgensen, L.L. (eds.). *Fisken og havet, særnr. 2–2006*.
- Panksepp, J. (2005) Affective consciousness: Core emotional feelings in animals and humans. *Consciousness and Cognition* **14**, 30-80.
- Panksepp, J., Biven, L. (2012) *The archaeology of mind: Neuroevolutionary origins of human emotions*. WW Norton & Company, NY, 562 pp.
- Peake, S. J. (2008) Swimming performance and behaviour of fish species endemic to Newfoundland and Labrador: A literature review for the purpose of establishing design and water velocity criteria for fishways and culverts. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* No. 2843.
- Peake, S. J., McKinley, R. S. & Scruton, D. A. (1997) Swimming performance of various freshwater Newfoundland salmonids relative to habitat selection and fishway design. *Journal of Fish Biology* **51**, 710-723.
- 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.
- 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.
- Peterson, R. H. & Anderson, J. M. (1969) Influence of Temperature Change on Spontaneous Locomotor Activity and Oxygen Consumption of Atlantic Salmon, *Salmo salar*, Acclimated to Two Temperatures. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **26**, 93-109.
- Peterson, R. H., Spinney, H. C. E. & Sreedharan, A. (1977) Development of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs and alevins under varied temperature regimes. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **34(1)**, 31-43.
- Peterson, T. S. (2015) Overview of mucosal structure and function in teleost fishes. In: *Mucosal health in Aquaculture*. Beck, B. H. & Peatman, E. (eds.). Academic Press, Oxford, UK. 55-67.
- Petterson, J.M., Bracke, M.B.M, Midtlyng, P.J., Folkedal, O., Stien, L.H., Steffenak, H. & Kristiansen, T.S. (2014) Salmon welfare index model 2.0: an extended model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon, based on a review of selected welfare indicators and intended for fish health professionals. *Reviews in Aquaculture* **6**, 162–179.
- Phuong, L.M., Damsgaard, C., Huong, D.T.T., Ishimatsu, A., Wang, T. & Bayley, M. (2017) Recovery of blood gases and haematological parameters upon anaesthesia with benzocaine, MS-222 or Aqui-S in the air-breathing catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Ichthyological Research* **64**, 84-92.
- Pickering, A.D. & Pottinger, T.G. (1989) Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry* **7**, 253–258.
- Poppe, T., Bergh, Ø., Espelid, S. & Nygaard, S. (1999) *Fiskehelse og fiskesykdommer*, Universitetsforlaget, Oslo.
- 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.T. (2000) Husbandry diseases in fish farming – an ethical challenge to the veterinary profession. *Norsk Veterinaer Tidsskrift* **112**, 91-96.
- Porter, M. J. R., Duncan, N. J., Mitchell, D. & Bromage, N. R. (1999) The use of cage lighting to reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. *Aquaculture* **176(3)**, 237-244.

- Pörtner, H. O. & Farrell, A. P. (2008) Physiology and climate change. *Science* **322(5902)**, 690-692.
- 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.
- Powell, M.D., Jones, M.A. & Lijalad, M. (2009) Effects of skeletal deformities on swimming performance and recovery from exhaustive exercise in triploid Atlantic salmon. *Diseases of Aquatic Organisms* **85**, 59-66.
- Poxton, M. G. (1991) Incubation of salmon eggs and rearing of alevins: natural temperature fluctuations and their influence on hatchery requirements. *Aquacultural Engineering* **10(1)**, 31-53.
- Randall, D.J. & Wright, P.A. (1995) Circulation and gas transfer. In: *Physiological Ecology of Pacific Salmon*. Groot, G., Margolis, L., Clarke, W. C. (eds.). UBC Press, Vancouver, 441-458.
- Redding, M. J. & Schreck, C. B. (1983) Influence of Ambient Salinity on Osmoregulation and Cortisol Concentration in Yearling Coho Salmon during Stress. *Transactions of the American Fisheries Society*, **112**, 800-807.
- 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., Aas, T. S., Vågseth, T., Torgersen, T., Olsen, R. E., Imsland, A. & Oppedal, F. (2014) Production performance of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts in cyclic hypoxia, and following compensatory growth. *Aquaculture Research* **45(8)**, 1355-1366.
- Remen, M., Sievers, M., Torgersen, T. & Oppedal, F. (2016) The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture* **464**, 582-592.
- Remen, M., Solstorm, F., Bui, S., Klebert, P., Vågseth, T., Solstorm, D., Hvas, M. & Oppedal, F. (2016b) Critical swimming speed in groups of Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions*, **8**, 659-664.
- Remø, S.C., Olsvik, P.A., Torstensen, B.E., Amlund, H., Breck, O. & Waagbø, R. (2011) Susceptibility of Atlantic salmon lenses to hydrogen peroxide oxidation ex vivo after being fed diets with vegetable oil and methylmercury. *Experimental Eye Research* **92**, 414-424.
- Revie, C. W., Gettinby, G., Treasurer, J. W. & Rae, G. H. (2002) The epidemiology of the sea lice, *Caligus elongates* Nordmann, in marine aquaculture of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Scotland. *Journal of Fish Diseases* **25**, 391-399.
- Rimstad, E., Dale, O. B., Dannevig, B. H. & Falk, K. (2011) Infectious Salmon Anaemia. In: *Fish diseases and disorders. Volume 3*. Woo, P. & Bruno, D. (eds.). Oxfordshire, UK: CAB International, 143-165.
- Robb, D. H. F. (2001) The Relationship Between Killing Methods and Quality. In: *Farmed Fish Quality*. Kestin, S. D. & Warris, P. D. (eds.). Fishing News Books. Cornwall, UK, 220-233.
- Roberts, R. J. & Rodger, H. D. (2012) The pathophysiology and systematic pathology of teleosts. In: *Fish Pathology*. Roberts, R. J. (ed.). Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, 62-143.
- Rose, J. D. (2002) The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Reviews in Fisheries Science* **10**, 1-38.

- Ross, N. W., Firth, K. J., Aniping, W., Burka, J. F. & Johnson, S. C. (2000) Changes in hydrolytic enzyme activities of naïve Atlantic salmon *Salmo salar* skin mucus due to infection with the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* and cortisol implantation. *Diseases of Aquatic Organisms* **41**, 44–51.
- Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B.O. & Braathen, B.R. (2004) Vannkvalitet relatert til dyrevelferd. In: Mattilsynet (Ed.). KPMG Senter for havbruk og fiskeri, Trondheim, pp. 89.
- RSPCA (2015). RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon> (Accessed 2016)
- RSPCA (2014). RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout> (Accessed 2016)
- Sadler J., Pankhurst, P. M. & King, H. R. (2001) High prevalence of skeletal deformity and reduced gill surface area in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **198**, 369–386.
- Salama, N. K. G., Murray, A. G., Christie, A. J. & Wallace, I. S. (2016) Using fish mortality data to assess reporting thresholds as a tool for detection of potential disease concerns in the Scottish farmed salmon industry. *Aquaculture* **450**, 283–288.
- Samraus, F., Glover, K. A., Hansen, T., Fraser, T. W. K., Solberg, M. F. & Fjellidal, P. G. (2014) Vertebra deformities in wild Atlantic salmon caught in the Figgjo River, southwest Norway. *Journal of Applied Ichthyology* **30**, 777–782.
- Samraus, F., Olsen, R. E., Remen, M., Hansen, T. J., Torgersen, T. & Fjellidal, P. G. (2017) Water temperature and oxygen: The effect of triploidy on performance and metabolism in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture* **473**, 1–12.
- Samsing, F., Solsorm, D., Oppedal, F., Solstorm, F. & Dempster, T. (2015) Gone with the flow: current velocities mediate parasitic infestation of an aquatic host. *International Journal for Parasitology* **45**: 559–565
- Sandnes, K, Lie, Ø & Waagbø, R. (1988) Normal ranges of some blood chemistry parameters in adult farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* **32**, 129–136.
- Sapolsky, R. M. (2000) Stress hormones: Good and bad. *Neurobiology of diseases* **7(5)**, 540–542.
- Saunders, R. L., Henderson, E. B., Harmon, P. R., Johnston, C. E. & Eales, J. G. (1983) Effects of low environmental pH on smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **40(8)**, 1203–1211.
- Saunders, R.L. (1965) Adjustment of buoyancy in young Atlantic salmon and brook trout by changes in swimbladder volume. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **22**, 335–352.
- Sauter, S. T., Crawshaw, L. I. & Maule, A. G. (2001) Behavioral Thermoregulation by Juvenile Spring and Fall Chinook Salmon, *Oncorhynchus Tshawytscha*, during Smoltification. *Environmental Biology of Fishes* **61**, 295–304.
- Schmidt-Nielsen, K. (1997) *Animal Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp- 405–424.
- Schreck, C. B., 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
- 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.
- Scott, A. P., Hirschenhauser, K., Bender, N., Oliveira, R., Earley, R. L., Sebire, M., Ellis, T., Pavlidis, M., Hubbard, P. C., Huertas, M. & Canario, A. (2008) Non-invasive measurement of steroids in fish-holding water: important considerations when applying the procedure to behaviour studies. *Behaviour* **145**, 1307–1328.
- 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.
- Shephard, K. L. (1994) Functions for fish mucus. *Reviews in fish biology and fisheries* **4(4)**, 401-429.
- Sigholt, T. & Finstad, B. (1990) Effect of low temperature on seawater tolerance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) Smolts. *Aquaculture* **84**, 167-172.
- Skilbrei, O. T. (1991) Importance of threshold length and photoperiod for the development of bimodal length–frequency distribution in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48(11)**, 2163-2172.
- Skjervold, P.O., Fjæra, S.O., Østby, P.B. & Einen, O. (2001) Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* **192**, 265-280.
- Skugor, S., Glover, K. A., Nilsen, F. & Krasnov, A. (2008) Local and systemic gene expression responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to infection with the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*). *BMC Genomics* **9**, 498.
- Sloman, K. A., Motherwell, G., O'connor, K. & Taylor, A. C. (2000) The effect of social stress on the standard metabolic rate (SMR) of brown trout, *Salmo trutta*. *Fish Physiology and Biochemistry* **23(1)**, 49-53.
- 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**, 177-185.
- 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**, 469-481.
- Smith, P. A., Pizarro, P., Ojeda, P., Contreras, J., Oyanedel, S. & Larenas, J. (1999) Routes of entry of *Piscirickettsia salmonis* in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of aquatic organisms* **37(3)**, 165-172.
- Sneddon, L. U., 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.
- 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. (2009) Pain Perception in Fish: Indicators and Endpoints. *Ilar Journal* **50**, 338-342.
- Sneddon, L.U. (2006) Ethics and welfare: Pain perception in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **26**, 6-10
- 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.
- 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.
- Soderberg, R. W., Meade, J. W. & Redell, L. A. (1993) Growth, survival, and food conversion of Atlantic salmon reared at four different densities with common water quality. *The Progressive Fish-Culturist* **55(1)**, 29-31.
- Soengas, J. L., Strong, E. F., Fuentes, J., Veira, J. A. R. & Andres, 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**, 491–511.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Fernö, A., Fraser, T. W. K. & Olsen, R. E. (2015) Fast water currents reduce production performance of post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions* **7**, 125–134.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Olsen, R. E., Stien, L. H. & Fernö, A. (2016a) Not too slow, not too fast: water currents affect group structure, aggression and welfare in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions* **8**, 339-347.

- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F. & Fjelldal, P. G. (2016b) The vertebral column and exercise in Atlantic salmon — Regional effects. *Aquaculture* **461**, 9–16.
- Sommerset, I., Krossøy, B., Biering, E. & Frost, P. (2005) Vaccines for fish in aquaculture. *Expert review of vaccines* **4(1)**, 89-101.
- Sopinka, N. M., Donaldson, M. R., O'Conner, C. M., Suski, C. D. & Cooke, S. J. (2016) Stress indicators in fish. In: *Biology of stress in fish. Fish physiology volume 35*. Schreck, C. B., Tort, L., Farrell, A. P. & Brauner, C. J. (eds.). Academic Press, 405-462.
- Sørensen, C., Johansen, I. B. & Øverli, Ø. (2013) Neural plasticity and stress coping in teleost fishes. *General and comparative endocrinology* **181**, 25-34.
- Spruijt, B. M., van den Bos, R. & Pijlman, F. T. (2001) A concept of welfare based on reward evaluating mechanisms in the brain: anticipatory behaviour as an indicator for the state of reward systems. *Applied Animal Behaviour Science* **72(2)**, 145-171.
- Standal, M. & Gjerde, B. (1987) Genetic variation in survival of Atlantic salmon during the sea-rearing period. *Aquaculture* **66**, 197–207.
- Staurnes, M., Sigholt, T., Åsgård, T. & Baeverfjord, G. (2001) Effects of a temperature shift on seawater challenge test performance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt. *Aquaculture* **201**, 153-159.
- Stefansson, S. O., Björnsson, B. T., Hansen, T., Haux, C., Taranger, G. L. & Saunders, R. L. (1991) Growth, parr-smolt transformation, and changes in growth hormone of Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48**, 2100-2108.
- Stefansson, S. O., Hansen, T. J. & Taranger, G. L. (1993) Growth and parr-smolt transformation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under different light intensities and subsequent survival and growth in seawater. *Aquacultural Engineering* **12(4)**, 231-243.
- Steinum, T., Kvellestad, A., Rønneberg, L., Nilsen, H., Asheim, A., Fjell, K., Nygård, S., Olsen, A. & Dale, O. (2008) First cases of amoebic gill disease (AGD) in Norwegian seawater farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and phylogeny of the causative amoeba using 18S cDNA sequences. *Journal of fish diseases* **31**, 205–214.
- Steinum, T. M., Brun, E., Colquhoun, D., Gjessing, M., Lie, K. L., Olsen, A. B., Tavnorpanich, S. & Gjevre, A.G. (2015) Proliferativ gjellebetennelse hos oppdrettslaks i sjøvann - patologi, utvalgte agens og risikofaktorer. Veterinærinstituttets rapportserie 8-2015. Oslo: Veterinærinstituttet; 2015
- Stevens, E. D., Sutterlin, A. & Cook, T. (1998) Respiratory metabolism and swimming performance in growth hormone transgenic Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55(9)**, 2028-2035.
- Stien, L. H., Bracke, M., Folkedal, O., Nilsson, J., Oppedal, F., Torgersen, T., Kittilsen, S., Midtlyng, P. J., Vindas, M. A., Øverli, Ø. & Kristiansen, T.S. (2013) Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0): a semantic model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon: review of the selected welfare indicators and model presentation. *Reviews in Aquaculture* **5**, 33-57.
- Stien, L. H., Fosseidengen, J. E., Malm, M. E., Dveier, H., Torgersen, T., Wright, D. W. & Oppedal, F. (2014) Low intensity light of different colours modifies Atlantic salmon depth use. *Aquacultural Engineering* **62**, 42–48.
- Stien, L. H., Oppedal, F., Kristiansen, T. S. (2016) Dødelighetsstatistikk for lakseproduksjon (eng: Mortality statistics for salmon production). In: *Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016*. Svåsand, T., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Stien, L. H., Taranger, G. L., Boxaspen, K.K. (eds.). Havforskningsinstituttet, Fisken og Havet, særnr; 2-2016, 129-134.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. & Piedrahita, R.H. (2000) Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural engineering* **22(1)**, 87-108.
- Sutton, S. G., Bult, T. P. & Haedrich, R. L. (2000) Relationships among fat weight, body weight, water weight, and condition factors in wild Atlantic salmon parr. *Transactions of the American Fisheries Society* **129**, 527–538.

- 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.
- Tait, J.S. (1960) The first filling of the swim bladder in salmonids. *Canadian Journal of Zoology* **38**, 179-187.
- Tang, S., Brauner, C. J. & Farrell, A. P. (2009) Using bulk oxygen uptake to assess the welfare of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, during commercial live-haul transport. *Aquaculture* **286**, 318-323.
- Taranger, G.L. & Hansen, T. (1993) Ovulation and egg survival following exposure of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., broodstock to different water temperatures. *Aquaculture Research* **24(2)**, 151-156.
- Taranger, G. L, Carrillo, M., Schulz, R. V., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A. Weltzien, F. -A., Dufour, S., Karlsen, Ø., Norberg, B., Andersson, E. & Hansen, T. (2010) Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology* **165**, 483–515.
- Taylor R. S., Muller, W. J., Cook, M. T., Kube, P. D. & Elliott, N. G. (2009) Gill observations in Atlantic salmon (*Salmon salar*) during repeated amoebic gill disease (AGD) field exposure and survival challenge. *Aquaculture* **290**, 1-8.
- Thomas, S., Fritsche, R. & Perry, S. F. (1994) Pre-and post-branchial blood respiratory status during acute hypercapnia or hypoxia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* **164(6)**, 451-458.
- Thorarensen, H., Gallagher, P. E., Kiessling, A. K. & Farrell, A. P. (1993) Intestinal blood flow in swimming chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* and the effects of haematocrit on blood flow distribution. *Journal of Experimental Biology* **179**, 115-129.
- Thorarensen, H. & Farrell, A. P. (2011) The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture* **312(1)**, 1-14.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Rikardsen, A. H. & Aarestrup, K. (2011) Aquatic Nomads: In: *Atlantic salmon ecology*. Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (eds.). Blackwell Publishing, Oxford, UK 1–32.
- Timmons, M.B. & Ebeling, J.M., (2007) Recirculating Systems. *Northeastern Regional Aquaculture Center*, Ithaca, NY.
- Torgersen, T., Bracke, M. B. M. & Kristiansen, T. S. (2011) Reply to Diggles et al. (2011): Ecology and welfare of aquatic animals in wild capture fisheries. *Reviews in fish Biology and Fisheries* **21**, 767-769.
- Tornberg, E., Wahlgren, M., Brøndum, J. & Engelsen, S. B. (2000) Pre-rigor conditions in beef under varying temperature-and pH-falls studied with rigometer, NMR and NIR. *Food Chemistry* **69(4)**, 407-418.
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O. T., Nilsen, F., Horsberg, T. E. & Jackson, D. (2013) Salmon lice–impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of fish diseases* **36(3)**, 171-194.
- Tørud, B. & Håstein, T. (2008) Skin lesions in fish: causes and solutions. *Acta Veterinaria Scandinavica* **50**, 1.
- Totland, G. K., Hjeltnes, B. K. & Flood, P. R. (1996) Transmission of infectious salmon anemia (ISA) through natural secretions and excretions from infected smolts of Atlantic salmon *Salmo salar* during their presymptomatic phase. *Diseases of Aquatic Organisms* **26**, 25–31.
- Trischitta, F., Denaro, M. G. & Faggio, C. (2005) Cell volume regulation following hypotonic stress in the intestine of the eel, *Anguilla anguilla*, is Ca²⁺-dependent. *Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology* **140**, 359-367.
- Tröise, C., Waagbø, R., Breck, O., Stavrum, A.K., Petersen, K. & Olsvik, P.A. (2009) Genome-wide transcription analysis of histidine-related cataract in Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Molecular Vision* **15**, 1332-1350.
- Turnbull, J. F., 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

- 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.
- 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.
- van den Thillart, G. & van Waarde, A. (1985) Teleosts in hypoxia-aspects of anaerobic metabolism. *Molecular Physiology* **8**, 393-409.
- van Raaij, M. T., Pit, D. S., Balm, P. H., Steffens, A. B. & van den Thillart, G. E. (1996) Behavioral strategy and the physiological stress response in rainbow trout exposed to severe hypoxia. *Hormones and Behavior* **30**(1), 85-92.
- Van Zwol, J. A., Neff, B. D. & Wilson, C. C. (2012) The influence of non-native salmonids on circulating hormone concentrations in juvenile Atlantic salmon. *Animal Behaviour* **83**(1), 119-129.
- Varsamos, S., Nebel, C. & Charmantier, G. (2005) Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* **141**, 401-429.
- Vatsos I. N., Kotzamanis Y., Henry M., Angelidis P. & Alexis M. N. (2010) Monitoring stress in fish by applying image analysis to their skin mucous cells. *European Journal of Histochemistry* **54**, 107–111.
- Veiseth, E., Fjæra, S. O., Bjerkeng, B. & Skjervold, P. O. (2006) Accelerated recovery of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from effects of crowding by swimming. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* **144**(3), 351-358.
- Veterinærinstituttet (2017). Veterinærinstituttets faktabank. <http://www.vetinst.no/sykdom-og-agens>, accessed 04.05.17.
- Videler, J. J. (1993). Fish swimming (Vol. 10). Springer Science & Business Media.
- Vigen, J. (2008) Oxygen variation within a seacage. Master Thesis, Department of Biology, University of Bergen, Norway, 73 p.
- Vilhunen, S. & Hirvonen, H. (2003) Innate antipredator responses of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) depend on predator species and their diet. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **55**(1), 1-10.
- Vindas, M. A., Johansen, I. B., Folkedal, O., Høglund, E., Gorissen, M., Flik, G., Kristiansen, T. S. & Øverli, Ø. (2016) Brain serotonergic activation in growth-stunted farmed salmon: adaption versus pathology. *Royal Society open science* **3**, 160030.
- von Uexküll J (1921). Umwelt und Innenwelt der Tiere. 2. verm. u. verb. Aufl. Berlin: J. Springer.
- Waagbø, R., Hamre, K., Bjerkås, E., Berge, R., Wathne, E., Lie, Ø. & Torstensen, B. (2003) Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt relative to dietary pro-and antioxidants and lipid level. *Journal of fish diseases* **26**(4), 213-229.
- Waagbø, R., 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, G.N., McKinley, R.S., Bjørn, P.A. & Finstad, B. (2003). Physiological impact of sea lice on swimming performance of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **62**, 1000–1009.
- Wall, T. & Bjerkas, E. (1999) A simplified method of scoring cataracts in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* **19**(4), 162-165.
- Warburton K. (2007) Learning of foraging skills by fishes. In: Fish Cognition and Behavior. Brown, C., Laland, K., Krause, J. (Eds). *Fish Cognition and Behavior*, 9-27.
- Wargelius, A., Fjellidal, P. G., Grini, A., Gil-Martens, L., Kvamme, B. -O. & Hansen, T. (2010) MMP-13 (Matrix MetalloProteinase 13) expression might be an indicator for increased ECM remodeling and early signs of vertebral compression in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Applied Ichthyology* **26**, 366–371.

- Webb, P.W. (1975) Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* **190**, 1-159.
- Weber, M.L. 1997. Farming Salmon: A briefing book [Online]. Available: <https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi-dCAuZzUAhUGECwKHZ9hD7sQFggkMAA&url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F454d%2Ffc717e88cf583cdac24be817ea85cc040b.pdf&usg=AFQjCNGGgTVSFOYDCDaf4q5HuK1yzi3-9g&sig2=Mhbz0BIL100k3EaSazOEDw> [Accessed 28.09. 2016].
- Wedemeyer, G. (1996) Physiology of fish in intensive culture systems. Springer Science & Business Media.
- Wedemeyer, G.A. 1997. Effect of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: Iwama, G.K., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., Schreck, C.B. (Eds.). *Fish Stress and Health in Aquaculture*: 35-72.
- Weitkamp, D.E. & Katz, M. (1980) A review of dissolved gas supersaturation literature. *Transactions of the American Fisheries Society* **109**, 659-702.
- Wells, R. M. G. & Pankhurst, N. W. (1999) Evaluation of simple instruments for the measurement of blood glucose and lactate, and plasma protein as stress indicators in fish. *Journal of the World Aquaculture Society* **2**, 276-284.
- Wendelaar Bonga, S. E. W. (1997) The stress response in fish. *Physiological Reviews* **77**, 591-625.
- Wendelaar Bonga, S.E.W. (2011) Hormonal responses to stress. In: *Encyclopaedia of Fish Physiology*. Anthony, P. F. (ed.). Academic Press, San Diego, USA. 1515-1523
- Witten, P. E., Gil-Martens, L., Hall, B. K., Huysseune, A. & Obach, A. (2005) Compressed vertebrae in Atlantic salmon (*Salmo salar*): evidence for metaplastic chondrogenesis as a skeletogenic response late in ontogeny. *Diseases of aquatic organisms* **64(3)**, 237-246.
- Witten, P. E., Gil-Martens, L., Huysseune, A., Takle, H. & Hjelde, K. (2009) Towards a classification and an understanding of the developmental relationships of vertebral body malformations in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* **295**, 6-14.
- Wood, C. M., 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. & Jackson, E. B. (1980) Blood acid-base regulation during environmental hyperoxia in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Respiration physiology* **42(3)**, 351-372.
- Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Rosseland, B., Teien, H. -C., Nilsen, T. O., Stefansson, S., Handeland, S. & Terjesen, B. (2013) Effects of Salinity and Exercise on Performance and Physiology of Atlantic Salmon Postsmolts Reared in RAS. In: *Abstracts Aquaculture Europe 2013*. European Aquaculture Society, Trondheim, pp. 465
- Yue S., Moccia R. D. & Duncan I. J. H. (2004) Investigating fear in domestic rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using an avoidance learning task. *Applied Animal Behaviour Science* **87**, 343-354.
- Ørnsrud, R., Wargelius, A., Sæle, Ø., Pittman, K. & Waagbø, R., (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.