

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Først og fremst ønsker vi å takke Svein Olav Fjæra og Odd– Ivar Lekang, for å ha gitt oss anledning til å jobbe med en spennende og lærerik oppgave. Vi har siden starten av våre studier ønsket å jobbe inn mot næringen. Det var derfor særdeles givende at vi ble gitt anledning til å skrive denne oppgaven.

Oppgaven ville ikke ha vært mulig å gjennomføre uten velvilje og finansiering fra Bremnes Seashore AS. Takk til ansatte ved slakteriet for god hjelp under forsøkene!

For å gjennomføre de nødvendige undersøkelser besøkte vi to lakseslakterier langs norskekysten. Hjelp og tilbakemeldinger fra disse har vært helt uvurderlig. Takk til Per Johnny Bøe ved Sekkingstad slakteri, Eskil Laukvik og Svein Gustav Sinkaberg ved SinkaBerg– Hansen slakteri. I sammenheng med de mange reiser og gjennomføring av de ulike forsøk, retter vi en spesiell takk til Svein Olav Fjæra. For organisering, hjelp med prøveuttak og for motivasjon underveis.

Studietiden ved UMB ville ikke vært den samme uten fiskefjøset. Takk til de sentrale medlemmer av vaffelfredagsgjengen for utallige faglige diskusjoner og motivasjon: Bjørn- Reidar Hansen, Bjørn– Frode Eriksen og Harald Støkken.

Takk til Jens-Erik Dessen for hjelp og oppmuntring i forbindelse med denne oppgaven, og ikke minst fem flotte studieår sammen. Takk til våre respektive kjærester, Nann Iren Haugsnes og Bente Bø, for glede til hverdags og fest! Martin takker Bjørnar Bø Harsvik for konstruktive innspill og friske morgenstunder. Takk til Ole Petter Brunstad for ivrig korrektur og konstruktive innspill til oppgaven.

Takk til øvrig familie for tro og støtte!

Til slutt takker vi hverandre.

Institutt for matematiske realfag og teknologi, UMB

Ås, 16. mai 2011

Andreas Ligård Brunstad og Martin Harsvik (*sign.*)

Sammendrag

Fiskevelferd og produktkvalitet vektlegges i stadig større grad ved produksjon av oppdrettsfisk. Det er viktig at fisk gis god vannkvalitet så lenge den er i live, samtidig som en human avliving må foregå raskt. To av de nyeste tilgjengelige slaktesystemer for laksefisk er derfor undersøkt.

Hvordan levendekjøling påvirker Atlantisk laks (*Salmo salar* L.) sin evne til å ensrette seg ble undersøkt. Samtidig ble vannkvalitet i kjølekar ved bruk RSW-anlegg kartlagt. Videre ble to kommersielle ensrettere undersøkt i forhold til grad av ensretting. I tillegg ble grad av bedøvelse, rigortid og filetkvalitet undersøkt for to nye tilgjengelige bedøvelse og bløggesystemer, Stansas #01 og Seafood Innovations SI~7.

Det ble funnet at levendekjøling av Atlantisk laks ikke påvirker ensretting av laksefisk. Vannkvaliteten under levendekjøling av laks forringes gjennom en produksjonsdag, spesielt med hensyn til suspendert stoff, jern og farge. Konsentrasjon av metabolsk produserte avfallsstoffer overstiger ikke anbefalte grenseverdier for laksefisk ved levendekjøling. Videre ble det funnet forskjell i grad av ensretting mellom de to undersøkte modeller for ensretting. Bedøvelse ved slagbedøving viste seg å være irreversibel, mens ved elektrobedøving viste laksen tegn til oppvåkning etter ca. 5 minutter dersom bløgestikk ikke ble påført. Det ble funnet forskjell i rigortid mellom de to bedøvelse/bløggesystemene, men det er usikkert hvordan resultatet skal vektlegges, da medvirkende faktorer som sulting og stress kan ha påvirket resultatet. Det er ikke funnet forskjell i filetkvalitet på fisk slaktet ved de to slaktesystemer, men en del elektrobedøvet fisk ble påført ryggknekk.

Resultatene antyder at levendekjøling kan benyttes forut for ensretting av Atlantisk laks. En jevnere tilsetning av hydrogenperoksid, eller økt vannutskifting i levendekjølingskaret vil bedre fiskevelferden under kjøling. Ensretteren fra SI~7 gir høyere ensrettergrad enn ensretteren fra Melbu systems. I elektrobedøvet fisk ble det funnet at 15-16 % av utvalget ble påført ryggknekk. Ingen ryggknekk ble påvist i slagbedøvet fisk fra SI~7. SI~7 bedøvingssystem holder også fisken lenger bedøvd enn Stansas#01. Det ble funnet liten forskjell i filetkvalitet mellom de to slaktesystemene

Abstract

Fish welfare and product quality are increasingly emphasized in the production of farmed fish. It is important that fish are held in good water quality in vivo, and a humane killing must be performed quickly. Two of the latest slaughter systems for salmonids are investigated.

How live chilling of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) affects its ability to self-orientate in water current were investigated. The water quality in a live chilling tank using RSW system was surveyed. Furthermore, two commercial orientation systems for salmonids were examined in relation to the degree of correct self-orientation. In addition, the degree of anesthesia, rigor development and fillet quality was investigated for two new available anesthetic and slaughter systems, Stansas# 01 and Seafood Innovations SI~7.

It was found that live chilling of Atlantic salmon did not affect the ability for correct self-orientation. Water quality during live chilling of salmon deteriorates through a production day, especially with regard to suspended solids, iron and color. The concentration of metabolic waste products produced does not exceed recommended limits in water quality for salmonids during live chilling. It was also found differences in the degree of correct orientation between the two investigated systems. Anesthesia by percussion proved to be irreversible, while the electrical stunned fish showed signs of awakening after approx. 5 minutes, if gill cutting not were applied. It was found that the development of rigor differed between the two systems. However, it is uncertain how the results will be emphasized, as contributory factors such as starvation and stress may have affected the result. No difference was found in fillet quality in fish processed by the two systems, but some electrical stunned fish suffered from broken vertebrae.

The results suggest that live chilling may be used prior to the self-orientation of Atlantic salmon. A more equal addition of hydrogen peroxide, or increased water exchange in the live chilling tank will improve fish welfare during cooling. The self-orientator from SI~7 proved to self-orientate salmon more efficient than the Melbu System. In electro-stunned fish it was found that 15-16% of the sampled fish suffered from broken vertebrae. No broken vertebrae was detected in percussed stunned, using the SI~7 system. Percussed stunned fish was also found to keep the fish unconscious for a longer period of time. Minor differences in fillet quality were found using the two different slaughter systems.

1	INNLEDNING	1
1.1	Produksjon av Atlantisk laks (<i>Salmo salar L</i>)	2
1.2	Generell slakteprosess av Atlantisk laks	3
2	PILOTFORSØK 1 - ENSRETNING I KOMBINASJON MED LEVENDEKJØLING	5
2.1	Innledning.....	5
2.2	Materiale og metode	6
2.2.1	Forsøksbetingelser	6
2.2.2	Forsøksopplegg.....	6
2.2.3	Registreringer og databehandling	8
2.3	Resultat og diskusjon.....	8
3	PILOTFORSØK 2 - VANNKVALITET I KJØLEKAR.....	11
3.1	Innledning.....	11
3.1.1	Laksefisk, vannkvalitet, og stress.	11
3.2	Materiale og metode	16
3.2.1	Forsøksbetingelser	16
3.2.2	Forsøksopplegg.....	18
3.2.3	Registreringer og databehandling	19
3.3	Resultat og diskusjon.....	23
4	PILOTFORSØK 3 - VURDERING AV TO KOMMERSIELLE ENSRETTERE.....	34
4.1	Innledning.....	34
4.2	Hvordan lys og vannstrøm påvirker fiskens adferd.....	34
4.3	Materiale og metode	35
4.3.1	Forsøksbetingelser	35
4.3.2	Forsøksopplegg.....	38
4.3.3	Registreringer og databehandling	39
4.4	Resultat og diskusjon.....	41

4.4.1	Vannkvalitet	41
4.4.2	Grad av ensretting	42
4.4.3	Generell diskusjon	45
5	PILOTFORSØK 4 - VURDERING AV TO KOMMERSIELLE BEDØVINGSSYSTEMER..	47
5.1	Innledning.....	47
5.2	Materiale og metode	50
5.2.1	Forsøksbetingelser	50
5.2.2	Forsøksopplegg.....	54
	Registreringer og databehandling	56
5.3	Resultat og diskusjon.....	58
5.3.1	Bedøvnings effektivitet.....	58
5.3.2	Rigorutvikling.....	62
5.3.3	Kvalitet bedømt i ryggbein og filet.....	64
5.3.4	Generell diskusjon:.....	66
6	OPPSUMMERING	68
7	KONKLUSJON.....	70
8	REFERANSELISTE.....	71
9	VEDLEGG.....	81

1 Innledning

Bremnes Seashore AS (Bømlo, Norge) planlegger å bygge om sitt slakteri i Kvernavika. I den sammenheng prøver denne oppgaven å gi veiledende råd for valg av utstyr og metode.

Slakteriet var det første til å benytte levendekjøling av fisk som et ledd i produksjonen, og ønsker fortsatt å benytte dette etter ombygging av slakteriet. Det er kjent at levendekjøling kan ha sedativ effekt på laksefisk. Ved et moderne slakteri er det avgjørende at fisk er i stand til selv å retningsorientere seg inn i et automatisk bedøvings- og avlivningssystem. Metoden, kjent som “*ensretting*”, innebærer at fisken svømmer mot bedøveren med hodet først, da relevante slaktesystemer baserer seg på at fisk bedøves i hoderegionen. Det ble derfor undersøkt om laks ensretter seg etter at den er levendekjølt (kapittel 2). I kapittel 4 evalueres og sammenliknes tilgjengelige systemer for ensretting av laksefisk.

Av hensyn til fiskevelferd og produktkvalitet er det av stor betydning at vannkvaliteten i et levendekjølingskar er best mulig. Som omtalt i kapittel 2, kan vannkvalitet influere fiskens evne til å ensrette seg. Derfor ble det utført en analyse av vannparametre i det eksisterende levendekjølingskaret ved Bremnes Seashore (Kapittel 1.1).

Det stilles stadig strengere krav til at fiskevelferd skal ivaretas ved bedøving og avliving av fisk. I den forbindelse er det lovfestet at avliving skal skje raskt, uten at unødige smerte påføres. I kapittel 5 vurderes to av de mest aktuelle bedøvings- og avlivningssystemene, og parametre som har betydning for produktkvalitet og fiskevelferd undersøkes.

1.1 Produksjon av Atlantisk laks (*Salmo salar* L)

Oppdrett av fisk er en av de raskest voksende matvareindustriene i verden (Asche et al. 2008). I Norge har produksjonen økt med 10 % årlig de siste 20 årene, og dette er i all hovedsak produksjon av Atlantisk laks (FAO 2010). Til sammen ble det i 2010 produsert i underkant av én million tonn laksefisk (Fiskeridirektoratet 2010). I takt med utviklingen de siste tiårene, har næringen blitt mer industrialisert, og produksjonsvolumet har økt. Til tross for et økende produksjonsvolum, er antallet slakterier redusert (Erikson et al. 2006). Dette er kompensert med en økning i produksjonskapasitet.

Samtidig som produksjonen øker og ny teknologi implementeres må dyrevelferd vektlegges. Både av hensyn til etiske prinsipper men også av kvalitetshensyn. Fra og med 1. juli 2012 fases CO₂ ut som bedøvelsesmetode (Forskrift om slakteri mv. for akvakulturdyr § 14-2), og i lys av dette er det stor interesse for alternative avlivningsmetoder. Rapporter om forbedret produktkvalitet ved slag- og/eller elektrobedøvning (EFSA 2009; Mejdell et al. 2008; Roth et al. 2002), gjør at slaktenæringen ønsker å ta nye metoder i bruk. Et viktig forbedringspunkt for å ivareta fiskevelferd og produktkvalitet er å retningsstyre fisk inn i bedøvelsesutstyret med hodet først (EFSA 2009; Mejdell et al. 2009). Slakteriforskriften krever at bedøving og avlivning av fisk skal skje ved egnet metode som ikke påfører fisken stress eller smerte (Forskrift om slakteri mv. for akvakulturdyr §14 & §15). Den senere tid er det utviklet systemer som baserer seg på at fisken av fri vilje svømmer inn i avlivningsutstyret. Dette sikrer økt dyrevelferd under produksjonen. Dersom fisk ikke ensrettes inn i bedøvelsesutstyret, kan dette utsette fisken for smertefull elektrisitet eller feilslag, hindre fiskevelferd, og i verste fall redusere produktkvaliteten (Mejdell et al. 2009; Mejdell et al. 2008; Mejdell & Gismervik 2009; Midling et al. 2007; Midling et al. 2008).

I løpet av 1990-årene ble levendekjøling gradvis introdusert i norske slakterier. Levendekjøling har til hensikt å kjøle ned fisken mens den fortsatt er i live (Skjervold et al. 1996). Hos levende fisk er varmetapet større enn hos død fisk, da blodet sirkulerer over gjellene og fungerer som en varmeveksler mot omkringliggende vannmasser. Dermed blir fisken kjølt både innenfra og utenfra (Spigarelli et al. 1977; Stevens & Sutterlin 1976).

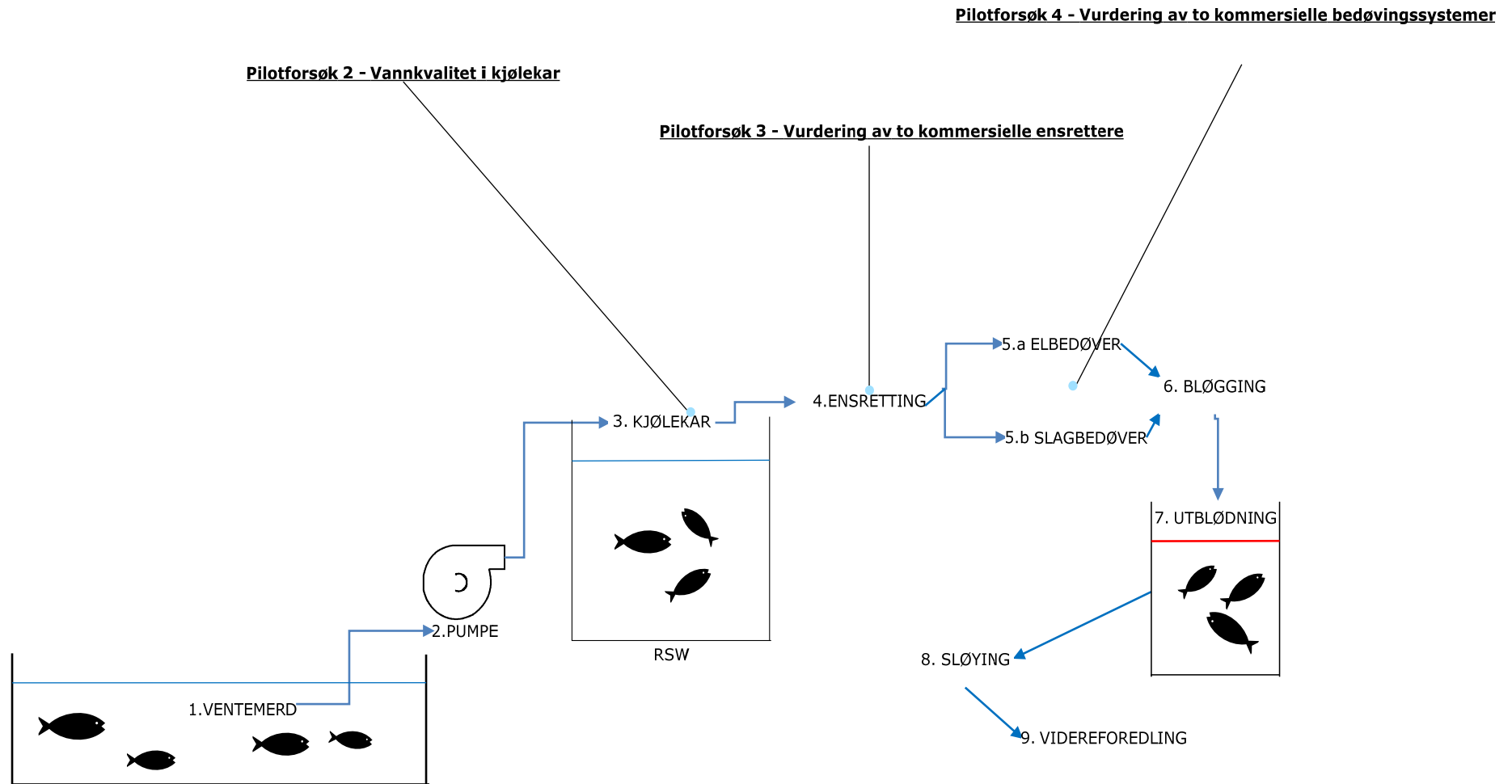
1.2 Generell slakteprosess av Atlantisk laks

Fra oppdrettsmerder fraktes fisken i en brønnbåt, og ankommer lakseslakteriet hvor den overføres til en slaktemerd (Figur 1). Slaktemerden har til oppgave å fungere som en buffer for slakteriet. Størrelsen og antall slaktemerder varierer fra slakteri til slakteri, men ofte benyttes fire merder à 15x15x15 meter.

Slakteklar laksefisk er underlagt det samme regelverk som stilles for matfiskoppdrett (Akvakulturdriftsforskriften § 3-f). Det betyr at tettheten ikke skal overskride 25 kg m⁻³. I slaktemerden er det i henhold til slakteriforskriften (2006) ikke lov å føre fisken, og maksimal oppholdstid i slaktemerd er inntil seks dager.

Fisken trenges sammen foran et inntaksrør i slaktemerden. I røret er det vakuum, slik at fisken blir dratt inn, og pumpes gjennom en pumpe inn til slakteriet. Fisken pumpes enten direkte inn, eller via et levendekjølingskar (Figur 1). I slakteriet føres fisken videre til et ensretterkar, forutsatt at dette benyttes. I ensretterkaret orienter fisken seg selv inn i bedøvelsesutstyret. Etter at fisken er bedøvet blir den bløgget, slik at avliving skjer som et resultat av blodtap. Det er vanlig prosedyre å blø ut fisken i et utbløderkar, dette fungerer ofte også som etterkjøling av fisken.

Etter utblødning føres fisken videre gjennom en sløyemaskin, hvor buken sprettes, og innvoller fjernes (Figur 1). Dersom fisken ikke skal videreforedles, som for eksempel ved produksjon av filet, blir fisken pakket hel i kasse sammen med et lag is. I henhold til forskriften skal lett bedervelige ferskvareprodukter for humant konsum holdes under 4 °C (Næringsmiddelhygieneforskriften § 12-3).



Figur 1 Flytskjema for slakting av fisk og illustrasjon av hvor i slaktelinjen de ulike forsøkene er gjennomført.

2 Pilotforsøk 1 - Ensretting i kombinasjon med levendekjøling

2.1 Innledning

Adferd hos laksefisk under og etter levendekjøling ble undersøkt, samt hvilke konsekvenser dette har for fiskens evne til å orientere seg mot vannstrømmen, heretter omtalt som ensretting. Innledende forsøk ble gjennomført ved Senter for Fiskeforsøk (UMB, Ås, Norge) med hensikt å utarbeide en metode for videre forsøk. Her ble regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss* L.) benyttet. Resultatene fra dette forsøket indikerte at regnbueørret (\pm SE) 800 gr. \pm 200 gr. ikke hadde noen problemer med å ensrette seg etter levendekjøling. Erfaringene fra pilotforsøket ble benyttet i metodeutforming for forsøk i kommersiell skala.

På grunn av overgang til stadig mer automatiserte slaktelinjer, er man avhengig av at laksen ensretter seg med hodet først inn i bedøvelsesutstyret. Videre er det vist at levendekjøling har en beroligende effekt på laksefisk (Roth et al. 2006; Skjervold et al. 2001a). Levendekjøling har ikke en bedøvende effekt i seg selv, men fiskens responser blir tregere som et resultat av at de biologiske prosessene går saktere.

Litteratur viser at laks blir sedert av levendekjøling (Erikson et al. 2006; Roth et al. 2006). Imidlertid fant Olsen et al. (2006) og Erikson (2008) at laks viser en aktiv adferd etter nedkjøling fra 8 til 1 °C. Dette kan indikere at laksen ikke skulle ha noe problem med å ensrette seg etter levendekjøling. Det ser imidlertid ikke ut til å være gjort forsøk for å teste denne hypotesen. Det er vist at fisk som svømmer motstrøms i en vannhastighet på 0,46 fiskelengde (f) s⁻¹ gjennomgår en gjenvinner normal adferd (Boesgaard et al. 1993; Milligan et al. 2000; Reiso 2006). Dermed kan det tenkes at fisk som kjøles uten aktiv svømmeadferd ikke ensretter seg like godt, da den kan være påvirket av stress. Det er også vist at fisk som trenges sammen, viser stressreaksjon (Iversen et al. 2005; Mazur & Iwama 1993; Rotllant & Tort 1997; Skjervold et al. 1999). En slik trenging er vanlig i slaktermerden før fisken blir pumpet inn til kjølekaret, og kan ha negativ innvirkning på ensretting

Hensikten med forsøket var å undersøke om levendekjøling vil redusere laksens evne til å ensrette seg.

2.2 Materiale og metode

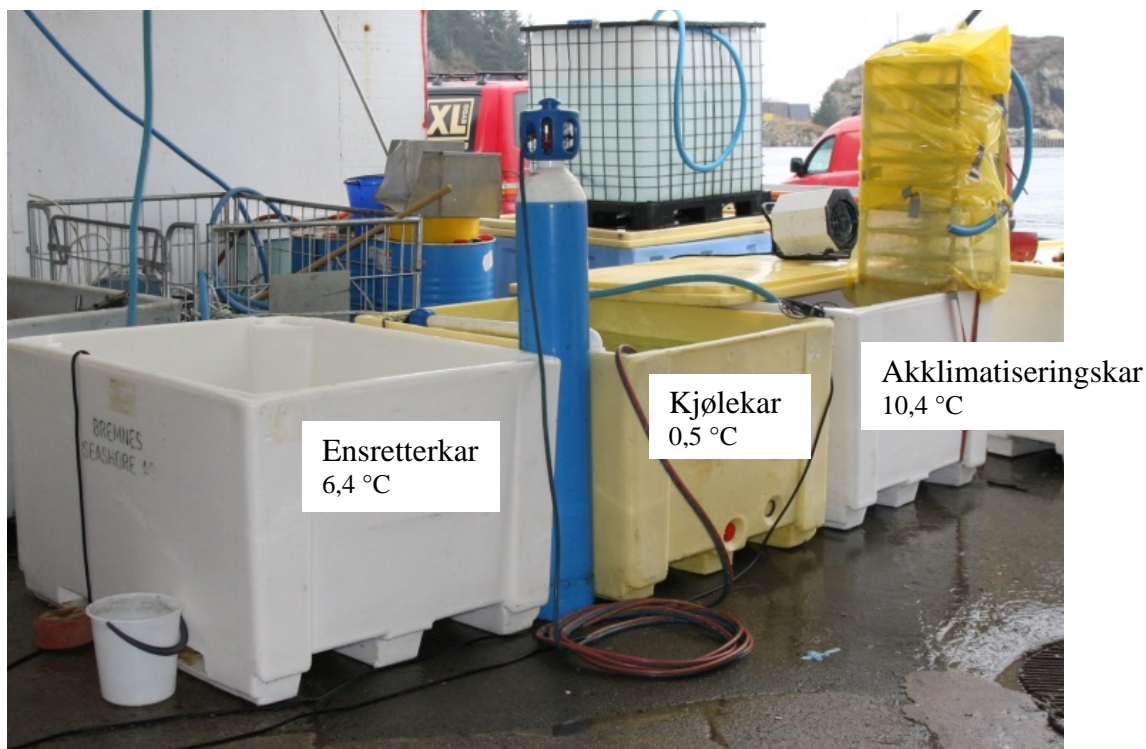
2.2.1 Forsøksbetingelser

Forsøket ble gjennomført ved et kommersielt lakseslakteri, 8. mars 2011. Et tilfeldig utvalg av til sammen 30 Atlantisk Laks med snittvekt 5 kg ble benyttet. Fisken var sultet i åtte dager før forsøket ble gjennomført, og forsøksfisken ble tatt ut i pumperørets utløp ved kjølekaret. Temperatur i slaktermerden var $3,4\text{ °C} \pm 0,2$ dagen forsøket ble gjennomført.

2.2.2 Forsøksopplegg

Tre identiske fiskekar á 1000 l (Promens Ålesund as, Norge) med forskjellig temperatur ble benyttet. Et akklimatiseringskar (\pm SE) $10,7\text{ °C} \pm 0,3$, et kjølekar (\pm SE) $0,7\text{ °C} \pm 0,3$, og et ensretterkar (\pm SE) $6,3\text{ °C} \pm 0,1$.

Akklimatiseringskaret ble satt opp som et internt resirkuleringskar. Vann ble sirkulert over en kaskadelufter med 11 plater, og en 3 kW varmluftsvifte ble rettet inn i kaskadelufteren (Figur 2). Dermed ble det etablert et stort A/V forhold (kontaktflate mellom luft og vann) og god lufting av vannet, i tillegg til at en stabil temperatur ble etablert. Det ble ikke etablert en sirkulær vannstrøm i akklimatiseringskaret for å etterlikne trenging i ventemerd. All forsøksfisk akklimatiserte seg i 1,5 timer før videre forsøksgjennomføring. Dette ble gjort for å simulere høyere sjøvannstemperaturer enn hva som var tilfellet i slaktermerden den aktuelle forsøksdagen.



Figur 2. Forsøksopplegg 8.3.2011. Temperatur i de ulike behandlingskar er angitt.

Levendekjølingskaret ble fylt med 250 l sjøvann fra 60 m dyp. Karet ble jevnlig etterfylt med is slik at temperaturen ble holdt stabil. En vannpumpe med maksimal kapasitet på 120 l min^{-1} ble neddykket i karet, og montert med sprederør for å oppnå et jevnt, sirkulært strømbilde (25 cm sek^{-1}).

Ensretterkaret, ble fylt med 250 liter vann, på samme måte som kjølekaret. Også her ble en neddykket pumpe med maksimal kapasitet på 120 l min^{-1} montert for å oppnå en jevnt sirkulerende vannstrøm i karet. Vannet ble skiftet ut mellom hver gruppe.

Problemstilling

Ensretter Atlantisk laks seg etter at den er levendekjølt?

Vil levendekjøling i kar med sirkulær vannstrøm øke laksens evne til å ensrette seg?

Gjennomføring av forsøket

I forsøket ble fiskene delt inn i tre grupper med 10 tilfeldig valgte fisk i hver gruppe (Figur 3).

Gruppe 1: Akklimatisert Atlantisk laks forsøkt ensrettet uten levendekjøling (kontrollgruppe).

Gruppe 2: Akklimatisert Atlantisk laks forsøkt ensrettet med levendekjøling uten strøm.

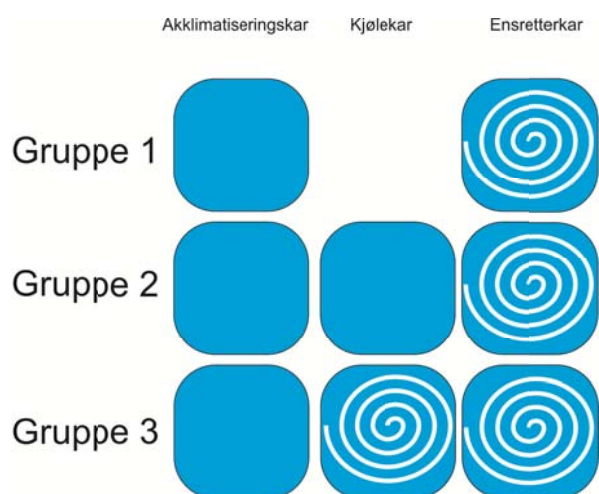
Gruppe 3: Akklimatisert Atlantisk laks forsøkt ensrettet med levendekjøling med strøm.

Oppholdstid i ulik temperatur før ensretting, fordelte seg som følger mellom de tre gruppene:

Gruppe 1: Akklimatisert ved $10,4 \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ i 1 time og 30 min (kontrollgruppe).

Gruppe 2: Akklimatisert ved $10,4 \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ i 1 time og 30 min, kjølt ved $0,7 \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ i 1 time.

Gruppe 3: Akklimatisert ved $10,4 \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ i 1 time og 30 min, kjølt ved $0,7 \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ i 1 time.



Temperaturen i ensretterkaret ble holdt stabil på $6,4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1$. Oksygenkonsentrasjonen ble holdt stabil i forsøksperioden med oksygentilsetning i kjølekaret og lufting i akklimatiseringskaret.

2.2.3 Registreringer og databehandling

Visuell bedømmelse av hvorvidt laksen orienterte seg i strøm eller ikke ble utført etter henholdsvis 10 og 40 sekunder fra laksen var lagt i karet. Observasjonstidene ble valgt ut på bakgrunn av opplysninger fra tidligere studier, som har vist at gjennomsnittlig tid fisken oppholder seg i ensretteren er fra 10 til 40 sekunder (Mejdell & Gismervik 2009). Det ble videre etablert et poengsystem, hvor fisk som ensretter seg fikk karakter 1, og fisk som ikke ensrettet seg fikk karakteren 0. For å få karakter 1 måtte laksen vise tydelig tegn til å stå med hodet først opp mot strømmen. I tillegg måtte aktiv svømmeadferd utøves. Individuer som ble dratt med strømmen fikk karakter 0, selv om de rettet seg med hodet først.

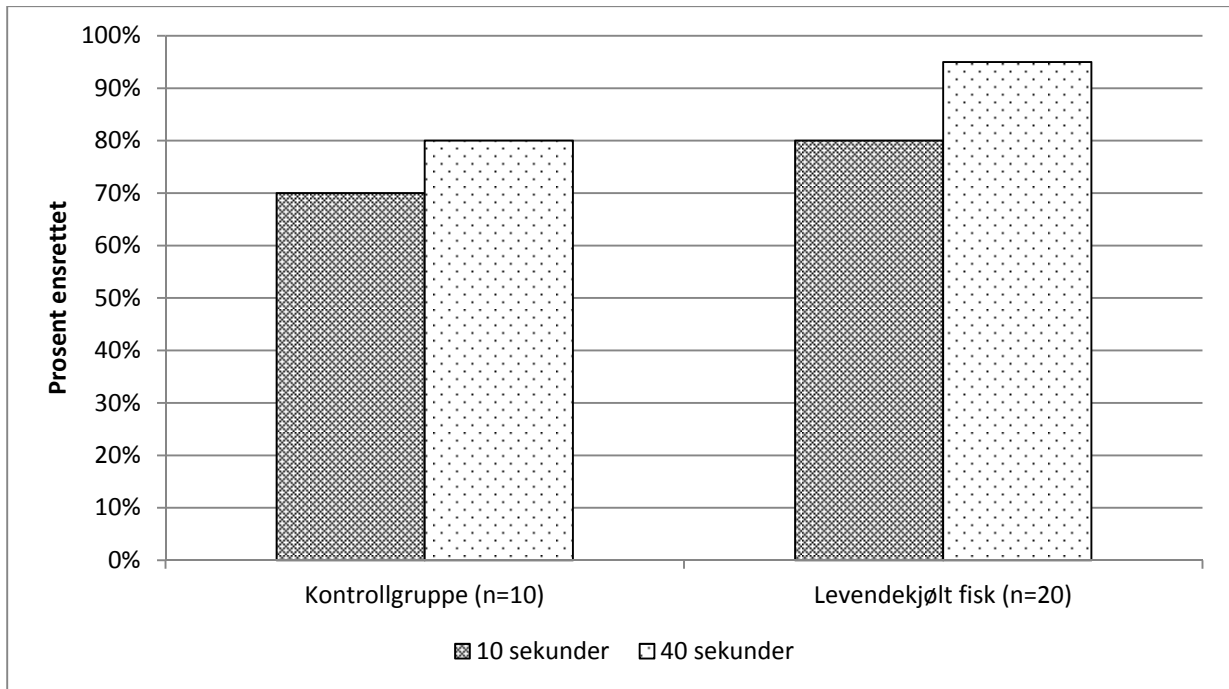
Alle resultater ble behandlet i Excel (Microsoft Corporation, Redmond WA, USA), hvor figurer og grafer er laget.

2.3 Resultat og diskusjon

Kontrollgruppen ble direkte overført til ensretterkaret etter at den var akklimatisert (gruppe 1). Etter 10 sekunder viste 70 % av fisken evne til å ensrette seg. Etter 40 sekunder var 80 % av fisken ensrettet (Figur 4).

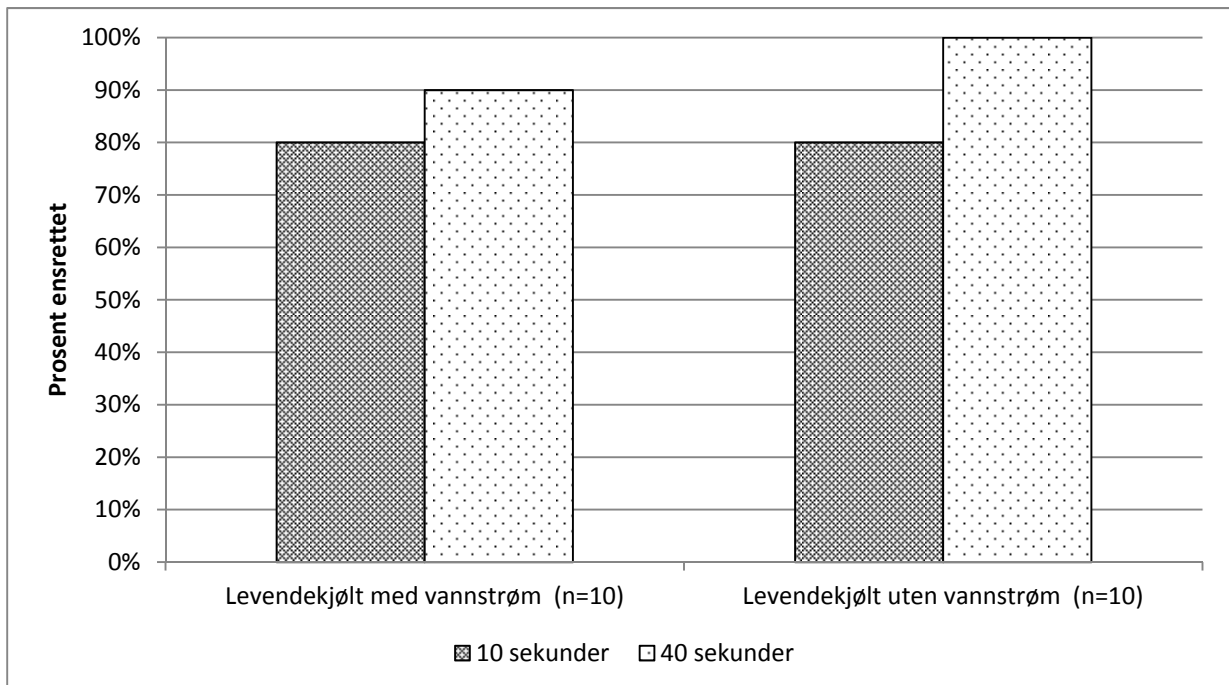
I gruppen som var levendekjølt uten vannstrøm (gruppe 2), ble det etter 10 sekunder observert at 80 % av fisken var ensrettet, og etter 40 sekunder var 100 % av fisken ensrettet (Figur 4 **Feil! Fant ikke referansekilden.**). Fisk levendekjølt uten vannstrøm viste dermed en bedre evne til å ensrette seg enn kontrollgruppen. Årsaken til dette kan tenkes å være at fisk under nedkjøling blir atferdsmessig mer rolig, for så å få en "boost" når den blir eksponert for en høyere vanntemperatur i ensretter.

Pilotforsøk 1 - Ensretting i kombinasjon med levendekjøling



Figur 4. Søylenes representerer antall fisk i prosent som ensrettet seg.

I gruppen med levendekjølt fisk i vannstrøm (gruppe 3), var 80 % av fisken ensrettet etter 10 sekunder. Etter 40 sekunder var 90 % av fisken ensrettet. Denne gruppen presterte dermed bedre enn kontrollgruppen, men dårligere enn fisk kjølt uten vannstrøm (Figur 5).



Figur 5 Søylenes representerer antall fisk i prosent som ensrettet seg.

Levendekjølt fisk ensretter seg bedre enn ikke levendekjølt fisk. Innledende forsøk gjennomført ved Senter for Fiskeforsøk ved UMB, indikerte samme tendens. Fordi kontrollgruppen presterte

dårligere enn de to andre gruppene, kan det tenkes at kjølingen i seg selv har virket beroligende, men at svømmeadferd ikke påvirkes negativt. Dette underbygges av tidligere studier som har påvist mild sedativ effekt av levendekjøling (Mejdell et al. 2008). Det ble også observert at dersom laks ble utsatt for høyere temperatur i ensretter, sammenlignet med temperaturen i levendekjølingen, ble den mer aktiv. Dermed kan det tenkes at en slik temperaturøkning øker sannsynligheten for at den orienterer seg riktig vei. Når laksen ble utsatt for lavere temperatur i ensretter enn i vannet den kom fra (kontrollgruppen), gikk ensrettergraden ned. Det kan se ut til at denne temperaturendringen gjør fisken såpass sedat at den får vansker med ensretting.

Ut fra forsøkets problemstilling, hvor det spørres om laks kan ensrette seg etter levendekjøling eller ikke, konkluderes med at levendekjøling ikke vil være til hinder for ensretting. Sirkulær vannstrøm i levendekjølingskaret viste seg og ikke å ha effekt på ensrettingen.

Vannkvalitetsparametere som TAN, CO₂ og pH ble ikke registrert. Sviktende vannkvalitet kan være med på svekke almenntilstanden hos fisk (Erikson et al. 2006; Erikson 2008; Erikson & Misimi 2008; Mejdell et al. 2008), og dette kan påvirke ensretting negativt. Videre undersøkelser av ensretting etter levendekjøling, der vannkvalitet også analyseres kan dermed være nødvendig.

3 Pilotforsøk 2 - Vannkvalitet i kjølekar

3.1 Innledning

Levendekjøling utføres i et lukket system med lite vannutskifting, og vannkvaliteten i kjølekar vil forringes gjennom en produksjonsdag (Erikson 2008).

Hensikten med forsøket er å avdekke om vannkvaliteten i kjølekar forringes gjennom en produksjonsdag, og om kvaliteten på et tidspunkt overskrider grenseverdier for god fiskevelferd. I tillegg ble det undersøkt om det var forskjell i vannkvalitet mellom ulike punkter i kjølekar.

3.1.1 Laksefisk, vannkvalitet, og stress.

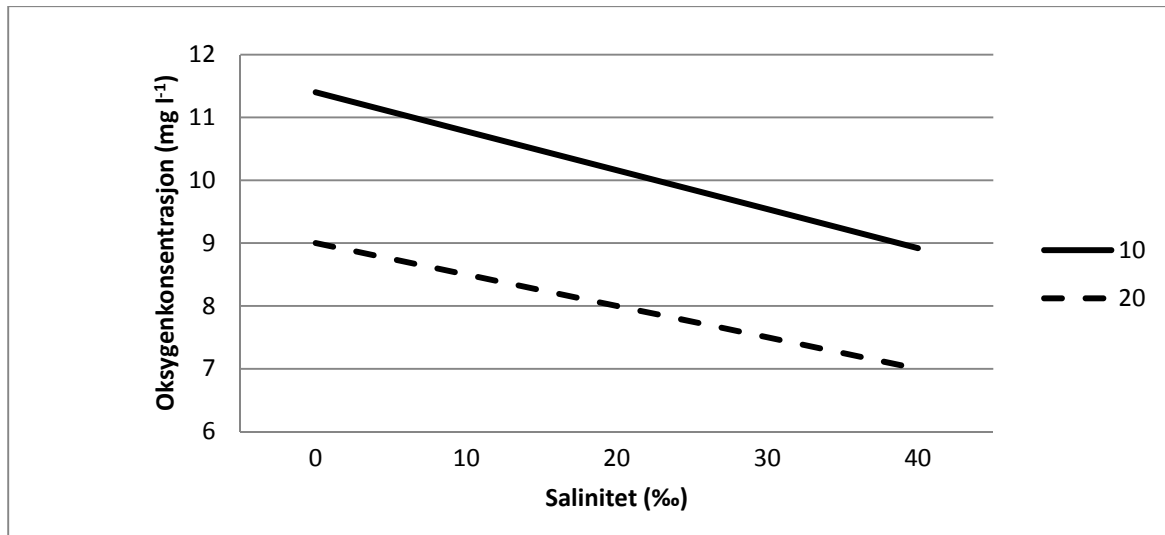
Fisk har utviklet bestemte krav til omgivelsene når det gjelder temperatur og innhold av ulike forbindelser som oksygen, karbondioksid, ammoniakk, partikler og ulike metaller. Disse krav regulerer deres naturlige tilstedeværelse i naturen. For de ulike parameterne er det bestemte toleranseområder. Det er også viktig å være klar over at parameterne kan influere hverandre. De viktigste grenseverdier for vannkvalitetsparametere hos laksefisk er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1. Akseptable vannkvalitetsparametere i sjøvann for å vedlikeholde vekst og fiskevelferd hos Atlantisk Laks. Etter ^a(Thorarensen & Farrell 2011). ^bEtter (Bilotta & Brazier 2008; Robertson et al. 2007). ^cEtter (Stefansson 2007).

Parameter	Akseptabelt nivå
^a Oksygenmetning	80- 100 %
^a CO ₂	≤ 10 mg l ⁻¹
^a NH ₃	≤ 0,012 mg l ⁻¹
^a NO ₂	≤ 0,1 mg l ⁻¹
^b SS	< 60 mg l ⁻¹
^c TAN	< 5,00 mg l ⁻¹ ved pH 8,0
^c TAN	< 2,50 mg l ⁻¹ ved pH 8,5

Oksygenbehov

Oksygeninnholdet i vann varierer med både temperatur og salinitet (Figur 6). Konsentrasjon av O₂ i likevekt med ferskvann ved 25 °C og 1013 mb er 8,2 mg l⁻¹. I sjøvann med en salinitet på 35 ‰, er oksygenkonsentrasjonen 6,8 mg l⁻¹ (Lekang & Fjæra 1997). Med andre ord inneholder sjøvann 18 % mindre løst O₂ enn ferskvann.



Figur 6. Forholdet mellom løselighet av oksygen og salinitet ved 10 og 20 °C. Oksygenkonsentrasjonen er høyere i ferskvann enn i sjøvann ved en salinitet på 35 ‰. Oksygeninnholdet er generelt lavere ved 20 °C enn ved 10 °C. Etter Moksness et al. (2004)

Tilstrekkelig oksygeninnhold i vann er avgjørende for å oppnå god fiskevelferd (Moksness et al. 2004). Ved lavt oksygeninnhold i vannet vil appetitt og vekst reduseres (Stefansson 2007). Under fluktuerende oksygenmetning rundt 70 %, er det vist at Atlantisk laks føret optimalt med tanke på vekst i sjøvann ved 16 °C, får redusert appetitt. 60 % oksygenmetning førte til akutt anaerob metabolisme og hudforandringer (skade). Ved 50 % oksygenmetning ble det i tillegg observert akutte stressresponser, mens 40 % oksygenmetning førte til sviktende osmoseregulering og død (Anon 2008).

Oksygenbehovet hos fisk varierer. Som en hovedregel synker behovet med økende individvekt (Brett & Glass 1973), mens det øker i takt med stigende vanntemperatur (Brett & Glass 1973; Lee et al. 2003; Thorarensen & Farrell 2011). Dette kan forklares med at fisk er poikilotherm (vekselvarm), og dermed endres kroppstemperaturen med de omkringliggende vannmassene. Oksygenbehovet øker ved større vekstrate (SGR) (Cook et al. 2000; Forsberg 1997; Jobling 1994). Aktivitetsnivå i form av svømming utgjør en energikostnad for fisk, og øker dermed også oksygenbehovet (Brett & Glass 1973; Gallaughier et al. 2001; Grøttum & Sigholt 1998; Lee et al. 2003). Økt stressnivå i fisk kan også gi økt oksygenforbruk (Portz et al. 2006; Wedemeyer 1996a). Det er noe uenighet i forhold til en spesifikk nedre grense av oksygenmetning for å opprettholde god fiskevelferd hos laks, men enkelte studier fastslår at den bør ligge rundt 80 – 100 % (Thorarensen & Farrell 2011). Andre anbefaler at verdien ikke bør være under 60 – 70 % (Kvamme et al. 2008). I merknad til akvakulturdriftsforordningen (2006), blir det fastslått at det i ferskvann ikke skal være mer enn 100 % metning i fiskekaret, men at det i innløpet kan være opp

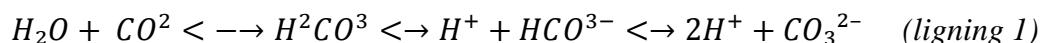
til 120 % metning. Forskriften sier videre at det ikke skal være mindre enn 80 % oksygenmetning i avløpet.

Karbondioksid

Karbondioksidinnhold i blod hos Atlantisk laks ligger normalt rundt $6 \pm 1 \text{ mg l}^{-1} \text{ CO}_2$. Laksefisk regulerer oksygenopptaket fra vann over gjellene ved å øke ventilasjonsvolumet basert på oksygeninnholdet i blodet, og ikke konsentrasjonen av CO_2 eller ammoniakkonsentrasjoner slik tilfelle er for pattedyr (Stefansson 2007). Dermed vil CO_2 konsentrasjonen i blodet øke når oksygenmetningen i vannet er svært høy, og respirasjonsraten dermed er senket. Slik vil mindre karbondioksid bli transportert ut, og gi økt konsentrasjon av CO_2 i fiskeblodet. Ved forhøyede CO_2 konsentrasjoner vil blodet bli mer surt. Dette senker hemoglobinetts oksygenaffinitet, og dermed evne til å transportere oksygen. Dette er kjent som Root- og Bohr Effekten (Stefansson 2007). Hos laksefisk vil Bohr-effekten i praksis hemme transport av oksygen når konsentrasjonen av CO_2 i vannet overstiger 20 mg l^{-1} (Wedemeyer 1996a).

Generelt er konsentrasjonen av karbondioksid i sjøvann lav, $0,4 \text{ mg l}^{-1}$ (DOE 1994). Likevel kan CO_2 akkumuleres i vann ved høy biomassetetthet og lav vannutskifting. Dette kan være tilfelle i avgrensede områder, som for eksempel i kar, merder eller tanker. Konsentrasjonsoppbygging av CO_2 i vann skjer som en konsekvens av at vannutskiftingen er for lav i forhold til fisketettheten. Høye konsentrasjoner av CO_2 gir anestetisk effekt på fisk (Bernier & Randall 1998). Ved tilsetning av karbondioksid under levendekjøling er en konsentrasjon i vannet på fra 200 til 500 mg l^{-1} antatt å være tilfredsstillende verdier for å oppnå anestesi av stor Atlantisk laks (Iwama & Ackerman 1994).

Mesteparten av produsert CO_2 fra laks diffunderer som gass gjennom gjellene til omgivende vann i form av molekylært CO_2 . Deretter reagerer CO_2 med vann og skaper karbonsyre (H_2CO_3), H^+ -ioner (syre), bikarbonat (HCO_3^-) og karbonat (CO_3^{2-}) (ligning 1).

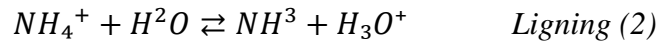


Likevekten av denne reaksjonen er avhengig av pH i vannet. For områder av pH skalaen som er aktuell i akvakultursammenheng, reagerer mesteparten av CO_2 innholdet med vann og danner bikarbonat (Wedemeyer 1996a). På denne måten kan sjøvann ta imot store mengder CO_2 , noe som gjør at bufferkapasiteten (evnen til å motstå pH forandring) i sjøvann er stor.

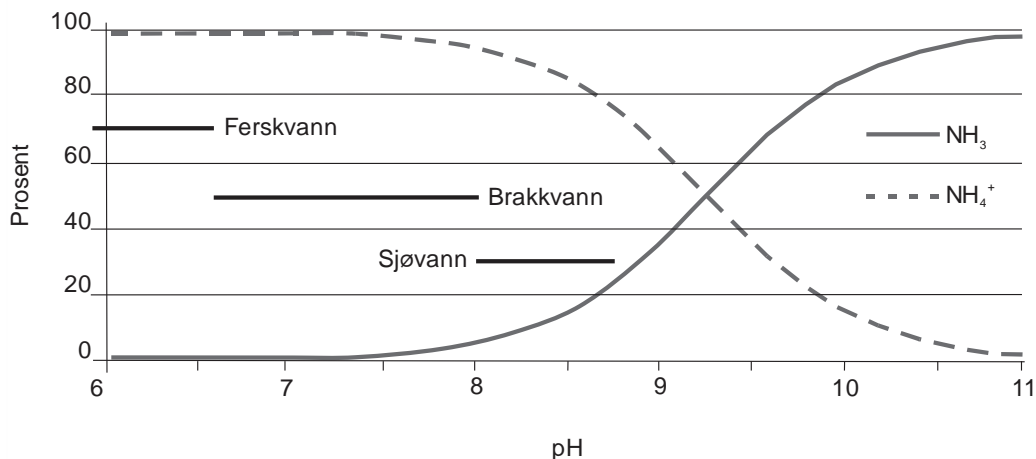
Langtidseksposering for gjennomsnittlige CO_2 verdier på mellom 26 mg l^{-1} og 44 mg l^{-1} , har vist å gi dårligere vekst og redusert fiskevelferd for Atlantisk laks (Fivelstad et al. 1998).

TAN (Totalt Ammoniakk Nitrogen)

Ammoniakkforbindelser opptrer på to former i vann. Ionisert NH_4^+ (ammonium) og uionisert NH_3 (ammoniakk) i gassform. Laksefisk utskiller TAN til vann i forbindelse med nedbrytning av protein (Espe et al. 2001). NH_4^+ reagerer med vann og danner ammoniakkioner i en likevektreaksjon (likning 2).



Fordelingen mellom NH_3 og NH_4^+ er avhengig av salinitet, temperatur og pH (Figur 7). En økning i temperatur fra 10 til 20 °C gir ca. en dobling av NH_3 , mens økning i salinitet på ca. 15 p.s.u. fører til et fall i andel NH_3 med ca. 10 %. (Grasshoff et al. 1999). pH påvirkes av fiskens metabolisme, blant annet ved utskillelse av CO_2 . Temperatur og salinitet vil i mindre grad påvirkes av fiskens tilstedeværelse. Dermed er det pH verdien som i hovedsak bestemmer fordelingen mellom NH_3 og NH_4^+ i oppdrettssammenheng.



Figur 7 Andelen av NH_4^+ og NH_3 i prosent ved en analyse av TAN som funksjon av pH. Normalt pH område i ferskvann, brakkvann og saltvann er antydnet. Etter (Stefansson 2007).

NH_3 regnes som den mest giftige formen av TAN. Dette er antakelig fordi den lettere diffunderer over fiskens membraner, mens membranene er relativt impermeable for NH_4^+ (Stefansson 2007). NH_3 kan føre til at osmosereguleringen forstyrres (Lloyd & Orr 1969), og gjelleepitel skades med pustebeviser som resultat (Burrows 1964). Det er også vist at akkumulert NH_3 forstyrrer den oksidative metabolismen, og fører til tømning av energilagre blant annet i hjernen (Smart 1978). Høyt innhold av NH_3 kan forårsake fysiologiske stressresponser og unnnvikende adferd (Danley et al. 2005; Fivelstad et al. 1995). En lav vannutskifting i et kjølekar vil derfor kunne føre til opphopning av utskilt nitrogen i form av TAN.

Bufferevnen i sjøvann gir en forholdsvis stabil pH, som regel rundt 8. Derfor foreligger en større andel av TAN som NH_3 , i forhold til i ferskvann som har en pH på ca. 7 (Figur 7). En økning i CO_2 konsentrasjon vil være med på å senke pH, og føre til økt andel NH_4^+ (Knoph 1996). I sjøvann skal det derimot en større mengde CO_2 til før pH synker. Dette kan føre til at man i resirkuleringssystemer med sjøvann opplever akkumulasjon av NH_3 .

Stress

Stressnivået i laksefisk vurderes enten visuelt på bakgrunn av adferd, eller ved analyse av fiskeblod. Osmolaritet og laktatnivå er gode parametere for å måle stressrespons i blod hos Atlantisk laks (Skjervold et al. 2001a). Det er ofte et tegn på at laksen er stresset, dersom fargen i skinnet på ryggen er tydelig blå/grønn (*Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond* 2009).

Stress av fisk er gjerne forbundet med håving, pumping, håndtering, trenging, eventuell at fisken er ute av vannet, og/eller dårlig vannkvalitet (Cnaani et al. 2004; Miles et al. 1974; Specker & Schreck 1980). Fiskevelferd påvirkes i stor grad av mengde fisk per kubikkmeter vann (kg m^{-3}). Høy fisketetthet kan føre til økt slimutskillelse og skjelltap, men også til dårlig filetkvalitet (Skjervold et al. 2001a). For å bedømme trengingsgrad i slaktermerden, er det utarbeidet en skala for hvor stor trengingsgraden er (Tabell 2).

Tabell 2. Skala for vurdering av stressnivå hos laksefisk. Fiskens adferd og antall ryggfinner i overflaten, sammen med antall blanke fisesider som er synlige kan angi et mål for trengingsgrad. Etter Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (*Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond* 2009).

Nivå 1	Ønsket	<i>Fisken svømmer rolig, men ikke nødvendigvis i samme retning. Ingen ryggfinner bryter vannflaten, ingen hvite sider å se.</i>
Nivå 2	Godt	<i>Normal svømmeaktivitet. Få ryggfinner bryter overflaten, ingen hvite sider å se.</i>
Nivå 3	Uønsket	<i>Oppjaget adferd med hektisk svømming i forskjellig retning. Mer enn 20 ryggfinner bryter overflaten, noen hvite sider synlig mesteparten av tiden.</i>
Nivå 4	Uakseptabelt	<i>Svært høy aktivitet med svømming i alle retninger, pusting i overflaten. Avtagende aktivitet over tid pga. utmattelse. Mange ryggfinner og hvite sider i hele avkastet. Ikke mulig å holde jevn pumperate.</i>
Nivå 5	Ekstrem trenging	<i>Fisken er utmattet og dør om den ikke gis mer plass. Mange fisk flyter på siden.</i>

Temperaturrendringer $\Delta T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$, gir som regel lite økning i stress hos laksefisk, og slike temperaturrendringer blir som regel godt tolerert av fisk med god helse (Wedemeyer 1996b).

Levendekjøling

Levendekjøling ble tidligere benyttet for å roe ned laks, i kombinasjon med CO₂, for å gi full sedasjon (Erikson et al. 2006; Roth et al. 2006). Levende kjøling skal utføres uten for raske temperaturendringer eller for lav temperatur (Forskrift om slakteri mv. for akvakulturdyr § 13-3). Temperaturer på 0,5 – 1 °C forårsaker kun en mild stressrespons hos laksefisk, og nedre temperaturgrense for levendekjøling er derfor satt til 0 - 0,5 °C (Skjervold et al. 2002). For Atlantisk laks er -0,7 °C rapportert som dødelig (Saunders 1986), men vil variere noe avhengig av fiskestørrelse (Skuladottir et al. 1990). Når fisk blir utsatt for hypotermi (abnormt lav kjernetemperatur, eller senking av kroppstemperatur) blir den beroliget. Fisken blir treg og viser tegn til manglende bevegelighet, samt svekket nervesensitivitet (Ackerman et al. 2005; Mittal & Whitear 1978; Wedemeyer 1996b).

Temperatur er en medvirkende faktor som påvirker filetkvalitet. Høy sjøvannstemperatur i slaktermerden er forbundet med dårlig filetkvalitet og filetgaping (Lavety et al. 1988). Reduksjon av kjernetemperatur i laksefisk fra sjøvannstemperatur 5 -18 °C ned til ca. 0 ° grader fjerner store mengder termisk energi. Dette er energi som ville vært tilgjengelig for muskeldegradering, som starter få timer etter slakting. Levendekjøling kan derfor virke gunstig for å hindre tidlig muskeldegradering, og forlenger tiden det tar før dødsstivhet (*Rigor Mortis* L.) inntreffer (Skjervold et al. 1999).

Hensikten med forsøket var å avdekke om vannkvaliteten i kjølekarer forringes gjennom en produksjonsdag, og om vannet på et tidspunkt overskrider grenseverdier for god fiskevelferd. I tillegg ble det undersøkt om det var forskjell i vannkvalitet mellom ulike punkter i kjølekarer.

3.2 Materiale og metode

3.2.1 Forsøksbetingelser

Prøveuttaket ble gjennomført 8.4.2011. Totalt ble det levendekjølt 92 tonn Atlantisk Laks, med en snittvekt på 4,23 kg. Fisken var sultet i 12 dager før slakting. Laksens oppholdstid i levendekjølingstanken varierte mellom 40 og 60 minutter. Oksygenmetningen i slaktermerden var 85 %, med O₂ konsentrasjon på 8,8 mg l⁻¹. Temperaturen i slaktermerd var 4,5 °C.

Fisken ble pumpet via to vakuumpumper (MMC Tendos, Ålesund, Norge). Lengden på pumperør fra slaktermerd til levendekjølingstank var 46 meter dagen forsøket ble gjennomført. Geodetisk løftehøyde fra slaktermerd til kjølekar var 5,5 meter. Kjølekarer er produsert i syrefast stål av Uni-food Technic AS (Danmark), har et volum på 60 m³ og består av 6 medbringere som

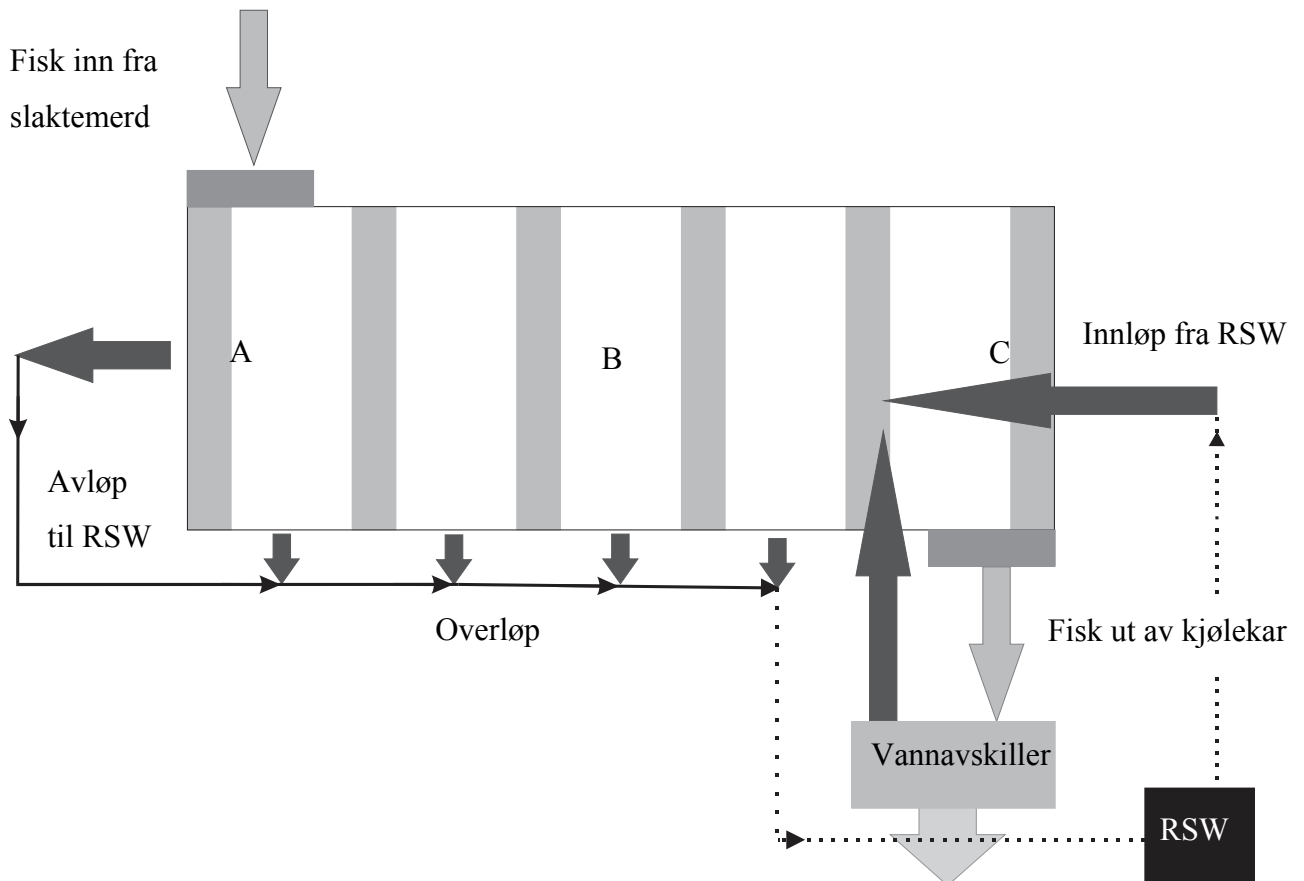
fører fisken fremover. Hastigheten på medbringerene styres manuelt av bløggeren, slik at bløggebordet kontinuerlig mottar en jevn mengde fisk. Vanninnløpet er plassert på kortsiden, i forkant av karet. Slik strømmer kjølt vann inn i karet der fisken går ut, men strømbildet i kjølekaret fremstår som noe uklart. På grunn av det noe uklare strømbildet i kjølekaret, ble tre uavhengige prøvetakingspunkter valgt (Figur 8), slik at en eventuell gradient kunne påvises.

Etter endt produksjonsdag blir vannet tappet ut, og friskt vann gradvis tilsatt frem mot neste dags produksjon. En ny produksjonsdag starter dermed med nytt, friskt sjøvann. Vannet ble nedkjølt av et “*Refrigerated Sea Water*“ (RSW) kjøleanlegg (Teknoterm, Sarpsborg, Norge), og sirkulert av en pumpe (Figur 8).

Kjølekaret ble tilsatt hydrogenperoxid (H_2O_2), slik at eventuelle lakselus slipper laksen (Treasurer & Grant 1997). Når H_2O_2 blir tilsatt i vann, spaltes det til oksygen og vann. Denne kjemiske reaksjonen fungerer dermed som oksygenering av karet. Gjennom en produksjonsdag blir oksygeninnholdet kontinuerlig registrert av slakteriet med en Oxyguard oksygenmåler (OxyGuard International A/S, Birkerød, Danmark). Ved oksygennivåer under 82 % metning blir det automatisk tilsatt 10 liter H_2O_2 . Tilsetningen blir gjort i avløpsrennen (Figur 8). Rennen fører vannet til RSW anlegget før tilbakeføring i kjølekaret. På denne måten tynnes H_2O_2 ut i vannmassene før blandingen strømmer ut i karet.

Prøveuttakene ble foretatt gjennom en hel produksjonsdag. Første fisk ble pumpet inn i kjølekaret kl. 05:10, og siste fisk forlot kjølekaret kl. 15:20. Det var avtagende mengde fisk som ble levendekjølt fra ca. 14:00. I løpet av hele produksjonsdagen ble oksygen og temperatur målt og loggført hver hele time. Disse parameterne ble også målt før og etter kjøling av fisken. Dermed ble det registrert en referanseverdi for vannet før levendekjøling startet, samt etter at all fisk var kjølt.

Prøveuttakene ble tatt ved tre ulike punkt i kjølekaret (Figur 8). Punkt A, hvor fisk pumpes inn fra slaktermerd, samt stedet for vannets utløp fra karet. Punkt B midt i karets lengderetning og punkt C hvor fisk går ut av kjølekaret, og nytt vann fra RSW - kjøleanlegget pumpes inn. Prøvene ble målt 0,3 m ned i kjølekaret. I kjølekaret er det en vannutskiftning på ca. 15 l min^{-1} .



Figur 8. Fisk pumpes inn fra slaktermerden, og føres med medbringeren frem til fiskeavløpet. Vannsirkulasjon via RSW-anlegg hvor det kjøles ned. Vann som føres ut med fisk i fiskeavløp pumpes tilbake i kjølekar. Punktene A, B og C illustrerer uttakspunkter for vannprøvene.

3.2.2 Forsøksopplegg

Problemstilling

Vil vannkvaliteten i kjølekarer forringes gjennom en produksjonsdag?

Variere vannkvaliteten mellom ulike punkt i kjølekarer?

Gjennomgang av forsøket

I tillegg til måling av temperatur og oksygen hver hele time, ble to vannprøver tatt ut per punkt hver tredje time, totalt seks prøver per prøvetidspunkt (Tabell 3). Vannprøvene ble senere analysert for TAN, farge, nitritt og jern. Ferdig merkede prøveflasker (0,5 l polyetylen) med tett skrukork ble senket ned i vannet med tuten først. Hver flaske ble skylt igjennom to ganger før prøven ble forsegle, etter metode fra Crompton (2006). Konduktivitet og pH ble registrert hver tredje time, samtidig med hvert vannprøveuttak.

For å måle suspendert stoff (SS) ble egnede plastkanner (5 l polyetylen) benyttet til vannprøveinnsamling. Tidligere forsøk har vist at det kan være vanskelig å kvantifisere et lavt innhold av SS i sjøvann. Ved å øke vannprøvevolumet ble imidlertid nok væske sikret for

gjennomføring av analysen. Vannprøvene ble innhentet med samme prosedyre som for 0,5 liter flaskene.

Av hensyn til et begrenset budsjett, ble det bestemt å ta ut kun tre CO₂ prøver for ekstern analyse. Prøver ble tatt ut ved tre tidspunkt: før første fisk ble pumpet (kl.05:00), midtveis (kl.11:00), og mot slutten av produksjonsdagen (kl.14:00) (Tabell 3).

Tabell 3. Oversikt over hvilke målinger som ble tatt i løpet av forsøksdagen. Gråfarget rute indikerer at en prøve er tatt. ^aPrøveflasker med vann for senere analyse.

Klokkeslett	Oksygen	Temperatur	pH	Konduktivitet	SS	^a Prøveflaske	CO ₂
05:00							
06:00							
07:00							
08:00							
09:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
15:30							

Samtlige vannprøver ble oppbevart mørkt, på is, gjennom prøveuttaksdagen. Etter endt prøveuttak ble kassene med is sendt til analyse ved Universitet for miljø- og biovitenskap.

3.2.3 Registreringer og databehandling

Etter bearbeidelse av datagrunnlaget, ble det observert liten forskjell mellom de ulike prøveuttakspunktene. På grunn av den lave forskjellen, ble det valgt å slå sammen data fra hvert av målepunktene til et gjennomsnitt for hele kjølekarret. Avvik i registreringer for hvert punkt er dermed kun omtalt som standardfeil.

Direktemålinger

Oksygen, konduktivitet og pH ble målt direkte gjennom prøveuttaksdagen. Det ble benyttet en Oxyguard Handy Delta (OxyGuard International A/S, Birkerød, Danmark) til vanntemperatur- (°C) og oksygenmålinger. Oksygeninnholdet ble målt i prosent metning og i mg l⁻¹. Registrering av pH ble gjennomført med pH10 (YSI Incorporated, Ohio, USA). Konduktiviteten ble målt i mS cm⁻¹ med WTW LF 9 (WTW GmbH, Tyskland).

Karbondioksid (CO₂)

CO₂ prøvene ble tatt ved punkt A, tappet på glassflasker med slipt glasspropp. Prøveflaskene ble skylt gjennom tilsvarende 3 ganger flaskevolum. Deretter ble 1ml kvikksølvklorid (HgCl₂) tilsatt, og flasken forseglet. Videre ble prøveflaskene senket ned i en beholder fylt med vann (NIVA 2008). CO₂ prøvene ble analysert av NIVA (2008) ved hjelp av Phoenix 8000 TOC-TC analysator med prøvekarusell STS 8000. Deteksjonsintervallet var 0,1 – 20 mg l⁻¹, med deteksjonsgrense 0,1 mg l⁻¹.

Farge

Prøvene ble filtrert gjennom et filter med porestørrelse 0,45 µm (WhatmanTM, GE Healthcare Limited, Buckinghamshire, UK) i henhold til Norsk Standard (2005). Deretter ble prøvene analysert med PhotoFlex Turb, program 43 ved 435 nm⁻¹ (WTW GmbH, Tyskland). Ionebyttet vann ble brukt som nullreferanse. Vannets farge ble målt på Platinum- Coboltskala, hvor destillert vann representerte 0,0 mg Pt l⁻¹ (NIVA 1983).

Visuell bedømmelse ved sammenligning av prøven med faste løsninger av platinumkobolt, er den mest vanlige metoden for måling av farge i vann (Hongve & Akesson 1996). Metoden gir svar i mg Pt l⁻¹, også kjent som Hazen - skalaen, etter Hazen (1892). Den senere tid er det blitt mer vanlig å måle fargen med fotospektrometri. Metoden anses for å være pålitelig (Hongve & Akesson 1996). For måling ved fotospektrometri må bølgelengde velges. I følge Norsk Standard (2002), som baseres på arbeid av Hongve & Akesson (1996), må det måles på bølgelengde 410 nm⁻¹ for at resultatet skal være kompatibelt med Hazen – skalaen, men Hongve & Akesson (1996) beskriver også at bestemmelse ved bølgelengder mellom 450 – 465 nm er tilstrekkelig for en slik sammenligning.

Måleapparatet Photoflex Turb (WTW GmbH, Tyskland) kan måle farge i vann ved tre forskjellige bølgelengder; 436, 525 og 620 nm. Disse bølgelengdene er utenfor de rammer som er anbefalt av Norsk Standard (2002) og Hongve & Akesson (1996), og dermed var det nødvendig å finne en god metode for omregning av dette. For å ligge så nært inntil standarden som mulig valgte vi å måle på 436 nm.

Ved måling med Photoflex får man en ekstinksjonskoeffisient målt i molar (m⁻¹). Ekstinksjonskoeffisienten angir vannets evne til å absorbere lys, som igjen reflekterer fargen. Omregning fra ekstinksjonskoeffisienten over til mg Pt⁻¹ skalaen, er gjort etter metode fra Cuthbert & Delgiorgio (1992), også vist i V-Balogh et al. (2009). S-verdien i ligningen er basert på Cuthbert & Delgiorgio (1992), som henter verdien fra Bricaud et al. (1981), og er en konstant

for benyttelse ved måling i sjøvann. Metoden baserer seg på to ligninger, der ligning (3) beregner riktig ekstinksjonskoeffisient etter hvilken bølgelengde man har målt på, og ligning (4) regner resultatet over til mg Pt l⁻¹. Begge ligninger får en regresjonskoeffisient på 0,99 i sammenligning med visuelle verdier (Cuthbert & Delgiorgio 1992).

$$g_{\lambda} = g_{\lambda_0} e^{-S(\lambda-\lambda_0)} \quad \text{ligning (3)}$$

Hvor g_{λ} , og g_{λ_0} , er ekstinksjonskoeffisienten i m⁻¹ ved henholdsvis bølgelengde λ og λ_0 i nm⁻¹. S er et uttrykk for den eksponentielle sammenhengen mellom ekstinksjonskoeffisienter målt ved forskjellige bølgelengder i ulike typer vann (Cuthbert & Delgiorgio 1992). Ligning (3) gir altså muligheten til å regne ekstinksjonskoeffisienten for vår bølgelengde, 436 nm, om til ekstinksjonskoeffisient for bølgelengde på 450 nm. Ligning (3) er avhengig av [$\lambda > \lambda_0$], så selv om måling ved 410 nm er mer sensitivt (Hongve & Akesson 1996), må det benyttes en bølgelengde på 450 nm. Dette er som tidligere nevnt en bølgelengde som er tilfredsstillende for god sammenlikning.

Svaret i ligning (3) benyttes så i ligning (4), og svaret uttrykkes i mg Pt l⁻¹.

$$Color_{\lambda}(mg Pt l^{-1}) = 18,216 \times g_{\lambda} - 0,209 \quad \text{ligning (4)}$$

Jern (Fe)

Ved tidligere besøk ble fargen på vannet i kjølekarret vurdert som rødlig, og det ble antatt at dette kunne skrive seg fra skader på fisken. Det er ikke uvanlig at fisk påføres mindre skader ved pumping fra slaktemerd, da den kan komme i klem i pumpeklaffer eller liknende. For å bestemme om dette var tilfelle ble jern (Fe), som uttrykk for jern fra hemoglobin, inkludert i analysen. Prøvene ble analysert i henhold til Norsk Standard (1975) ved hjelp av Photoflex Turb (WTW GmbH, Tyskland), program nr. 301 og kjemisk reagens Fe-2 TP (Christian Berner AS, Oslo, Norge). Deteksjonsintervallet for analysemetoden var 0,00 – 3,00 mg l⁻¹. I forkant av analysen ble vannprøvene filtrert i filter med porestørrelse 0,45 µm (Whatman™, GE Healthcare Limited, Buckinghamshire, UK) i henhold til Norsk Standard (2005). Prøvene ble pH-justert innenfor intervallet [3, 5] med saltsyre (HCl) for å komme innenfor deteksjonsnivå. 20 ml prøvevann + 100 µl HCl ble blandet ut. Av den pH justerte prøven ble 5 ml benyttet til å skylle testkvyetten, deretter ble 10 ml benyttet til analyse.

TAN – Total Ammonium Nitrogen

Innholdet av TAN ble bestemt med Photoflex Turb (WTW GmbH, Tyskland), program 32, og kjemisk reagens 14752 (Christian Berner AS, Oslo, Norge). Deteksjonsintervallet for

analysemetoden var $0,02 - 1,5 \text{ mg l}^{-1}$. Intervallet ligger lavere enn øvre grenseverdi (2 mg l^{-1}) for TAN for laksefisk (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005), men forsøk på lavere deteksjonsintervall ble gjennomført for å undersøke om dette var tilstrekkelig. Det viste seg at det valgte intervallet var tilstrekkelig for verdiene i prøvene.

I forkant av analysen ble vannprøvene filtrert i filter med porestørrelse $0,45 \mu\text{m}$ (Whatman™, GE Healthcare Limited, Buckinghamshire, UK) i henhold til Norsk Standard (2005). Prøvene ble tilsatt $0,1 \text{ ml}$ natriumhydroksid (NaOH) for pH justering i henhold til angitt prosedyre for måling i sjøvann (WTW GmbH, Tyskland).

Ammoniakk NH_3

Den giftige andelen av TAN, NH_3 , ble regnet ut etter Bower & Bidwell (1978) & Khoo et al. (1977). For å bestemme konsentrasjonen av NH_3 , ble mengden TAN multiplisert med den beregnede prosentandelen NH_3 i sjøvannsprøven.

$$\text{NH}_3 = \text{TAN} \frac{100}{1 + \text{antilog}\{[pK_a^s(T)] - \text{pH}\}} \quad \text{Ligning (5)}$$

$pK_a^s(T)$ i ligning (5) er regnet ut med ligning (6):

$$pK_a^s(T) = pK_a^s + 0,0324 * (298 - T^\circ\text{K}) \quad \text{Ligning (6)}$$

$$pK_a^s = 9,512$$

pK_a^s – verdien i ligning (6) er for salinitet på 35 ‰, og er hentet fra Khoo et al. (1977). Dette er gjort for å få korrekt verdi i forhold til temperatur og salinitet, da Bower & Bidwell (1978) i sine ligninger benytter konstanter ved 25°C . De eksperimentelle pK_a^s - verdiene funnet av Kooh, samsvarer godt med de kalkulerte verdiene funnet av Whitfield (1978), som det også refereres til av Bower & Bidwell (1978).

Nitritt (NO_2)

Andelen NO_2 ble bestemt med Photoflex Turb program 19 (WTW GmbH, Tyskland), og kjemisk reagens 14776 (Christian Berner AS, Oslo, Norge), etter at prøvevannet var filtrert med porestørrelse $0,45 \mu\text{m}$ (Whatman™, GE Healthcare Limited, Buckinghamshire, UK) i henhold til Norsk Standard (2005). Deteksjonsintervallet for analysemetoden var $0,02 - 0,5 \text{ mg l}^{-1}$, og

inkluderer anbefalt grenseverdi for laksefisk på $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005).

Suspendert stoff (SS)

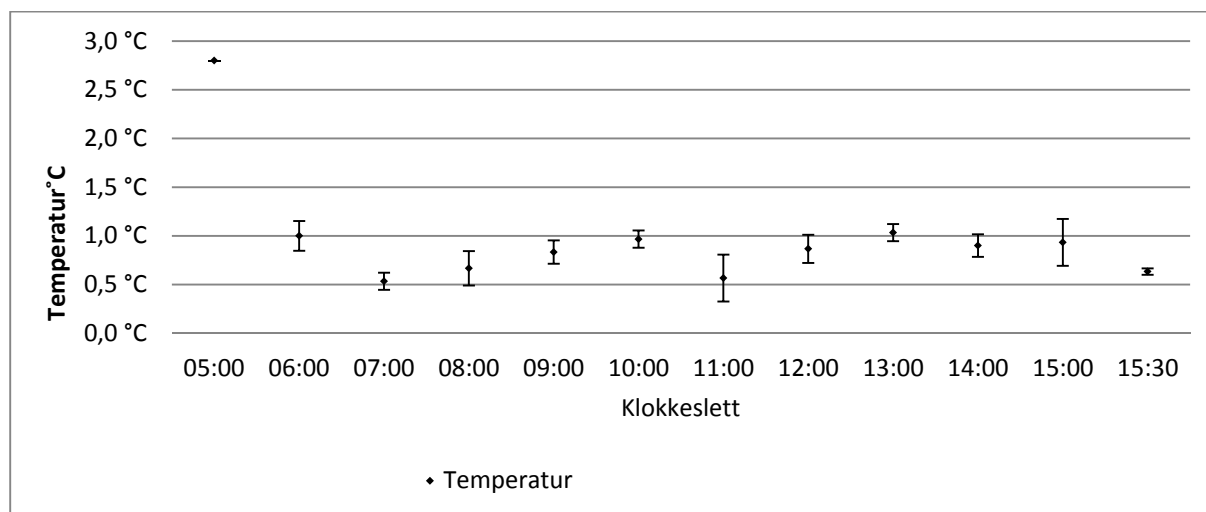
Suspendert stoff ble målt ved å filtrere 1,0 l prøvevann gjennom et filter med porestørrelse $0,45 \mu\text{m}$ (WhatmanTM, GE Healthcare Limited, Buckinghamshire, UK) i henhold til Norsk Standard (2005). Deretter ble filteret tørket på Ohaus MB45 Moisture Analyzer (Ohaus Europe GmbH, Sveits), og suspendert stoff ble deretter kvantifisert i mg l^{-1} etter Norsk Standard (2005).

Statistikk

Alle resultater ble i etterkant behandlet i Excel (Microsoft Corporation, Redmond WA, USA), hvor figurer og grafer er produsert. Standardfeil ble også beregnet i dette programmet.

3.3 Resultat og diskusjon

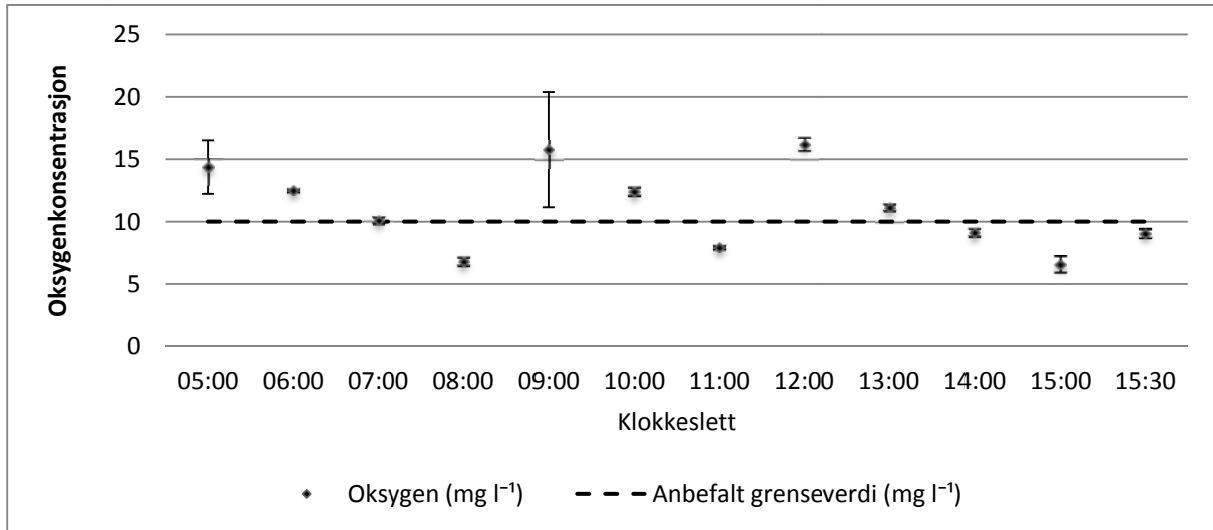
Det var forventet en forskjell i temperatur mellom punktene (A, B, C), med tanke på kuldetap i kjølekarret (Erikson et al. 2006), og tilførsel av termisk energi fra fisken. Temperaturforskjellen (ΔT) mellom slaktemerd og kjølekarret var $3,7 \text{ }^\circ\text{C}$. I kjølekarret tilføres et stort varmebidrag med fisk som kommer inn i kjølekarret fra slaktemerd, dersom ΔT er positiv. Temperaturen i kjølekarret viste imidlertid liten forskjell mellom de ulike målepunktene; $A=1,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $B=0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ & $C=0,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Det er grunn til å tro at den lave forskjellen i temperatur mellom punktene var et resultat av en lav temperatur i slaktemerd ($4,5 \text{ }^\circ\text{C}$), samtidig med lavt varmetap mot luft ($6 \text{ }^\circ\text{C}$). Største standardfeil i temperaturmålingene var kl. 11.00, med ($\pm \text{SE}$) $0,7 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,24$ (Figur 9).



Figur 9. Temperaturutvikling i kjølekarret gjennom dagen. Standardfeil er vist ved hvert punkt.

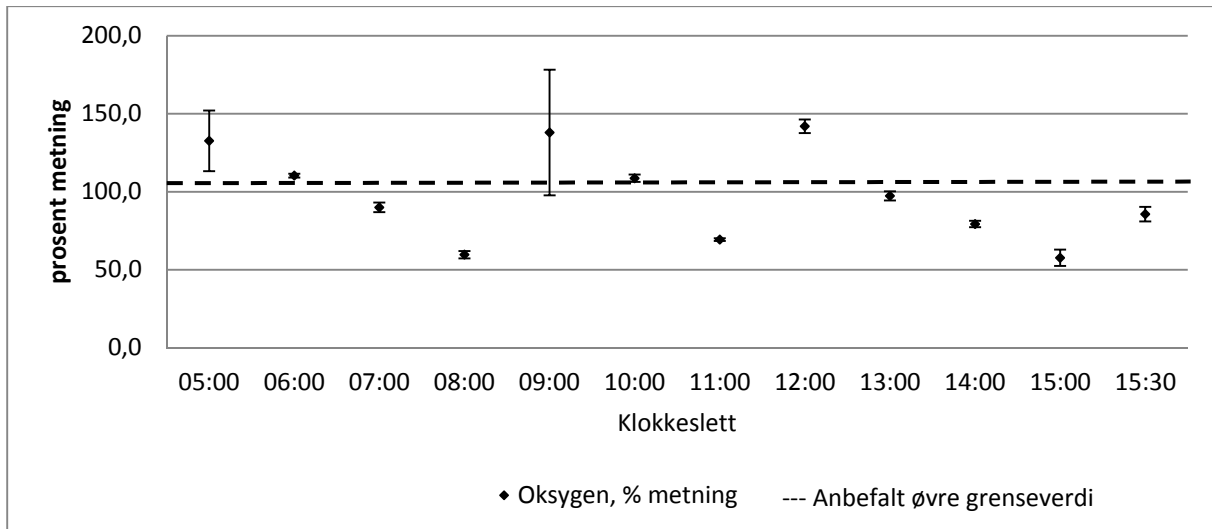
Oksygenkonsentrasjonen i kjølekarret varierte mellom $6,6$ og $16,2 \text{ mg l}^{-1}$ (Tabell 4). Målepunktene (A, B, C) ser ut til å være like, med unntak av målinger gjennomført rett etter

tilsetning av H_2O_2 , kl. 05.00, kl. 12.00 og kl. 09.00 (Figur 10). Ved måling kl. 09:00 var det registrert en gradient mellom punktene med ($\pm\text{SE}$) $15,8 \text{ mg l}^{-1} \pm 4,6$, men det er grunn til å tro at dette er et resultat av at hydrogenperoksiden ikke var tilstrekkelig blandet ut i kjøleket etter tilsetning. Generelt sett ligger oksygenkonsentrasjonen rundt anbefalt grenseverdi på 10 mg l^{-1} (Thorarensen & Farrell 2011).



Figur 10. Utviklingen av oksygenkonsentrasjon i kjøleket, vist i mg l^{-1} . Standardfeil er vist ved hvert punkt.

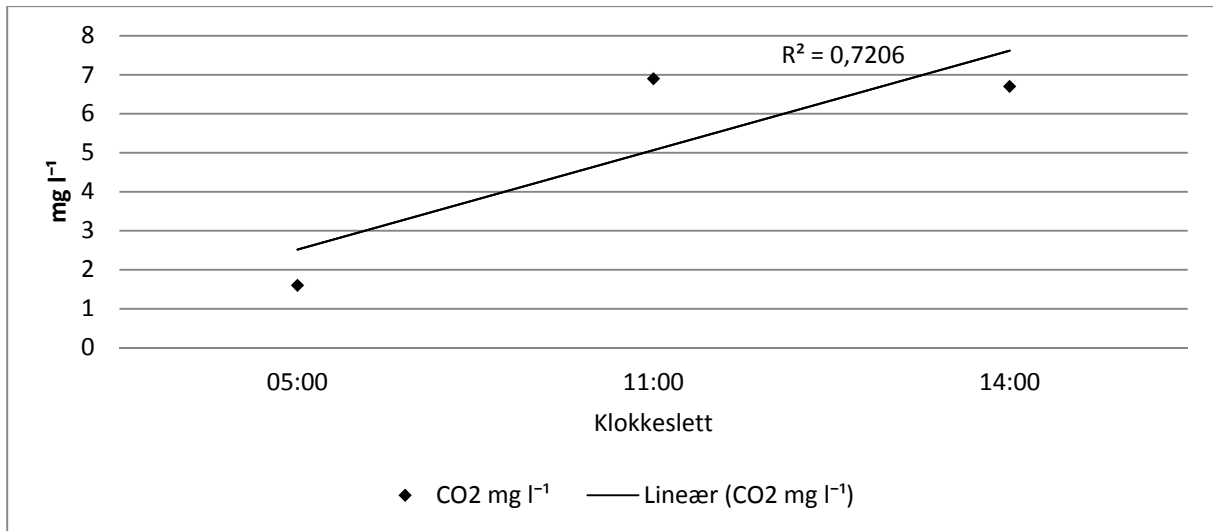
Vannets metningsprosent av oksygen var tidvis svært høy (Figur 11). Den høyeste verdien ble registrert kl. 12.00 ($\pm\text{SE}$) $142 \% \pm 4,5 \%$. Kl. 09:00 ble det registrert stor forskjell innad i karet ($\pm\text{SE}$) $138 \% \pm 40,3 \%$. Ved enkelte målinger overstiger metningsprosenten anbefalt grenseverdien på 100% for oksygenmetning i fiskekar (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005). Samtidig er oksygenmetningen i karet tidvis under anbefalt grenseverdi på 80% metning, antakelig rett før tilsetning av hydrogenperoksid.



Figur 11. Utvikling av oksygenmetning i kjølekaret gjennom en produksjonsdag, vist i % metning. Standardfeil er vist ved hvert punkt.

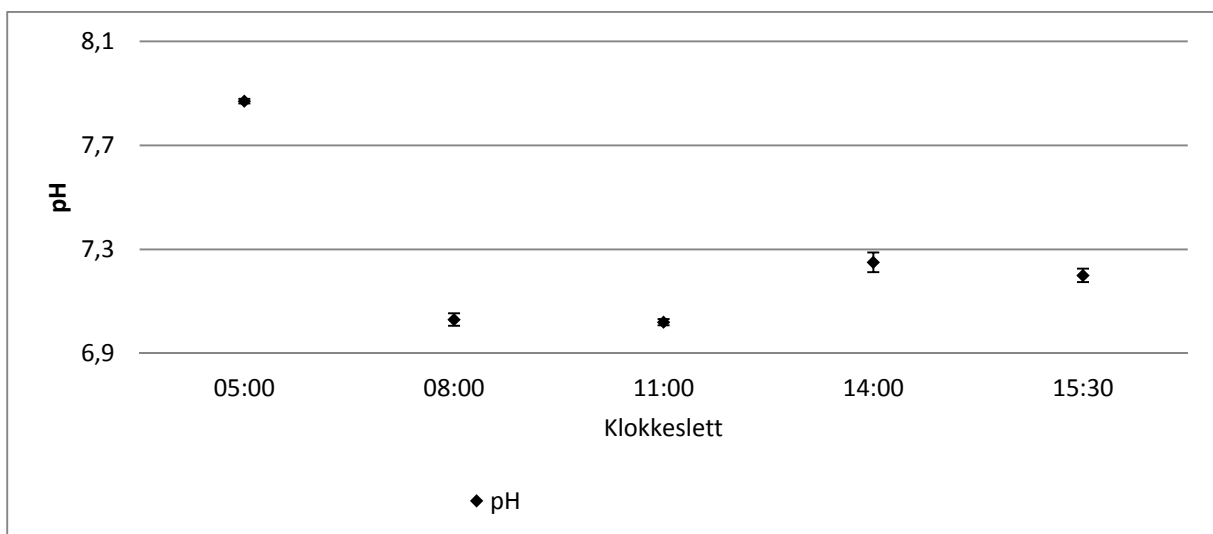
Karbondioksidkonsentrasjonen i kjølekaret var $1,3 \text{ mg l}^{-1}$ ved oppstart (05:00), og metabolsk produsert karbondioksid (CO_2) antas å være årsaken konsentrasjonsøkning i kjølekaret (Erikson 2008). Frem til kl. 10:00 økte CO_2 konsentrasjonen til $6,9 \text{ mg l}^{-1}$, før den avtok til $6,7 \text{ mg l}^{-1}$ kl. 14:00 (Figur 12). Dette stemmer godt med målinger av pH (Figur 13). Det er usikkert hvorfor konsentrasjonen av CO_2 kl. 14:00 ikke er høyere enn kl. 10:00, da en fortsatt konsentrasjonsøkning var ventet. Årsaken til dette kan ha vært vannutskiftningen i kombinasjon med synkende mengde fisk som ble kjølt. Det er funnet en lineær sammenheng ($R^2=0,72$) mellom karbondioksidkonsentrasjon og tid, men sammenhengen er noe usikker, da det kun er gjennomført tre målinger gjennom dagen.

Flere målinger av pH gjennom dagen sammenfaller godt med CO_2 utviklingen i kjølekaret. Det er derfor grunn til å tro at den faktiske CO_2 konsentrasjonen gjennom dagen ikke avviker i stor grad fra målingene. Det er dermed sannsynlig at CO_2 konsentrasjonen er rundt 7 mg l^{-1} allerede kl. 08:00. I merknad til akvakulturdriftsforordningen (2005) er $15 \text{ mg CO}_2 \text{ l}^{-1}$ anbefalt som øvre grenseverdi. Imidlertid fant Wedemeyer (1996) at konsentrasjonen ikke bør overskride 10 mg l^{-1} . Til sammenlikning viser nyere studier at 20 mg l^{-1} ikke gir varige skader over tid (Fivelstad et al. 1998; Summerfelt et al. 2000). CO_2 konsentrasjonene som her er funnet vil ikke virke sedativt på laksefisk (Erikson 2008).



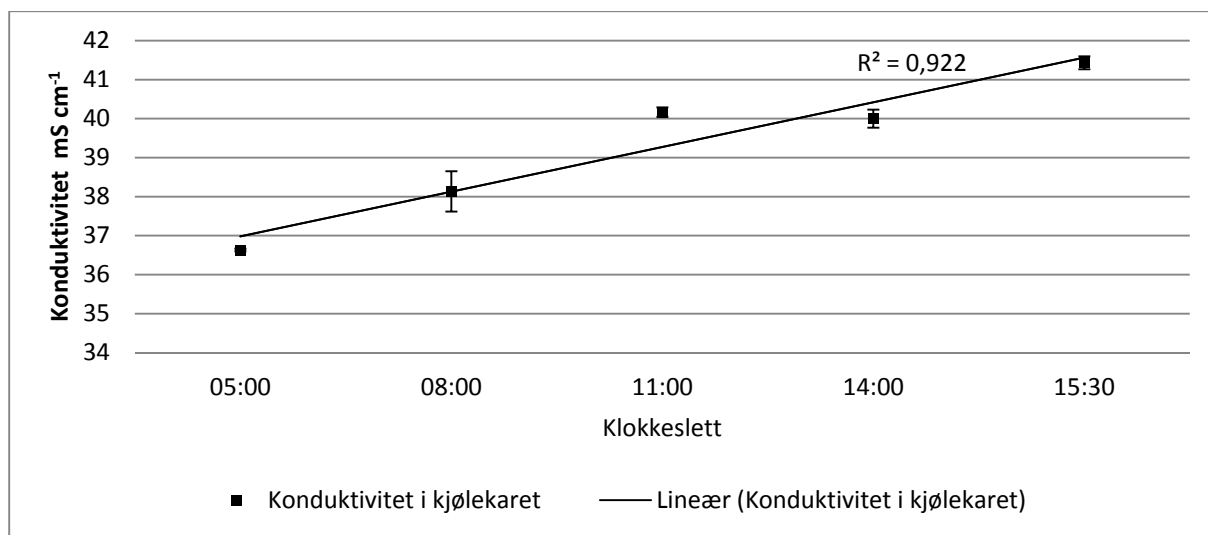
Figur 12. konsentrasjonen av CO₂ i kjølekar vist ved tre måletidspunkt gjennom produksjonsdagen. Regresjonslinje med R² er vist.

Kjølekarets pH sank med 0,84 enheter gjennom dagen, fra (\pm SE) pH 7,85 \pm 0,01 (kl. 05:00) til laveste verdi kl. 11:00 med (\pm SE) pH 7,01 \pm 0,01 (Figur 13). Fallet i pH oppstod sannsynligvis som et resultat av økende CO₂ verdier. Variasjon av pH kan påvirke stressnivå hos laksefisk, men hvor stor pH-forskjellen må være er ikke kjent (Erikson et al. 2006; Noga 2000). Dermed er det usikkert om den pH-endring fisken blir utsatt for mellom slaktemerd og kjølekar vil påvirke stressnivået. Størst forskjell mellom målepunktene A, B, C ble registrert kl. 14.00 med en (\pm SE) pH 7,26 \pm 0,04. Ved starten av produksjonsdagen var pH 7,87, som er noe under forventet pH for sjøvann (pH 8) (Stefansson 2007). Til gjengjeld var pH svært stabil etter kl. 08.00, hvor pH varierte fra 7,02 – 7,25.



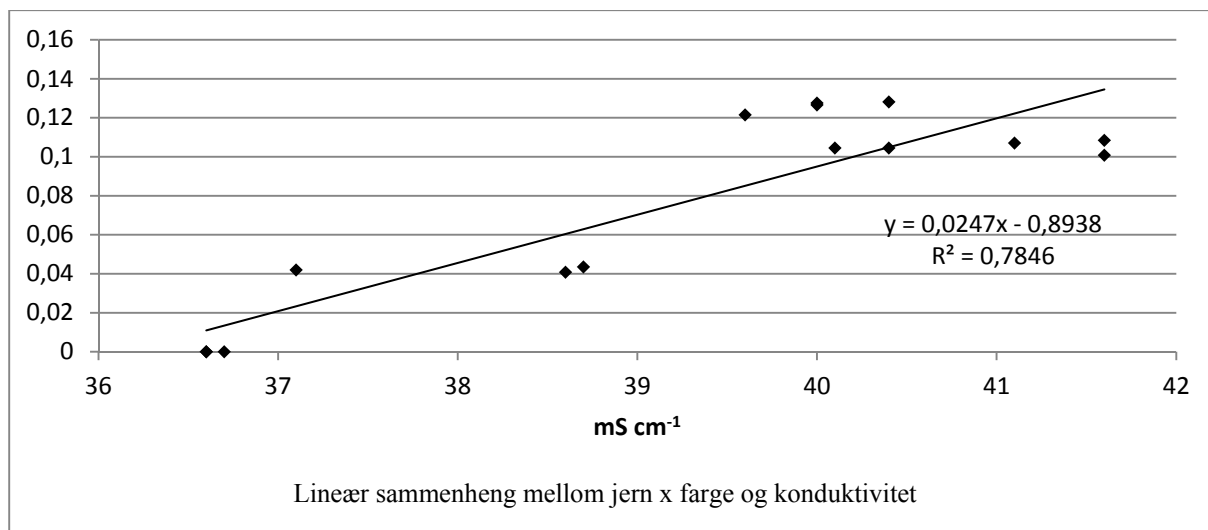
Figur 13. Utvikling av pH i kjølekaret gjennom dagen. Standardfeil er vist ved hvert punkt.

Konduktiviteten i kjølekaret økte med 5 mS cm^{-1} gjennom produksjonsdagen, fra 36,6 til 41,3. Største standardfeil ble registrert kl. 08:00, med (\pm SE) $38,8 \text{ mS cm}^{-1} \pm 0,51$ (Figur 14). En klar lineær sammenheng mellom tid og økning i konduktivitet ble funnet ($R^2 = 0,92$). Fisk skiller ut ioner gjennom urea til vann (Stefansson 2007). Det er sannsynlig at dette var årsaken til økningen i konduktiviteten, gitt den kontinuerlige tilførselen av fisk, uten fornying av vann. Den senere omtalte tilførselen av blod, og dermed jern, er trolig også med på å øke konduktiviteten.



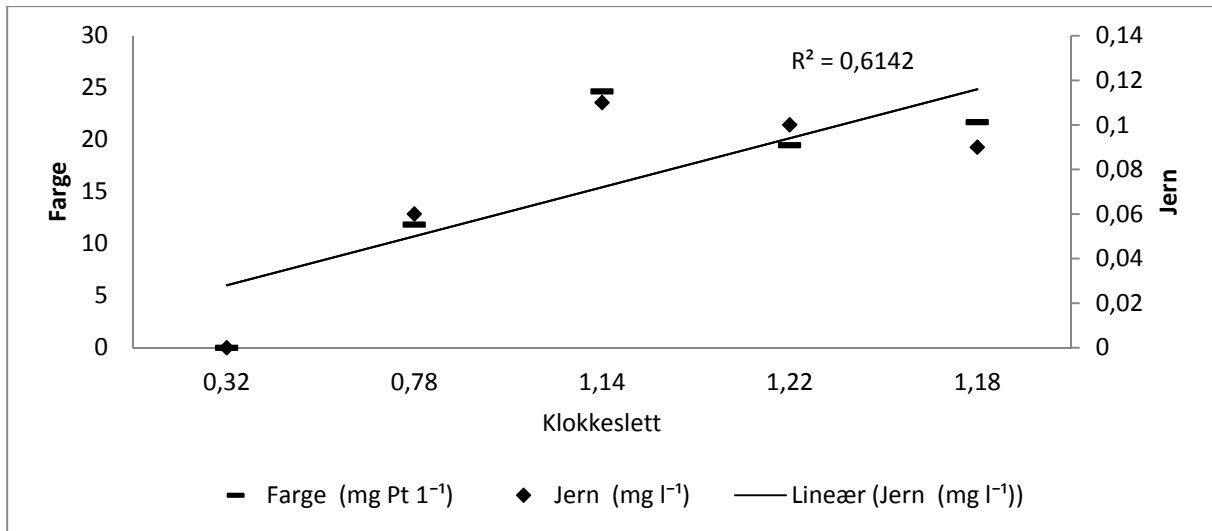
Figur 14. Utvikling av konduktivitet i kjølekaret gjennom produksjonsdagen. Standardfeil er vist ved hvert punkt. Regresjonslinje med R^2 er vist

Det ble antatt at økning i konduktivitet stammet fra ioner utskilt av fisken, i tillegg til en økning av jernkonsentrasjonen. Både jern og NH_4^+ er ioner som øker konduktivitet. Derfor ble de multiplisert med hverandre og plottet mot konduktivitet (Figur 15). En sammenheng på $R^2 = 0,78$ ble funnet, samtidig med en korrelasjon på $r = 0,89$. Dette bekrefter at konduktivitetsøkningen delvis skyldes NH_4^+ og jern.



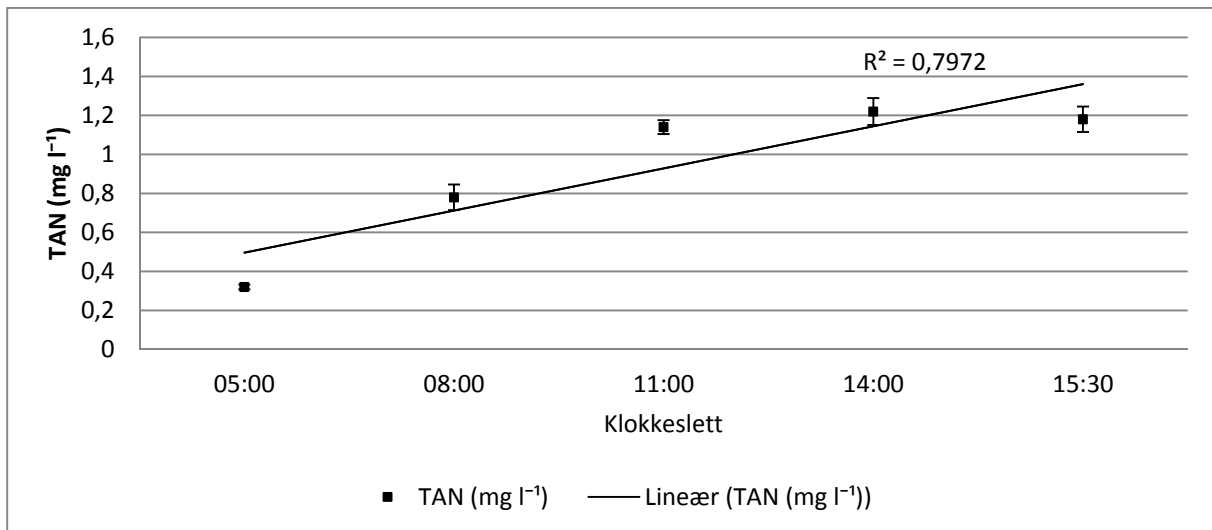
Figur 15. Produktet av NH₄ x jern er plottet mot konduktivitet. Regresjonslinje med R² er vist, i tillegg til funksjonen for regresjonslinjen ($y=ax+b$).

Vannets klarhet, uttrykt som farge (mg Pt l⁻¹) viste mindre gjennomsiktighet utover produksjonsdagen. Største registrerte fargeverdi ble registrert kl. 11.00 med (\pm SE) 24,65 mg Pt l⁻¹ \pm 0,65. Dette samsvarer godt med jernverdien (\pm SE) 0,11 mg l⁻¹ Fe \pm 0,00, som også er høyest ved dette tidspunktet (Figur 16). Det er funnet en lineær sammenheng i akkumulasjon av jern over tid ($R^2 = 0,61$). Jern og fargeverdiene korrelerer godt, med $r = 0,97$ (hvor 1 er perfekt korrelasjon). Dette kan indikere akkumulasjon av blod fra skadet fisk, og støttes av Erikson (2008), samtidig som jernverdiene er noe lavere enn hva Erikson (2006) fant. Erfaringsdata antyder at størrelsen på fisken kan influere på hvor mye skader fisken blir påført ved pumping, ved at større fisk får mer skader (Fjæra 2011). I så tilfelle kan dette forklare hvorfor jern- og fargeverdier er noe lavere i denne undersøkelsen, da snittvekt for laksen på produksjonsdagen var 4,23 kg i forsøket, vesentlig lavere enn vist av Erikson (2006), der snittvekt var 8 Kg. Det er ikke oppgitt spesifikt krav til fargeverdi i Merknad til akvakulturdriftsforskriften (2005). Derimot er det i Molvær (1997) angitt ulike tilstandsklasser for vann med salinitet >20 ‰, og her er siktedyp en av parameterne. Siktedyp kan korreleres mot vannfarge, og fargeverdier mellom 15 og 45 mg Pt l⁻¹ gir et siktedyp på 3 til 5 meter (Økland & Økland 2006). Et slikt siktedyp gir tilstandsklasse "dårlig" og "mindre god" (Molvær 1997). Resultater fra kl. 11.00 til og med siste måletidspunkt ligger i intervallet [19 – 25] mg Pt l⁻¹, og antyder dårlig vannkvalitet med hensyn på vannets fargeverdi.



Figur 16. Utvikling av jern og farge i kjølekar gjennom dagen. Regresjonslinje med R^2 er vist

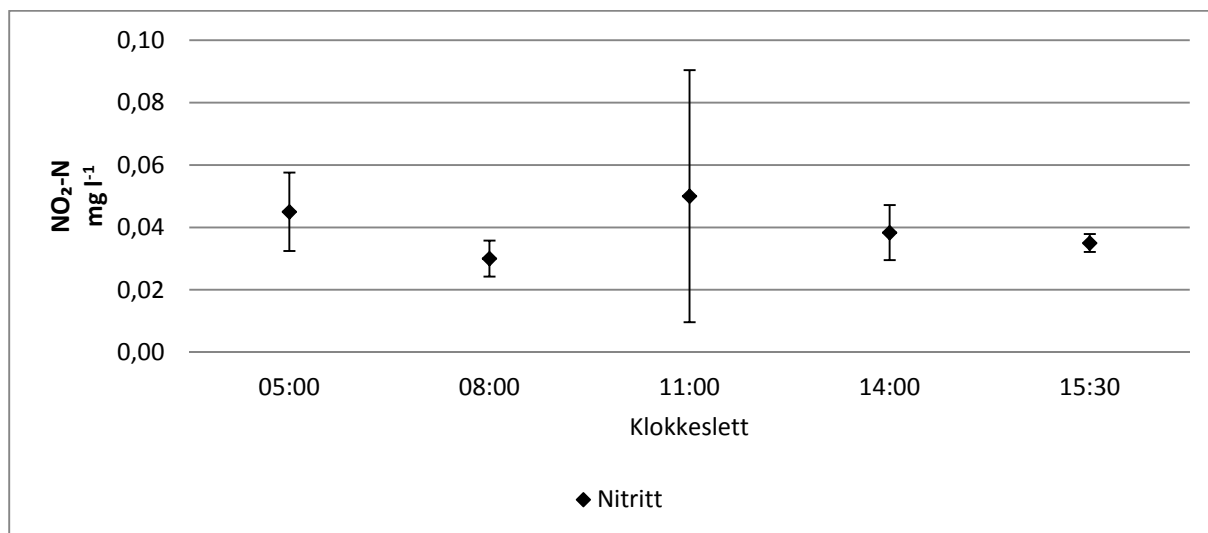
De målte TAN verdiene er generelt lave i hele tanken gjennom produksjonsdagen. Imidlertid er det en klar sammenheng mellom tid og akkumulert mengde TAN i kjølekar, med en lineær trend ($R^2 = 0,80$). Sammenhengen ser ut til å stabilisere seg etter kl. 11.00 med (SE \pm) 1,14 mg l⁻¹ \pm 0,05 (Figur 17). I kjølekar varierer pH fra 7,3 til 7,8. Grenseverdien for TAN er 5,00 mg l⁻¹ ved pH 8 (Stefansson 2007), og samtlige registrerte TAN verdier er under dette. Fordi pH i kjølekar er under 8, vil dermed TAN konsentrasjonen være mindre giftig, og grenseverdien for TAN antakelig høyere enn 5 mg l⁻¹. Resultatet ligger noe under hva Erikson et al. (2006) fant.



Figur 17. Utvikling av TAN i kjølekar gjennom produksjonsdagen. Standardfeil er vist ved hvert punkt. Regresjonslinje med R^2 er vist

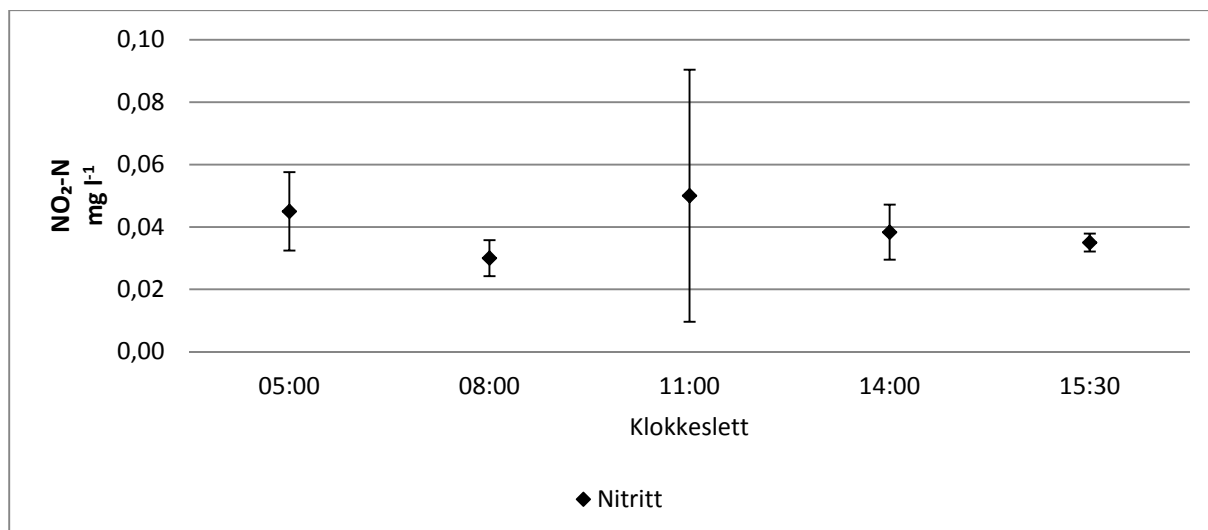
De beregnede NH₃-N verdiene ligger under anbefalte grenseverdier (Figur 18). I Norge er disse verdiene konservative, med en nedre grense mellom 3 og 5 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Rosseland 1999). Derimot er det diskutert om verdier under 2 $\mu\text{g l}^{-1}$ er nødvendig for å tilfredsstille laksens preferansenivå

(Rosten et al. 2004; Wedemeyer 1997b). De lave verdiene har sannsynligvis sammenheng med lav pH, som fører til at andelen uionisert NH_3 forblir lav (Erikson 2008; Lekang 2007). Det er grunn til å tro at innholdet av CO_2 er med på å holde pH stabilt lav, slik at andel giftig NH_3 forblir lave.



Figur 18. Utvikling av NH_3 og pH i kjølekar gjennom dagen. Standardfeil for pH er vist ved hvert punkt.

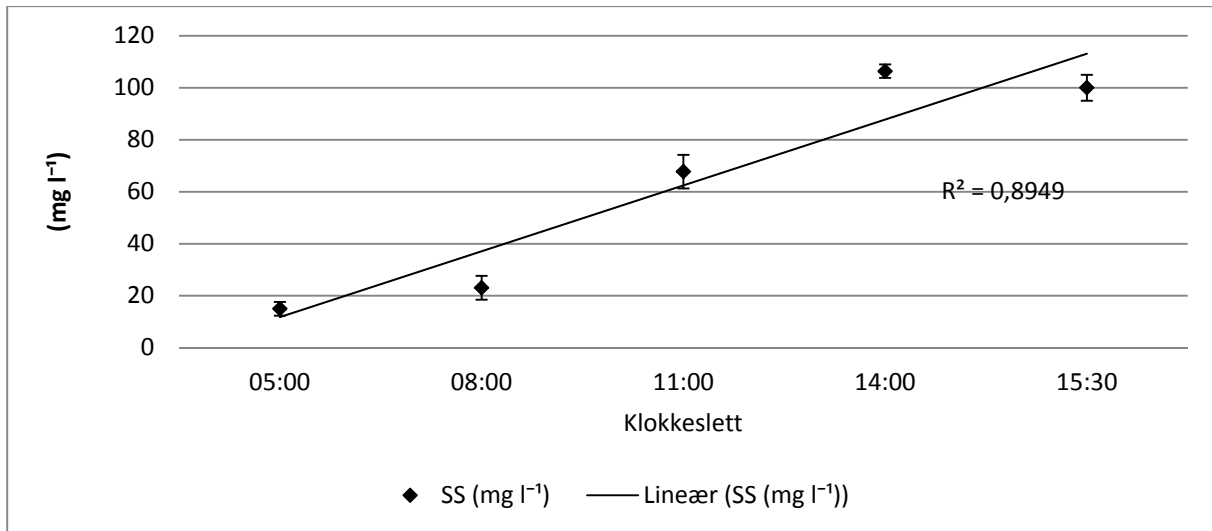
Resultatene for nitritt fra kl. 11.00 har stor standardfeil ($\pm\text{SE}$) $0,04 \mu\text{g l}^{-1} \pm 0,04$, og dette kan muligens tilskrives målefeil (Figur 19). Det antas at de lave konsentrasjonene av NO_2 er med på å øke feilmarginen, og kan være sannsynlig årsak til nedgangen i konsentrasjon fra kl. 05.00 til kl. 08.00. Generelt er nitrittverdiene i kjølekar svært lave i forhold til kravene til vannkvalitet (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005; Molvær 1997). Naturlig forekomst av nitritt i sjøvann kan være opp til $0,1 \text{ mg l}^{-1}$, men er som regel lavere enn dette (Atkins 1930; Orr 1926; Rådgivende Biologer 2005).



Figur 19. Nitritkonsentrasjonen i kjølekaret i løpet av en produksjonsdag. Standardfeil er vist ved hvert punkt.

Suspendert stoff (SS) akkumuleres gjennom produksjonsdagen. Den største registrerte konsentrasjonen er kl. 14.00 med 106,38 mg l⁻¹ (Figur 20). Det er en tydelig lineær akkumulering av SS, og partiklene stammer sannsynligvis fra fisk ved utskillelse av faeces og slim. Høye konsentrasjoner av SS kan påvirke laksen ved å irritere gjellestrukturene, og føre til stress (Cordone & Kelley 1961). En øvre grenseverdi på 60 mg/l⁻¹ er foreslått, og konsentrasjoner høyere enn dette kan føre til redusert appetitt og en unnvikende adferd (Bilotta & Brazier 2008; Cordone & Kelley 1961; Robertson et al. 2007). Det er dermed nærliggende å tro at når SS konsentrasjonen overstiger 60 mg l⁻¹ kl. 11.00, og øker videre gjennom dagen, er dette ikke i tråd med kriteriene for god vannkvalitet og fiskevelferd. Dermed ser det ut til at vannutskiftingen i kjølekaret bør økes, eventuelt at partikkelfjerningsutstyr implementeres i dagens løsning. Ved måling av SS i sjøvann anbefales det å rense filteret med destillert vann før veiing, for å korrigere for sjøsaltretensjon i filteret (Grasshoff et al. 1999). En slik korreksjon ble ikke gjennomført under våre analyser, men forsøk i etterkant har vist at en korreksjonsfaktor på ca. 15 % er nærliggende for justering av prøvene. Selv med en slik justering blir mengde SS etter klokken 11:00 høyere enn anbefalt grenseverdi.

Suspendert stoff føres ut av kjølekaret via ”skimmeren” (Figur 8): Ved tilsetning av hydrogenperoksid dannes det små luftbobler når H₂O₂ spaltes til oksygen og vann. Fordi luftbobler har en negativ ladning (Elmahdy et al. 2008), vil positivt ladede partikler, som for eksempel jern (Fe⁺) binde seg til boblene. Boblene stiger til overflaten av kjølekaret. Hydrofobe partikler vil også føres mot den hydrofobe hinnen i vannskorpen for deretter og ”skimmes” vekk fra karet.



Figur 20. Utvikling av innhold suspendert stoff i kjølekaret i løpet av en produksjonsdag. Regresjonslinje med R^2 er vist

Generell diskusjon av kjølekaret

Generelt sett er vannkvalitetsparameterne i kjølekaret gode og imøtekommer krav til god vannkvalitet og fiskevelferd. Dagen forsøket ble gjennomført ble det registrert noe fluktuerende oksygenkonsentrasjon hvor metningsprosenten overstiger 130 %. En slik konsentrasjon kan føre til oksidativt stress hos laksefisk (Stefansson 2007), selv ved kort eksponering med høy oksygenmetning. CO_2 innholdet er lavt gjennom produksjonsdagen, og variasjonen i pH er under en pH-enhet.

For flere av de målte parametere stopper eller synker akkumuleringen mot slutten av produksjonsdagen. En sannsynlig årsak til dette er at vannutskiftningen kompenserer for akkumuleringen, ved at mindre mengde fisk ble levendekjølt fra ca. kl. 14:00.

Det er ikke urimelig å anta at CO_2 konsentrasjonen i kjølekaret vil variere etter hvor stor påkjenning laksen er utsatt for, da utskillelsen av CO_2 stiger ved økt bevegelse og dermed gir økt oksygenforbruk. Forhold som kan tenkes å påvirke dette er helsestatus til fisken, og påkjenningsgrad i slaktemerd. Begge disse faktorer ble vurdert som gode på dagen for forsøket.

Det ser ut til å være en sammenheng mellom jern og farge ($r = 0,97$). Begge parametere øker gjennom dagen, og dette bekrefter langt på vei blodakkumulasjon fra fisk som har passert kjølekaret. Sannsynligvis påføres fisken skaden i pumpetrinnet, og det er kjent at fisk kan bli klemt av klaffene i vakuumpumper. Suspendert stoff ser ut til å overskride anbefalte grenseverdier etter ca. 6 timer produksjon. Imidlertid er oppholdstiden per individ forholdsvis kort, og det er dermed usikkert i hvilken grad dette påvirker fiskevelferden. Det ble observert en

jevn akkumulasjon av TAN som flatet ut mot slutten av produksjonsdagen. En mulig årsak til dette kan være at tettheten av fisk var lavere ved slutten av produksjonsdagen. Verdiene overskrider ikke grenseverdiene for god vannkvalitet (Molvær 1997) eller god fiskevelferd (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005). Konduktivitetmålingene bekrefter en økt konsentrasjon av utskilte metabolske stoffer fra fisken, og at dette akkumuleres i vannmassen i løpet av produksjonsdagen. Samsvar mellom jern- og NH_4^+ -verdiene bekrefter også dette.

Forsøket ble gjennomført ved lave sjøvannstemperaturer (4,5 °C). Ved økende vanntemperaturer stiger den metabolske omsetningen i laksefisk og utskillelsen av metabolske avfallsstoffer øker, samtidig som oksygenbehovet øker. Imidlertid er det usikkert hvordan dette påvirker laksens adferd, og vannkvaliteten. Temperaturgradienten laksen utsettes for vil øke ved høyere sjøvannstemperaturer. Wedemeyer (1997a) anbefaler at laksefisk ikke utsettes for en nedkjøling på mer enn 10 °C per time. Det er rimelig å anta at høyere ΔT mellom slaktemerd og kjølekar vil ha negativ innvirkning på vannkvalitet.

Det høyst sannsynlig at laksen ved tilbakeføring til friskt sjøvann, vil gjenvinne normal atferd dersom alle parametere holdes innenfor anbefalte grenseverdier. Dette underbygges av visuell observasjon i kjølekaret, hvor lite unormal oppførsel, eller tegn på stress generelt, kunne påvises. Det var ikke tendenser til at laks kom opp for å gispe etter luft, eller flukttendenser ved bevegelser i vannet. Det støttes også av aktiv oppførsel, når laksen sklir ut av kjølekaret og inn i bedøveren. Ingen av de registrerte verdier skulle ha negativ innvirkning på fiskens evne til å ensrette seg.

Et preventivt tiltak mot fluktuerende oksygenkonsentrasjoner vil være å gjennomføre en jevnere dosering av H_2O_2 . Dersom en jevnere dosering av H_2O_2 etableres, vil dette sannsynligvis virke positivt med tanke på suspendert stoff, da en større andel av SS vil fjernes fra karet. I tillegg vil det føre til mindre fluktusjon av oksygeninnhold. Dette er forhold som bør undersøkes nærmere i fremtidige studier. Som en generell anbefaling bør skader på fisk i størst mulig grad unngås, slik at fiskevelferd i best mulig grad ivaretas. Dette kan oppnås ved å etablere en mer skånsom pumping av fisken.

4 Pilotforsøk 3 - Vurdering av to kommersielle ensrettere

4.1 Innledning

På det norske markedet finnes det i dag to leverandører av ensrettere for laks; Melbu System (Sortland, Norge) og Seafood Innovation (Sheldon, Australia). Melbu System baserer sitt system på at fisken frivillig lar seg følge med vannstrømmen, mens Seafood Innovation benytter fiskens instinkt ved å la den svømme mot en vannstrøm. Det er kun Seafood Innovation sitt system som benytter seg av fiskens instinkt om å søke mot lys (se avsnitt 4.2).

Tidligere er det gjennomført effektivitetsstudier på de to ensretterne men, vannkvalitetsparametere var ikke inkludert i disse studiene (Mejdell & Gismervik 2009). Det finnes heller ingen andre kjente publikasjoner som omhandler vannkvalitet i ensrettere. Rapporten fra Mejdell et al.(2009) fant at Melbu System ensretter hadde en ensrettergrad på 97 % (n= 2650). Undersøkelser av ensretteren fra Seafood Innovations (SI-5) så ikke på ensrettergraden direkte, men på antall feilslag og/eller feilstikk. Dermed er det lite tilgjengelige data for sammenlikning av ensretting mellom de to ensretterne. Den senere tid har det også kommet nye modeller på markedet. De to systemene ble sammenliknet for å undersøke hvor effektive systemene er til å ensrette laksefisk, samt avdekke forskjeller i vannkvalitetsparametere.

4.2 Hvordan lys og vannstrøm påvirker fiskens adferd

Tidligere studier indikerer at laksefisk unngår intenst overflatelyst om våren og sommeren, og at den tiltrekkes av spesielle lysintensiteter (Huse & Holm 1993). I mørke deler av døgnet tiltrekkes laksefisk av lys, og responsen på dette skjer raskt (Oppedal et al. 2011). I merdbasert akvakultur kan dette benyttes til å manipulere tettheten av fisk i vannsøylen ved selektiv plassering av undervannslys.

Svømmeadferd hos flere pelagiske fiskearter er avhengig av visuell kontakt mellom individene (Glass et al. 1986). Til forskjell fra pattedyr, baserer fiskeøyet seg hovedsakelig på trege responser for å tilpasse seg endring i lysnivå (Pitcher 1993). Laksefisk søker aktivt mot kunstig lys når det kunstige lyset er sterkere enn det naturlige lyset. Slik opprettholder laksen svømmeadferd i stim. (Juell & Fosseidengen 2004).

At lysstyrken influerer fiskens svømmeadferd er også beskrevet (Congleton & Wagner 1988; Koike & Matsuike 1987). Lekang og Fjæra (1995) fant at Atlantisk laks ikke frivillig svømmer

gjennom en renne som er mørkere enn der hvor fisken opprinnelig oppholder seg. I tillegg ble det vist at flere fisk beveger seg gjennom rennen dersom lysstyrken i karet senkes, mens lyset på andre siden av rennen er normal (dagslys).

Når fisk utsettes for en vannstrøm, vil de fleste arter aktivt svømme mot denne, såkalt rheotropisme (*Rheo* L.= strøm, *Tropisme* L.= å gå mot noe) (He & Inoue 2010). Termen rheotropisme beskriver alle reaksjoner fisk foretar seg som en respons på vannstrøm. Responsen kan enten være en konsekvens av følt vann som strømmer over kroppen, en indirekte respons på visuell forandring (*Optomotor* L.), berøring, eller ved følt forflytting (Arnold 1974; Harden Jones 1968).

Fisk tilpasser svømmehastigheten etter farten i vannstrømmen, og i naturen benyttes dette til å søke etter mat eller migrere opp elver, slik anadrome fiskearter som Atlantisk laks gjør. Smolt som lever i elver, på vei ut i havet følger passivt med vannmassene, men snur seg mot vannstrømmen i områder med stor vannhastighet (Davidsen et al. 2005; Hansen & Jonsson 1985; Haro et al. 1998).

De samme prinsipper som er funnet for merdbasert laksefisk, kan også tenkes å gjelde for slaktefisk, og fordelaktig benyttes hva angår ensretting av slakteklar laksefisk.

Hensikten med forsøket er å se hvor godt tilgjengelige systemer for ensretting presterer, og eventuelt å avdekke om det er forskjeller i mellom dem. I tillegg er vannkvaliteten isolert vurdert og sammenlignet mellom de to systemer.

4.3 Materiale og metode

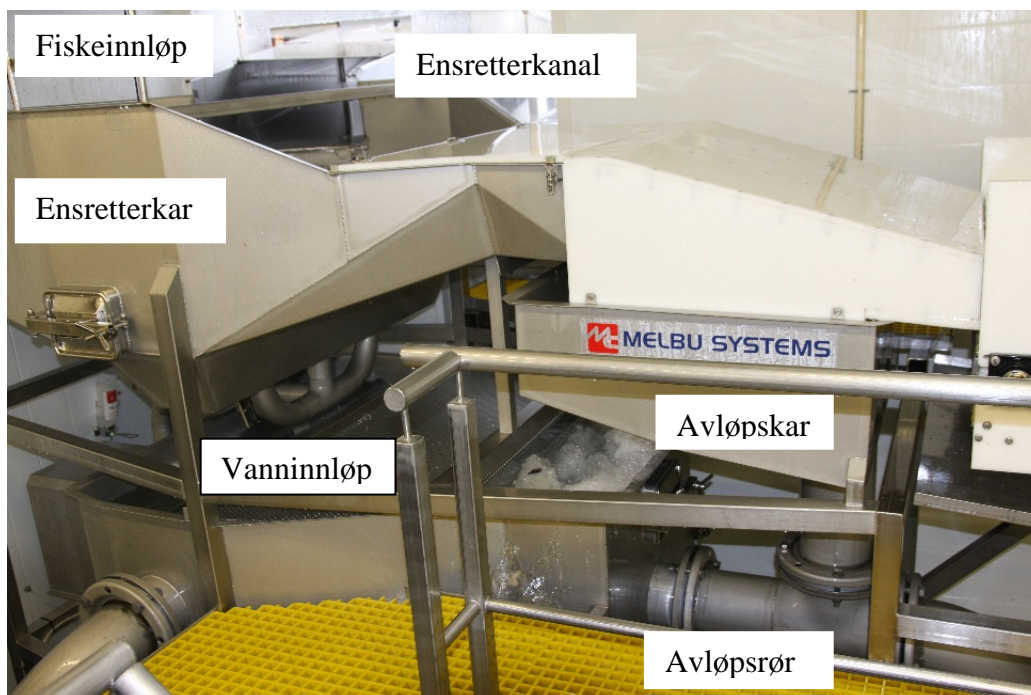
4.3.1 Forsøksbetingelser

Forsøket ble gjennomført ved to kommersielle slakterier, henholdsvis 17.3.2011 og 7.4.2011. Seafood Innovation SI-7 ble vurdert hos Slakteri 1. Atlantisk laks med avstamning fra SalmoBreed (Bergen, Norge), med snittvekt 5,32 kg ble prosessert. Fisken var sultet i 16 dager før slakting, og helsestatus på fisken ble vurdert som god. Fra slaktemerd ble fisken transportert til ensretterkaret via Stranda tvillingpumpe (Stranda Prolog AS, Averøy, Norge). Lengden på pumperør i slaktemerd til ensretterkaret var ca. 45 meter, og geodetisk løftehøyde var ca. 6 meter. Temperaturen i slaktemerden var 5,2 °C. Laksen ble bedøvd og bløgget med SI~7 (Seafood Innovations Pty Ltd., Sheldon, Australia). Den ble sløyd med Baader 142, og manuelt etterrenset. Filetering ble gjennomført med en Baader 200 fileteringsmaskin (Baader GmbH, Lübeck, Tyskland).

Melbu System ensretter ble vurdert hos Slakteri 2. Atlantisk laks med avstamning fra AquaGen (Kyrksæterøra, Norge) med snittvekt 5,0 kg ble prosessert. Fisken var sultet i 11 dager før slakting, og helsestatus på fisken ble vurdert som god. Fra slaktemerd ble fisken transportert til ensretterkaret via Iras pumpe (Esbjerg, Danmark). Lengden på pumperør i slaktemerd til ensretterkaret var ca. 75 meter, og geodetisk løftehøyde ca. 5 meter. Temperaturen i slaktemerden var 4,3 °C. Laksen ble elektrisk bedøvd med Stansas #01 Elektrobedøver (Seaside AS, Stranda, Norge), og manuelt bløgget. Den ble sløyd med Baader 142 (Baader GmbH, Lübeck, Tyskland), og etterrenset med Knuro fiskerenser (Knuro AS, Straume, Norge). Hodekapp ble foretatt manuelt, før filetering med Carnitech CT 2630 Filetmaskin (Carnitech ApS, Støvring, Danmark).

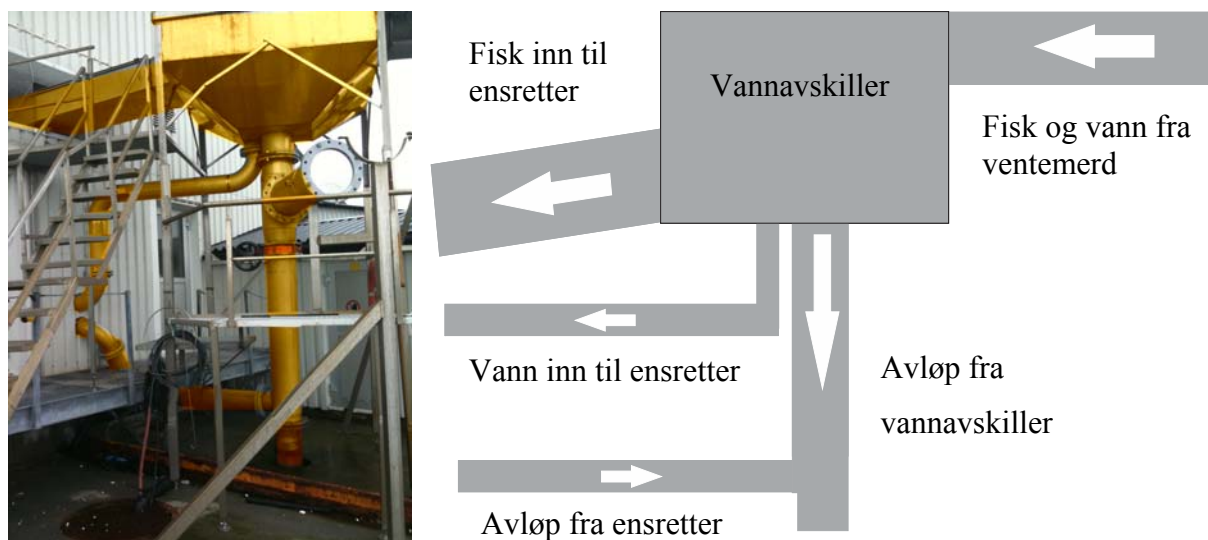
Melbu System, slakteri 2

Ensretteren levert av Melbu System AS (Sortland, Norge) baserer seg på et ensretterkar, hvor fisken roer seg ned etter pumping. Systemet benytter et medstrømsprinsipp, hvor fisken blir ført med vannstrømmen over en vannavskiller og videre ned i bedøveren. Ensretterkaret er ca. 2,5 m langt, med en bredde som går fra ca. 0,8m i bakkant av karet, og utvider seg til ca. 1,8m (Figur 21). Ensretterkaret er ikke lukket eller tildekket. Vanntilførselen skjer oppstrøms via perforerte plater i midten av karet, mens avløpet skjer i forkant av karet, hvor vannet renner over en vannavskiller sammen med fisken. Vannstanden i karet var ca. 30 cm.



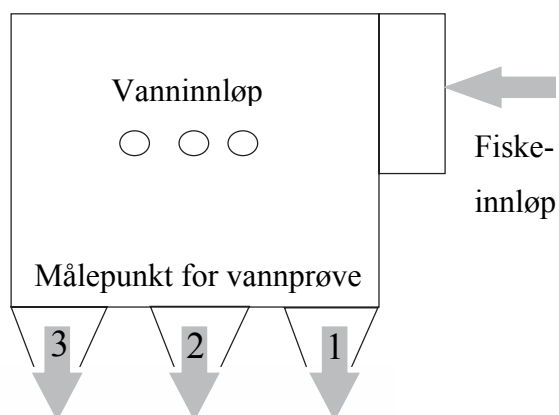
Figur 21. Komponenter i Melbu Ensretter. Fisk ankommer ensretterkaret via fiskeinnløpet, ensretter seg i ensretterkaret, for så å føres gjennom ensretterkanalen. Vannet ankommer ensretterkaret via tre innløp i bunn av ensretterkaret. Avløpet er anlagt i forbindelse med vannavskiller.

Vannet som benyttes i ensretteren, er det samme som fisken ble pumpet inn i, fra slaktemerd. Etter pumping fra slaktemerden går fisk og vann over en vannavskiller, hvor fisken sendes inn i ensretterkaret via en sliske (Figur 22). Tilførsel av fisk til ensretterkaret skjer i bakkant av karets lengderetning. En del av det avsilte vannet pumpes inn i ensretteren, men en moderat mengde vann ble også ført inn med fisken fra vannavskilleren. Kapasiteten på pumpen som pumper vann inn i ensretterkaret er på ca. 80 m³ per time, og justeres med strupeventiler i innløpet (Figur 22).



Figur 22. Snittegning av oppsett av vannavskiller.

Selve ensrettingen foregår ved at fisk og vann føres inn i en av totalt tre kanaler (Figur 24). Derfra skilles fisken fra vann i en vannavskiller, og fisken føres inn på et transportbånd som fører frem til elektrobedøveren. De tre kanalene er tildekket med et lokk som kan åpnes for inspeksjon og renhold (Figur 23).



Figur 24. Skisse av Melbu System Ensretter. Fisk føres inn via pumpe over en vannavskiller og inn i ensretteren. Innløp for vann oppstrøms i midten av karet. Tre forskjellige kanaler for avløpsvann. Kanalene er nummert

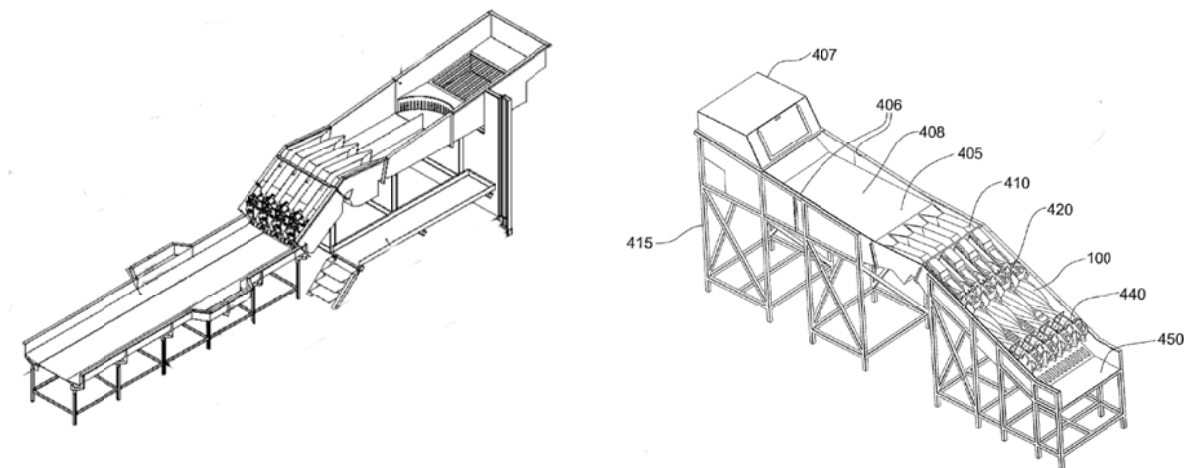


Figur 23. Ensretterkaret som mottar fisk fra slaktemerden via vannavskiller (Figur 22). De tre ensretterkanalene tildekket med lokk, som sees i forkant av bildet.

Seafood Innovations, slakteri 1

Seafood Innovations Pty Ltd, Sheldon, Australia leverer modellen SI~7. Utstyret baserer seg på et ensretterkar, hvor fisken roer seg ned etter pumping, for deretter av å svømme mot utgangen i enden av karet. Ensretterkaret er dekket med svart gummi, som gjør at lys ikke slipper inn i selve karet annet enn i utløpsenden av ensretterkaret (Figur 25). Vann strømmer inn i lengderetningen fra fiskeutløpet, og stimulerer fisk til å svømme mot vannstrømmen. Slik beveger fisken seg ut av ensretterkaret. Når fisken når utgangen, føres den med tyngdekraften ned en renne og videre ned til slagstedet. En lukkemekanisme hindrer at flere fisk kommer ned samtidig. Systemet består av to bedøvings- og bløggemaskiner (avsnitt 5.2.1).

Friskt sjøvann ble pumpet inn fra et dypvannsinntak på 60 meter, og inn i ensretteren på to forskjellige steder ved av hjelp av en pumpe. Pumpekapasiteten var på ca. 200m³ per time. Avløpet var plassert i bakre del av ensretterkaret, der fisk kommer inn i systemet.



Figur 25. Ensretterkaret (405) er utformet med to sidevegger (406). Ankomstmodulen (407) tar imot fisken etter at den er pumpet, og slipper den videre ned i samleområdet (405). Svart gummi (408) dekker ensretterkaret (405), og sørger for at lys ikke slipper inn. Ledekanalerne (410) inneholder en ikke turbulent vannstrøm som gjør at vann strømmer mot ensretterkaret (405), og styrer fisken videre ned mot en av de pneumatiske slagboltene (420). Deretter blir fisken snudd med buken opp i en spiralskrue (100). Bløggensnittet gjennomføres av knivene (440), før fisken slippes ned på samlebordet (450). Illustrasjon av SI-7 etter Seafood Innovations Ltd.

4.3.2 Forsøksopplegg

Det ble benyttet to videokameraer, DCR 110e (Sony, Tokyo, Japan), og GZ-HM300 (Victor Company of Japan Ltd, Japan). Et kamera (#1) ble plassert ved innløpet for fisk fra pumpe, slik at antall fisk som ble pumpet inn i ensretterkaret kunne registreres. Det andre kameraet (#2) ble plassert ved utgangen av ensretteren. Dermed kunne antallet fisk som kom inn i ensretteren, vurdering av om fisken kom rettet riktig vei ut av ensretteren og hvilken renne fisken kom ut av registreres.

Vannprøver ble tatt kl. 08:00, 11:00 og 14:00. Målingene ble gjennomført ved ensretterkarets utløp, og ved hvert punkt ble det tatt tre prøver. Temperatur, oksygen, pH, TAN, og NO₂-N ble registrert. For å måle suspendert stoff (SS) ble egnede plastkanner (5 l polyetylen) benyttet. Fem liter prøvevolum ble vurdert tilstrekkelig for å sikre nok væske for gjennomføring av analysen, da innledende forsøk har vist at det kan være vanskelig å kvantifisere et lavt innhold av suspendert stoff.

I motsetning til SI~7 ensretter, benyttet ensretteren fra Melbu System vann som fisken var pumpet inn med via slaktemerd. Derfor ble det av budsjett hensyn besluttet å kun analysere CO₂ innhold i denne ensretteren og ikke i SI~7, da friskt sjøvann i utgangspunktet ikke skal inneholde mer enn 0,4 mg l⁻¹ (DOE 1994). Det er dermed ikke mulig å gjennomføre en komparativ studie av CO₂ innhold mellom SI~7 og Melbu ensretter. Samtlige vannprøver ble oppbevart mørkt og kjølig gjennom prøveuttaksdagen.

Problemstilling

To hypoteser ble utarbeidet for sammenlikningen av de to ensretterne. Problemstillingens fremstilling er valgt selv om forsøksbetingelser som fiskens kondisjon og geografisk betinget sjøvannkvalitet kunne ha forskjellige utgangspunkt.

Er det forskjell i vannkvalitet mellom Melbu Ensretter og Seafood Innovation?

Er det forskjell i ensrettergrad mellom Melbu Ensretter og Seafood Innovation?

Hva er årsaken til en eventuell forskjell i ensretting mellom de to ensrettere?

Gjennomføring av forsøket

Det ble spilt inn 13 minutter med videomateriell ved tre tidspunkt, Kl. 07:00, 11:00 og 12:30 for begge ensretterne, totalt 39 minutter. Hensikten med å fordele gjentakene utover dagen, var å fange opp eventuelt påvirkning som trenging i slaktemerd ville medføre. Vannprøver ble tatt ut fra avløpet i ensretteren.

4.3.3 Registreringer og databehandling

Vannkvalitet i ensretter

De målte vannkvalitetsparameterne, med unntak av SS måling, ble gjennomført som direkte målinger samme dag som forsøket ble utført. Det ble benyttet en Oxyguard Handy Delta (OxyGuard International A/S, Birkerød, Danmark) til oksygenmålinger og vanntemperatur (°C).

Oksygeninnholdet ble målt i prosent metning og i mg l^{-1} . Registrering av pH ble gjennomført med pH10 (YSI Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA). Konduktiviteten ble målt i mS/cm med WTW LF 9 (WTW GmbH, Tyskland).

Innholdet av TAN ble bestemt med JBL ammoniumtest (JBL GmbH & Co. KG, Tyskland). Deteksjonsintervallet for analysemetoden var 0,25 til $6,00 \text{ mg l}^{-1}$. Intervallet inkluderer øvre grenseverdi for laksefisk på 5 mg l^{-1} ved pH 8 (Stefansson 2007). Som en kontroll på metoden i etterkant, ble vannprøver også analysert med Photoflex. Resultatene ga tilnærmet lik verdi.

Den giftige andelen av TAN, NH_3 , ble regnet ut etter ligning (5). Se avsnitt 3.2.3 for gjennomgang av metoden.

Innholdet av NO_2 ble bestemt med JBL Nitrit Test (JBL GmbH & Co. KG, Tyskland). Deteksjonsintervallet for analysemetoden var $<0,01$ til $1,00 \text{ mg l}^{-1}$. Intervallet inkluderer øvre grenseverdi for laksefisk på $0,1 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2$ (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005). Tilsvarende ble en kontroll på metoden gjennomført og analysert med Photoflex (WTW GmbH, Tyskland). Resultatene ga tilnærmet lik verdi.

Suspendert stoff ble målt ved å filtrere 1,0 l prøvevann, med tre gjentak, gjennom et filter med porestørrelse $0,45 \mu\text{m}$ (Whatman™, GE Healthcare Limited, Buckinghamshire, UK) i henhold til Norsk Standard (2005). Deretter ble filteret tørket på Ohaus MB45 Moisture Analyzer (Ohaus Europe GmbH, Sveits), og suspendert stoff i mg l^{-1} ble deretter kvantifisert etter Norsk Standard (2005).

Grad av ensretting

Videomaterialet ble analysert i dataprogrammet Premiere Pro CS3 (Adobe Systems, California, USA.). For ensretteren fra Melbu System ble det registrert at laksen brukte åtte sekunder på transportbåndet fra den gikk ned i ensretterkanalen (Figur 24), til den var synlig i videoopptaket i kamera #2. Transportbåndet gikk med en konstant hastighet gjennom produksjonsdagen. Det var dermed nødvendig å forskyve videomaterialet fra kamera #2 med åtte sekunder bakover i tid i forhold til kamera #1. Slik kunne det bedømmes om tettheten i ensretterkaret påvirket ensrettergraden. Oppholdstiden til hvert enkelt individ ble ikke registrert.

Antall fisk som ble pumpet inn i ensretterkaret, antall fisk ut av ensretteren, og hvilken vei fisken kom ut av ensretteren, i tillegg til antall fisk per kanal ble registrert med eksakt tidsangivelse. Alle data ble senere gruppert i fortløpende tidsintervall på 10 sekunder.

Ensrettergraden ble vurdert i forhold til antall individer som passerte gjennom ensretteren. Registrering av antall fisk som ble pumpet inn i SI~7 ensretter var ikke mulig å gjennomføre da antall bilder per sekund i videoopptaket var for lavt i forhold til mengde vann fra pumping. Dermed var det ikke mulig å beregne oppholdstiden for fisk i SI~7 ensretter.

4.4 Resultat og diskusjon

4.4.1 Vannkvalitet

Det ble registrert forskjell i vanntemperaturen mellom de to ensretterne. I Melbu ensretter på Slakteri 2 var det en vanntemperatur på (\pm SE) $5,4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2$. SI~7 ble registrert med en temperatur på (\pm SE) $3,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,12$ (Tabell 4). Den noe høyere vanntemperaturen i Melbu ensretter, kan være et resultat av flere forhold. Vannet ble tatt inn fra slaktemerd i et dyp mellom 1 og 5 meter, i motsetning til SI~7 som benyttet et dypvannsinntak ved -60 meter. Forsøkgjennomføringen på Melbu ensretter ble gjort tre uker etter forsøk på SI~7, i tillegg til at den geografiske avstanden er stor. Imidlertid er det ikke grunn til å tro at denne temperaturforskjellen influerte ensrettingen i stor grad, da den metabolske omsetningsraten ikke endres betydelig ved denne relativt lave forskjellen.

Oksygenmetningen i vannet for begge ensretterne var god, og det ble ikke registrert store forskjeller gjennom prøvetakingsdagen. I Melbu ensretter ble det registrert et oksygeninnhold på (\pm SE) $10,40 \text{ mg l}^{-1} \pm 0,14$, mens det i SI~7 var en oksygenkonsentrasjon på (\pm SE) $10,00 \text{ mg l}^{-1} \pm 0,5$ (Tabell 4). Selv om det var relativt små forskjeller i oksygenkonsentrasjonen, var det ventet noe lavere oksygeninnhold i Melbu ensretter da dette vannet allerede hadde vært i kontakt med fisken via pumpe slangen fra slaktemerd før det gikk inn i ensretteren. Resultatet tyder derfor på at vannutskiftingen i Melbu ensretter var tilstrekkelig. Metningsprosenten av oksygen i begge ensrettere var 95 – 98,5 %, og slik sett var det ikke fare for stress i fisken verken som følge av over- eller undermetning.

Stabile pH målinger ble målt gjennom forsøksdagen i begge ensretterne. I SI-7 ble det registrert (\pm SE) pH $8,08 \pm 0,04$, mens i Melbu ensretter ble det registrert (\pm SE) $7,78 \pm 0,01$. Den noe lavere pH verdien i Melbu ensretter har antakelig sammenheng med CO₂ konsentrasjonen (Tabell 4). Til sammenlikning har sjøvann i likevekt en CO₂ konsentrasjon på $0,4 \text{ mg l}^{-1}$ (DOE 1994). Som tidligere nevnt ble det ikke foretatt analyse av CO₂ innhold i SI-7 ensretter, men en høy pH indikerer lavt innhold av CO₂, og underbygges videre av høy vannutskiftingsrate. Dermed er det nærliggende å anta at karbondioksid ikke ble akkumulert i større mengde enn det som her ble funnet.

Lavt innhold av suspendert stoff ble funnet i begge ensretterne. I SI-7 ensretter ble det registrert (\pm SE) $11,99 \text{ mg l}^{-1} \pm 1,07$, mens Melbu ensretter hadde et innhold på (\pm SE) $14,00 \text{ mg l}^{-1} \pm 0,04$ (Tabell 4). Et noe høyere innhold av SS i Melbu ensretter kan muligens ha vært et resultat av lengre kontakttid med fisk, da vannet ble benyttet til pumping av fisk før det gikk inn i ensretteren.

De registrerte verdiene av TAN og NO_2 er lave, og under anbefalte grenseverdier for begge systemer. I Melbu ensretter ble det registrert et innhold av TAN på (\pm SE) $0,12 \text{ mg l}^{-1} \pm 0,02$ (Tabell 4). Utrekning av NH_3^+ -N (Bower & Bidwell 1978) gav et resultat på $1,55 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$. For SI-7 var innholdet av TAN under deteksjonsnivå. Derfor er beregning av NH_3 -N innhold ikke gjennomført

Høyere verdier av TAN i Melbu System ensretter kan være et resultat av at fisken hadde lengere oppholdstid i vannet. Det er også grunn til å tro at konsentrasjonen i inntaksvannet var høyere i Melbu System ensretter, da dette var vann fra slaktermerden hvor fisken ble trent.

Tabell 4. Resultat av vannkvalitetsmålinger på henholdsvis Melbu ensretter (Slakteri 2) og SI-7 (Slakteri 1). ^a Under deteksjonsnivå. ^bIkke mulig å beregne, da TAN var under deteksjonsnivå. *Måling er ikke utført.

	Temperatur	O ₂	O ₂	pH	CO ₂	SS	TAN	NH ₃ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N
	(°C)	(mg l ⁻¹)	(% metning)		(mg l ⁻¹)	(mg l ⁻¹)	(mg l ⁻¹)	(µg l ⁻¹)	(µg l ⁻¹)
Melbu, Slakteri 2	5,4	10,00	98,50	7,78	1,2	14,00	0,12	1,55	0,04
SI-7, Slakteri 1	3,6	10,40	95,14	8,08	*	11,90	< 0,05 ^a	^b	< 0,02 ^a

Samtlige registrerte vannkvalitetsparametere er innenfor krav til vannkvalitet for god fiskevelferd (Merknad til akvakulturdriftsforskriften 2005; Stefansson 2007; Thorarensen & Farrell 2011). Generelt er det lav forskjell i vannkvalitetsparameterne mellom Melbu ensretter og SI-7. Dette gir dermed grunn til å tro at det var like forutsetningene for ensretting for de to systemene hva gjelder vannkvalitet, og at eventuell forskjell mellom de to ikke skyldes forskjellig vannkvalitet.

4.4.2 Grad av ensretting

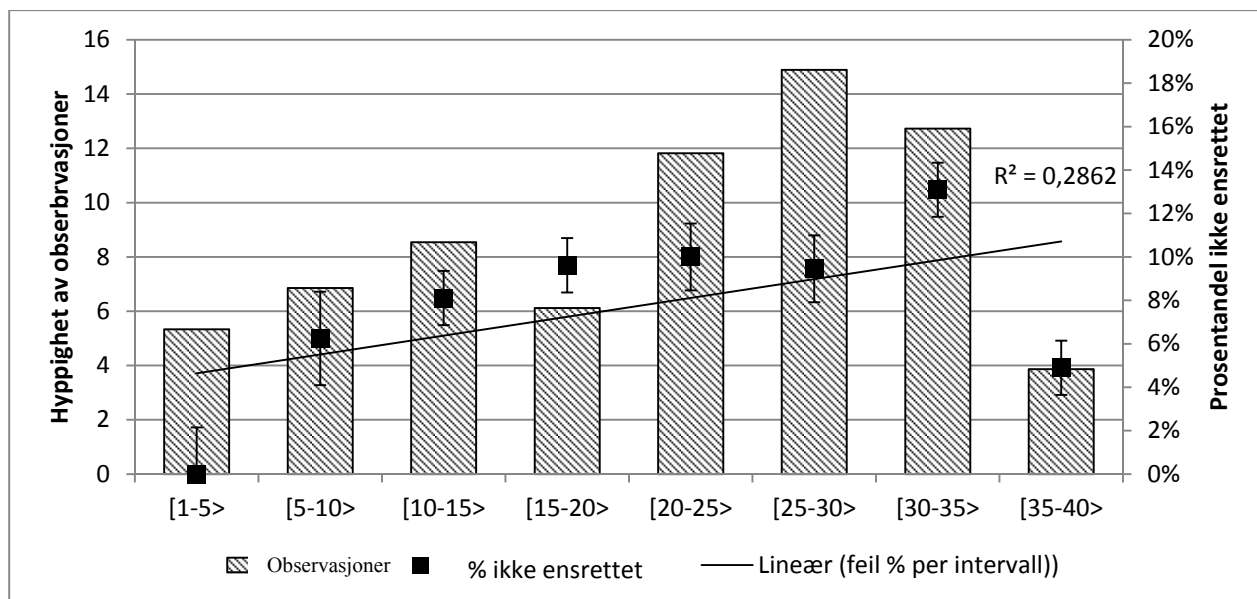
Over tre gjentak, ble det i Melbu Ensretter totalt registrert 1504 fisk. Av disse var 149 ikke ensrettet. Ensrettergraden per gjentak fordelte seg som følger: 91,78 %, 92,27 %, og 87,55 %. Samlet gir dette en ensrettergrad på (\pm SE) $90,16 \% \pm 1,49$, og er noe lavere enn hva veterinærinstituttet tidligere har registrert (Mejdell & Gismervik 2009). Det var dårligst ensretting ved siste prøvetidspunkt, dette tyder på at trenging har påvirket fisken negativt.

I SI~7 ensretter ble det totalt registrert 1316 fisk, hvorav 2 ikke var ensrettet. Dette gir en ensrettergrad på 99,84 %. Det var kun i gjentak nummer to at det ble observert ikke ensrettet laks. Resultatet inkluderer ikke de endringer operatøren manuelt foretok, når fisk satt seg fast ved at to stykker samtidig ankom slagboltmodulen (Avsnitt 5.2.1). Da måtte operatør manuelt korrigere feilen. Disse korreksjonene har ikke betydning for ensretting i seg selv, men kan gå utover bedøvnings- og utblødningskvaliteten da feilslag og feilstikk kan forekomme (se kapittel 0). Det ble registrert forskjell i antall individer som passerte hver av de to maskinene. Større andel fisk ender opp i høyre maskin (61 %), mens venstre maskin hadde en belastning på 39 %. De to fiskene som ikke var ensrettet ble registrert i den høyre maskinen, men det er usikkert om dette var et resultat av større tetthet, eller om det er tilfeldig.

Det er dermed funnet forskjell i ensrettergrad mellom SI~7 og Melbu ensretter. Fordi resultatene mellom systemene avviker i svært stor grad, ble årsaken til feilprosenten i Melbu ensretter undersøkt nærmere:

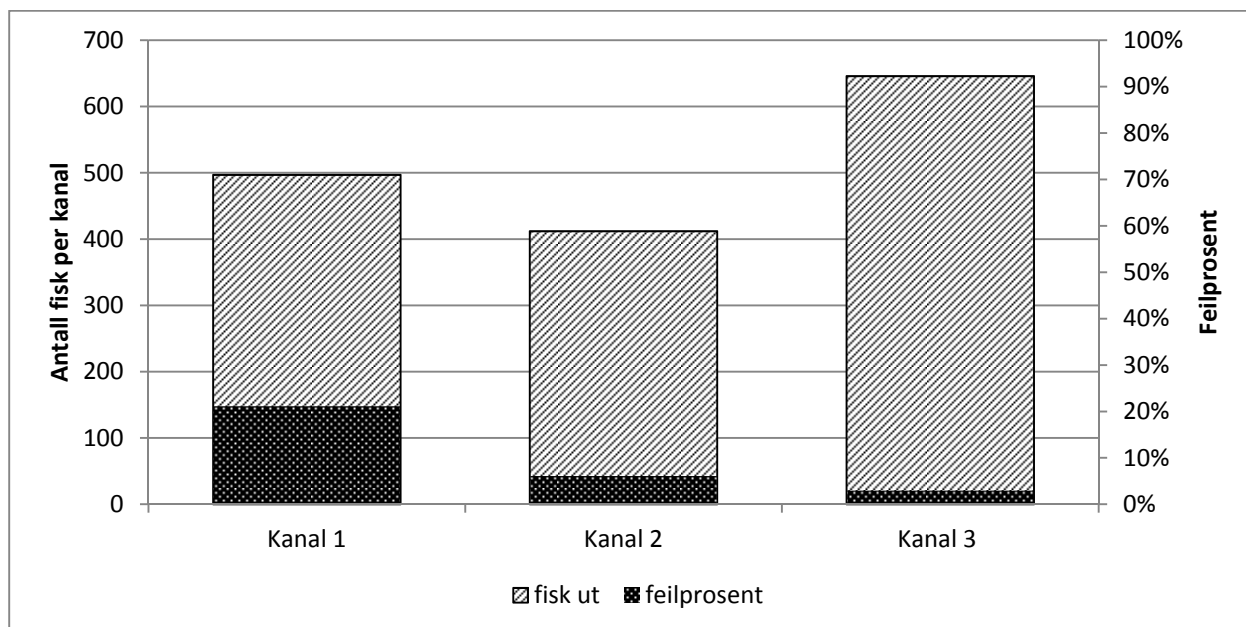
For å bedømme om antall fisk ut av ensretteren påvirker ensrettergraden, ble hvert av de tre innspilte gjentakene, totalt 39 minutter (2340 sekunder), delt inn i tidssegmenter på ti sekunder. Dette tilsvarer 234 tidssegmenter á 10 sekunder. For hvert tidssegment ble antall fisk ut av ensretteren registrert, i tillegg til antall fisk som ikke var ensrettet. Deretter ble tidssegmentene gruppert i frekvensintervall etter hvor mange fisk som kom ut av ensretteren per tidssegment. Eksempelvis registreres et tidssegment med 17 fisk ut av ensretter i løpet av et 10-sekunderssegment, i intervallet [15-20 >. I tillegg ble feilprosenten i hvert frekvensintervall utregnet (Figur 26).

Det ser ikke ut til at antall fisk ut av ensretteren påvirker feilprosenten ($R^2 = 0,28$). Årsaken til dette er at feilprosenten i frekvensintervallet [35-40> er svært lav. Det er usikkert hvorfor feilprosenten i frekvensintervallet [35 -40> avviker stort fra [25-30> og [30-35>.



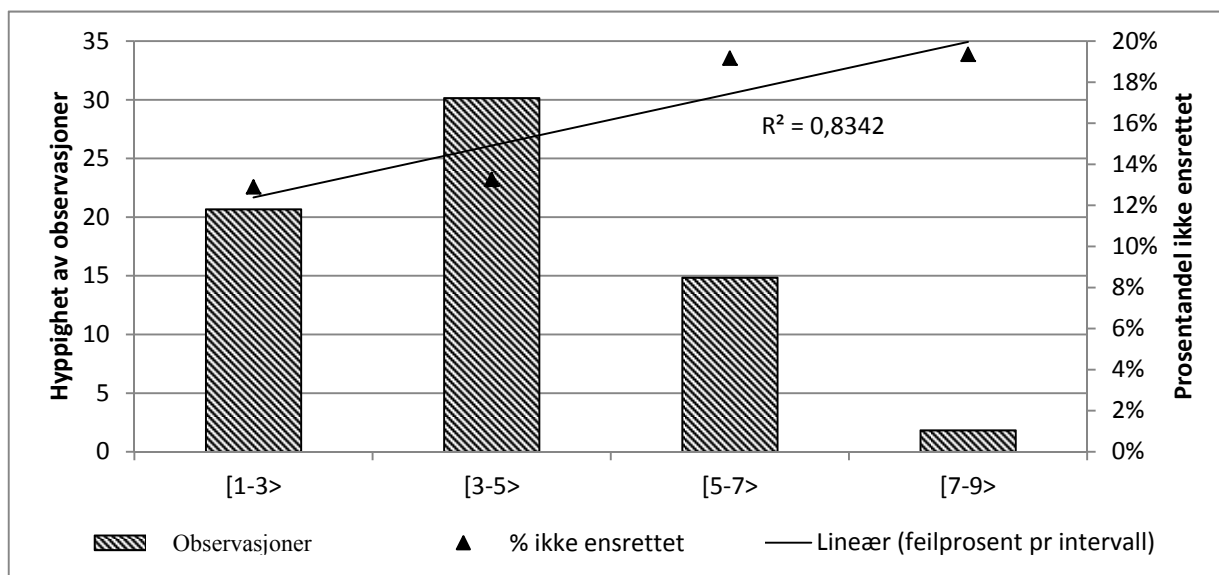
Figur 26. Tidssegmentene gruppert i frekvensintervall etter hvor mange fisk som kom ut av ensretteren per tidssegment. Punktene viser antall fisk ikke ensrettet i prosent. Søylenes representerer antall obserbrasjoner i hvert frekvensintervall. Standardfeilen for feilprosenten mellom gjentakene er vist. Sammenheng mellom antall fisk ut av ensretter og feilprosent ($R^2=0,28$).

Det kan tenkes at plassering av fiskeinnløpet er en medvirkende årsak til at fisk ikke ensrettes, da kanal 1 ligger inntil innløpsrennen hvor fisken pumpes inn i ensretterkaret (Figur 24). Dermed kan fisk ved kanal 1 bli forstyrret, skremt, eller presset ned i kanalen feil vei, med sporden først. Det ble observert forskjell i ensrettergrad innbyrdes mellom de tre kanalene (Figur 27), der kanal 1, 2 og 3 hadde manglende ensretting på hhv. 21 %, 6 % og 3 %.



Figur 27. Antall fisk ut av hver kanal og feilprosent. ($n=1504$).

Fordi kanal 1 i stor grad avviker fra kanal 2 og 3 (Figur 27), ble kanal 1 analysert i en frekvenstabell, etter samme metode benyttet i figur (Figur 26). Dermed ble det funnet en sammenheng mellom antall fisk ut av ensretteren, og antall ikke ensrettet fisk ($R^2=0,83$, $n= 497$) (Figur 28).



Figur 28 Tidssegmentene gruppert i frekvensintervall etter hvor mange fisk som kom ut av ensretteren per tidssegment for kanal 1. Punktene viser antall fisk ikke ensrettet i prosent. Søylenes representerer antall observasjoner i hvert frekvensintervall. Standardfeilen for feilprosenten mellom gjentakene er vist. Sammenheng mellom antall fisk ut av ensretter og feilprosent ($R^2 = 0,83$).

4.4.3 Generell diskusjon

Med de presenterte resultater lagt til grunn, gir et 95 % konfidensintervall en forventet ensretting mellom 88,58 % og 91,60 % i Melbu ensretter. SI~7 ensretter presterer nær 100 %. Det kan virke som SI~7 ensretter benytter seg av fiskens naturlige adferd i forhold til lys og vannstrøm annerledes enn Melbu System ensretter. Laksefisk går generelt motstrøms, og ønsker å søke fra mørke mot lys (kapittel 4.2). Umiddelbare tiltak som muligens kan påvirke ensrettergraden i Melbu ensretter positivt, vil være å dekke til selve ensretterkaret slik at mindre lys slipper til.

For Melbu ensretter viser resultatene tydelig at kanal nummer 1 har den største feilprosenten (21 %), mens kanal nummer 2 og 3 presterer vesentlig bedre, med feilprosent på henholdsvis 3 og 6 %. Dermed virker det som innløpet av fisk ikke er optimalt plassert. Resultatet viser videre at det er sammenheng mellom antall fisk ut av kanal 1 og feilprosent ($R^2=0,83$). Ensretterprosenten funnet av Mejdell og Gimmersvik (2009) viste forskjell i ensretting, avhengig av fiskeinnløpet,

og underbygger at fiskeinnløpet ikke er optimalt plassert. Sannsynligvis vil ensrettergraden for kanal 1 forbedres ved å endre innløpet fra fiskepumpen.

Registrering av forskjeller i kondisjon og trenging på fisken ble foretatt med visuell bedømming ved slaktemerd og i ensretterkar. I slaktemerden var det forskjell mellom fisk fra Slakteri 2 (Melbu System) og Slakteri 1 (SI~7). Fisken ved slakteri 2 virket noe mer stresset, men også helsestatus på fisk ved begge anlegg ble vurdert som god. I ensretterkaret ved Slakteri 2 var fisken mer stresset enn ved slakteri 1. Faktorer som kan ha forårsaket på dette er høyere grad av trenging i slaktemerd, og pumpingen av fisk. Slakteri 2 hadde noe lenger pumperør (77m) enn Slakteri 1 (45m), og kan ha forårsaket mer stress i fisken.

En generell observasjon er at det tidvis var ujevn pumping av fisk inn i ensretterne, som også kommentert i forsøk av Mejdell og Gimmersvik (2009). Dersom en jevnere pumping av fisk etableres, vil dette sannsynligvis kunne forbedre ensrettergraden.

Lav forskjell i vannkvalitet mellom Melbu Ensretter og SI~7 Ensretter ble funnet, men det er ikke grunn til å tro at vannkvaliteten påvirket ensrettergraden, da alle målinger er innenfor hva som karakteriseres som god vannkvalitet.

Det kan virke rimelig å innføre en kapasitetsgrense for antall fisk per tidsenhet slik at feilprosenten holdes nede. Denne må også sees i sammenheng med hvor stor flyt av fisk installasjonene senere i slaktelinjen har behov for. Eksempelvis vil en slaktelinje med 4 sløyelinjer (Baader 142, Baader GmbH, Tyskland) ha behov for ca. 60 fisk per minutt ved kontinuerlig drift. Dette tilsvarer 10 fisk per 10 sekundersintervall. Dette vil gi en sannsynlig feilprosent på $8\% \pm 1$ ved i Melbu ensretter.

5 Pilotforsøk 4 - Vurdering av to kommersielle bedøvingsystemer

5.1 Innledning

Det er tidligere gjennomført studier for å sammenligne de to systemene, slag- og elektrobedøving, med tanke på effektivitet og fiskevelferd (Mejdell et al. 2008; Roth et al. 2005; Roth et al. 2007a). Det gjøres imidlertid stadig nye teknologiske fremskritt, og nye modeller kommer på markedet. Det nye slagsystemet har gjennomgått forbedringer hva angår vektintervall og slagbolt, spesielt tilpasset for slakting av Atlantisk laks (Mejdell et al. 2009; Utheim 2011). I det elektriske systemet er spenningen økt (Kjølås 2011; Mejdell et al. 2008), samtidig er det satt inn regulator som gir jevnere spenning ved ulik belastning (Kjølås 2011). De raske teknologiske fremskrittene gjør det dermed nødvendig med ny sammenlikning med tanke på valg av utstyr.

De to systemene baserer seg på at bedøving, og påfølgende bløgging, skjer i to avhengige operasjoner. I SI~7 tar det mindre enn ett sekund fra bedøvelse til bløggesticket er påført. I Stansas #01 er det hastigheten på transportbåndet og avstand til bløggerobot eller manuelt bløggebord, som avgjør tiden fra bedøvelse til bløgging. Normalt tar dette ikke mer enn 5 - 10 sekunder (M. Harsvik, A. Brunstad, personlig observasjon).

Det ble ikke funnet slakteri som har begge systemer i drift samtidig. Dermed var det nødvendig å gjennomføre forsøkene ved to ulike slakteri. Dermed kan andre installasjoner ved slakteriene påvirke resultatene. Spesielt vil behandlingen laks får før den blir bedøvd, som stress i slaktermerd, pumpetrinn og ensretter, kunne påvirke filetkvalitet og rigortid (Roth et al. 2009a), som var ønskelige parametere å måle.

Det skal nevnes at tidligere studier på emnet i stor grad også baserer seg på observasjoner gjennomført på én tilfeldig dag (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007; Midling et al. 2008; Roth et al. 2007a; Roth et al. 2007b; Roth et al. 2009b), men dette kan være verdt å ta med i senere betraktning ved gjennomgang av resultater for de ulike analyser.

Fisk skal være bevisstløs før bløggestikk påføres (Forskrift om slakteri mv. for akvakulturdyr §14-1). Forskriften krever videre at fisken dør som følge av blodtap. Det er derfor viktig at bløggesticket påføres raskt etter bedøving. Fra laksen er påført bløggestikk til den mister bevissthet av blodtap, ved at fire gjellebuer er overskåret, tar det rundt fem minutter (Robb et al. 2000). I praksis betyr dette at laksen bør være bedøvd i mer enn fem minutter, for at kravet til

fiskevelferd skal overholdes. Det er sannsynlig at antall gjellebuer som skjæres over vil påvirke hvor lang tid det tar før fisken mister bevisstheten som et resultat av blodtap (Robb et al. 2000). Det er vist at elektrisk bedøvning er en reversibel prosess (Hjeltnes et al. 2010; Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007), dette betyr at det er fare for at laksen gjenvinner bevissthet før den er død som følge av blodtap.

Det er diskutert hvorvidt kjernetemperaturen laksen har ved utblødning, har betydning for hvor lang tid det tar før tap av bevissthet inntreffer. Kestin et al. (1991) viser at det er signifikant forskjell på dette ved variasjon i kjernetemperatur. Ved lavere kjernetemperatur tar det lengre tid før bevissthetstap inntreffer på grunn av blodtap. Årsaken antas å være lavere oksygenbehov, på grunn av lavere metabolsk omsetning ved lave temperaturer (Brett & Glass 1973; Lee et al. 2003; Thorarensen & Farrell 2011). Dette er spesielt interessant for slakterier som baserer sin produksjon på levendekjøling av laksefisk før slakting, da dette medfører lav kroppstemperatur (Skjervold et al. 1996), og opp til syv minutter lenger tid for å miste bevisstheten (Kestin et al. 1991).

I forkant av forsøket ble det stilt spørsmålsteget om muskelkontraksjoner post mortem vil bidra til en bedre utblødning (Fjæra 2011). Ved slagbedøvning opphører muskelkontraksjoner raskt, og fisken forholder seg urørlig under utblødning (Mejdell et al. 2008; Olsen et al. 2006). Tidligere studie har vist at dette kan ha en negativ effekt, men den er ikke konkluderende. Resultater fra studien viser et lavere antall blodflekker i fisk som er bedøvd med slag enn fisk med muskelkontraksjoner under utblødning (Olsen et al. 2006).

En rekke faktorer påvirker utblødning hos fisk. Stress før bløgging vil øke sjansen for blodpropp, som raskt kan stoppe blødningen fra sår (Casillas & Smith 1977). Hvilken effekt dette har hva angår store sår som blir påført ved gjellekutt, er likevel uklar (Roth et al. 2005). Ved stress vil også viskositeten i blodet synke, og strømmen raskere ut av sår (Gallaughner et al. 2001), noe som er positivt for utblødningen i seg selv. Tiden det tar for blodet å koagulere vil også påvirke utblødningen. Olsen et al. (2006) viser at koaguleringstiden i blod er signifikant lengre, opp mot en time, når laksen var levendekjølt før slakting. Dette er positivt for slakterier som kjøler laksen levende før slakting. Lambooij (2010) viser i sin studie hvor hjerterytme og hjerneaktivitet (EEG og ECG) er målt med elektroder festet til laksen, at selv om laksen er slått bevisstløs og så hardt at den vil dø av slaget, fortsetter hjertet å slå. Dette indikerer at hjertet vil fortsette å pumpe blod ut av bløgestykket, selv etter laksen er klinisk død. Selv om dette kan virke positivt, har Robb & Roth (2003), vist at om hjertet pumper eller ikke, ikke er viktig for god utblødning. Tross

fysiologiske forskjeller, støttes prinsippet om at hjertets pumping ikke påvirker god utblødning, av lignende studier på andre dyrearter: slaktekylling (Gregory & Wilkins 1989; Raj & Johnson 1997; Raj et al. 2001), fjørfe (Raj & Johnson 1997) og gris (Warriss & Wotton 1981).

Etter at laksen er bløgget, blir den mellomlagret i en utblødningstank. Her blør laksen ut før videre prosessering. Flere forsøk (Bjelland 1998; Roth et al. 2005) viser at det ikke forringer kvaliteten på produktet å sløye fisken direkte etter bløgging, uten egen utblødning. Likevel blir ikke dette gjort, og en mulig årsak til dette er at dette forenkler logistikken på slakteriet. Et kjent problem ved enkelte slakteri, er at laksen har muskelkramper post mortem (Fjæra 2011). Dette gjør at en oppholdstid opp mot en time i utblødningstanken er nødvendig, slik at laksen blir rolig nok til å kunne sløyas i en sløyemaskin. Da laksen ikke skal bevege seg når den legges i sløyemaskin. På bakgrunn av nevnte forsøk kan det antas at utblødningstid er uavhengig av sluttkvalitet. Derfor er det interessant å senke behovet for oppholdstid relatert til muskelkramper. Dette vil spare tid, plass og investeringer.

Et fenomen som er omtalt som en viktig del av kvalitetsvurderingen av fisk er dødsstivhet eller rigor mortis (Erikson 2001). Rigor mortis, er en tilstand som inntreer i muskelen post mortem. Det er kort fortalt muskelfibrene aktin og myosin som binder seg sammen og skaper en sammentrukket, låst muskel. Musklene i kroppen bøyes og strekkes ved at aktin og myosin henholdsvis trekker seg sammen, eller løsner fra hverandre og rettes. Prosessen der de løsner fra hverandre drives av adenosin trifosfat (ATP). Så lenge det er ATP tilgjengelig i muskelen, vil prosessen fortsette, selv post mortem. Dette gjør at sammentrekningen av musklene ikke starter med en gang etter at laksen er død. Sammentrekningen skjer ikke før ATP lagrene er nærmest brukt opp, slik at aktin og myosin ikke lenger kan løses fra hverandre. Laksen trer da inn i rigor mortis. Prosessen skjer gradvis, slik er det mulig å vurdere ulik grad av rigor mortis. Tiden før rigor mortis inntreer, er omtalt som pre-rigor tid. Dersom man skal prosessere fisken videre etter sløyning, for eksempel filetere, gir det positiv effekt å gjøre dette i pre-rigor fasen (Birkeland et al. 2007; Mejdell et al. 2006; Skjervold et al. 2001b).

Flere studier har vist at elektrisk stimuli i laksemuskel kan gi forlenget opphold i rigor (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007). Det er også vist negativ effekt på pre-rigor tid ved lengre eksponering for elektrisk stimuli (Roth et al. 2002; Roth et al. 2010b), og det anbefales en tid på ≤ 6 s (Roth et al. 2002; Roth et al. 2010a; Roth et al. 2010b). Lambooij et al. (2010) underbygger muligheten for kort eksponeringstid med at, ved riktig innstilling på det elektriske systemet, vil laksen bli bedøvd av eksponering i minimum 0,5 s. Det skal nevnes at 1 av 4 laks gjenvant

bevissthet innen 5 minutter (Lambooij et al. 2010). Dette er således ikke i tråd med kravet for god fiskevelferd. Dersom det skulle ønskes åpning for å prosessere pre-rigor, er det viktig at laksmuskelen ikke går inn i rigor mortis før den er blitt prosessert. Studier viser at 110 – 120 volt, ved 100 Hz likestrøm (DC), med innslag av 10 % vekselstrøm (AC) gir tilstrekkelig bedøving av laksefisk (Mejdell et al. 2008).

Dersom musklene blir stimulert, slik de blir ved elektrisk bedøvelse, er det mulig at muskelkontraksjonene vil være av en slik art at de vil forårsake fysiske skader på skjelett og blodårer (Knowles et al. 2008). Dette kan lede til brukket ryggbein og blødninger der på grunn av blodårer som er sprukket (Mejdell et al. 2008; Robb 2001; Roth 2003). Det antas at blod inne i ryggbeinet tyder på skader påført in vivo, sannsynligvis ved bedøvningsmetode (Kestin et al. 1995). Blødninger ut i muskel er den mest vanlige skaden på grunn av bedøvelse med elektrisitet, dette kan også gi seg til kjenne ved blodflekker i fileten (Olsen et al. 2006; Roth 2003).

Slagbedøving er vurdert som en bedre metode, både velferdsmessig og produktkvalitetsmessig, enn metode med elektrisk bedøvning (Midling et al. 2007). Samlet er elektrisitet og slag vurdert som en bedre metode enn CO₂ bedøvning (EFSA 2009; Roth et al. 2002). Produktkvalitetsmessig har valg av bedøvelsesmetode mindre å si for det endelige produktet, enn hva stress, fileteringsmetode og foredling har å si (Roth et al. 2009a).

Hensikten med forsøket er å avdekke hvilket system som presterer best ut i fra bedøvningseffektivitet, pre-rigor tid og filetkvalitet.

5.2 Materiale og metode

5.2.1 Forsøksbetingelser

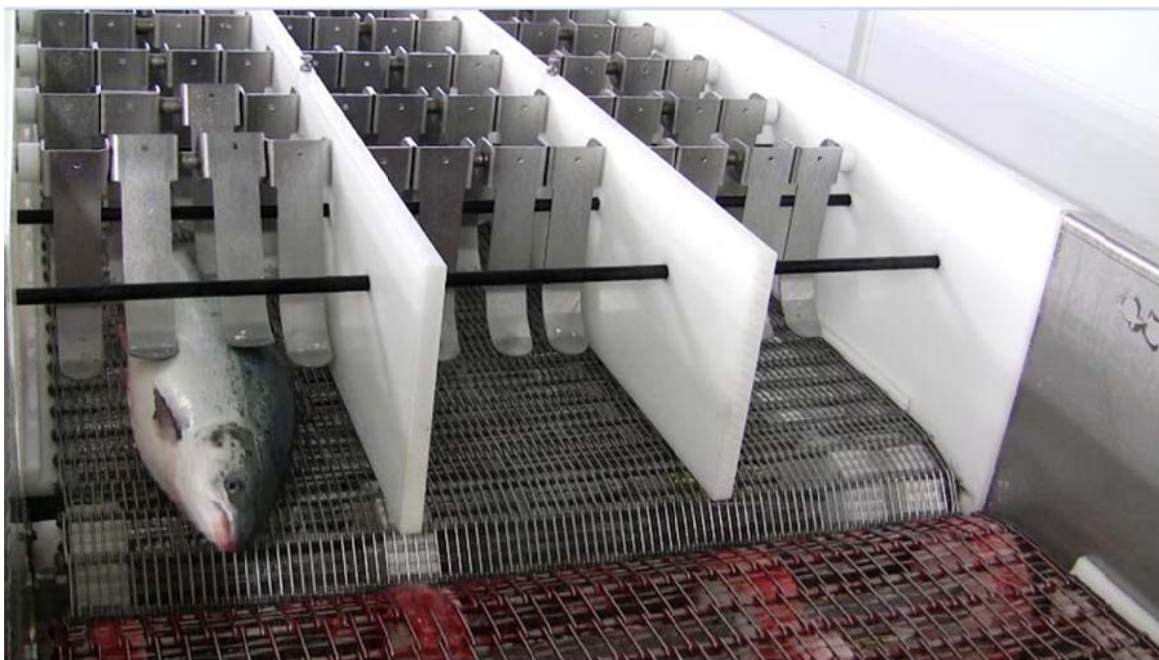
Beskrivelse av slakteri, forsøksfisk og øvrige betingelser for slakteri 1 og gjentak to ved slakteri 2 er beskrevet i kapittel 4.3.1. Ved gjentak én, 8.3.2011 hadde fisken en gjennomsnittsvikt på 4,5 kg, med avstamning fra AquaGen (Kyrksæterøra, Norge), og var sultet i ni dager. Helsestatus på fisken ble vurdert som god og sjøvannstemperaturen i slaktemerd var 4,3 °C. De øvrige betingelser for gjentak én var likt som for gjentak to.

Stansas #01 elektrobedøver på Slakteri 2

Slaktingen foregikk på følgende vis, basert på observasjon av det aktuelle systemet:

Laksen ble pumpet fra slaktemerd og inn i en ensretter (kapittel 4). I ensretteren går laksen ved hjelp av naturlig respons med hodet først, over kanten av ensretteren og inn i en av tre parallelle kanaler. Det er naturlig fall fra kanten og gjennom kanalen, som gjør at laksen sklir ut på et bånd. Båndet utgjør bunnen, og den ene elektriske polen, i elektrobedøveren. Båndet fører laksen frem med regulerbar hastighet. Over båndet henger det 8 rader med 12 metallameller på hver rad, som utgjør den andre polen i kretsen. Laksen skal, hvis den kommer med hodet først, treffe lamellen med hodet, og få et bedøvende støt (Figur 29). Elektrisiteten vil vedvare så lenge laksen er i kontakt med en lamell. Lamellene er hengslet enkeltvis, slik at hver laks skal få lik kontaktflate uavhengig av størrelse. I og med at hver lamell er hengslet fritt, vil heller ikke flere fisk inn ved siden av hverandre i hver kanal ha noe å si for kontaktflaten. Hver parallelle kanal er adskilt med en PE plate, slik at passasjen blir for smal til at slaktefisk med normal størrelse kan legge seg på tvers (Figur 29). Dette er positivt da det er kjent som en posisjon som øker sjansen for skader relatert til slakting (Mejdell et al. 2008).

Ved begge gjentak var hastigheten på båndet, det vil si tiden laksen benyttet gjennom alle lamellene, 10 sekunder. Følgelig blir dette også eksponeringstiden for elektrisitet. Det er mulig å koble fra rader med lameller enkeltvis. Dette kan eventuelt gjøres for å redusere eksponeringstiden. Båndet fører laksen videre til automatisk eller manuell bløgging. Ved både gjentak én og to var Stansas #15 bløggerobot ute av drift, slik at to operatører utførte bløggingen. Hvis den automatiske bløggerroboten hadde vært i drift ville bløggesticket blitt påført etter ± 5 sekunder. På grunn av manuell bløgging, tok dette noe lengre tid, ± 10 sekunder. Bløggesticket ble påført på skrå gjennom gjellelokket, men antall kuttete gjellebuer ble ikke registrert.



Figur 29. Stansas #01 elektrobedøver. Tre parallelle løp med åtte rader à 12 lameller. Lamellene er hengslet fritt, slik at det blir god kontaktflate på fisken uavhengig av størrelse. Laksen får et bedøvende støt av de strømførende lameller.

Spenning og frekvens i anlegget kan reguleres. Ved første gjentak ble strømspenningen økt fra inntil 65 Volt (V) til mellom 110 og 120 V. Elektrisk frekvens varierer normalt mellom 50 og 60 Hertz (Hz) i Norge. Studier har vist at dette er den minst gunstige frekvensen med tanke på slakteskader (Roth et al. 2004). Derfor er frekvensen styrt opp til 100 Hz ved hjelp av en frekvensomformer. Frekvensomformerer sørger for at systemet kjører med likestrøm (DC), med ca. 10 % inntreden av vekselstrøm (AC). Det var først og fremst på grunn av usikkerheten rundt frekvensen som gjorde det aktuelt å gjennomføre et nytt gjentak, da frekvensomformerer ikke fungerte optimalt. Systemet er også utstyrt med en mekanisme som gjør at spenningen varierer etter mengde fisk på båndet, men dette var ikke koblet riktig ved gjentak én. Ved gjentak to var både frekvensomformerer og spenningsreguleringen reparert, og systemet leverte mellom 110 og 120 V på 100 Hz AC, med 10 % inntreden av DC.

Seafood Innovations, Slakteri 1

Laksen ble pumpet opp fra slaktemerd og inn til slakteavdelingen. Ut av pumperøret føres laksen ut på en sorteringsinnretning, fra nå av kalt rullegraderer. Rullegraderer, er oppstilt med naturlig fall, og består av valser med regulerbar åpning. Størrelsen på åpningen mellom valsene styrer sorteringsintervallet i kg. Laks med lavere vekt enn det innstilte intervallet, vil falle mellom valsene på grunn av tyngdekraft, og større fisk vil skli oppå. Etter rullegraderer kommer laksen ned i ett av to ensretterkar, avhengig av størrelsen på fisken. Ut av ensretterer kommer fisk med hodet først og ryggsiden opp (kapittel 4). Dette skjer gjennom "båser" som er plassert i motsatt

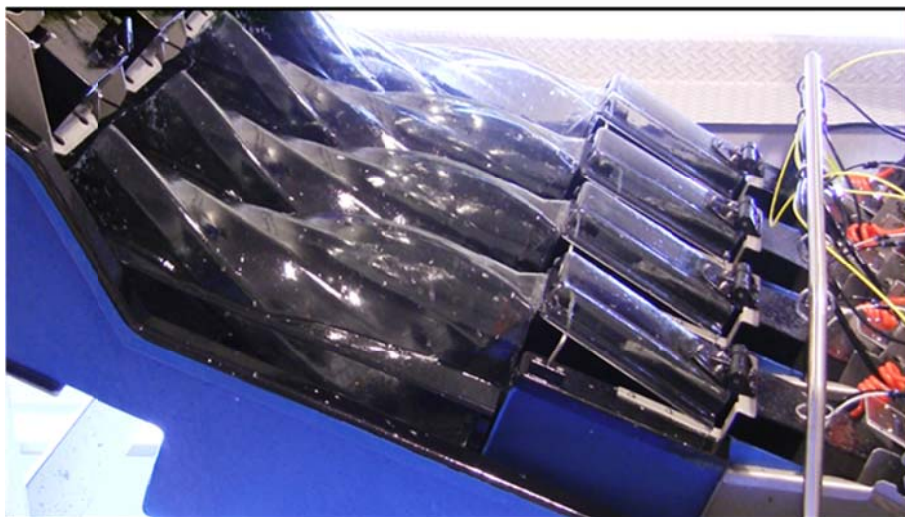
ende i forhold til der fisken kommer inn. Ut av båsene er det fall, slik at fisken sklir ned til der det bedøvende slaget blir gitt. En mekanisme med luke, skal sikre at bare én og én fisk kommer inn samtidig. Gjennom hele maskinen føres laksen i rør, slik at den ikke har mulighet til å endre kurs. Laksen stopper med “snuten” i en “avtrekker”, som utløser en slagbolt. Slagbolten har en diameter på 2 cm, og drives med trykkluft (5 bar). Slaget skal treffe midt på fiskens hode (

Figur 30). Treffpunktet kan stilles inn etter størrelsen på laksen som skal slaktes. Systemet håndterer vektintervaller fra 1 til ca. 10 kg. Systemet kan stilles inn avhengig av hvilken vektklasse som skal slaktes. Hver innstilling håndterer en variasjon på ca. 5 kg. Dette er begrunnelsen for at rullegraderen er plassert ved starten av systemet, slik at ulik innstilling på de to maskinene sikrer riktig slag over et større vektintervall.



Figur 30. Slagbolten skal treffe midt på fiskens hode. Her vises et korrekt utført slag.

For hver enkelt av de to ensretterne er det to maskiner à fire kanaler med hver sin slagbolt, ”skrue” og bløggekniv (Figur 31). Hver kanal har en teoretisk mulighet til å bløgge 12 – 14 fisk i minuttet. Med andre ord kan dette systemet behandle opp mot 100 fisk i minuttet. Dersom noe går galt, som for eksempel at laksen henger fast inne i maskinen, er det lett å korrigere feilen via inspeksjonsluker. Hver enkelt kanal kan stenges, og slagbolter og bløggekniver kan slås av og på uavhengig av hverandre.



Figur 31. SI-7 slaktesystem har 4 kanaler, som utgjør 1 maskin. Øverst til venstre i bildet er slagboltten, midt på er "skruen" og ned til høyre er bløggekniven.

Etter at laksen er bedøvd, åpnes luken og laksen sklir videre. Da åpnes også båsen, slik at en ny fisk kan komme inn. Laksen går videre gjennom en innretning kalt "skruen", som vender laksen over på ryggen, med kverken opp. Deretter føres laksen ned til bløggedelen. Her stopper den med snuten i en avtrekker, som utløser bløggekniven. Denne drives av lufttrykk. Bløggensnittet treffer i kverken, og overskjærer hovedblodkaret foran hjertet. Dersom snittet treffer litt på siden vil gjellebuene overskjæres. Treffområdet, og muligheten for riktig treff, er med andre ord forholdsvis stort. Etter at bløggensnittet er utført, åpnes luken, og laksen sklir ut på et bord med fremtrekk for etterkontroll, og en ny bedøvd laks kan falle ned til bløggekniven. På bufferbordet etter bløgging blir laks som ikke er tilstrekkelig bedøvd eller bløgget, manuelt plassert med hodet inn i en kombinert slag- og bløggeenhet. Slik sikres det at all laks er tilstrekkelig bedøvd, og påført riktig bløggensnitt før videre prosessering.

5.2.2 Forsøksopplegg

For å kunne sammenligne de to systemer ble det valgt ut fire problemstillinger. Problemstillingene er valgt med bakgrunn i lignende undersøkelser gjennomført av veterinærinstituttet (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007; Midling et al. 2008). Det ble gjennomført to gjentak på Slakteri 2. Ved gjentak to ble det kun foretatt en vurdering av rigorutvikling og filetkvalitet. De øvrige forsøk ble ansett som for omfattende å gjennomføre på nytt. Resultatene for disse fra gjentak én, ble således vurdert som tilstrekkelige.

Problemstillinger

Hvilket system gir lengst bedøvingsstid?

Hvilket system gir kortest retensjonstid før laksen kan sløyes med sløyemaskin?

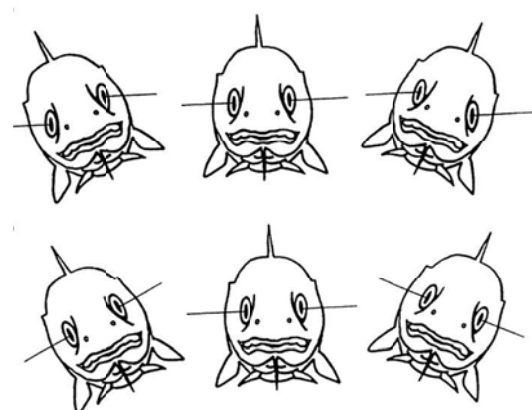
Hvilket system gir lengst åpning for pre-rigor prosessering?

Hvilket system gir minst reduksjon i filetkvalitet?

Bedøvingseffektivitet

Effektiviteten av bedøvingen kan deles i to; en del etter hvor lang tid laksen har vært bedøvd etter å ha blitt utsatt for elektrisitet eller slag, og en del etter hvor lang tid det tar før den er rolig nok til å kunne legges i sløyemaskinen.

Vurderingsmetoder for bevissthet er beskrevet i (Kestin et al. 2002). Protokollen er omfattende og overgår budsjettnivå for disse undersøkelser. Derfor er forenklete metoder som vist av Mejdell (2008) benyttet. Metodene baserer seg på observasjon av vestibulookulær refleks (VOR) og regelmessige gjellelokkbevegelser (Figur 32). Vestibulookulær refleks er også kjent som øyerefleks, og er laksens evne til å orientere øynene i forhold til horisontalplanet. Ved bevisstløshet forsvinner refleksen, og øynene vil følge hodets bevegelser. Generelt er metodene regnet som svært pålitelig for vurdering av bevissthetsgrad hos laks (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007).



Figur 32. Illustrasjon av VOR eller øyerulling, på en levende (øverst) og en død (nederst) torsk. Fisken prøver å holde øynene i horisontalplanet når den er levende, mens de ligger urørlig i forhold til hodet hos en bedøvd/død fisk (Kestin et al. 2002; Mejdell et al. 2008).

Regelmessige gjellelokkbevegelse kan sammenlignes med pusting hos landlevende dyr (Kestin et al. 2002; Mejdell et al. 2008). Ved fravær av gjellelokkbevegelser og VOR regnes fisken som bedøvd.

For å undersøke hvor lang retensjonstid laksen må ha før den kan legges i sløyemaskin, må man vurdere mengden av muskelkramper. Dersom denne er for omfattende, er det mulighet for at sløyingen i sløyemaskinen ikke vil bli tilfredsstillende. Vurdering av muskelkramper ble gjort manuelt ved å løfte laksen forsiktig opp etter sporden og vurdere om det var kramper til stede

eller ikke. Forsøksfisken ble gitt karakter 0 eller 1, avhengig av om muskelkontraksjoner var til stede eller ikke. Karakter 0 ble gitt dersom ingen muskelkontraksjoner ble observert innen 5 sekunder, mens karakter 1 ble gitt ved muskelkontraksjon.

Rigorutvikling

Utvikling av rigorstatus i laksen ble registrert ved en manuell vurdering, hvor fisken ble forsiktig løftet opp for å bedømme stivhet. Rigorutviklingen ble bestemt på en skala fra 1 til 5. Karakter 1 indikerer ingen rigor, og karakter 5 indikerer full rigor (Skjervold et al. 1999; Skjervold et al. 2001b).

Rigorindex, bedre kjent som “*taildrop*”, ble vurdert som en alternativ metode (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2008). Dette måles ved at laksen legges på et bord med halve kroppen utenfor kanten. Deretter blir vinkelen mellom kanten av bordet og halen målt (Erikson 2001). Metoden ble valgt bort, da den innebærer stor håndtering av fisken, som kan påvirke resultatet (Berg et al. 1997). Tidligere erfaringer viser at den valgte metoden gir god indikasjon på utvikling av rigor (Fjæra 2011).

Filetkvalitet

For vurdering av kvalitet på sluttprodukt, ble en visuell bedømmelse av filet og ryggbein foretatt etter filetering. De samme individene som var vurdert for muskelkramper ble merket med ulikt farget strips i sporden. Fisken ble deretter sløyd på vanlig måte og sortert ut for filetering. All fisk ble lagret 1 time i kjølt vann før de ble sendt til sløyning samtidig. Dette for å sikre at det ikke var forskjell i utblødningstid.

Registreringer og databehandling

Bedøvningseffektivitet

Fire tilfeldige fisk, med 3 gjentak, ble valgt ut etter bedøvning med Stansas #01Elektrobedøver. Laksen ble ikke påført bløggestikk, og lagt i fiskekar à 1000 l (Promens AS, Ålesund, Norge). Karet var fylt med 200 liter sjøvann ($3,5\text{ °C} \pm 0,1$). Fisken ble observert i 10 minutter, og tid og karakter (Tabell 5) ble notert etter hvert som eventuelle regelmessige gjellelokkbevegelser og VOR ble påvist. Ut i fra de to bedømmelseskriterier for oppvåkning ble det gitt karakter 1, 2 eller 3 (Tabell 5). Som kontroll ble fem laks manuelt bedøvd med slag mot hodet, observert under samme forhold i 10 minutter og vurdert etter samme kriterier som forsøksfisken. Det ble ikke gjennomført gjentak av kontrollfisken.

Fem fisk ble valgt ut etter bedøvning med SI~7. Laksen ble ikke påført bløggestikk, og lagt i 200 l fiskestamp. Karet var fylt med 150 l ferskvann ($3,8\text{ °C} \pm 0,1$). Videre ble samme metode for vurdering av bevissthet, som vist for Stansas #01, benyttet. Det ble ikke gjennomført kontroll med manuell slagbedøvning.

Ved begge anlegg ble det gjennomført observasjon av aktivitet på laksen ved bløggebord, samt i og etter bløggetank.

Tabell 5. Oversikt over hvordan oppvåkning er vurdert, etter Kestin et al. (2002)

VOR	Gjellelokkbevegelser	Vurdering	Karakter
Ingen orientering i horisontalplanet	Ingen gjellelokkbevegelse	Bedøvd	1 = Ingen reaksjon
Delvis orientering, eller orientering på ett øye	Sakte eller uregelmessige gjellelokkbevegelser	På vei ut av bedøvelse	2 = Liten reaksjon
Øynene beveger seg relativt til hodet	Regelmessige gjellelokkbevegelser	Bevisst	3 = Normal reaksjon

For vurdering av muskelkramper etter elektrobedøvning, ble 30 tilfeldige laks bedøvd og bløgget med Stansas #01 elektrobedøver og bløggestikk påført av operatør. Laksen ble deretter fordelt på seks fiskekar à 1000 l. Tre kar à fem fisk ble fylt med 250 l sjøvann ($3,5\text{ °C} \pm 0,1$) og tre kar à fem fisk ble fylt med 250 l sjøvann og isslurry ($-1,5\text{ °C} \pm 0,1$).

For vurdering etter slagbedøvning, ble 30 tilfeldige laks bedøvd og bløgget med SI~7. Laksen ble fordelt på seks fiskekar à 1000 l. Tre kar à fem fisk ble fylt med 250 l ferskvann ($3,8\text{ °C} \pm 0,1$) og tre kar à fem fisk ble fylt med 250 l ferskvann og is ($0,5\text{ °C} \pm 0,1$).

Laksen blødde ut i henholdsvis 10, 20 og 30 minutter. Deretter ble laksen subjektivt vurdert, av to uavhengige personer, om den kunne legges i sløyemaskin eller ikke. For hvert tidspunkt ble én og én laks løftet opp og vurdert, før den ble forsiktig lagt tilbake i samme kar. Fisken som blødde ut på $3,5$ (Stansas #01) og $3,8$ (SI~7) °C, ble lagt i kar med henholdsvis $-1,5\text{ °C}$ og $0,5\text{ °C}$ for videre utblødning.

Rigorutvikling

Fem tilfeldig utvalgte fisk ble bedøvd og bløgget med Stansas #01 elektrobedøver og bløggestikk av operatør. Fisken ble lagt direkte i fiskekar à 1000 l med 300 l sjøvann + isslurry ($-1,3\text{ °C} \pm 0,2$). Fem tilfeldige fisk ble håvet direkte ut av ensretter, bedøvd og bløgget manuelt med slag og bløggestikk fra operatør (kontroll). Fisken ble lagt i fiskekar tilsvarende som for forsøksfisken.

Hver halvtime ble all laks enkeltvis vurdert og gitt en rigorkarakter. Stor forskjell i resultater mellom fisk bedøvd med Stansas #01 og fisk bedøvd med SI~7 ble funnet. Derfor ble forholdene under gjentak to forsøkt gjort like som ved test av SI~7. Fem laks ble bedøvd med Stansas #01, og fem bedøvd med manuelt slag. Begge grupper ble bløgget manuelt. De ble så fordelt på to fiskekar à 1000 l med 300 l ferskvann + is ($0,5\text{ °C} \pm 0,2$). Operasjonene for øvrig ble utført likt.

Fem fisk ble bedøvd og bløgget med SI~7, for deretter å bli lagt i fiskekar à 1000 l med 300 l ferskvann ($0,5\text{ °C} \pm 0,2$). Hver halvtime ble hver laks enkeltvis vurdert og gitt en rigorkarakter.

Filetkvalitet

Fisken som ble sjekket for muskelkramper ($n = 30$ Slakteri 2 og $n = 30$ Slakteri 1), ble etter tidligere beskrevet behandling, manuelt hodekappet og filetert med fileteringsmaskin. Begge fileter og ryggbeinet fra forsøks- og kontrollfisken ble vurdert, og gitt karakter etter skala (Tabell 6).

Under andre gjentak på Slakteri 2 ble 30 fileter og 30 ryggbein kontrollert med lik bedømmingsskala som for gjentak én. Utvalget var tilfeldig.

Tabell 6. Karakterskala for bedømming av filet og ryggbein etter filetering.

Karakter	Filet	Ryggbein
1	Uten blodflekker, ingenting å utsette	Ikke knekt, ingen blodflekker
2	Antydning til blodflekker	Tendens til knekk, spor av blod
3	Blodflekker	Knekt rygg

Behandling av data

Alle resultater ble behandlet i Excel (Microsoft Corporation, Redmond WA, USA).

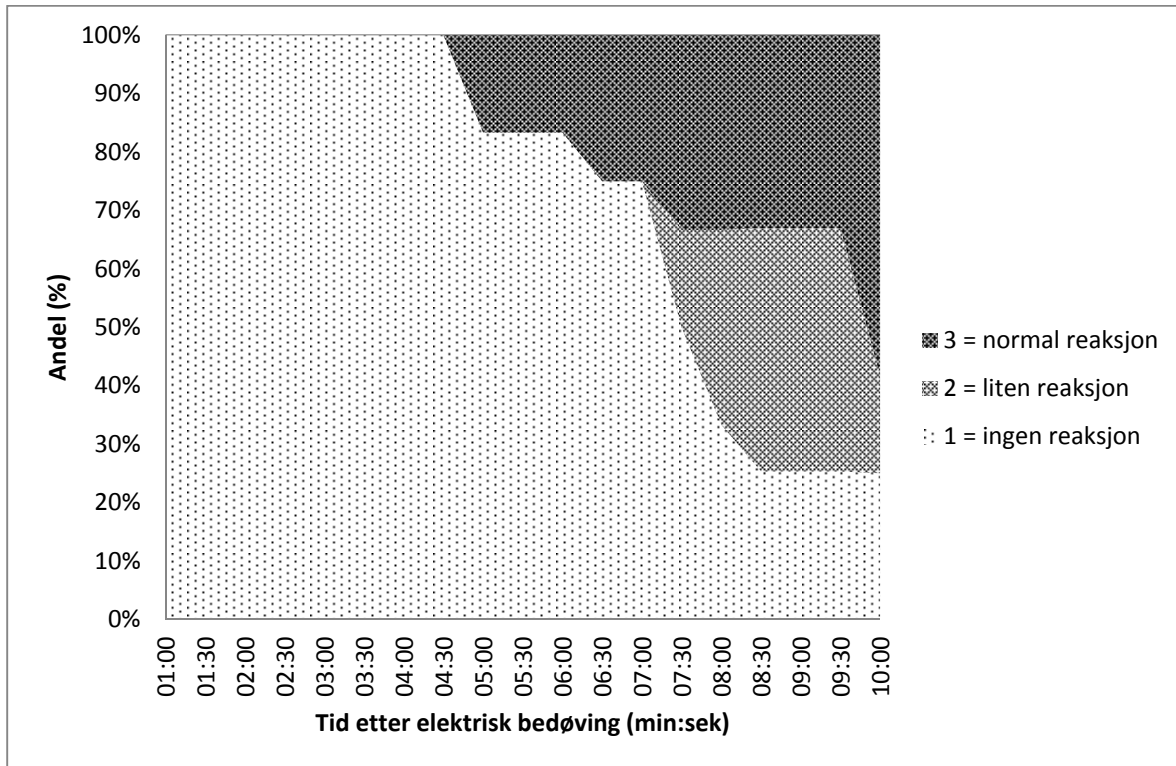
5.3 Resultat og diskusjon

5.3.1 Bedøvningseffektivitet

Oppvåkning etter bedøving

Fra fisken var bedøvd med Stansas#01 og lagt i karet tok det ca. to minutter før muskelkontraksjoner opphørte. Dette samsvarer med resultater funnet av Mejdell et al. (2008). Bevegelsen er ikke et tegn på at laksen er bevisst, men regnes som en muskelkrampe. Hvor lenge den forholder seg rolig varierer noe. Fem minutter etter bedøvelse ble 83 % av fisken fortsatt bedømt til karakter 1, samtidig som 17 % av fisken ble bedømt til karakter 3. I tidsrommet fra syv til åtte minutter, skjer den største forandringen. Etter syv minutter er fortsatt 75 % ubevisst,

men innen ett minutt og tretti sekunder deretter har 75 % fått karakter 2 og 3. Dette vedvarer til forsøket slutt, etter 10 minutter. Da ble 58 % av laksen bedømt til karakter 3, 17 % til karakter 2 og 25 % til karakter 1 (Figur 33). Kontrollfisken, som ble bedøvd med slag mot hodet, viste ikke tegn til bevissthet, og alle ble bedømt til karakter 1, 10 minutter etter bedøvelse.



Figur 33. Andel laks i prosent som viser tegn til oppvåkning. Figuren viser at etter 5 minutter, viser 20 % av laksen tegn til å være bevisst. Ved overvåkings slutt, ser 75 % av laksen ut til være bevisst.

Ved bedøving av fem laks med SI~7 systemet ble det ikke observert tegn til bevissthet under gjennomføring av test med samme forutsetninger, som ved elektrisk bedøvelse. Resultat støttes av lignende forsøk gjennomført med tidligere modell SI~5, hvor ingen tegn på bevissthet ble observert 10 minutter etter bedøvelse (EFSA 2004; Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2008).

Laksen er bedøvd når den kommer ut av elektrobedøveren. Bevegelsene som observeres de første minuttene er ikke et tegn på bevissthet (Mejdell et al. 2008). Det er tidligere vist at elektrisk bedøvelse er en reversibel prosess (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007). Det kan virke som dette er tilfellet også for denne undersøkelsen, dog er så mange som 25 % av laksen fortsatt ubevisst etter 10 minutter, noe som tyder på varierende grad av bedøvelse. På grunn av at prosessen er reversibel er det viktig at fisken blir bløgget raskt etter bedøvelsen Mejdell et al. (2008). I følge slakteriforskriften, skal laksen dø som følge av blodtap (Forskrift om slakteri mv. for akvakulturdyr §15) og det er vist at dette tar ca. fem minutter fra bløggesnittet er påført

(Robb et al. 2000). Det kan dermed tyde på at 83 % av laksen er bedøvd under hele utblødningen, og er død, eller har mistet bevisstheten, som følge av blodtap, før den gjenvinner bevissthet. Forsøket ble ikke gjennomført med bløgget fisk, men tidligere undersøkelser har vist at elektrobedøvd fisk som er bløgget ikke gjenvinner bevisstheten på samme måte som ikke bløgget fisk (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007). Undersøkelsene viser at laks forholder seg bedøvd lenger, dersom den er bløgget i tillegg til elektrobedøvd. Det er derfor grunn til å tro at flere enn 83 % fortsatt hadde vært bevisstløs etter fem minutter. Det er usikkert hvordan kjernetemperaturen i laksen vil påvirke bedøvelsen, men (Kestin et al. 1991) viser at det er sammenheng mellom kjernetemperatur i fisk og hvor lenge bedøvelsen vedvarer. Derfor er derfor grunn til å tro at ved lavere kjernetemperatur, som for eksempel ved bruk av levendekjøling, vil det ta lengre tid for laksen å miste bevisstheten som følge av blodtap.

Resultatene viser en raskere oppvåkning enn hva som tidligere er funnet. I Mejdell et al. (2008) vises det at ved høyere spenning, >100 V, tar det lengre tid før laksen våkner opp. Systemet på Slakteri 2 var satt opp med spenning mellom 110 og 120 V, men spenningen viser seg å reduseres når belastningen av anlegget er høyere (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007). Høyere belastning vil si høyere tetthet av fisk på elektrisitetsbordet. Det ble ikke foretatt kontroll av hvor høy tettheten var da laksen i forsøket ble valgt ut. Systemet er utstyrt med en regulator som skal variere spenningen etter belastning, men i ettertid har det vist seg at denne ikke var intakt på dagen for forsøket. Det er derfor grunn til å tro at systemet kan ha levert lavere spenning, og dermed gitt en kortere bedøvningsperiode.

Resultatene for bedøvelse med slagdelen av SI~7 er entydige; ingen laks våkner opp i løpet av ti minutter. Det virker derfor som det er liten tvil om at laksen vil forbli bedøvd til den mister bevisstheten eller dør som følge av blodtap. Bløggesnittet blir påført raskt etter bedøvning, og dette minsker også risikoen for at fisken skal gjenvinne bevissthet under utblødning.

Utvalget av fisk til forsøkgjennomføring er vurdert som tilstrekkelig, da resultatene fra samtlige tre gjennomføringer er entydige, uten avvik. Av praktiske hensyn ble ikke dette forsøket repetert ved andre gjentak på Slakteri 2, selv om det kunne vært interessant sett i lys av at bedøvelsesmekanismen muligens ikke fungerte optimalt.

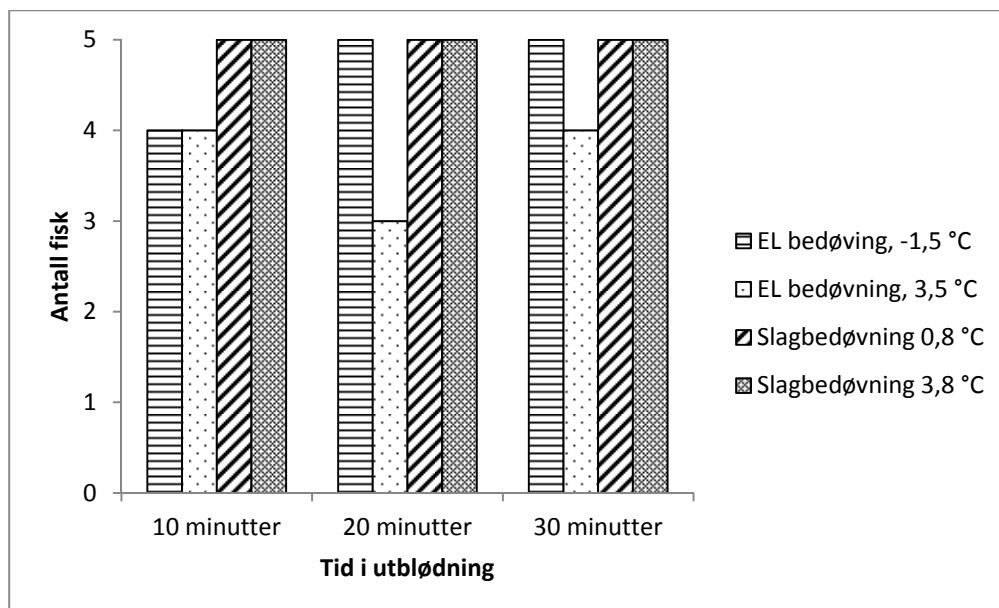
Nødvendig tid før laks kan legges i sløyemaskin

Resultatene fra bedøvelse og bløgging med SI~7 viser ingen forskjell mellom tidsintervaller eller temperatur. All fisk i forsøket kunne legges i sløyemaskin etter henholdsvis 10, 20 og 30 minutter. For laks bedøvd med elektrisk bedøver og bløgget manuelt, er ikke resultatene like

entydige. Etter 10 minutter er det to laks, fordelt på begge utblødningstemperaturer, som defineres til å være for aktiv til å kunne legges i sløyemaskinen. Etter 20 minutter er resultatet det samme, men da er laksen som har blødd ut i kaldere temperatur helt rolig. Etter en halvtime var det én laks, som ikke kunne legges i sløyemaskin. Generelle visuelle observasjoner i og på vei ut av utblødningstank, viser en lignende trend. Enkelte fisk viser tegn til aktiv oppførsel både i og på vei ut av utblødning etter elektrisk bedøvning. Dette er ikke tilfellet etter bruk av SI~7, hvor det er lite til ingen tegn til aktivitet i og etter utblødning (Figur 34).

Generelt ser det ut til å være en liten forskjell mellom de to systemene med tanke på hvor lang retensjonstid laksen trenger. Resultatet viser at det vil det være mulig å legge all slagbedøvd fisk inn i sløyemaskinen allerede etter 10 minutter, og at det ikke er like tydelig ved bruk av elektrisitet. Visuell observasjon under normal produksjon ved de to slakterier støtter disse resultater. Høy aktivitet hos fisken var påviselig frem til rundt 30 minutter ved elektrisk bedøvning, i motsetning til ved slag hvor det var svært få tegn til bevegelse etter 5 til 10 sekunder (Figur 34).

Resultatene viser at å ha lav temperatur ($\pm 0 \text{ }^\circ\text{C}$) i utblødningstanken ikke er til hinder for å få fisk som er klar til å legges i sløyemaskinen allerede etter 10 minutter. Lambooij (2010) foreslår kjøling som en løsning for å forlenge tiden laksen forblir bedøvd etter bruk av Stansas #01. Dette indikeres også av dette forsøket. Laks som har ligget i vann med $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$, er verre å få lagt i sløyemaskin, enn laks som har ligget i $-1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figur 34).

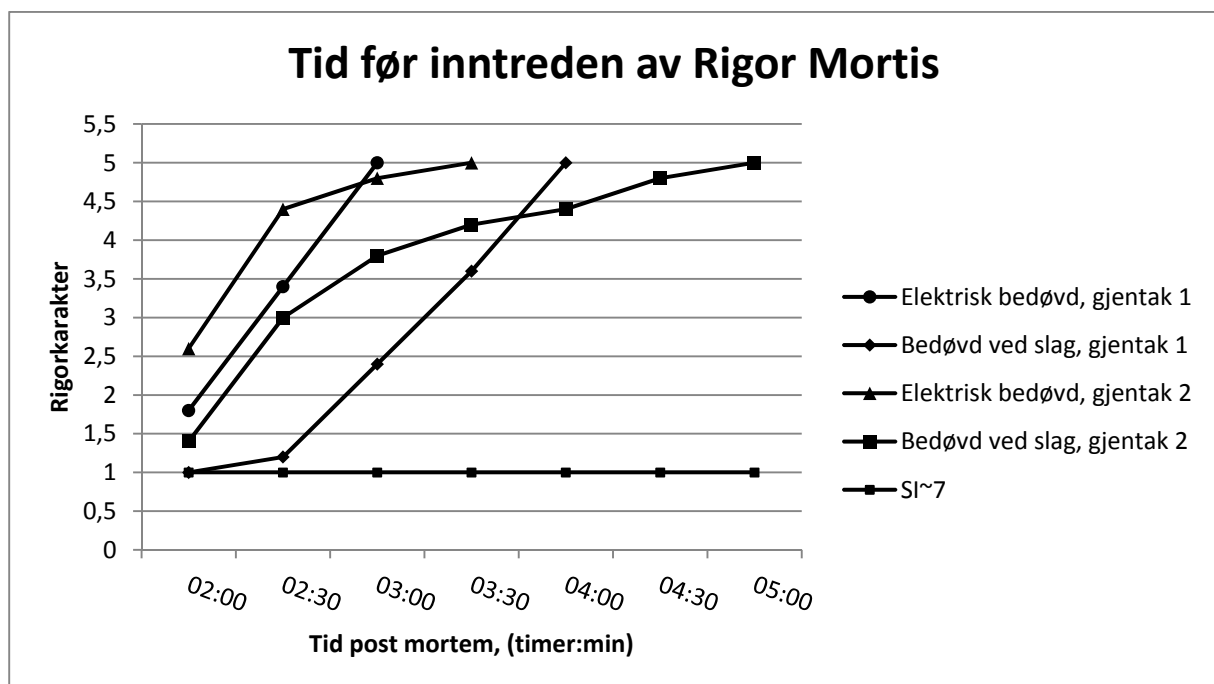


Figur 34. Antall fisk som kan legges i sløyemaskin etter 10, 20 og 30 minutter, ved to ulike utblødningstemperaturer. Sammenligning av laks bedøvd av Stansas #01 ($n = 30$) og SI~7 ($n = 30$). 5 fisk per gruppe. All fisk bedøvet med SI~7 viser

ingen tegn til muskelkramper ved de gitte tidspunkt. Elektrobedøvet fisk viser ikke like stort fravær av muskelkramper, men ved utblødning i lavest temperatur (-1,5 °C) vises ingen muskelkramper etter 20 minutter.

5.3.2 Rigorutvikling

Inntreden av rigor mortis skjer raskest ved Slakteri 2. Ved elektrisk bedøvelse inntreer rigor etter tre timer ved gjentak én og etter tre og en halv time ved gjentak to. Ved slagbedøvelse er tiden før inntreden i rigor noe forlenget, med henholdsvis fire og fem timer for de to gjentakene. Det var ikke antydning til at fisk gikk i rigor i løpet av de åtte timene forsøket pågikk ved Slakteri 1 (Figur 35).



Figur 35. Rigorutvikling for laks med ulik bedøvelse og bløgging. Elektrobedøvet fisk viser kortest tid før inntreden av rigor oppnås. Fisk fra samme slakteri, bedøvet ved slag viser 1 til 1,5 lenger pre-rigortid. Fisk slaktet med SI~7 viser ingen tegn til rigor innen forsøket slutt, 8 timer post mortem. Siste tre timer av forsøket er ikke vist i figuren.

Tendensen til tidligere utvikling av rigor mortis på elektrobedøvd fisk (Figur 35), støttes av tidligere studier blant annet (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2008; Roth et al. 2009a; Roth et al. 2010a; Roth et al. 2010b). Det er likevel påfallende at tiden før inntreden av rigor for elektrisk bedøvd fisk, ikke er vesentlig kortere enn for fisk bedøvd med slag. Pre-rigor tiden i tidligere studier der elektrisk bedøvelse er benyttet varierer mellom 5 – 12 timer (Mejdell et al. 2008; Midling et al. 2007; Midling et al. 2008; Roth et al. 2009a). Dette tyder på at det er flere forhold enn bare bedøvelsesmetoden, som er årsak til at pre-rigor tiden i dette tilfellet er kort. Det er vist at elektrisk bedøvelse i kombinasjon med pumping forkorter pre-rigor tiden, og at trenging og pumping bidrar mer enn elektrisiteten (Roth et al. 2009a; Roth et al. 2010a). Det oppgis sultetid

på ni dager ved gjentak én og 11 dager ved gjentak to på Slakteri 2, dette er noe kort i forhold til anbefalt sultetid om vinteren (Mejdell et al. 2006). Da det også er vist at forlenget sultetid kan gi forbedret slaktekvalitet i laksefisk (Einen & Thomassen 1998; Einen et al. 1998; Morkore et al. 2008) og rigorutvikling spesielt (Morkore et al. 2008), kan det tenkes at resultatet er påvirket av kort sultetid.

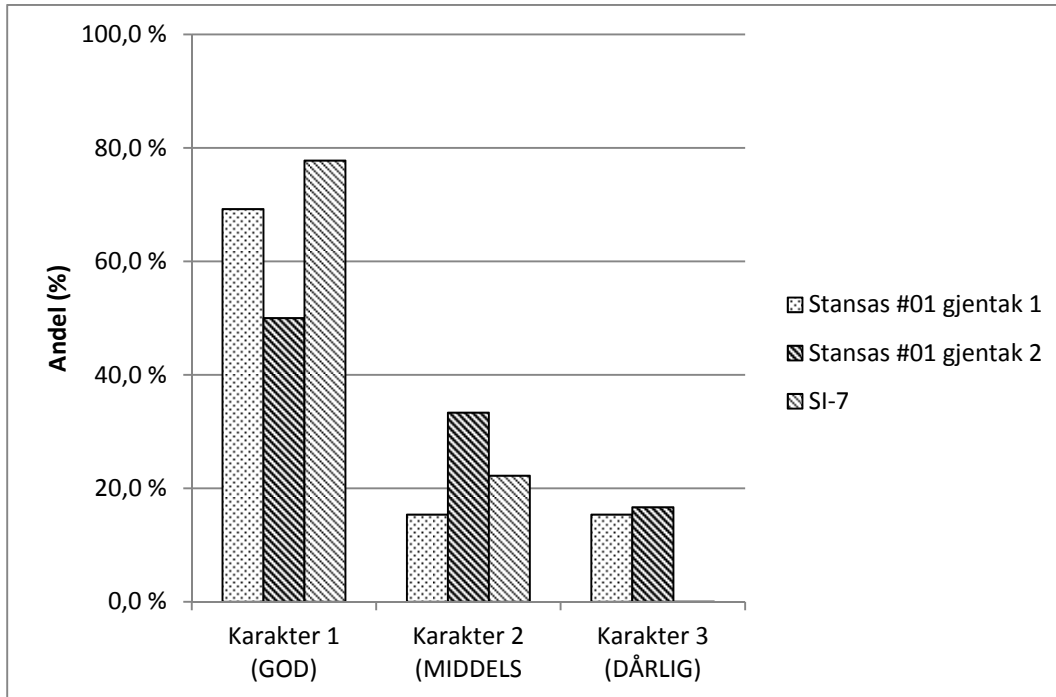
Laksen ble eksponert for elektrisitet i overkant av 10 sekunder ved gjentak én og to. Det er vist at en eksponeringstid på seks sekunder er det optimale for lang pre-rigor tid (Roth et al. 2010a). Dette indikerer at pre – rigor tiden kunne vært forlenget, med kortere eksponeringstid. Resultatene for gjentak én og to avviker noe fra hverandre. En av grunnene til dette kan være at systemet fungerte mer korrekt ved gjentak nummer to, spesielt med tanke på frekvensomformerer. Det er vist at bedøvelse ved 50 Hz, som sannsynligvis ble benyttet under gjentak én, er frekvensen som påvirker laksemuskelen mest, og gir kortest pre-rigor tid (Roth et al. 2004).

En annen årsak kan være forskjellen i temperatur fisken ble lagret i under forsøket. Ved gjentak én ble den holdt på $(-1,3 \text{ °C} \pm 0,2)$ og noe høyere $(0,5 \text{ °C} \pm 0,2)$ ved gjentak to. I kaldtvannsarter som Atlantisk laks, blir rigorutviklingen bremsert når lagringstemperaturen reduseres mot 0 °C (Erikson 2001). Hva som skjer når temperaturen senkes under 0 °C er mer uklart. Det er beskrevet et fenomen hvor laksen blir helt stiv etter kjøling til $-1,5 \text{ °C}$ etter slaktning. Fenomenet sies ikke å ha noe med frysing, kuldesjokk eller rask inntreden av rigor å gjøre, men heller at fettsyrene i ytre del av muskelen stivner (Johansen et al. 1996). Erfaring tilsier at det også kan være vanskelig å skille fisk stiv av kulde, fra stivhet etter inntreden av rigor (Fjæra 2011). På bakgrunn av dette kan det tenkes at resultatene for gjentak to er mer riktige enn de ved gjentak én. Det gir i alle fall støtte for at resultatene ikke kan slås sammen, og sees under ett.

At det tar lang tid før inntreden av rigor mortis hos laks bedøvd med slag, støttes også av andre forsøk, blant annet; 30 timer (Erikson 2001), 24 timer (Roth et al. 2002), 5 timer (slakteri B) & 9 timer (slakteri C) (Mejdell et al. 2008) og 15 timer (Midling et al. 2008). Dermed er det nok riktig at laksen i forsøket med SI~7 har en pre-rigor tid på >8 timer (Figur 35). I dette forsøket er det bare bedøvelsesmetoden som er vurdert, ikke hele slakteprosessen. Det er sannsynlig at det er større forskjeller på slakteprosessene enn selve bedøvelsesmetoden. Roth et al. (2010a) viser at ved like forhold før bedøvelse, er pre-rigor tiden uavhengig av bedøvelsesmetode.

5.3.3 Kvalitet bedømt i ryggbein og filet

Ved gjentak én ved Slakteri 2 ble 69,2 % av ryggbein gitt karakter 1, resten fordeler seg jevnt på karakter 2 og 3, med 15,4 %. Ved gjentak to gis 50,0 % karakter 1, 33,3 % karakter 2 og 16,7 % karakter 3. Etter bruk av SI~7 ved Slakteri 1, gis 77,8 % av ryggbein karakter 1 og 22,2 % karakter 2. Ingen ryggbein blir vurdert til karakter 3 (Figur 36).

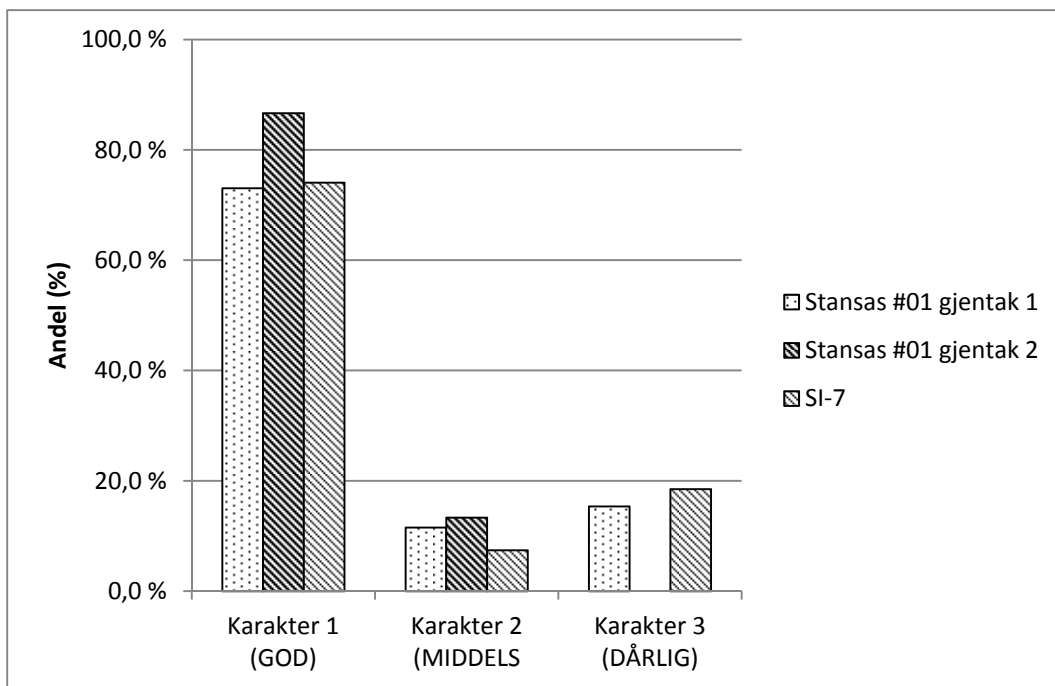


Figur 36: Sammenligning av karakter bedømt på ryggbein hos laks bedøvd med Stansas #01 og SI~7. Prosentvis fordeling av laks etter gitt karakter. Det er liten forskjell mellom elektrobedøvet og slagbedøvet fisk.

Ved bedømmelse av kvalitet i ryggbein, ble det påvist forskjell mellom de ulike bedøvelsesmetodene. Etter slagbedøvelse med SI~7 ble det ikke funnet ryggknekk, men enkelte fisk fikk redusert kvalitetsscore som et resultat av blod rundt ryggbeinet. Det er ikke grunn til å tro at dette stammer fra bedøvelsesmetoden, da blodet tydelig var på utsiden av beinet. Dersom blodet hadde vært inne i ryggbeinet, kunne dette være en indikasjon på at skaden er påført mens laksen fortsatt er i live (Kestin et al. 1995). 15,4 og 16,7 % av laksen bedøvd med elektrisitet fikk påvist ryggknekk. Her var det i tillegg tydelig bloduttredelse inne i beinet. Resultatene samsvarer godt med tidligere studier, som viser brukket ryggbein ved elektrisk bedøvning (Mejdell et al. 2008; Robb 2001; Roth 2003). Det er verdt å merke seg at det ikke ble påvist ryggknekk hos kontrollfiskene som ikke var bedøvd med elektrisitet. Det skal nevnes at ved gjentak én ble det på grunn av feil med systemet kjørt med lav frekvens, dette er vist å ha negativ innvirkning på blant annet ryggknekk (Roth et al. 2004). Det ser ut til å være liten forskjell på gjentak én og to. Om noe ser det ut til å være mindre ryggknekk og bedre filet kvalitet

ved gjentak én. Dette kan tyde på at det er individuelle forskjeller i responsen på elbedøvningen. Selv om det er forskjell mellom bedøvelsesmetodene, og slag gir et bedre resultat, er ikke slagbedøvningen gjennomført helt uten skader. Dette samsvarer med resultater Midling et al.(2008) fant. De konkluderte med at mengden skader er lik mellom de to metodene.

Ved gjentak én ved Slakteri 2 ble 73,1 % av filetene gitt karakter 1, resten fordeler seg på karakter 2 og 3, med henholdsvis 11,5 og 15,4 %. Ved gjentak to gis 86,7 % karakter 1, 13,3 % karakter 2 og ingen fileter blir bedømt med karakter 3. Etter bruk av SI~7 ved Slakteri 1, gis 74,1 % av ryggbein karakter 1, 7,4 % karakter 2 og 18,5 % gis karakter 3 (Figur 37).



Figur 37: Sammenligning av karakter bedømt på ryggbein hos laks bedøvd med Stansas #01 og SI~7. Prosentvis fordeling av laks etter gitt karakter. Det er liten forskjell mellom elektrobedøvet og slagbedøvet fisk.

Det er vist at bedøvelsesmetode kan påføre skader og gi grunn til kvalitetsforringelse i filet hos laksefisk (Knowles et al. 2008). I vårt forsøk ble det observert enkelte fisk med ryggknekk og tilhørende blodansamling i filet etter elektrobedøving. Dette samsvarer med tidligere studier på emnet (Olsen et al. 2006; Robb & Roth 2003). Det er observert en forskjell mellom resultater ved gjentak én og to på Slakteri 2, hvor det kan se ut som filetene bedømmes høyere ved gjentak to. Dette kan ha sammenheng med at disse er blødd ut over en lengre periode, da dette er fileter som har gått i gjennom normal slakteprosess på slakteriet.

I denne studien ble det generelt observert lite "blodspots" relatert til slaktemetode etter filetering. Midling et al. (2007) viser at det er lavere antall blodspots i filet ved bruk av slag enn elektrisitet, men resultatet er ikke konkluderende. I forsøket gjennomført i denne studien, ble det funnet liten forskjell mellom de to systemene.

Oppsummert er det vanskelig å gi en god vurdering av om bevegelse eller kramper under utblødning skulle ha noen effekt på vurdering av filetkvalitet med tanke på blodspots eller farge. Tendensen i dette forsøket er likevel at kvaliteten vil være god, uavhengig av bevegelse, i og med at laks bedøvd med slag er helt rolig, mens den har mer kramper ved bruk av elektrisitet, og fisken bedømmes forholdsvis likt med hensyn til blodflekker i filet. Det ble påvist at bloddråper synliggjorde seg ved mekanisk trykk på filetet etter bedøvelse med SI~7. Den samme undersøkelsen for elektrobedøvd fisk viste ikke dette.

5.3.4 Generell diskusjon:

Med de registrerte data er det ikke mulig å si noe om hvor lenge elektrobedøvingen vedvarer. Det er ikke sikkert at all laks vil forbli ubevisst av bedøvningen til de mister bevissthet eller dør av blodtap, slik slakteriforskriften krever. Ved bruk av slag virker det som mer sikkert at laksen mister bevissthet når slaget treffer, og at dette ikke er reversibelt. Dette forutsetter at laksen blir truffet riktig av slagbolt, noe som igjen er avhengig av at laksen oppfører seg riktig i slagrøret. Det ble observert at ca. null til fire laks i minuttet måtte manuelt justeres, slik at slagbolt og bløggekniv traff riktig. Når fisken ligger riktig er det 100 % treff hver gang. Det var vanskelig å se om noen av laksen fikk påført bløggestikk uten å være bedøvd, eller at slaget ble påført uten at bevissthetstap inntraff, men det så ikke slik ut.

Det observeres ikke stor nok forskjell mellom de ulike behandlingene til å favorisere den ene metoden over den andre, i forhold til tid før laksen kan legges i sløyemaskin. Ved bruk av SI~7, ble det ikke observert kramper i laksen lengre enn 10 sekunder etter bedøvelse og bløgging. Ved observasjon på Slakteri 2 virket det som grensen for muskelkramper etter bedøvelse og bløgging var nærmere 10 minutter, denne observasjonen var lik ved gjentak én og to.

Pre-rigor tiden er kort etter bruk av elektrisitet. Fisk som har gjennomgått samme behandling, men er manuelt bedøvet ved slag, har tilsvarende kort pre-rigor tid. Dette indikerer at det er andre forhold enn selve bedøvelsesmetoden som er årsaken til den korte tiden. Ved bruk av SI~7 ble det ikke påvist tegn til rigor i løpet av tiden forsøket ble gjennomført. Dermed kan ikke pre-rigor tiden tallfestes på samme måte, men den er lengre enn åtte timer.

For kvalitet bedømt i ryggbein, skiller Stansas #01 seg ut ved at det påvises knekte ryggbein. Det er ikke sikkert dette har innvirkning på den ferdige kvaliteten av fileten, men hvordan det vil gi seg utslag i for eksempel hel fisk er uklart. Det kan være vanskelig å opprettholde god dyrevelferd, dersom ryggen knekker på grunn av bedøvelsesmetode. Blodet som kan påvises utenfor selve ryggbeinet, kan fjernes mekanisk, og vil med andre ord med liten sannsynlighet påvirke den ferdige kvaliteten. Dette gjelder både for SI~7 og Stansas #01.

I filet er det vanskelig å si at det er noen forskjell mellom de to systemer. Om noe kan forskjellen mellom gjentak én og to, tyde på at tiden for utblødningen har innvirkning på filetkvaliteten, men det er for mange usikkerheter til å si noe konkret om dette. Det er ikke vist med figur, men hvis resultatene for ryggbein og filet legges sammen til en samlet vurdering, kan det påvises liten forskjell både mellom de to systemer, og mellom gjentak én og to. De påviste bloddråper ved mekanisk trykk på kan ha sammenheng med manglende muskelkramper under utblødning av slagbedøvet fisk.

Generelt ser det ut til at SI~7 presterer bedre enn Stansas #01 etter de kriterier som er gitt i de forsøk som er gjennomført i denne seksjonen, bortsett fra i vurderingen av filetkvalitet.

6 Oppsummering

Resultatene viser at levendekjøling ikke påvirker laksens evne til å ensrette seg negativt (Kapittel 2). Det ble videre stilt spørsmål om dårlig vannkvalitet kunne ha betydning for ensrettingen.

SI~7 ensretter benytter seg av et dypvannsinntak, og således vil ensretterkaret motta vann med en relativt stabil lav temperatur året igjennom, da vanddyp på 60 til 100 meter sjelden har temperaturer over 10 °C. Ved overflaten i slaktemerden kan temperaturen komme høyere enn dette. Det er funnet at har en lavere ensrettergrad når den overføres fra varmere til kaldere vann (forsøk 1). Der er dermed usikkert hvordan laks vil ensrette seg i SI~7 ved sommertemperaturer i slaktemerd. Dette vil være en interessant problemstilling for videre forsøk.

Metabolske prosesser i fisken stiger ved økte vanntemperatur. Dette er antakelig mer aktuelt for Melbu Ensretter da den bruker potensielt varmt vann fra slaktemerd, i motsetning til SI~7 som benytter dypvann. Vannet som benyttes i Melbu ensretter er også av samme opprinnelse som fisken i slaktemerd oppholder seg. Dermed påvirker fisken vannet over lengere tid. Dette vil antakeligføre til at vannkvaliteten i Melbu ensretter forringes. Eksponeringstiden i en eventuelt forringet vannkvalitet er kort, så om dette påvirker forhold som filet kvalitet, rigortid og bedøvelsesgrad er mer usikkert. Dette vil være en interessant problemstilling for videre forsøk.

At det er reduksjon i ensrettergrad i løpet av en produksjonsdag har sannsynligvis sammenheng med at fisken er utslitt etter lengre påvirkning av trenging i slaktemerden. Det kan tenkes at dette vil være et mindre problem hvis levendekjøling utføres. Da tettheten av fisk er mindre i et kjølekar enn i en slaktemerd som trenges. Vannkvaliteten er også vist å være god i kjølekarer undersøkt i denne oppgaven. Opphold i kjølekar med lav tetthet og god vannkvalitet kan tenkes å ha positiv innvirkning på evnen til å ensrette seg, selv om oppholdet er forholdsvis kort. Dette er et moment det kunne vært interessant å se videre på.

Kvalitetsbedømmelsen av fisk i denne oppgaven er gjennomført på ensrettete individer. Det er usikkert om ikke ensrettet fisk får en dårligere kvalitet, som et resultat av bedøvelsesskader. Elektrobedøvet fisk vil oppleve bedøvelsen som smertefull før hodet blir eksponert for strøm, og hvilken påvirkning dette har på kvaliteten er ikke kjent. På samme måte vil ikke ensrettet slagbedøvet fisk utsettes for stor stresspåvirkning, dersom den ikke blir bedøvet eller bløgget før ved etterkontroll (kapittel 5). Dersom fisk får kuttet kverken, men slagbedøvingen har feilet, vil avlaving være gjennomført på en svært lite dyrevelferdsmessig måte. Derfor er det av stor betydning at fisk ensrettes før bedøving/avlaving.

Andre forhold som bør undersøkes er om antall kontaktpunkt mellom fisk og lameller ved elektrobedøving vil påvirke bedøving og kvalitet. Kapillæreffekten har kanskje betydning for utblødningen avhengig av hvor mange gjellebuer og blodårer som kattes ved bløgging. Dette vil ha betydning for tiden det tar før bevissthetstap inntreffer som et resultat av blodtap. På slagbedøvet fisk ble det observert blod ved mekanisk trykk på fileten. Dette var ikke tilfelle for elektrobedøvd fisk. Det bør derfor undersøkes nærmere om det er forskjell i utblødning ved å kutte gjellebuer, som ved Stansas eller kverken som ved SI~7. En metode for å undersøke dette kan være å se om blodet påvirker holdbarheten i produktet. For eksempel ved å gjennomføre en mikrobiologisk sammenlikning etter fileten er lagret i 14 dager.

Elektrobedøvd- i motsetning til slagbedøvet fisk ble observert med et høyt innslag av ryggknekk. For slagbedøving er det mulig at feilslag forekommer, eller at fisk blir påført bløggestikk uten å være bedøvd. Dette er dyrevelferdsmessig ikke ønskelig, og må unngås.

Nye tekniske fremskritt gjøres stadig, og gjør at flere av momentene i denne oppgaven kan være forbedret. Blant annet er det kjent at SI~7 er modifisert slik at bedøvende slag og bløggestikk blir påført i samme operasjon.

7 Konklusjon.

- Levendekjøling har ikke negativ innvirkning på ensretting av Atlantisk laks.
- Sirkulær vannstrøm under levendekjøling av Atlantisk laks gir ikke bedre ensretting enn levendekjøling uten vannstrøm.
- For å opprettholde god vannkvalitet under levendekjøling av fisk vil det være hensiktsmessig å gjennomføre en jevnere dosering av hydrogenperoksid, eller øke vannutskiftingen.
- Det er funnet en liten forskjell i vannkvalitet mellom Melbu ensretter og SI~7 ensretter, men det er ikke grunn til å tro at dette har innvirkning på ensrettergraden.
- Det er forskjell i ensrettergrad mellom Melbu ensretter og SI~7 ensretter.
- SI~7 bedøvingssystem holder laksen lenger bedøvet enn Stansas #01
- SI~7 gir kortere retensjonstid før laksen kan legges i sløyemaskin enn Stansas #01.
- Ved utblødning i temperatur under 0, kan all fisk bedøvet med Stansas #01 legges i sløyemaskin etter 20 minutter, mens for SI~7 kan all laks legges i sløyemaskin etter 10 minutter.
- Det er ikke funnet vesentlig forskjell mellom SI~7 og Stansas#01 hva angår filetkvalitet.
- Laks bedøvet i Stansas #01 gir 15-16 % av laksen ryggknekk, i SI~7 er det ikke påvist laks med ryggknekk.

8 Referanseliste

- Ackerman, P. A., Morgan, J. D. & Iwama, G. K. (2005). Anesthetics - Additional information related to the CCAC guidelines on: the care and use of fish in research, teaching and testing. Ottawa: Canadian Council on Animal Care
- Akvakulturdriftsforskriften. (2008). *Forskrift om drift av akvakulturanlegg*.
- Anon. (2008). Creating aquaculture for the future. CREATE annual report 2008. Trondheim: SINTEF - Fiskeri og havbruk AS. 14-15 s.
- Arnold, G. P. (1974). Rheotropism in fishes. *Biological Reviews*, 49: 515-576.
- Asche, F., Guttormsen, A. G. & Tveteras, R. (2008). Aquaculture-Opportunities and Challenges Special Issue Introduction. *Marine Resource Economics*, 23 (4): 395-400.
- Atkins, W. R. G. (1930). Seasonal Changes in the Nitrite Content of Sea-Water. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom (New Series)*, 16 (02): 515-518.
- Berg, T., Erikson, U. & Nordtvedt, T. S. (1997). Rigor mortis assessment of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and effects of stress. *Journal of Food Science*, 62 (3): 439-446.
- Bernier, N. J. & Randall, D. J. (1998). Carbon dioxide anaesthesia in rainbow trout: effects of hypercapnic level and stress on induction and recovery from anaesthetic treatment. *Journal of Fish Biology*, 52 (3): 621-637.
- Bilotta, G. S. & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42 (12): 2849-2861.
- Birkeland, S., Akse, L., Joensen, S., Tobiassen, T. & Skara, T. (2007). Injection-Salting of pre rigor fillets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science*, 72 (1).
- Bjelland, S. I. (1998). *Filetering uten forutgående utblødning: hovedoppgave 1998*. Ås: [S.I. Bjelland]. 52 bl. s.
- Boesgaard, L., Nielsen, M. E. & Rosenkilde, P. (1993). Moderate exercise decreases plasma-cortisol levels in Atlantic salmon (*Salmo Salar*). *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology*, 106 (4): 641-643.
- Bower, C. E. & Bidwell, J. P. (1978). Ionization of ammonia in seawater -Effects of temperature, pH and salinity. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 35 (7): 1012-1016.
- Brett, J. R. & Glass, N. R. (1973). Metabolic rates and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus-Nerka*) in relation to size and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30 (3): 379.
- Bricaud, A., Morel, A. & Prieur, L. (1981). Absorption by dissolved organic-matter of sea (yellow substance) in th UV and viseble domains. *Limnology and Oceanography*, 26 (1): 43-53.
- Burrows, R. E. (1964). Effects of accumulated excretory products on hatchery-reared salmonid. *Fish and Wildlife Service Research Report*,. 1-12 s.
- Casillas, E. & Smith, L. S. (1977). Effect of stress on blood coagulation and haematology in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Fish Biology*, 10 (5): 481-491.
- Cnaani, A., Tinman, S., Avidar, Y., Ron, M. & Hulata, G. (2004). Comparative study of biochemical parameters in response to stress in *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* and two strains of *O. niloticus*. *Aquaculture Research*, 35 (15): 1434-1440.

- Congleton, J. L. & Wagner, E. J. (1988). Effects of Light Intensity on Plasma Cortisol Concentrations in Migrating Smolts of Chinook Salmon and Steelhead Held in Tanks or Raceways and after Passage through Experimental Flumes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117 (4): 385 - 393.
- Cook, J. T., Sutterlin, A. M. & McNiven, M. A. (2000). Effect of food deprivation on oxygen consumption and body composition of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 188 (1-2): 47-63.
- Cordone, A. J. & Kelley, D. W. (1961). The influences of inorganic sediment on the aquatic life of streams. *California Fish and Game*, 47 (2): 189-223.
- Crompton, T. R. (2006). *Analysis of Seawater - A guide for the Analytical and Environmental Chemist*. Angelsey, Gwynedd, UK: Springer. 510 s.
- Cuthbert, I. D. & Delgiorgio, P. (1992). Towards a standard method of measuring color in freshwater. *Limnology and Oceanography*, 37 (6): 1319-1326.
- Danley, M. L., Kenney, P. B., Mazik, P. M., Kiser, R. & Hankins, J. A. (2005). Effects of carbon dioxide exposure on intensively cultured rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: Physiological responses and fillet attributes. *Journal of the World Aquaculture Society*, 36 (3): 249-261.
- Davidson, J., Svenning, M. A., Orell, P., Yoccoz, N., Dempson, J. B., Niemela, E., Klemetsen, A., Lamberg, A. & Erkinaro, J. (2005). Spatial and temporal migration of wild Atlantic salmon smolts determined from a video camera array in the sub-Arctic River Tana. *Fisheries Research*, 74 (1-3): 210-222.
- DOE. (1994). *Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water*: . 2 utg., b. 74. Tennessee, USA: ORNL/CDIAC.
- EFSA. (2004). *Welfare aspects of animal stunning and killing methods. Scientific Report 2004*: The EFSA Journal, European Food Safety Authority. Tilgjengelig fra: http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/opinion_ahaw_02_ej45_stunning_report_v2_en1.1.pdf (lest 13.01.2011).
- EFSA. (2009). Scientific opinion of the panel on animal health and welfare on a request from the European Commission on species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed Atlantic Salmon. *The EFSA Journal, European Food Safety Authority*, 1012: 1-77.
- Einen, O. & Thomassen, M. S. (1998). Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets. *Aquaculture*, 169 (1-2): 37-53.
- 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 (1-2): 85-104.
- Elmahdy, A. M., Mirnezami, M. & Finch, J. A. (2008). Zeta potential of air bubbles in presence of frothers. *International Journal of Mineral Processing*, 89 (1-4): 40-43.
- Erikson, U. (2001). Rigor Measurements. I: Kestin, S. & Warriss, P. D. (red.) *Farmed Fish Quality*, s. 283-297. London: Blackwell Science Ltd.
- Erikson, U., Hultmann, L. & Erik Steen, J. (2006). Live chilling of Atlantic salmon (*Salmo salar*) combined with mild carbon dioxide anaesthesia: I. Establishing a method for large-scale processing of farmed fish. *Aquaculture*, 252 (2-4): 183-198.

- Erikson, U. (2008). Live chilling and carbon dioxide sedation at slaughter of Farmed Atlantic Salmon: A description of a Number of Commercial Case Studies. *Journal of Applied Aquaculture*, 20 (1): 38-61.
- Erikson, U. & Misimi, E. (2008). Atlantic salmon skin and fillet color changes effected by perimortem handling stress, rigor mortis, and ice storage. *Journal of Food Science*, 73 (2): C50-C59.
- Espe, M., Berge, G. E. & Lied, E. (2001). Protein og Aminosyrer. I: Waagbø, R., Espe, M., Hamre, K. & Lie, Ø. (red.) *Fiskeernæring*. Bergen: Kystnæringen Forlag & Bokklubb AS.
- FAO - *State of world fisheries and aquaculture*. (2010). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tilgjengelig fra: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e00.htm> (lest 2.5.2011).
- Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond - *Moderne slaktning av laks*. (2009). I: Prytz, K. (red.). Oslo: Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond, FHF. Tilgjengelig fra: http://www.fhl.no/getfile.php/DOKUMENTER/FHL_slaktebrosjyre_A5.PDF.
- Fiskeridirektoratet - *Matfiskproduksjon (Laks, Regnbueørret og ørret)*. (2010). Oslo. Tilgjengelig fra: <http://www.fiskeridir.no/statistikk/akvakultur/statistikk-for-akvakultur/laks-regnbueoerret-og-oerret> (lest 2.5.2011).
- Fivelstad, S., Schwarz, J., Strømsnes, H. & Olsen, A. B. (1995). Sublethal effects and safe levels of ammonia in seawater for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.). *Aquacultural Engineering*, 14 (3): 271-280.
- Fivelstad, S., Haavik, H., Løvik, G. & Olsen, A. B. (1998). Sublethal effects and safe levels of carbon dioxide in seawater for Atlantic salmon postsmolts (*Salmo salar* L.): ion regulation and growth. *Aquaculture*, 160 (3-4): 305-316.
- Fjæra, S. O. (2011). *Intervju med Svein Olav Fjæra ved Bremnes Seashore AS*. Bømlo (2.2.2011).
- 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.
- Forskrift om slakteri mv. for akvakulturdyr. (2006). *Forskrift om slakterier og tilvirkningsanlegg for akvakulturdyr*.
- Gallaugh, P. E., Thorarensen, H., Kiessling, A. & Farrell, A. P. (2001). Effects of high intensity exercise training on cardiovascular function, oxygen uptake, internal oxygen transport and osmotic balance in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) during critical speed swimming. *Journal of Experimental Biology*, 204 (16): 2861-2872.
- Glass, C. W., Wardle, C. S. & Mojsiewicz, W. R. (1986). A light intensity threshold for schooling in the Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*. *Journal of Fish Biology*, 29: 71-81.
- Grasshoff, K., Kremling, K., Ehrhardt, M. & Anderson, L. G. (1999). *Methods of seawater analysis*. Weinheim: Wiley-VCH. XXXII, 600 s. s.
- Gregory, N. G. & Wilkins, L. J. (1989). Effect of slaughter method on bleeding efficiency in chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 47 (1): 13-20.

- Grøttum, J. A. & Sigholt, T. (1998). A model for oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) based on measurements of individual fish in a tunnel respirometer. *Aquacultural Engineering*, 17 (4): 241-251.
- Hansen, L. P. & Jonsson, B. (1985). Downstream migration of hatchery-reared smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Imsa, Norway. *Aquaculture*, 45 (1-4): 237-248.
- Harden Jones, F. R. (1968). *Fish Migration*. New York: St. Martin's Press.
- Haro, A., Odeh, M., Noreika, J. & Castro-Santos, T. (1998). Effect of Water Acceleration on Downstream Migratory Behavior and Passage of Atlantic Salmon Smolts and Juvenile American Shad at Surface Bypasses. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127 (1): 118 - 127.
- Hazen, A. (1892). A new color-standard for natural waters. *American Chemical Journal*, 14: 300-310.
- He, P. & Inoue, Y. (2010). Large-scale Fish Traps: Gear Design, Fish Behavior, and Conservation Challenges. I: He, P. (red.) *Behavior of Marine Fishes*, s. 171. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd.
- Hjeltnes, B., Erikson, U., Mejdell, C. M., Olsen, R. E., Slinde, E. & Waagbø, R. (2010). Risikovurdering knyttet til bruk av gass, slag mot hode og strøm til bedøvning av fisk, uttalelse fra Faggruppe for dyrehelse og dyrevelferd i Vitenskapskomiteen for mattrygghet, 2010:09/810: Vitenskapskomiteen for mattrygghet (VKM). 21 s.
- Hongve, D. & Akesson, G. (1996). Spectrophotometric determination of water colour in Hazen units. *Water Research*, 30 (11): 2771-2775.
- Huse, I. & Holm, J. C. (1993). Vertical distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as a function of illumination. *Journal of Fish Biology*, 43: 147-156.
- 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 (1-4): 373-382.
- Iwama, G. K. & Ackerman, P. A. (red.). (1994). *Anaesthetics*. Biochemistry and Molecular Biology of Fishes, b. 3: Elsevier Science. 1-15 s.
- Jobling, M. (1994). *Fish Bioenergetics*. London: Chapman & Hall.
- Johansen, S., Rustad, T., Erikson, U. & Nordtvedt, T. S. (1996, 20-22 Mar). *Effect of pre-packing temperatures in Atlantic salmon quality*. Science et Technique du Froid, Bordeaux, France, s. 189-197: IIFParis.
- 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 (1-4): 269-282.
- Kestin, S., Wotton, S. B. & Adams, S. (1995). The effect of CO₂, concussion or electrical stunning of rainbow trout on fish welfare. I: Scheire, K., Apselagh, L. & Jonkeere, H. (red.) *Quality in Aquaculture*, s. 380-381. Gent, Belgia: European Aquaculture Society (Sitert etter Robb & Roth 2003).
- Kestin, S. C., Wotton, S. B. & Gregory, N. G. (1991). Effect of slaughter by removal from water on visual evoked activity in the brain and reflex movement of rainbow-trout (*Onchorhynchus-Mykiss*). *Veterinary Record*, 128 (19): 443-446.

- 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.
- Khoo, K. H., Culberson, C. H. & Bates, R. G. (1977). Thermodynamics of dissociation of ammonium ion in seawater from 5 to 40 degrees celcius. *Journal of Solution Chemistry*, 6 (4): 281-290.
- Kjølås, F. H. (2011). *Forsøk ved Sekingstad slakteri 8.3.2011* (e-post til Martin Harsvik 29.4.2011).
- 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 (4): 837-842.
- Knowles, T. G., Brown, S. N., Warriss, P. D., Lines, J., Tinarwo, A. & Sendon, M. (2008). Effect of electrical stunning at slaughter on the quality of farmed turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture Research*, 39 (16): 1731-1738.
- Koike, T. & Matsuike, K. (1987). Response of fish school to different blinking frequencies and intensity ratios of intermittent light. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 56 (6): 925 - 932.
- Kvamme, B. O., Oppedal, F., Torgersen, T., Fridell, F., Sundh, H. & Sundell, K. S. (2008). Oksygenivået viktig for oppdrettsfisken sin helse og velferd: Havforskningsinstituttet.
- Lambooj, E., Grimsbø, E., de Vis, J. W. v., Reimert, H. G. M., Nortvedt, R. & Roth, B. (2010). Percussion and electrical stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) after dewatering and subsequent effect on brain and heart activities. *Aquaculture*, 300 (1-4): 107-112.
- Lavety, J., Afolabi, O. A. & Love, R. M. (1988). The connective tissues of fish. Gaping in farmed species. *International Journal of Food Science and Technology*, 23 (1): 23-30.
- 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 (18): 3239.
- Lekang, O.-I. & Fjæra, S. O. (1995). Effect of light condition on voluntary fish transport. *Aquacultural Engineering*, 14 (1): 101-106.
- Lekang, O.-I. & Fjæra, S. O. (1997). *Teknologi for akvakultur*. [Oslo]: Landbruksforlaget. 419 s.
- Lekang, O.-I. (2007). *Aquaculture Engineering*: Blackwell Publishing Ltd. 340 s.
- Lloyd, R. & Orr, L. D. (1969). Diuretic response by rainbow trout to sub-lethal concentrations of ammonia. *Water Research*, 3 (5): 335.
- Mazur, C. F. & Iwama, G. K. (1993). Handling and Crowding Stress Reduces Number of Plaque-Forming Cells in Atlantic Salmon. *Journal of Aquatic Animal Health*, 5 (2): 98 - 101.
- Mejdell, C., Midling, K., Erikson, U., Slinde, E. & Evensen, T. (2009, 4 mars). *Slaktebedøving av salmonider en vurdering av nye metoder i Norge - dyrevelferd og kvalitet*. Slaktesystemer i laksenæringa, Gardermoen, s. 86.
- Mejdell, C. M., Stenevik, I. H., Erikson, U., Akse, L., Midling, K. Ø. & Robertsen, R. (2006). Rapport - behandling av laks - viktige momenter relatert til slakting og Pre Rigor produksjon. Oslo, Norge: Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond.

- Mejdell, C. M., Midling, K. Ø., Erikson, U., Evensen, T. H. & Slinde, E. (2008). Slaktesystemer for laksefisk i 2008 - fiskevelferd og kvalitet. *Veterinærinstituttets rapportserie*, 2009:01. Oslo: Veterinærinstituttet. 70 s.
- Mejdell, C. M. & Gismervik, K. (2009). Dokumentasjon av metode for retningsorientering av laksefisk før slaktebedøvning. *Veterinærinstituttets rapportserie*, 2009:15. Oslo: Veterinærinstituttet. 12 s.
- Merknad til akvakulturdriftsforskriften. (2005). *Merknader til Forskrift 22. desember 2004 nr. 1785 om drift av akvakulturanlegg*. I: Fiskeri og- kystdepartementet (red.). Tilgjengelig fra: <http://fiskeridir.no/akvakultur/akvakulturregelverk/merknader-til-forskrift-22.-desember-2004-nr.-1785-om-drift-av-akvakulturanlegg-akvakulturdriftsforskriften> (lest 05.03.2011).
- Midling, K. Ø., Akse, L., Mejdell, C. M., Tobiassen, T., Sæther, B.-S. & Aas, K. (2007). Evaluering av elektrisk bedøvelse til oppdrettsfisk. *Industriell norm for etisk slakting og pre-rigor bearbeiding*. Tromsø: Norsk institutt for fiskeri- og havbruksforskning AS. 46 s.
- Midling, K. Ø., Mejdell, C. M., Olsen, S. H., Tobiassen, T., Aas-Hansen, Ø., Aas, K., Harris, S., Oppedal, K. & Femsteinevik, Å. (2008). Slakting av oppdrettslaks på båt, direkte fra oppdrettsmerd, 6/2008. Tromsø, Norge: Nofima. 1-59 s.
- Miles, H. M., Loehner, S. M., Michaud, D. T. & Salivar, S. L. (1974). Physiological responses of hatchery reared muskellunge (*Esox-Masquingy*) to handling. *Transactions of the American Fisheries Society*, 103 (2): 336-342.
- Milligan, C. L., Hooke, G. B. & Johnson, C. (2000). Sustained swimming at low velocity following a bout of exhaustive exercise enhances metabolic recovery in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology*, 203 (5): 921-926.
- Mittal, A. K. & Whitear, M. (1978). A note on cold anaesthesia of poikilotherms. *Journal of Fish Biology*, 13 (4): 519-520.
- Moksness, E., Kjørsvik, E. & Olsen, Y. (2004). *Culture of cold-water marine fish*. Oxford: Fishing News Books. 528 s.
- Molvær, J. (1997). *Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann*. Oslo: Norsk institutt for vannforskning.
- Morkore, T., Mazo, P. I., Tahirovic, V. & Einen, O. (2008). Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmon salar* L). *Aquaculture*, 277 (3-4): 231-238.
- NIVA. (1983). 'NIVA Refbla', nr.1 1983 og 2, 1984. Oslo, Norway: Norsk Insitutt for Vannforskning.
- NIVA. (2008). *Bestemmelse av fritt CO2*: Norsk Instisutt for Vannforskning.
- Noga, E. J. (2000). Skin ulcers in fish: Pfiesteria and other etiologies. *Toxicologic Pathology*, 28 (6): 807-823.
- Norsk Standard. (1975). *Bestemmelse av jern - fotometrisk metode*, NS 4741.
- Norsk Standard. (2002). *Vannundersøkelse - Bestemmelse av farge - Metode for spektrofotometrisk måling av absorbans ved 410 nm*, NS 4787.
- Norsk Standard. (2005). *Vannundersøkelse - Bestemmelse av suspendert stoff - Metode med filtrering gjennom glassfiberfiltre*, NS-EN 872.

- Næringsmiddelhygieneforskriften. (2009). *Forskrift om næringsmiddelhygiene (næringsmiddelhygieneforskriften)*.
- Olsen, S. H., Sorensen, N. K., Stormo, S. K. & Elvevoll, E. O. (2006). Effect of slaughter methods on blood spotting and residual blood in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 258 (1-4): 462-469.
- Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L. H. (2011). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture*, 311 (1-4): 1-18.
- Orr, A. P. (1926). The Nitrite Content of Sea-Water. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom (New Series)*, 14 (01): 55-61.
- Pitcher, T. J. (1993). Behaviour of theleost fishes, role of vision in fish behaviour.
- Portz, D., Woodley, C. & Cech, J. (2006). Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 16 (2): 125-170.
- Raj, A. B. M. & Johnson, S. P. (1997). Effect of the method of killing, interval between killing and neck cutting and blood vessels cut on blood loss in broilers. *British Poultry Science*, 38 (2): 190-194.
- Raj, A. B. M., Wilkins, L. J., O'Callaghan, M. & Phillips, A. J. (2001). Effect of electrical stun/kill method, interval between killing and neck cutting and blood vessels cut on blood loss and meat quality in broilers. *British Poultry Science*, 42 (1): 51-56.
- Reiso, M. (2006). *Pre slaughter treatment of Atlantic salmon (Salmo salar)*. Ås: [M. Reiso]. [ca 50] bl. s.
- Robb, D. (2001). The relationship between killing methods and quality. I: Kestin, S. & Warriss, P. D. (red.) *Farmed Fish Quality*, s. 220-233. London: Blackwell Science Ltd.
- Robb, D. H. F., Wotton, S. B., McKinstry, J. L., Sørensen, K. N. & Kestin, S. C. (2000). Commercial slaughter methods used on Atlantic salmon: determination of the onset of brain failure by electroencephalography. *Veterinary Record*, 147: 298 -303.
- Robb, D. H. F. & Roth, B. (2003). Brain activity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) following electrical stunning using various field strengths and pulse durations. *Aquaculture*, 216 (1-4): 363-369.
- Robertson, M. J., Scruton, D. A. & Clarke, K. D. (2007). Seasonal Effects of Suspended Sediment on the Behavior of Juvenile Atlantic Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 136 (3): 822 - 828.
- Rosseland, B. O. (1999). Vannkvalitetens betydning for fiskehelsen. I: Poppe, T. (red.) *Fiskehelse og fiskesykdommer*, s. 240-252: Universitetsforlaget AS.
- Rosten, T., Åtland, Å., Rosseland, B. O., Kristensen, T. & Braaten, B. (2004). Vannkvalitet og dyrevelferd - Utredning for Mattilsynet: Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).
- Roth, B., Moeller, D., Veland, J. O., Imsland, A. & Slinde, E. (2002). The effect of stunning methods on rigor mortis and texture properties of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science*, 67 (4): 1462-1466.
- Roth, B. (2003). *Electrical stunning of Atlantic salmon (Salmo salar)*. Bergen: Department of Fisheries and Marine Biology, University of Bergen.
- Roth, B., Moeller, D. & Slinde, E. (2004). Ability of electric field strength, frequency, and current duration to stun farmed Atlantic salmon and pollock and relations to observed

- injuries using sinusoidal and square wave alternating current. *North American Journal of Aquaculture*, 66 (3): 208-216.
- Roth, B., Torrissen, O. J. & Slinde, E. (2005). The effect of slaughtering procedures on blood spotting in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 250 (3-4): 796-803.
- Roth, B., Slinde, E. & Robb, D. H. F. (2006). Field evaluation of live chilling with CO₂ on stunning Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the subsequent effect on quality. *Aquaculture Research*, 37 (8): 799-804.
- Roth, B., Imsland, A., Gunnarsson, S., Foss, A. & Schelvis-Smit, R. (2007a). Slaughter quality and rigor contraction in fanned turbot (*Scophthalmus maximus*); a comparison between different stunning methods. *Aquaculture*, 272 (1-4): 754-761.
- Roth, B., Slinde, E. & Robb, D. H. F. (2007b). Percussive stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the relation between force and stunning. *Aquacultural Engineering*, 36 (2): 192-197.
- Roth, B., Birkeland, S. & Oyarzun, F. (2009a). Stunning, pre slaughter and filleting conditions of Atlantic salmon and subsequent effect on flesh quality on fresh and smoked fillets. *Aquaculture*, 289 (3-4): 350-356.
- Roth, B., Obach, A., Hunter, D., Nortvedt, R. & Oyarzun, F. (2009b). Factors affecting residual blood and subsequent effect on bloodspotting in smoked Atlantic salmon fillets. *Aquaculture*, 297 (1-4): 163-168.
- Roth, B., Grimsbo, E., Slinde, E., Foss, A., Stien, L. H. & Nortvedt, R. (2010a). *Crowding, pumping and stunning of Atlantic salmon, the subsequent effect on pH and rigor mortis*. Stavanger: Nofima Norconserv. Upublisert manuskript.
- Roth, B., Nortvedt, R., Slinde, E., Foss, A., Grimsbo, E. & Stien, L. H. (2010b). Electrical stimulation of Atlantic salmon muscle and the effect on flesh quality. *Aquaculture*, 301 (1-4): 85-90.
- Rotllant, J. & Tort, L. (1997). Cortisol and glucose responses after acute stress by net handling in the sparid red porgy previously subjected to crowding stress. *Journal of Fish Biology*, 51 (1): 21-28.
- Rådgivende Biologer. (2005). Miljøundersøkelser i sjøområdene, 859. Bergen.
- Saunders, R. L. (1986). *Influence of temperature on salmon culture with particular reference to constraints imposed by low temperature (Salmo salar)*. The thermal biology of Atlantic salmon, b. 63. Drottningholm (Sverige): Institute of Freshwater Research.
- Skjervold, P. O., Fjaera, S. O. & Christoffersen, K. (1996, 20-22 Mar). *Pre-Mortal Chilling of Farmed Salmon (salmo salar)*. Science et Technique du Froid, Bordeaux, s. 167-173: IIFParis.
- Skjervold, P. O., Fjaera, S. O. & Ostby, P. B. (1999). Rigor in Atlantic salmon as affected by crowding stress prior to chilling before slaughter. *Aquaculture*, 175 (1-2): 93-101.
- Skjervold, P. O., Fjaera, S. O., Ostby, P. B. & Einen, O. (2001a). Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 192 (2-4): 265-280.
- Skjervold, P. O., Rora, A. M. B., Fjaera, S. O., Vegusdal, A., Vorre, A. & Einen, O. (2001b). Effects of pre-, in-, or post-rigor filleting of live chilled Atlantic salmon. *Aquaculture*, 194 (3-4): 315-326.

- Skjervold, P. O., Fjæra, S. O. & Snipen, L. (2002). Predicting live-chilling dynamics of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 209 (1-4): 185-195.
- Skuladottir, G. V., Schioth, H. B., Gudmundsdottir, E., Richards, B., Gardarsson, F. & Jonsson, L. (1990). Fatty-acid composition of muscle, heart and liver lipids in Atlantic salmon, *Salmo salar*, at extremely low environmental-temperature. *Aquaculture*, 84 (1): 71-80.
- Smart, G. R. (1978). Investigations of the toxic mechanisms of ammonia to fish-gas exchange in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) exposed to acutely lethal concentrations. *Journal of Fish Biology*, 12 (1): 93-104.
- Specker, J. L. & Schreck, C. B. (1980). Stress responses to transportation and fitness for marine survival in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37 (5): 765-769.
- Spigarelli, S. A., Thommes, M. M. & Beitinger, T. L. (1977). The influence of body weight on heating and cooling of selected Lake Michigan fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 56 (1): 51-57.
- Stefansson, S. (2007). Fysiologiske egenskaper ved rogn, yngel og smolt. I: Bjerknes, V. (red.) *Vannkvalitet og smoltproduksjon*, s. 94 - 123. Trondheim: Juul Forlag.
- Stevens, E. & Sutterlin, A. (1976). Heat transfer between fish and ambient water. *J Exp Biol*, 65 (1): 131-145.
- Summerfelt, S. T., Vinci, B. J. & Piedrahita, R. H. (2000). Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural Engineering*, 22 (1-2): 87-108.
- Thorarensen, H. & Farrell, A. P. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312 (1-4): 1-14.
- Treasurer, J., W., & Grant, A. (1997). The efficacy of hydrogen peroxide for the treatment of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. infested with sea lice (Copepoda: Caligidae). *Aquaculture*, 148 (4): 265-275.
- Utheim, S. (2011). *SI-7 stun/bleed* (e-post til Martin Harsvik 29.4.2011).
- V-Balogh, K., Nemeth, B. & Voros, L. (2009). Specific attenuation coefficients of optically active substances and their contribution to the underwater ultraviolet and visible light climate in shallow lakes and ponds. *Hydrobiologia*, 632 (1): 91-105.
- Warriss, P. D. & Wotton, S. B. (1981). Effect of cardiac-arrest on exsanguination in pigs. *Research in Veterinary Science*, 31 (1): 82-86.
- Wedemeyer, G. A. (1996a). *Physiology of Fish in intensive Culture Systems*. New York: Chapman and hall.
- Wedemeyer, G. A. (1996b). *Physiology of fish in intensive culture systems*. New York: Chapman & Hall. XVI, 232 s. s.
- Wedemeyer, G. A. (1997a). Effects of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. *Fish Stress and Health in Aquaculture*: 33-71.
- Wedemeyer, G. A. (1997b). *Effects of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture*. Iwama, G. K., Pickering, A.D, Sumpter, J.P, Schreck, C.B. (red.). *Fish Stress and Health in Aquaculture*. Cambridge University Press. 33-71 s.
- Whitfield, M. (1978). Hydrolysis of ammonium-ions in sea water experimental confirmation of predicted constraints at one atmosphere pressure. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 58 (3): 781-786.

Evaluering av slaktesystemer for Atlantisk laks (*Salmo salar* L.)

Økland, J. & Økland, K. A. (2006). *Kjemi, fysikk og miljø*. Vann og vassdrag, b. 3. Stabekk: Vett & viten. 204 s. s.

9 Vedlegg

Vedlegg 1. Målinger av vannkvalitet i kjølekar i punkt A, gjennomført ved slakteriet

Målepunkt	A				
	Temperatur (°C)	Oksygen (mg l ⁻¹)	Oksygen (%)	Konduktivitet (mS cm ⁻¹)	pH
Tidspunkt					
05:00	2,8	10,80	101,00	36,60	7,87
06:00	0,9	12,30	108,00		
07:00	0,7	9,60	84,00		
08:00	1	6,20	55,00	37,10	7,03
09:00	0,9	6,90	61,00		
10:00	1	12,20	108,00		
11:00	0,9	7,80	69,00	40,00	7,02
12:00	1,1	17,00	149,00		
13:00	1	10,60	92,00		
14:00	1,1	9,10	79,00	40,40	7,25
15:00	1,4	5,40	48,00		
15:30	0,7	8,40	95,00	41,10	7,2

Vedlegg 2. Målinger av vannkvalitet i kjølekar i punkt B, gjennomført ved slakteriet

Målepunkt	B				
	Temperatur (°C)	Oksygen (mg l ⁻¹)	Oksygen (%)	Konduktivitet (mS cm ⁻¹)	pH
Tidspunkt					
05:00	2,8	14,10	129,00	36,70	7,84
06:00	0,8	12,70	112,00		
07:00	0,5	10,40	92,00		
08:00	0,6	7,10	62,00	38,60	6,97
09:00	0,6	18,00	156,00		
10:00	0,8	12,00	105,00		
11:00	0,7	7,80	68,00	40,40	6,99
12:00	0,9	16,30	143,00		
13:00	0,9	11,30	98,00		
14:00	0,9	8,60	76,00	40,00	7,33
15:00	0,8	6,70	59,00		
15:30	0,6	9,30	80,00	41,60	7,15

Vedlegg 3. Målinger av vannkvalitet i kjølekar i punkt C, gjennomført ved slakteriet

Målepunkt	C				
	Temperatur (°C)	Oksygen (mg l ⁻¹)	Oksygen (%)	Konduktivitet (mS cm ⁻¹)	pH
Tidspunkt					
05:00	2,8	18,20	168,00	36,60	7,85
06:00	1,3	12,50	111,00		
07:00	0,4	10,30	94,00		
08:00	0,4	7,10	62,00	38,70	7,05
09:00	1	22,40	197,00		
10:00	1,1	13,00	113,00		
11:00	0,1	8,20	71,00	40,10	7,03
12:00	0,6	15,30	134,00		
13:00	1,2	11,40	102,00		
14:00	0,7	9,60	83,00	39,60	7,2
15:00	0,6	7,60	66,00		
15:30	0,6	9,50	82,00	41,60	7,24

Vedlegg 4. Målinger av vannkvalitet i kjølekar i punkt A, gjennomført ved UMB

Målepunkt	A									
	NO ₂ -N (µg l ⁻¹)		Jern (mg l ⁻¹)		Farge (m ⁻¹)		TAN (mg l ⁻¹)		SS (mg l ⁻¹)	
Tidspunkt	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2
05:00	0,07	<0,02	<0,00	<0,00	<0,5	<0,5	0,32	0,35	12,36	17,64
06:00										
07:00										
08:00	0,04	<0,02	0,05	0,08	0,8	0,6	0,53	0,76	27,69	18,47
09:00										
10:00										
11:00	0,13	<0,02	0,11	0,10	1,5	1,7	1,20	1,21	55,30	68,22
12:00										
13:00										
14:00	0,09	0,02	0,10	0,1	1,2	1,5	1,12	0,97	103,8	108,96
15:00										
15:30	0,04	<0,02	0,11	0,09	1,4	1,6	1,19	0,95	95,03	104,97

Vedlegg 5. Målinger av vannkvalitet i kjølekar i punkt B, gjennomført ved UMB

Målepunkt	B							
	NO ₂ -N (µg l ⁻¹)		Jern (mg l ⁻¹)		Farge (m ⁻¹)		TAN (mg l ⁻¹)	
Tidspunkt	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2
05:00	<0,00	<0,00	<0,5	<0,5	0,29	0,28	0,03	0,04
06:00								
07:00								
08:00	0,05	0,05	1,10	0,90	0,69	0,94	0,02	0,02
09:00								
10:00								
11:00	0,11	0,11	1,90	1,60	1,2	1,13	<0,02	<0,02
12:00								
13:00								
14:00	0,10	0,1	1,20	1,40	1,39	1,16	0,02	0,03
15:00								
15:30	0,09	0,09	1,70	1,60	1,08	1,33	0,03	0,04

Vedlegg 6. Målinger av vannkvalitet i kjølekar i punkt C, gjennomført ved UMB

Målepunkt	C							
	NO ₂ -N (µg l ⁻¹)		Jern (mg l ⁻¹)		Farge (m ⁻¹)		TAN (mg l ⁻¹)	
Tidspunkt	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2
05:00	<0,00	<0,00	<0,5	<0,5	0,35	0,3	0,04	0,02
06:00								
07:00								
08:00	0,05	0,05	0,80	0,70	0,89	0,85	0,03	<0,02
09:00								
10:00								
11:00	0,10	0,1	1,80	1,60	1,11	0,98	<0,02	0,02
12:00								
13:00								
14:00	0,09	0,09	1,30	1,40	1,31	1,39	0,03	0,04
15:00								
15:30	0,09	0,07	1,20	1,40	1,14	1,38	0,03	0,03

Vedlegg 7. Målinger av vannkvalitet i ensretter ved slakteri 1

Målested	Slakteri 1						
	Temperatur (°C)	Oksygen (mg l ⁻¹)	Oksygen (%)	pH	TAN	NO ₂	SS
Tidspunkt							
08:00	3,4	10,80	90,15	7,97	<0,05	<0,02	12,5
08:00	3,3	9,50	89,00	7,97	<0,05	<0,02	
08:00	3,2	9,60	89,00	8,1	<0,05	<0,02	
11:00	4,1	10,20	100,00	8,23	<0,05	<0,02	11
11:00	4	11,00	98,10	8,07	<0,05	<0,02	
11:00	3,9	10,40	93,00	8	<0,05	<0,02	
14:00	3,7	10,60	99,00	8,1	<0,05	<0,02	12,2
14:00	3,6	10,60	99,00	8,15	<0,05	<0,02	
14:00	3,6	10,60	99,00	8,12	<0,05	<0,02	

Vedlegg 8. Målinger av vannkvalitet i ensretter ved slakteri 2

Målested	Slakteri 2						
	Temperatur (°C)	Oksygen (mg l ⁻¹)	Oksygen (%)	pH	TAN	NO ₂	SS
Tidspunkt							
08:00	5,8	10,10	99,00	7,79	0,1	0,04	13
08:00	5,4	9,90	98,00	7,79	0,14	0,04	
08:00	5,5	9,90	98,00	7,77	0,1	0,04	
11:00	5,4	10,00	98,00	7,78	0,17	0,04	14
11:00	5,3	10,00	98,00	7,81	0,1	0,04	
11:00	5,4	10,00	99,50	7,8	0,12	0,04	
14:00	5,4	10,10	100,00	7,8	0,14	0,04	15
14:00	5,4	10,10	98,00	7,8	0,12	0,04	
14:00	5,4	10,00	98,00	7,7	0,12	0,04	

Vedlegg 9. Eksempel på omregning av fargeverdier

Tabellen viser en kopi av regneark i Microsoft Excel, formler er vist i celle B9 og B17.

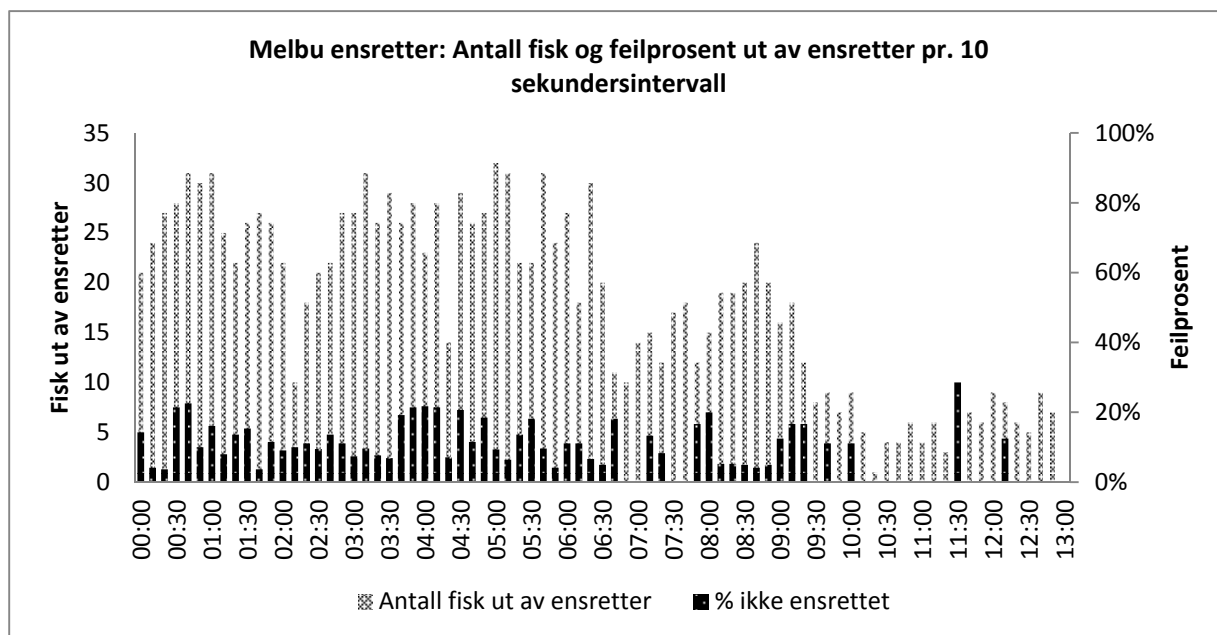
	A	B	C
1	$g\lambda = g\lambda_0 * e^{-S*(\lambda-\lambda_0)}$		ligning (3)
2			
3	$g\lambda_0$	0,7	Absorpsjonskoeffisient ved bølgelengde λ_0 435 (verdien funnet ved måling)
4	λ_0	435	Bølgelengden det ble målt på
5	λ	450	Bølgelengden det ønskes å få målingen på
6	S	0,014	Konstant, se beskrivelse i tekst
7	$g\lambda$	0,57	Absorpsjonskoeffisient ved bølgelengde 450nm, funnet ved bruk av ligning (3)
8			
9	$g\lambda$	=B3*(e ^[-B6*(B5-B4)])	
10			
11	Colour λ (mg Pt l ⁻¹) = 18,216*g λ - 0,209		ligning (4)
12			
13	$g\lambda$	0,57	er svaret fra ligning (3)
14			
15	Colour λ (mg Pt l ⁻¹)	10,13	mg Pt l ⁻¹
16			
17	Colour λ (mg Pt l ⁻¹)	=(18,216*B13)-0,209	

Vedlegg 10. Eksempel på beregning av andel NH₃ i TAN

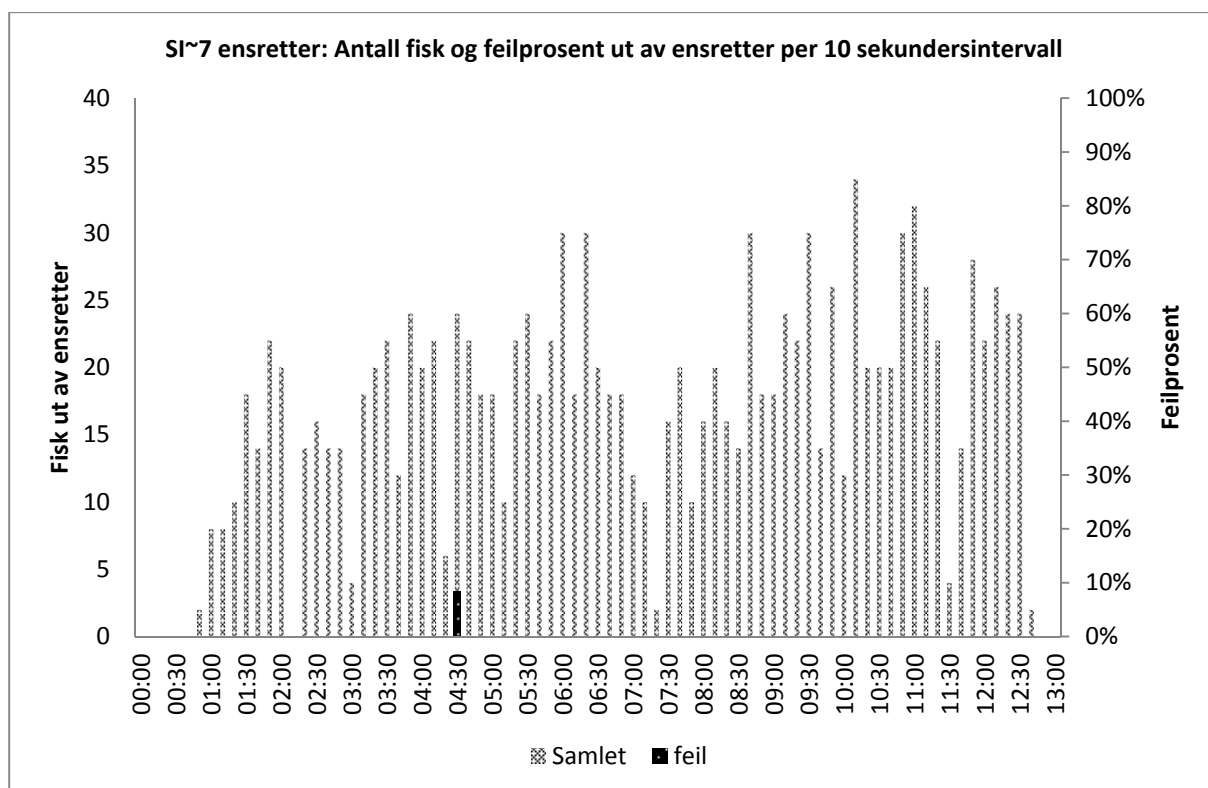
Tabellen viser en kopi av regneark i Microsoft Excel, formler er vist i celle A7 og A20.

	A	B	C	
1	$pK_a(T) = pK_a + 0,0324 * (298 - T^{\circ}K)$	ligning (6)		
2				
3	pK _a	9,512	Konstant, se beskrivelse i tekst	
4	T [°] K	293,15	Temperatur i samme prøve i Kelvin	
5	pK _a (T)	9,66914		
6				
7	pK _a (T)	=A3+0,0324*(298-A4)		
$NH_3 = TAN \frac{100}{1 + \text{antilog}\{[pK_a(T)] - pH\}}$			ligning (5)	
11				
12	pK _a (T)	9,66914	Svaret i ligning (6)	
13	pH	7,87	pH i samme prøve	
14	TAN	0,335	Verdien funnet ved måling	
15	antilog	logaritmen, blir brukt som 10 [^] i ligningen		
16				
17	NH ₃	0,005	mg l ⁻¹	mengde NH ₃ i vannprøven
18	NH ₃	0,005 * 1000 ≈ 5,0	µg l ⁻¹	mengde NH ₃ i vannprøven
19				
20	NH ₃	=A14*(100/(1+(10^(A12-A13))))/100		

Vedlegg 11. Rådata for registrering i Melbu ensretter og SI~7 ensretter



Rådata for tre gjentak samlet i Melbu Ensretter, presentert i 10sekundersintervall. Feilprosenten er oppgitt som prosent feil rettet fisk i det aktuelle 10sekundersintervall.



Rådata for tre gjentak samlet i Melbu Ensretter, presentert i 10sekundersintervall. Feilprosenten er oppgitt som prosent feil rettet fisk i det aktuelle 10sekundersintervall

Vedlegg 12. Rådata for sammenligning mellom SI~7 og Stansas #01

Oppvåkningsforsøk, Stansas #01

	Fisk nr.	Første tegn til oppvåkning		Etter 10 min	temperatur
		Tid, min	Karakter	karakter	
Gjentak 1	1	00:08:00	2	2	3,5 °C
	2	00:08:00	2	2	3,5 °C
	3	00:10:00	1	1	3,5 °C
	4	00:10:00	1	1	3,5 °C
Gjentak 2	5	00:05:00	3	3	3,6 °C
	6	00:05:00	3	3	3,6 °C
	7	00:07:30	2	3	3,6 °C
	8	00:08:30	2	3	3,6 °C
Gjentak 3	9	00:06:30	3	3	3,6 °C
	10	00:07:30	3	3	3,6 °C
	11	00:07:30	2	3	3,6 °C
	12	00:10:30	1	1	3,6 °C

Oppvåkningsforsøk, SI~7

	Fisk nr.	Første tegn til oppvåkning		Etter 10 min	temperatur
		Tid, min	Karakter	karakter	
Gruppe 1	1	00:10:00	1	1	3,8
	2	00:10:00	1	1	3,8
	3	00:10:00	1	1	3,8
	4	00:10:00	1	1	3,8
	5	00:10:00	1	1	3,8

Ulik tid i utblødning, Stansas #01

	EL bedøvning, -1,5 °C			EL bedøvning, 3,5 °C		
	Tid i utblødning før sjekk, minutter			Tid i utblødning før sjekk, minutter		
Fisk nr.:	10	20	30	10	20	30
1	1	1	1	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	0	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
Totalt	4	5	5	4	3	4

Ulik tid i utblødning, SI~7

Slagbedøvning 0,8 °C			Slagbedøvning 3,8 °C		
Tid i utblødning før sjekk, minutter			Tid i utblødning før sjekk, minutter		
10	20	30	10	20	30
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
5	5	5	5	5	5

Rigorkarakter, SI~7

Antall laks med karakter i forhold til tid, SI~7					
Tid	1	2	3	4	5
02:00	5				
02:30	5				
03:00	5				
03:30	5				
04:00	5				
04:30	5				
05:30	5				
06:30	5				
07:30	5				
08:00	5				

Rigorkarakter, Stansas #01

Antall laks med karakter i forhold til tid, EL - bedøvd, gjentak 1					
Tid	Karakter 1	Karakter 2	Karakter 3	Karakter 4	Karakter 5
02:00	2	2	1		
02:30			3	2	
03:00					5
03:30					

Antall laks med karakter i forhold til tid, kontroll, gjentak 1					
Tid	1	2	3	4	5
02:00	5				
02:30	4	1			
03:00	1	1	3		
03:30			3	1	1
04:00					5
04:30					

Antall laks med karakter i forhold til tid, EL – bedøvd, gjentak 2					
Tid	Karakter 1	Karakter 2	Karakter 3	Karakter 4	Karakter 5
02:00		2	3		
02:30			1	1	3
03:00				1	4
03:30					5

Antall laks med karakter i forhold til tid, kontroll, gjentak 2					
Tid	1	2	3	4	5
02:00	3	2			
02:30	2		1		2
03:00		2			3
03:30			2		3
04:00			1	1	3
04:30				1	4

Kvalitet bedømt i filet og ryggbein, SI~7 og Stansas #01

EL bedøving, gjentak 1		EL bedøving, gjentak 2		SI~7	
Rygg	Filet	Rygg	Filet	Rygg	Filet
2	2	2	1	1	3
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	2	1
3	3	2	1	1	3
1	1	1	2	2	1
1	1	1	1	1	2
1	2	3	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	3	1	2	1
2	1	2	1	1	3
3	3	3	1	1	1
1	1	3	1	1	1
1	1	1	1	1	3
1	1	1	1	1	1
1	1	2	1	1	1
1	1	1	1	2	1
3	3	2	1	1	1
1	1	3	1	1	1
2	1	1	2	1	1
1	1	2	1	1	1
1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1
1	1	1	1	2	1
1	1	2	1	1	1
1	1	2	1	2	3
3	3	1	1	1	2
		1	1	1	1
		2	1		
		1	2		
		2	2		