A27442 - Åpen

Rapport

Lukket ventemerd ved lakseslakterier

Delrapport 1: Vannkvalitet, fisketetthet og oppholdstid i lukkede ventemerder

Forfatter(e)
Ulf Erikson

SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Bioprosesser
2016-02-12

SINTEF

SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Postadresse:
Postboks 4762 Sluppen
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005350
Telefaks: 93270701
fish@sintef.no
www.sintef.no/fisk
Foretaksregister:
NO 980 478 270 MVA

Rapport

Lukket ventemerd ved lakseslakterier

Delrapport 1: Vannkvalitet, fisketetthet og oppholdstid i lukkede ventemerder

EMNEORD:
Havbruk
Laks
Lukket ventemerd
Vannkvalitet
Fisketetthet
Restitusjon
Driftsbetingelser

VERSJON
V.2

DATO
2016-02-12

FORFATTER(E)
Ulf Erikson

OPPDRAGSGIVER(E)
Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond

OPPDRAGSGIVERS REF.
Kristian Prytz

PROSJEKTNR
6021829

20

SAMMENDRAG

Kunnskapsstatus relatert til lukket ventemerd

Rapporten oppsummerer kunnskapsstatus for ulike grunnleggende parametre for tilfredsstillende fiskevelferd og drift av lukket ventemerd. Resultatene er i stor grad også relevant for åpen (tradisjonell) ventemerd. Følgende tema er behandlet: fisketetthet, fiskens oppholdstid og mulighet for restitusjon i merd, vannkvalitet, og overvåking av grunnleggende vannkvalitetsparametre, samt rensing av avløpsvann fra lukket system.

UTARBEIDET AV
Ulf Erikson

SIGNATUR
Ulf Erikson

KONTROLLERT AV
Guro M Tveit

SIGNATUR
Guro Meen Tveit

GODKJENT AV
Marit Aursand

SIGNATUR
Marit Aursand

RAPPORTNR
A27442

ISBN
978-82-14-06021-8

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
V.1	2016-01-13	Utkast til rapport sendt FHF
V.2		2016-02-12 Endelig versjon sendt FHF

SINTEF

Innholdsfortegnelse

1 Bakgrunn **4**

2 Innledning **4**

3 Fisketetthet **6**

4 Oppholdstid **7**

4.1 Restitusjon 8

5 Vannkvalitet (miljø) **9**

5.1 Løst oksygen 11

5.2 Karbondioksid 11

5.3 pH 12

5.4 Total ammonium 12

5.5 Total organisk karbon 12

5.6 Suspendert stoff 13

5.7 Gassovermetning 13

5.8 Temperatur 13

5.9 Andre parametre 13

5.10 Hygiene og vannrensing. Fjerning av lakselus og mikroorganismer fra avløpsvann 13

6. Instrumentell måling av vannkvalitet **14**

7 Konklusjoner **15**

8 Litteratur **17**

1 Bakgrunn

Prosjektet *''Lukket ventemerd ved lakseslakterier''*, finansiert av FHF (901162), representerer en videreføring av prosjektet *''Optimalisering av slakteprosessen for laksefisk: Ny teknologi for trenging i ventemerd, bløgging og kjøling''* (FHF 901007) som blant annet tok for seg ulike forhold rundt drift av åpen ventemerd. For å redusere smitterisiko og spredning av lakselus til omgivelsene har i laksenæringen hatt fokus på å kunne ha bedre kontroll over dette ved å innføre lukket ventemerd i stedet for åpen ventemerd. Bruk av lukket merd innebærer at man må gjøre tiltak for å sikre at god vannkvalitet opprettholdes. I prinsippet kan en tenke seg to strategier for bruk av lukket merd, i sjø eller på land i tanker eller kar. For tiden (januar 2016) har en begrenset med driftserfaringer fra bruk av lukker ventemerd, men flere utstyrsleverandører er i ferd med å teste ut ulike prototyper. Det er derfor behov for en gjennomgang av etablert kunnskap over ulike faktorer som kan ha innvirkning på fiskens velferd og tilstand (stressnivå og produktkvalitet) i lukkede merder. Noen tema som er behandlet i denne rapporten er også beskrevet tidligere i forbindelse med *''Optimalisering av slakteprosessen for laksefisk: Ny teknologi for trenging i ventemerd, bløgging og kjøling''*. I tilfeller der det i utgangspunktet spiller mindre rolle hvorvidt en opererer med åpen eller lukket merd er utdrag av teksten fra forrige prosjekt benyttet.

2 Innledning

I henhold til bestillingen fra FHF ønskes følgende tema belyst i denne delrapporten:

- Grenseverdi for fisketetthet.
- Fiskens oppholdstid i lukket ventemerd relatert til velferd med grenseverdier for parametre knyttet til vannkvalitet og miljøforhold.
- Instrumentell måling av vannkvalitet (miljø) i lukket system.

På anmodning av Mattilsynet (MT) ble kunnskapsstatus for blant annet de nevnte temaene grundig evaluert av Vitenskapskomiteen for mattrygghet (VKM) i perioden 2011 – 2014. Resultatene er publiserte i form av to risikovurderinger. Den ene, ''*Risk assessment of recirculation systems in salmonid hatcheries*'' (VKM, 2012) tar utelukkende for seg lukkede system med hovedvekt på fiskevelferd (stress, smittefare og helse) og bruk av tilgjengelig teknologi. Den andre, *''Risk assessment of fish health and welfare in freshwater production systems for rainbow trout, brown trout and Arctic char''* (VKM, 2014) berører flere av de samme temaene. Begge risikovurderingene er fritt tilgjengelige fra VKM på www.vkm.no.

I og med at arbeidene gjort i regi av VKM representerer kunnskapsstatus fram til 2015, er disse i hovedsak benyttet som kilder for tema tatt opp i denne rapporten. Det er her lagt vekt på å

beskrive hver parameter i relativt kortfattet og oversiktlig form. Spesielt interesserte oppfordres til å konsultere de nevnte risikovurderingene for mer utfyllende informasjon.
På grunn av at konseptet med bruk av lukket ventemerd er nytt i laksenæringen er det naturligvis publisert lite i form av konkrete FoU-resultater fra slike system. Imidlertid er det flere felles trekk med (landbaserte) resirkuleringssystemer (RAS) som er i bruk på klekkerier i Norge og i matfiskproduksjon flere steder i verden. Imidlertid er det utarbeidet en rapport *''Lukket ventemerd ved Kråkøy slakteri AS''* (Erikson et al., 2016) som tar for seg fisketetthet, trenging i avkast, vannkvalitet, stress, velferd, vannrensing (utslipp til resipient). Da rapporten også omhandler beskrivelse ny teknologi har kunden valgt å holde rapporten fortrolig inntil videre.

Resultatene fra studien av åpen ventemerd (forutgående FHF-prosjekt 901007) bør nevnes her fordi resultatene er relevante uavhengig av om åpen eller lukket ventemerd er i bruk. Konklusjonene, basert på studier av to trengeoperasjoner var i hovedsak:

- Tilsynelatende konstant høy fisketetthet gjennom hele trengeprosessen.
- God vanngjennomstrømning sørget for god vannutskifting i merd/avkast. Fisken hadde rikelig med tilgang på oksygen i hele vannvolumet under hele trengeprosessen.
- Fisken ble ikke eksponert for luft.
- Basert på videoovervåking over og under vann kunne observeres at fisken hadde begrenset frihet til å svømme fritt omkring. Derimot var fisken i hovedsak rolig (ingen fluktrespons) under hele trengeperioden.
- Måling av stressparametre i blod og muskel viste imidlertid et helt annet bilde, nemlig at fisken egentlig var betydelig stresset (men ikke utmattet). Fisken var stresset før avkastet ble satt og ble ikke videre signifikant stresset (inklusive ''siste fisk ut'' etter 2 timers trengetid).
- Pre-rigortiden for fisk tatt direkte fra ventemerden (ikke pumpet) varierte mellom 5 og 13 timer.

Generelt kan det sies at forsøk utført i en industriell prosess kan ses på som en casestudie noe som blant annet har sammenheng med det store antall variabler fisken utsettes for på ulike steder i prosesslinjen. Siden ventemerden er nest siste trinn i verdikjeden for levende fisk kan en forvente at fisken er mer eller mindre påkjent etter overføring fra brønnbåt til ventemerd. I dagens situasjon, hvor en bruker trykk-/vakuumpumper for overføring av fisk fra ventemerd til slakteri må en vanligvis påregne at fisken stresses ytterligere i forhold til fisk i ventemerd. For å oppnå et konsistent lavere stressnivå ved slakting må en regne med at situasjonen både i ventemerd og ved flytting av fisk inn til slakteriet må forbedres.
Når det gjelder kunnskapsstatus er det viktig å ha klart for seg at det som regel ikke finnes data tilgjengelig som dekker alle tenkelige situasjoner (forskjeller med hensyn til fiskeart, fiskestørrelse,

vannkvalitetsparametre, årstider, etc). Det meste som er gjort under kontrollerte betingelser dreier som fisk i forsøksfasiliteter hvor en studerer effekt av en parameter i gangen. Multifaktorforsøk er sjeldne. Hvis vi i tillegg ønsker å benytte slike data i industriell sammenheng, skjønner vi at bildet fort blir komplisert. Man må derfor ta dette i betraktning når man vurderer grenseverdier for ulike vannkvalitets-, stress-, og velferdsparametre.

3 Fisketetthet

I Norge er maksimal tillatt fisketetthet i merd 25 kg/m^3 (Akvakulturforskriften §46). Dette gjelder også for slaktemerd, men MT kan gi dispensasjon for å bruke høyere tetthet. Imidlertid er saken oppe til behandling i departementet der det fra MT sin side er foreslått at kravet om maksimal tetthet på 25 kg/m^3 i slaktemerd skal bortfalle. Dermed kan høyere tettheter tillates så lenge god vannkvalitet kan opprettholdes samtidig som fisken holdes på en velferdsmessig forsvarlig måte. Hvert enkelt tilfelle skal vurderes av MT. Endringen i forskriften forventes å tre i kraft i løpet av siste halvår av 2016.

En god del forskning har blitt utført i forbindelse med maksimale og optimale fisketettheter i forbindelse med tilvekst av laksefisk i oppdrettsmerd. Dersom fisketettheten blir for høy, vil fisken bli utsatt for kronisk stress som en følge av for eksempel endret atferd ved sosiale interaksjoner mellom individene i en populasjon (Wedemeyer, 1997; Pickering, 1998; Turnbull et al., 2005). Høy tetthet kan derfor gi redusert tilvekst og dårlig helse/fiskevelferd (Wedemeyer, 1997; Ellis et al., 2002). Dersom en kan opprettholde god vannkvalitet er det mulig å oppnå god tilvekst, høy K-faktor og lav dødelighet opp til en tetthet på minst 80 kg/m^3 (North et al., 2006; Thorarensen & Farrell, 2011). På en annen side er det rapportert om redusert fôropptak og tilvekst samt høyere forekomst av katarakter når fisketettheten blir større enn 27 kg/m^3. Videre er det under visse miljøforhold observert at laks kan samle seg lokalt i merden i tette stimer hvor tettheten kan bli større enn 180 kg/m^3 (Oppedal et al., 2011). I RAS (lukket system) har man funnet at en maksimal tetthet for regnbueørret på 100 kg/m^3 ved 12°C er akseptabel (Roque d'Orbcastell et al., 2009).

Til sammenlikning kan det nevnes at basert på en spørreundersøkelse av 150 brønnbåttransporter med åpent system, så transporteres oppdrettslaks til slakteri ved fisketettheter på 41 - 255 kg/m^3. Det ble ikke observert dødelighet av betydning eller redusert produktkvalitet som et resultat av disse føringene (Erikson, 2001). Forskriften om transport av akvakulturdyr er underlagt dyrevelferdsloven noe som betyr at god vannkvalitet og god fiskevelferd må sikres under transporten. Ut over dette er det ikke angitt en spesifikk tetthetsgrense (kg/m^3) i forbindelse med føringer av laksefisk i brønnbåt. Brønnbåtselskapet Sølvtrans AS har imidlertid utarbeidet sine egne retningslinjer for transport av laks i lukket system. For slaktelaks (3 – 6 kg) anbefales

fisketettheter på maksimalt 110 - 140 kg/m^3 ved vanntemperaturer på 8 - 14 ^{o}C. Ved transport av mindre fisk som smolt anbefales betydelig lavere tettheter (VKM, 2008).

Under et mer eller mindre kortvarig opphold i ventemerd har vi naturligvis ikke de samme kravene til god appetitt og tilvekst som i en oppdrettssituasjon. Mulige effekter av ulike faktorer som forårsaker kronisk stress, og eventuelt redusert fiskehelse på grunn av langvarig eksponering mot ulike miljøfaktorer, vil ikke komme til syne ettersom fisken avlives kort tid etter ankomst til ventemerden. Dette gjør det til dels vanskelig å vurdere effekten av høy fisketetthet i ventemerd. Samlet sett kan vi likevel konkludere med at det både vitenskapelig og praktisk sett er grunnlag for å øke tettheten i ventemerdene betydelig. En absolutt grenseverdi for tetthet er vanskelig å angi eksakt da den vil avhenge av en rekke faktorer som for eksempel vanntemperatur. Spesielt gjelder dette desto nærmere man kommer systemets praktiske "bæreevne" med hensyn til vannkvalitet og fiskevelferd. Legger en forskningsbaserte data til grunn, se ovenfor, ser det ut til at gode forhold kan sikres i oppdrettsmerd ved for eksempel 100 kg/m^3. Det er rimelig å anta at samme tetthet ville ha fungert i ventemerd under ellers like forhold. I og med at Akvakulturforskriften skal endres, som nevnt ovenfor, synes MT sin strategi, om at hvert tilfelle skal behandles lokalt hver for seg, å være en god tilnærming. Spørsmålet blir da hvilke krav de vil stille i praksis for å dokumentere at god vannkvalitet og god fiskevelferd er ivaretatt.

4 Oppholdstid

I henhold til §54 i Akvakulturforskriften kan fisken oppbevares maksimalt 6 døgn i slaktemerd. Med unntak av at fisken ikke skal fôres, skal forholdene i en slaktemerd tilsvare forholdene i en ordinær oppdrettssituasjon.

I praksis holdes fisken typisk i ventemerd fra omlag 1 time (slaktingen tar til like etter fisken er overført fra brønnbåt) opp til noen få dager. Hva innebærer så et kort opphold i ventemerden? Ut i fra et såpass kort tidsperspektiv som maksimalt 6 dager, så er det lite som tyder på at en tilsvarende økning i sultetid vil påvirke produktkvaliteten til laksefisk. En oppsummering av effekten av sulting på fisk er gitt av Erikson (2001).

Argumenter for å holde laks i ventemerd noen dager kan være for å sikre at man til enhver tid har fisk tilgjengelig for slakting, for produksjonsplanlegging der ulike batcher laks i ulike merder er tilgjengelig, og for eventuelt ''å roe ned fisken'' før slakting (restitusjon).

4.1 Restitusjon

Det er ingen direkte sammenheng mellom blodkjemi og produktkvalitet. Blodkjemi kan likevel være til hjelp ved evaluering av håndteringsrutiner og bruk av ulike teknologier. I motsetning til en oppdrettssituasjon er det muskelens biokjemi som er viktig i denne sammenhengen. Enkelt sagt må vi like før slakting legge forholdene til rette slik at fisken får minst mulig muskelaktivitet (''sprelling'') i prosesslinjen mellom ventemerd og fram til avliving. Stor grad av muskelaktivitet før slakting kan forkorte tiden til inntreden i rigor mortis dramatisk. Under norske forhold, hvor vi som oftest operer ved relativt lave sjøtemperaturer, og fordi fisken kjøles like etter slakting, er muskelaktivitet før avliving i praksis den eneste faktor vi trenger å vurdere for å sikre lang pre-rigortid. Dette betyr at det vi forstår med *restitusjon* her dreier seg om forhold i muskelen. Dette er: (1) fosforylering av kreatin (Cr) slik at fosfokreatin (PCr) gjendannes til hviletilstand, (2) IMP eventuelt dannet ved nedbrytning av ATP ved muskelaktivitet, må reverseres tilbake til ATP (hvile) og (3) glykogenlagrene må gjendannes fra dannet melkesyre (laktat). Spørsmålet blir da hvor lang tid i ventemerd er nødvendig for å bygge opp energilagrene i muskelen før slakting?

Vi må da betrakte restitusjonstidene for (a) IMP→ATP, (b) laktat → glykogen og (c) Cr → PCr. Det er spesielt (a) og (b) som er viktig her. Dette er prosesser som til dels går parallelt. Som for vannkvalitet (se nedenfor) finnes data tilgjengelige i litteraturen men de dekker ikke alle mulige situasjoner. De nevnte reaksjonene er enzymatiske og de er derfor også temperaturavhengige. Sammenliknet med industriell prosessering gjelder litteraturdata for idealiserte (konstante) betingelser.

Når det gjelder å estimere hvor lang tid laksefisk trenger for å restituere seg i ventemerd er det best å sammenlikne med en situasjon der fisken er stresset til utmattelse. Dette betyr at de nevnte metabolittene ovenfor (og muskel-pH) har kjente nivåer som representerer de henholdsvis laveste (PCr, ATP, glykogen, pH), eller høyeste (Cr, IMP, laktat) verdiene fisken kan ha i levende tilstand, med andre ord en definert "worst case" situasjon. Det er utført flere kontrollerte studier på laksefisk som tar for seg restitusjon (til hviletilstand) ved bruk av denne stressmodellen. Typiske verdier fra noen av studiene er som følger. Hos utmattet regnbueørret restitueres PCr og ATP i hvit muskel typisk etter omlag 2 timer, mens ''påfylling'' av glykogenlagrene trenger 8 timers hvile. Videre restitueres muskel-pH etter >12 timer (Milligan, 1996), mens laktatnivået i blod hos regnbueørret er tilbake i hviletilstand etter 12 timer ved en vanntemperatur på 15°C (Milligan & Wood, 1986) og > 8 timer hos Atlantisk laks ved 18°C (Tufts et al., 1991). Videre kan det nevnes at når initiell pH i laks ble redusert fra pH 7,3 til pH 6,8 som en følge av stress ved trenging, tok det 12 timer ved 7,2 ^{o}C for restitusjon (fjerning) av laktat og 6 timer for restitusjon av pH. I samsvar med dette økte pre-rigortiden som hadde blitt redusert som en følge av trengeoperasjonen (Veiseth et al., 2006).

Den enkleste metoden for å sjekke muskelens tilstand (som under restitusjon) på er å måle initiell pH direkte i hvit muskel. Ytterpunktene for pH i levende laks, det vil si i hvile- og utmattet tilstand, er henholdsvis pH 7,5 ± 0,1 and pH 6,7 ± 0,1. Siden pH er direkte koplet til nedbrytning av glykogen og ATP, og dermed til tid for inntreden i rigor mortis, tilsvarer de nevnte pH-områdene en pre-rigortid på omlag 1-2 timer og i overkant av 24 timer ved lagring på is (Erikson & Misimi, 2008).

Som nevnt påvirkes restitusjonstiden av sjøtemperaturen (årstid). Videre kan det nevnes at restitusjonen skjer raskere når fisken står i en vannstrøm med lav hastighet (Milligan, 2000), for eksempel ved 0,35 – 0,70 m/s (Veiseth et al., 2006), sammenliknet med når fisken holdes i stillestående vann.

Under kommersielle forhold i en ventemerd kan ulike forstyrrelser, som for eksempel flere uttak av fisk fra samme merd, kunne medføre at restitusjonstiden blir lenger enn antydet ovenfor. Videre må man ta i betrakting at eventuelt restituert fisk skal gjennom både en trengeprosess og pumping før fisken blir slaktet. Som kjent er det gjentatte ganger vist at det er pumpingen av fisk inn til slakteriet som ofte er den mest stressende operasjonen og som følgelig reduserer pre-rigortiden mest. Ved bruk av dagens håndteringsrutiner og teknologi synes restitusjon av fisk før slakting å ha begrenset eller ingen verdi. I tillegg må man vurdere hvordan restitusjon som prinsipp vil påvirke bedriftens fleksibilitet for raskt å omstille til seg slakting fra andre ventemerder etter markedsbehov.

5 Vannkvalitet (miljø)

For laksefisk i en oppdrettssituasjon anbefaler MT på generelt grunnlag grenseverdiene vist i Tabell 1 for de viktigste vannkvalitetsparametrene.

Tabell 1 – Mattilsynets retningslinjer med hensyn til vannkvalitet for oppdrett av laksefisk

Vannkvalitetsparameter	Grenseverdi
pH (inntak)	6.2 – 7.8
Løst oksygen (DO)	Maks. 100 % metning (kar) og >80 % metning på utløp
Karbondioksid (CO_2)	< 15 mg/l (laks)
Total ammonium (TAN = NH_4^+ + NH_3)	< 2 mg/l
Nitritt (NO_2^-)	< 0,1 mg/l (ferskvann)
Total organisk karbon (TOC)	< 10 mg/l
Aluminium (Al)	< 5 µg/l (labilt) og maksimalt 15 µg/g (gjeller)

I prinsippet benyttes samme grenseverdi for en gitt vannkvalitetsparameter uavhengig av hvorvidt vi har å gjøre med åpent eller lukket system. Imidlertid er det ofte flere hensyn å ta i lukket system fordi ulike komponenter i vannet vil gradvis akkumulere i systemet med mindre man enten sørger for tilstrekkelig vannutskifting eller benytter vannrensing for å fjerne uønskede komponenter i vannet. I en tradisjonell åpen ventemerd er det som regel tilstrekkelig å overvåke/måle oksygeninnhold og temperatur i vannet. I tillegg kan en eventuelt måle pH eller CO_2 i merden. Ventemerdene er plasserte på steder med god vannutskifting noe som ofte er tilstrekkelig for å opprettholde god vannkvalitet. På en del steder i Norge er det, spesielt ved høye sjøtemperaturer i kombinasjon med høy biomasse, nødvendig med oksygenering for at fiskens oksygenbehov skal bli dekket.

I lukket merd bør en sørge for overvåkning av flere vannkvalitetsparametre (se neste avsnitt). Behov for overvåkning og vannrensing avhenger av hvilken type lukket system som benyttes. I utgangspunktet kunne en tenke seg et lukket merdsystem som RAS (landbasert) eller et gjennomstrømningsanlegg (*''single pass flow-through system''*) hvor sist nevnte type kan være land- eller sjøbasert. Siden ventemerdene befinner seg i områder med rikelig tilgang på sjøvann og fordi at fisken holdes i ventemerdene i kort tid så ser vi her på vannkvalitet i gjennomstrømningsanlegg. Dette betyr at sjøvann (gjerne dypvann) pumpes inn og ut av systemet. Avløpsvannet må da renses før utslipp til resipient, spesielt med henblikk på patogene organismer og lakselus. I et kort tidsperspektiv kan man for eksempel holde en del av biomassen i en RSW-tank dersom man ønsker å forkjøle fisken før slakting. I så fall må det gjøres tiltak for å holde akseptabel vannkvalitet i RSW-karet. Ulike sider vedrørende levendekjøling *versus* vannkvalitet, stress og fiskevelferd behandles ikke videre her.

I motsetning til RAS som er avhengig av å fjerne nitrogenforbindelser ved bruk av et biofilter, er ikke gjennomstrømningsanlegg avhengig av det siden slike anlegg kan sørge for tilstrekkelig vannutskifting ved å ha tilstrekkelig pumpekapasitet. I prinsippet gjelder det samme for alle stoffer i vannet, god vannutskifting medfører at stoffene ikke får anledning til å akkumulere i det lukkede systemet. Imidlertid er bruk av et slikt system forbundet med en viss risiko, som pumpestopp (backup-system kan vurderes) eller utilstrekkelig vannutskifting. Med dette som bakgrunn, vurderes de viktigste vannkvalitetsparametrene nedenfor. Som nevnt i innledningen bør man være klar over de iboende begrensingene som ligger i det å bruke slike grenseverdier. For en mer dyptgående diskusjon av hver enkelt parameter, og for å se hvordan hver enkelt parameter kommer ut i en risikovurdering, henvises som tidligere nevnt til VKM (2012; 2014).

5.1 Løst oksygen

For lavt oksygennivå medfører endret atferd, stress og eventuelt død. Generelt i oppdrett anbefaler Timmons et al., (2001) en nedre grense for oksygennivået på 56 % metning. For omregning til oksygeninnhold gitt i mg/l ved ulike temperaturer og saliniteter referer for eksempel til YSI sin hjemmeside, http://www.ysi.com/media/pdfs/DO-Oxygen-Solubility-Table.pdf. For å sikre god tilvekst i en oppdrettssituasjon for laksefisk bør imidlertid oksygeninnholdet ligge på rundt 85 % metning. Høy oksygenovermetning kan føre til blokkering av blodkar og utvikling av ''gas bubble disease'' (Noga, 2000) og endret atferd (Espmark et al., 2010). Det kan dog nevnes at ørret har i en oppdrettssituasjon blitt holdt ved ulike oksygennivå opptil 183 % metning uten at tilvekst og dødelighetsfrekvens ble påvirket negativt (Edsall & Smith, 1990). Videre kan det nevnes at Lefèvre et al. (2008) fant ingen sammenheng mellom stress ved slakting og nivået av DO ved 76, 98 og 117 % metning ved oppdrett av regnbueørret. Det var heller ingen tydelig sammenheng mellom disse oksygennivåene og kjøttkvalitet.

I en lukket ventemerd, i motsetning til en åpen ventemerd, kan en tenke seg muligheten av oksygenovermetning siden et lukket system mest trolig har et oksygeneringsanlegg. Hvis vi tenker oss at det lukkede systemet baserer seg på gjennomstrømningsprinsippet vil dette i seg selv redusere risikoen for oksygenovermetning. Dessuten kan man sikre seg mot dette ved bruk av sensorer for styring av gasstilsetningen. Når det gjelder den nedre grensen, er det alltid fordelaktig å ha en viss sikkerhetsmargin i tilfelle kritiske situasjoner skulle oppstå. Basert på litteraturdata gitt overfor synes det rimelig å styre etter et oksygennivå på 70-100 % metning. Positive og negative avvik, innen visse grenser (se ovenfor) fra dette synes ikke å være kritisk.

5.2 Karbondioksid

Innholdet av karbondioksid i rent sjøvann ligger typisk på 0,5 - 1 mg/l. Dersom man ikke sørger for god vannutskifting eller lufting i lukkede system vil CO_2 fra fiskens metabolisme akkumulere i systemet. På sikt vil førhøyede karbondioksidkonsentrasjoner føre til flere uheldige konsekvenser for fisken (se VKM 2012, 2014), men under et kortvarig opphold i en lukket ventemerd er det kanskje i første rekke atferdsendringer og tap av likevekt som kan inntreffe selv om det i praksis antakelig er mindre sannsynlig at eventuell akkumulert mengde CO_2 blir tilstrekkelig høy for å forårsake ekstreme endringer siden en i utgangspunktet tilstreber å ha god vannkvalitet i lukket merd. For laks og regnbueørret er følgende endringer observert ved ulike CO_2-nivå:

35 – 60 mg/l - normal svømmeatferd for regnbueørret endres (Clingerman et al., 2007)
70 – 80 mg/l - atlantisk laks blir lett sedatert (Erikson, 2011)
150 og >155 mg/l - Henholdsvis tap av likevekt og immobilisering av regnbueørret (Clingerman et al., 2007)

180 – 250 mg/l – immobilisering av atlantisk laks (Erikson, 2011)

Anbefalt grenseverdi for laksefisk i oppdrett, for å sikre god tilvekst og velferd, ligger i området 10 – 20 mg CO_2/l (Wedemeyer, 1996; Fivelstad et al., 1998; Timmons et al., 2001).

5.3 pH

I oppdrettssammenheng i sjø er det i praksis akkumulering av CO_2 som fører til redusert pH i vannet. Dette reduserer giftigheten av ammoniakk, se nedenfor. Dersom vi betrakter effekten av surt vann i seg selv, så er det rapportert at et pH-nivå på <4,2 – 5,0 er skadelig, og eventuelt dødelig, for laksefisk (Randall, 1991). Det er usannsynlig at pH vil synke så lavt som dette i et lukket system. Anbefalt grenseverdi for oppdrett er pH 6,5 – 8,5 (Timmons & Ebeling, 2007).

5.4 Total ammonium

På samme måte som for karbondioksid, kan TAN akkumulere i lukket system. Avhengig av blant annet TAN-konsentrasjon, pH og temperatur vil giftigheten av ammoniakk (NH_3) bestemmes av følgende likevekt:

$$NH_4^+ \leftrightarrow NH_3 + H^+$$

Vi ser at akkumulering av CO_2, som fører til lavere pH, reduserer faren for ammoniakkgiftighet. Ammonium (NH_4^+) regnes som relativt ufarlig. Ammoniakk påvirker nervesystemet og fører blant annet til store atferdsenderinger, problemer med ionebalansen og kan til slutt føre til død (Tomasso, 1994; Thorarensen & Farrell, 2011). Anbefalte grenseverdier for kronisk eksponering mot ammoniakk ligger mellom 0,012 til 0,025 mg/l (Westers, 1981, Fivelstad et al., 1995; Wedemeyer, 1996; Timmons et al., 2001). For kortvarig eksponering (≤ 4 timer) kan de anbefalte grenseverdiene økes med en faktor på omlag 10 (Wedemeyer, 1996).

5.5 Total organisk karbon

Lite er kjent om grenseverdier for total organisk karbon. Eksempelvis kan det nevnes at slimtap (glykoproteiner) fra fisk utsatt for stress gir opphav til økt TOC-innhold i vannet. Det bør dog nevnes at nivåer opp til (minst) 21 mg TOC/l ikke påvirket dødeligheten i RAS (Davidson et al., 2009).

5.6 Suspendert stoff

Suspendert stoff i vannet er definert som partikulært materiale av organisk eller uorganisk opphav som har diameter større enn 1 µm (Chen et al., 1994). Det er vist at akkumulering av partikler i størrelsesorden 5 – 10 µm kan føre til dødelighet hos regnbueørret (Chapman et al., 1987). Gjelleskader kan inntreffe ved 44 mg/l (Magor, 1988). Anbefalte grenseverdier for suspendert stoff ligger mellom 15 – 100 mg/l avhengig av fiskeart (Wedemeyer, 1996; Timmons & Ebeling, 2007).

5.7 Gassovermetning

I tillegg til oksygenovermetning nevnt ovenfor, kan for eksempel raske temperaturendringer og trykkavlastning av inntaksvann (dersom vannet tas fra en kilde med høyt trykk) føre til nitrogenovermetning. Dette kan observeres som gassbobler på finner, hale, gjeller og på hodet. Øyene til fisken kan presses ut (''pop eye'') og fisken kan få atferdsendringer (Weitkamp & Katz, 1980). Videre kan den inerte nitogengassen føre til emboli som gjør at fisken kan dø (Wedemeyer, 1996). I fiskeoppdrett er det anbefalt å holde total gassovermetning mindre enn 110 % (Wedemeyer, 1997).

5.8 Temperatur

Ved høye sjøtemperaturer avtar oksygenløseligheten. Spesielt i kombinasjon med høy biomasse er det derfor aktuelt å tilføre oksygen i merden. Optimal temperatur for best mulig tilvekst for laks er 15-16°C (Weatherley & Gill, 1995) mens fysiologisk sett trives laksen best mellom 6 og 20°C. Øvre kritiske temperaturområder for laks og regnbueørret ligger mellom henholdsvis 20-34°C og 19-30°C, avhengig av fiskens stadium og akklimatiseringstemperatur (Elliott, 1981). Nedre temperaturgrense for atlantisk laks er omlag -0,7^{o}C (Saunders, 1986). Skuladottir et al. (1990) fant at når sjøtemperaturen sank gradvis ned til -1,8^{o}C, så startet laksen å dø ved -1,4^{o}C.

5.9 Andre parametre

Satt i sammenheng med korttids opphold av slaktefisk i lukket ventemerd med sjøvann anses parametrene nevnt ovenfor som de mest relevante. Dersom man også ønsker informasjon om alkalinitet, metaller, hardhet, og nitritt/nitrat henvises det til risikovurderingene fra VKM (2012, 2014).

5.10 Hygiene og vannrensing. Fjerning av lakselus og mikroorganismer fra avløpsvann

Det er viktig at bedriften sørger for gode driftsrutiner for å ivareta god vannkvalitet i det lukkede systemet. Duk eller vegger, rørsystem og pumper må rutinemessig rengjøres for å hindre begroing

og at patogene mikroorganismer får gode vekstforhold i systemet. En viktig grunn for å benytte lukket ventemerd er å redusere risiko for spredning av lakselus og patogene mikroorganismer. En må derfor sørge for passende vannrensing før avløpsvannet går ut i resipienten.

Det er tidligere vist at laks mister en god del lus (*Lepeophtherius salmonis*) ved trykk/vakuum-pumping, trolig fordi pumping medfører stress som i sin tur medfører slim- og skjelltap. Lakselusen følger derfor med i en viss grad (Prestvik et al., 2010). Dette kan skje i forbindelse med lossing fra brønnbåt til ventemerd og ved pumping av fisk fra ventemerd til slakteri. Med hensyn til å forhindre at lus slippes ut til omgivelsene kan det nevnes at lakselus varierer i størrelse avhengig av hvilket stadium de befinner seg i, fra 540 ± 40 µm i lengde (220 ± 10 µm i bredde) i nauplius I stadiet (Schram, 2004) opp til 8–12 mm for voksen hunnlus (Schram, 1993). Løse eggstrenger, som eventuelt løsner fra hunnlus, kan ha en lengde på 14 mm, mens diameteren på et enkelt egg (oval form) er estimert til å ha størrelse på omlag 400 x 250 µm (Prestvik et al., 2010). Alle stadier av lakselus kan fjernes fra avløpsvannet ved å velge en passende lysåpning på filterduken som benyttes for filtrering av avløpsvann (j.fr. ulike utstyrsleverandører).

De fleste typene bakterier har størrelse på rundt 0,2 µm i diameter og 2-8 µm i lengde mens størrelsen på virus ligger mellom 1 – 250 nm (0,250 µm). Følgelig må (patogene) bakterier og virus inaktiveres ved bruk av for eksempel UV-bestråling eller ozon.

6. Instrumentell måling av vannkvalitet

Når det gjelder instrumentell måling av vannkvalitet så er utvalget av målbare parametre relativt begrenset når det gjelder automatisert overvåkning. Det finnes sensorer der de viktigste parametrene kan logges og benyttes i et system for kontinuerlig overvåkning. I et gjennomstrømningsanlegg er målsetningen å tilføre rent sjøvann med et gitt innhold av oksygen. I tillegg bør man ha mulighet til å tilføre oksygen fra et oksygeneringsanlegg hvor doseringen styres av oksygensensorer. Akkumulerte stoffer fra fisken som karbondioksid, ammonium, organisk materiale (TOC) og partikulært materiale i den lukkede merden fjernes i utløpsvannet. I et slikt system bør man ha sensorer for overvåking av:

- Løst oksygen
- pH/CO_2
- Temperatur

Disse må regnes som nødvendige basisparametre. Ved å måle pH, får man også et inntrykk av hvorvidt innholdet av karbondioksid i merden er akseptabelt eller ikke. På markedet finnes det

sensorer som viser både pH og CO_2-innhold der sistnevnte parameter er regnet ut på basis av målt pH-verdi. Etterhvert har det kommet på markedet sensorer som kan måle direkte på CO_2 "on line".

Dersom man finner det nødvendig i det aktuelle lukkede systemet, er det også mulig å måle turbiditet kontinuerlig. Turbiditeten måler vannets innhold av partikulært materiale (vannets klarhet). Dersom man benytter UV-bestråling av utløpsvannet fra merden er det ønskelig med lav turbiditet for effektiv inaktivering av patogene organismer.

Når sensorer benyttes for kontinuerlig prosessovervåkning er det viktig å være klar over at overflaten på sensorene vil etterhvert bli utsatt for begroing. Følgelig må de vaskes eller skiftes ut med jevne mellomrom. Dessuten må en sørge for at sensorene rutinemessig re-kalibreres slik at man måler riktige verdier. Dette er forhold som bør inngå i bedriftens kvalitetssikringssystem.

Dersom man ønsker å analysere på andre komponenter i vannet har man i prinsippet to muligheter etter først å ha tatt stikkprøver av vannet. Det finnes ulike typer "hurtigmetoder" på markedet der man kan måle mange forskjellige stoffer som er løst i vannet. Disse målemetodene kan være baserte på direkte instrumentell analyse eller de kan være baserte på et kjemisk analysesett som ofte ender opp i en kvantitativ instrumentell analyse av absorbans etter en fargereaksjon som en følge av kjemiske reaksjoner. I denne sammenhengen er kanskje totalt innhold av ammonium (TAN = $NH_4^+ + NH_3$) mest aktuelt. Dersom man samtidig kjenner vannets pH og temperatur, kan giftig andel ammoniakk (NH_3) beregnes (ved bruk av biofilter, som i RAS, finnes det også "hurtigmetoder'' for å analysere på nedbrytningsproduktene fra TAN, nemlig NO_2^- og NO_3). Dersom man har et system hvor gassovermetning kan være et problem så finnes det instrumenter som kan måle totalt gasstrykk (TGP) og nitrogenovermetningen i systemet.

Alternativt til å benytte "hurtigmetoder" kan man sende inn vannprøver til kjemisk og bakteriologisk analyse. I slike tilfeller tar det ofte minst 1-2 uker før man får svar. Spesielt kan man få analysert på TOC som blant annet kan gi forhøyede verdier på grunn av slimtap fra fisken. Dersom vannet i merden synes å være misfarget, kan Fargetallet måles for nærmere undersøkelse av systemet.

7 Konklusjoner

En av målsetningene ved bruk av lukket ventemerd bør være at normalt god vannkvalitet skal opprettholdes i slike systemer slik at miljøbetingelsene blir mer eller mindre lik forholdene i åpen (tradisjonell) ventemerd. Forskjellen mellom de to systemene blir da at man i tillegg må sørge for god vannutskifting og/eller vannrensing ved bruk av lukket merd. Dette medfører investeringer i

pumpesystemer, utstyr for vannrensing av utløpsvann til resipient (filter, UV-enhet eller ozonanlegg). Videre blir utstyr for overvåkning av vannkvalitet blir mer påkrevd for et lukket merdsystem enn i en tradisjonell merd hvor vannutskiftingen skjer naturlig med vannstrømmen på lokaliteten. Når et lukket system fungerer i samsvar med en slik intensjon vil grenseverdiene for de ulike miljøparametrene i stor grad bli like (basert på dagens kunnskapsstatus) for lukkede og åpne system.

På grunn av at flere av parametrene nevnt i denne rapporten bygger på spesifikke forutsetninger, i tillegg til at fisken under kommersielle forhold er til enhver tid utsatt for kjente og ukjente hendelser av ulikt slag, er det ikke hensiktsmessig å gi generelle anbefalinger for laksenæringen på generelt grunnlag. For en del parametre er det likevel mulig å gi noen anbefalinger som dog ikke må oppfattes som absoluttverdier som gjelder under alle forhold. Noen slike parametre oppsummeres nedenfor.

Fisketetthet – Maksimal tillatt fisketetthet i ventemerd er per i dag 25 kg/m^3. Mattilsynet har imidlertid i årenes løp gitt flere dispensasjoner fra dette kravet. Mattilsynet har foreslått at denne regelen bortfaller slik at fisketettheten i ventemerd kan økes. Høyere fisketettheter er akseptable så lenge man kan dokumentere god fiskevelferd i merden. Endring i regelverk forventes å tre i kraft i løpet av 2016.

Oppholdstid – Fisken kan oppbevares i ventemerd i maksimalt 6 døgn.

Oksygennivå – Et passende nivå av løst oksygen i merden er 70 – 100 % metning.

Automatisert overvåking av vannkvalitet – I et lukket system bør man legge større vekt på å overvåke vannkvaliteten. Per i dag kan, og bør, løst oksygen, pH/CO_2 og temperatur måles kontinuerlig (automatisert). I tillegg kan man vurdere behovet for automatisert overvåkning av vannets turbiditet (partikkelinnhold).

Periodisk kontroll av vannkvalitet – For analyse av andre vannkvalitetsparametre er det nødvendig å ta ut vannprøver fra merd, og eventuelt fra behandlet vann i tilfeller hvor man har utslipp til resipient. Spesielt bakterietall og ammonium/ammoniakk (TAN) er viktige parametre i lukket ventemerd. Prøvene kan sendes til sertifisert laboratorium. I noen tilfeller, som for TAN, finnes relativt enkelt utstyr/analysesett som gjør det mulig å foreta analysen på stedet.

8 Litteratur

Chapman, P.E., Popham, J.D., Griffin, J., Michaelson, J., 1987. Differentiation of physical from chemical toxicity in solid waste fish bioassay. Water, Air, and Soil Pollution 33, 295-308.

Chen, S., Stechey, D., Malone, R.F., 1994. Suspended solids control in recirculating aquaculture systems. *In*: Timmons, M.B. and Losordo, T.M. (Eds.) *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management*, 61-100. Elsevier, Oxford.

Clingerman, J., Bebak, J., Mazik, P.M., Summerfelt, S.T., 2007. Use of avoidance response by rainbow trout for fish self-transfer between tanks. Aquaculture Eng. 37, 234 – 251.

Davidson, J., Good, C., Welsh, C., Brazil, B., Summerfelt, S., 2009. Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high system flushing rates. Aquaculture Eng. 41, 136-145.

Edsall, D.A., Smith, C.E., 1990. Performance of rainbow trout and Snake River cutthroat trout reared in oxygen-supersaturated water. Aquaculture 90, 251-259.

Elliott, J.M., 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. In: *Stress and Fish.* Pickering AD (Ed.). Academic Press, Toronto, 209-245.

Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., Gadd, D., 2002. The relationship between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. J. Fish. Biol. 61, 493-531.

Erikson, U., 2001. Potential effects of preslaughter fasting, handling and transport. In: *Farmed Fish Quality*. Kestin, S. and P. Wariss, P. (Eds.). Blackwell Science, Oxford, 202-219.

Erikson, U., 2011. Assessment of different stunning methods and recovery of farmed Atlantic salmon: isoeugenol, nitrogen, and three levels of carbon dioxide. Animal Welfare 20, 365-375.

Erikson, U., Misimi, E., 2008. Atlantic salmon skin and fillet color changes as effected by perimortem handling stress, rigor mortis, and ice storage. J. Food Sci. 73, C50-C59.

Erikson, U., Schei, M., Nordtvedt, T.S., 2016. Evaluering av lukket ventemerd hos Kråkøy slakteri AS. SINTEF-rapport F27443, 45 pp (fortrolig).

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

Fivelstad, S., Schwartz, J., Stromsnes, H., Olsen, A. B., 1995. Sublethal Effects and safe levels of ammonia in seawater for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo Salar* L). Aquaculture Eng. 14, 271-280.

Fivelstad, S., Haavik, H., Løvik, G., Olsen, A.B., 1998. Sublethal effects and and safe levels of carbon dioxide for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar L*). Aquaculture 160, 305-316.

Lefèvre, F., Bugeon, J., Aupèrin, B., Aubin, J., 2008. Rearing oxygen level and slaughter stress effects on rainbow trout flesh quality. Aquaculture 284, 81-89.

Milligan, C.L., 1996. Metabolic recovery from exhaustive exercise in rainbow trout. Comp. Biochem. Physiol. 113A, 51-60.

Magor, B.G., 1988. Gill histopathology of juvenile *Oncorhynchus kisutch* exposed to suspended wood debris. Can. J. Zool. 66, 2164-2169.

Milligan, C.L., 2000. Sustained swimming at low velocity following a bout of exhaustive exercise enhances metabolic recovery in rainbow trout. J. exp. Biol. 203, 921-926.

Milligan, L., Wood, C.M., 1986. Tissue intracellular acid-base status and the fate of lactate after exhaustive exercise in rainbow trout. J. exp. Biol. 123, 123-144.

Noga, E.J., 2000. Fish Disease: Diagnosis and Treatment. Iowa State University Press, Ames.

North, B.P., Turnbull, J.F., Ellis, T., Porter, M.J., Migaud, H., Bron, J., Bromage, N.R., 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 255, 466-479.

Oppedal, F., Vågseth, T., Dempster, T., Juell, J.-E., Johansson, D., 2011. Fluctuation sea-cage environments modify the effects of stocking densities on production and welfare parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture 315, 361-368.

Pickering, A.D., 1998. Stress responses in fishes. In: *Biology of Farmed Fish*, Black, K.D., Pickering, A.D. (Eds.), Sheffield Academic Press, Sheffield, p 222-255.

Prestvik, Ø., Erikson, U., Arff, J., 2010. Bruk av Salsnes filterteknologi for fjerning av lakselus fra pumpevann ved et lakseslakteri. SINTEF-rapport SFH80 A104017, 14 sider + vedlegg.

Randall, D.J., 1991. The impact of variations in water pH on fish. In: *Aquaculture and Water Quality*, Brune, D.E., Tomasso, J.R. (Eds.) World Aquacult. Soc., Baton Rouge, LA, p 90-104.

Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J.-P., Belaud, A., 2009. Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: Comparison with a flow-through system. Aquaculture Eng. 40, 135-143.

Saunders, R.L., 1986. The thermal biology of Atlantic salmon: influence of temperature on salmon culture with particular reference to constraints imposed by low temperature. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 63, 77-90.

Schram, T.A., 1993. Supplementary descriptions of the development stages of *Lepeophteius salmonis* (Krøyer, 1837) (Copepoda: Caligidae). In: *Pathogens of wild and farmed fish: sea lice* (Eds. G.A. Boxhall and D. Defaye), pp 30-47. Chichester: Ellis Horwood Ltd.

Schram, T.A., 2004. Practical identification of pelagic sea lice larvae. J. Mar. Biol. Assoc. UK 84, 103-110.

Skuladottir, G.V., Schiöth, H.B., Gudmundsdottir, E., Richards, B., Gardasson, F., Jonsson, L., 1990. Fatty acid composition of muscle, heart and liver lipids in Atlantic salmon, *Salmo salar*, at extremely low enviromental temperature. Aquaculture 84, 71-80.

Thorarensen, H., Farrell, A.P., 2011. The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-contained systems. Aquaculture 312, 1-14.

Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 2001. *Recirculation Aquaculture Systems*. NRAC Publications, No. 01-002. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, 650 p.

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

Tomasso, J.R., 1994. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. Rev. Fish. Sci. 2, 291-314.

Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J., Huntingford, F., 2005. Stocking density and welfare of cage-farmed Atlantic salmon: application of multivariate analysis. Aquaculture 243, 121-132.

Tufts, B.L., Tang, Y., Tufts, K., Boutilier, R.G., 1991. Exhaustive exercise in 'wild' Atlantic salmon (*Salmo salar*): acid-base regulation and blood gas transport. Can. J. Fish. Aquatic Sci. 54, 868-874.

Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J. & Huntingford, F., 2005. Stocking density and welfare of cage-farmed Atlantic salmon: application of multivariate analysis. Aquaculture 243, 121-132.

Veiseth, E., Fjæra, S.O., Bjerkeng, B., Skjervold, P.O., 2006. Accelerated recovery of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from effects of crowding by swimming. Comp. Biochem. Physiol. 144B, 351-358.

VKM, 2008. Panel on Animal Health and Welfare; Transportation of fish within a closed system. VKM Report 2008: 63 pp, ISBN: 978-82-8082-242-0, Oslo, Norway.

VKM, 2012. Panel on Animal Health and Welfare; Risk assessment of recirculation systems in salmonid hatcheries. VKM Report 2012: 110 pp, ISBN: 978-82-8259-048-8, Oslo, Norway.

VKM, 2014. Panel on Animal Health and Welfare; Risk assessment of fish health and welfare in fresh water production systems for rainbow trout, brown trout and Arctic char. VKM Report 2014: 12 [89 pp], ISBN: 978-82-8259-150-8, Oslo, Norway.

Weatherley, A.H., Gill, H.S., 1995. Growth. In: *Physiological Ecology of Pacific Salmon*, Groot, G., Margolis, L., Clarke, W.C. (Eds.). UBC Press, Vancouver, Canada, pp.102-158.

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

Wedemeyer, G.A., 1997. Effect of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: *Fish Stress and Health in Aquaculture*, G.K. Iwama, A.D. Pickering, J.P. Sumpter, C.B. Schreck (Eds.), pp. 35-72.

Weitkamp, D.E., Katz, M., 1980. A review of dissolved gas supersaturation literature. Trans. Am. Fish. Soc. 109, 659-702.

Westers, H., 1981. Fish Culture Manual for the State of Michigan. Michigan Department of Natural Resources, Lansing, Michigan.

SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no