

Rapport

Optimalisering av slakteprosess for laksefisk

Ny teknologi for trenging i ventemerd, bløgging og kjøling

Forfattere

Michael Bantle, SINTEF Energi
Hanne Digre, SINTEF Fiskeri og Havbruk
Torbjørn Tobiassen, NOFIMA

Medforfatter

SINTEF Energi :Tom S. Nordtvedt, Ole Stavset
NOFIMA: Stein H. Olsen, Karsten Heia, Tor H. Evensen, Ragnhild A. Svalheim, Leif Akse, Kjell Midling,
SINTEF Fiskeri og Havbruk: Eirik Svendsen, Helene Katrine Moe, Ulf Erikson



Rapport

Optimalisering av slakteprosess for laksefisk

Ny teknologi for trenging i ventemerd, bløgging og kjøling

EMNEORD:

Trenging
Pumping
Utblødning
Stressbelastning
Kjøling
Modellering

VERSJON

V1

DATO

2015-01-31

FORFATTER(E)

Michael Bantle
Hanne Digre, SINTEF Fiskeri og Havbruk
Torbjørn Tobiassen, NOFIMA

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF, Fiskeri og Havbruksnæringens Forskingsfond

OPPDRAGSGIVERS REF.

901007

PROSJEKTNR

502000749

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

60+ vedlegg

SAMMENDRAG

Prosjektet ble gjennomført som felles arbeid mellom SINTEF Fiskeri- og Havbruk, SINTEF Energi AS og NOFIMA i tett samarbeid med FHF og styringsgruppen.

Optimalisering av slakteprosessen i lakseindustrien er en sammensatt operasjon av trenging, pumping og avliving uten at fisken er utsatt for høy aktivitet- eller stressbelastning og en rask nedkjøling. Anbefalinger for en mer automatisert slakteprosess med kontrollert stressbelastning er utarbeidet med hensyn på forbedret produktkvalitet. Forbedringspotensial av dagens operasjoner, trenging, kjøling og utblødning er evaluert. Det er utarbeidet forslag til videre oppfølging av prosjektet.

UTARBEIDET AV

Michael Bantle

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Tom Ståle Nordtvedt

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Petter E. Røkke

SIGNATUR**RAPPORTNR**

TR A7470

ISBN

978-82-594-3615-3

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
V1	2015-01-30	Oppsummering av delaktivitetene; felles sammendrag rundt utblødning, trenging og kjøling; utarbeidet forslag til oppfølgingsprosjekt

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	9
2	Problemstilling og formål	10
2.1	Målsetting	11
3	Prosjektgjennomføring	12
4	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	13
4.1	Kjøling av laks i slakteanlegg	13
4.1.1	Modellering og verifisering av laksekjøling	14
4.1.1.1	Kjøling av laks i RSW anlegget	14
4.1.1.2	Beskrivelse av modellen	15
4.1.1.3	Verifikasjon av modell gjennom kjøleeksperimenter	16
4.1.2	Hvordan kjøle laks mer effektivt.....	19
4.1.2.1	Effekt av varmeovergang i kjølesystemet.....	19
4.1.2.2	Høyt varmeovergangstall i begynnelsen, redusert mot slutten	19
4.1.2.3	Oppdeling av kjøleprosessen (mellomlagring)	20
4.1.2.4	Tidligere avslutning av kjøleprosessen	21
4.1.2.5	Effekt av temperatur på kjølemedium (RSW).....	22
4.1.2.6	Varierende varmeovergangstall og RSW temperatur	23
4.1.2.7	Sammenligning med levendekjøling.....	23
4.1.3	Sammendrag kjøling av laks	25
4.2	Utblødning av laks.....	26
4.2.1	Materiale og metoder.....	27
4.2.2	Resultater.....	29
4.2.2.1	Kontrollerte småskala forsøk i svømmetunnel og avkastnot	29
4.2.2.2	Muskel og blod parameter	29
4.2.2.3	Bløgging i vann og luft.	33
4.2.2.3	Temperaturens innvirkning på blodets koaguleringssevne	34
4.2.3	Oppsummering utblødning av laks.....	35
4.3	Nye teknologiske konsept for "trenging", og ventemerder.	35
4.3.1	Introduksjon.....	35
4.3.2	<i>State-of-the-art</i> for dagens ventemerder og trengespraksis	36
4.3.3	Basisproblemene for trengesprosessen i ventemerder	37
4.3.4	Dagens trengesprosedyrer	38
4.3.5	Forslag til forbedringer til dagens trengesoperasjon	39
4.3.6	Sensorsystemer	43

4.3.7	Teknologiske konsepter for lukket ventemerde.....	46
4.3.8	Oppsummering trenging av fisk i ventemerde	50
4.4	Resultater fra Workshopen.....	51
4.5	Konklusjon prosessering under trenging og slakting	52
5	Leveranser	54
5.1	Forslag til videreføring av prosjektet	54
5.2	Detaljert oversikt over leveranser i prosjekt	55
6	Referanser.....	56
A	Vedlegg.....	57
A.1	Hvordan kan dagens prosess i din bedrift bli forbedret?	57
A.2	Hvordan skal etter din mening den fremtidige slakteprosess ser ut?	59

Sammendrag (norsk)

I prosjektet er ulike tiltak for forbedring og optimalisering av dagens slakteprosess evaluert. Optimalisering av slakteprosessen er en sammensatt operasjon hvor trenging, pumping og avliving skal foregå uten at fisken blir utsatt for stressbelastning, etterfulgt av en rask nedkjøling.

Prosjektet har identifisert følgende forbedringspotensial i dagens prosess:

1. Et generelt ønske fra industrien er en mer automatisert slakteprosess som er mindre personavhengig. Dette forutsetter en jevn flyt av fisk med mulighet for størrelsessortering og temperaturkontroll gjennom hele prosessen. Dette gir mulighet for optimalisering av utblødnings-/kjøleprosessen. Dette forutsetter at vannsirkulasjonen i tankene er optimale noe industrien har påpekt ikke er tilfelle i dagens utblødning og kjøling. Særlig dødsoner hvor fisketettheten er høy byr på utfordringer.
2. Kontrollert stressbelastning av laks før slakting, ble testet i svømmetunnel. Stress og aktivitet bidrar til redusert koagulerings- og restblod i fileten. Den instrumentelle målingen av blod fungerer meget godt til å påvise restblod i fileten. Temperatur bidrar til endring i koagulerings- og restblod i fileten. Bløggemetoder og utblødning i luft eller vann er mindre viktig for utblødning dersom korrekt bløgging utføres. Temperatur i vann/luft vil kunne påvirke utblødning. Stress i kombinasjon med høy temperatur vil kunne medføre redusert utblødning. Ut fra forsøkene er det anbefalt å stresser fisken minst mulig før slakting og gjennomføre slakting/bløgging nærmest mulig mærdkanten.
3. En dynamisk modell for nedkjøling av laks har blitt utviklet og verifisert. Ulike nedkjølingskonsepter har blitt simulert og diskutert. Resultatene viste at ved seksjonering av kjøleprosessen i forskjellige tanker er det mulig å redusere den effektive kjøletiden ved å utnytte effekten av termisk utjevning. Konseptet rundt mellomlagring under kjøling viste at den aktive kjøletiden kan bli redusert mellom 30% og 40%. Dette resulterer også i en tilsvarende kapasitetsøkning! Effekten av RSW temperatur og varierende varmeovergangstall er gjort tydelig med modellen. Modellen kan brukes for evaluering av kjøleprosesser og for å finne optimale kjølebetingelser tilpasset spesifikke anlegg.
4. Skånsom håndtering av fisken frem til avliving er viktig for å oppnå lengst mulig pre-rigor tid og høy produktkvalitet. Trenging i avkast, og spesielt operasjonen trykk/vakuumpumping inn til slaktelinjen øker stressbelastningen for slaktelaks. Det er et ønske fra industriens side om objektive metoder og/eller sensorer til bruk under trenging, slik at den blir repeterbar og kontrollerbar. Dette kan bidra til en redusert stressbelastning og forbedre fiskevelferd, noe som kan gi mulighet for en jevnere produktflyt i de etterfølgende prosesser. En viktig konklusjon fra møte med industrien i dette prosjektet er at det kan være hensiktsmessig med lukkede vente/trengemerder, sjøbasert eller på land. Dette med tanke på muligheter for kontrollert trenging, mulighet for levendekjøling (som del av kjøleprosessen), samt å redusere smitterisiko. Samtidig kan en lukket trengemerde forbedre utgangssituasjon for flytting av fisken. Ved en gunstig plassering av ventemerde/tank kan en for eksempel utnytte gravitasjon under flytting av fisk. Dette vil gjøre det mulig å flytte bedøvning og avlivningsprosess til merd- / tankkanten. Det er foreslått to konsepter for lukket ventemerde i prosjektet, som inkluderer skyveskott og unngår pumping. Fisken blir skånsomt overført fra lukkede beholdere inn til en avlivningsrigg. Med hensyn til en optimal kjøleprosess bør fisken også bli skånsomt kjølt i levende tilstand gjennom trenging. Levendekjøling er stort sett faset ut i de siste årene, men Mattilsynet har åpnet for bruk av levendekjøling igjen, så lenge fiskens velferd er ivarettatt. I og med at levendekjøling i praksis innebærer resirkulering av RSW, vil avfallsstoffer fra fisken etterhvert akkumulere i tanken. Spesielt må en ta hensyn til forhøyede nivå av karbondioksid og muligens også TOC (total organisk karbon) som blant annet består av slim fra fisken. Forhøyet nivå av CO₂ medfører som kjent at fisken reagerer spontant med en voldsom

stressreaksjon og høyt nivå av TOC kan medføre respirasjonsproblemer og kan også føre til skumdannelse i karet. Dersom lukkende systemer (kar) skal anvendes, spesielt ved høye fisketettheter, bør en derfor sørge for passende vannbehandling. Dette kan være å benytte luftere for å fjerne CO₂ og muligens sørge for filtering av vannet. En lukket vente/trengemerden åpner også for muligheten til en mer kontrollert desinfeksjon av merden. Det er viktig å påpeke at det finnes stor variasjon i industrien rundt trengoperasjoner. Det må påpekes at en god fiskevelferd med skånsom behandling vil vanligvis resultere i en god produktkvalitet. Slakteprosessen består av flere prosesser og operasjoner der hver enkelt prosess kan ødelegge for etterfølgende prosesser. Dermed er det viktig at implementering av nye tiltak skjer gjennom en helhetlig evaluering av prosessen.

5. I prosjektet ble det gjennomført en studie av to kommersielle trengeprosesser i samme ventemerden. Prosessen ble overvåket kontinuerlig ved uttak av fisk for stressmålinger, fiskens atferd ble filmet, og oksygenfordelingen i avkastene ble registrert. Bedriften har installert undervannskameraer i ventemerden slik at trengeprosessen kan følges på skjerm i kontrollrommet. Oksygennivået var høyt gjennom begge trengeprosessene til tross høy fisketetthet. Ingen fisk ble eksponert mot luft. Selv om tettheten var høy, svømte fisken rolig i avkastet. I tråd med dette fant vi i hovedsak ingen signifikant økning i de ulike stressparametrene (blod og muskel), selv ikke hos siste fisk ut fra merden. Imidlertid må det nevnes at fisken var delvis stresset på forhånd (fisk utenfor avkast), sannsynligvis fordi det ble slaktet fisk fra samme merd 12 timer tidligere. Det var stor variasjon i pre-rigortid, men grovt sett kan vi si at pre-rigortiden lå rundt 10 timer post mortem. Siden det ikke ble observert endringer hos fisken i ventemerden (tilstand inn = tilstand ut) har en ikke et objektivi grunnlag for å komme med forslag til forbedringer av prosessen. Resultatene tyder på at flere operasjoner enn selve avkastet spiller en rolle for fiskens endelige tilstand ved avliving. Dette kan for eksempel være lossing fra brønnbåt, hvor lenge fisken har fått stå i ro før uttak til slakting, gjentatt slakting fra samme merd, eller plutselig skifte til en annen merd.

Sammendrag (engelsk)

In the project is different measures for improvement and optimization of the current slaughter process evaluated. Optimization of the slaughtering process is a complex operation in which crowding, pumping and killing to take place without the fish is stressed strain, followed by a rapid cooling.

The project has identified the following potential for improvement in the current process:

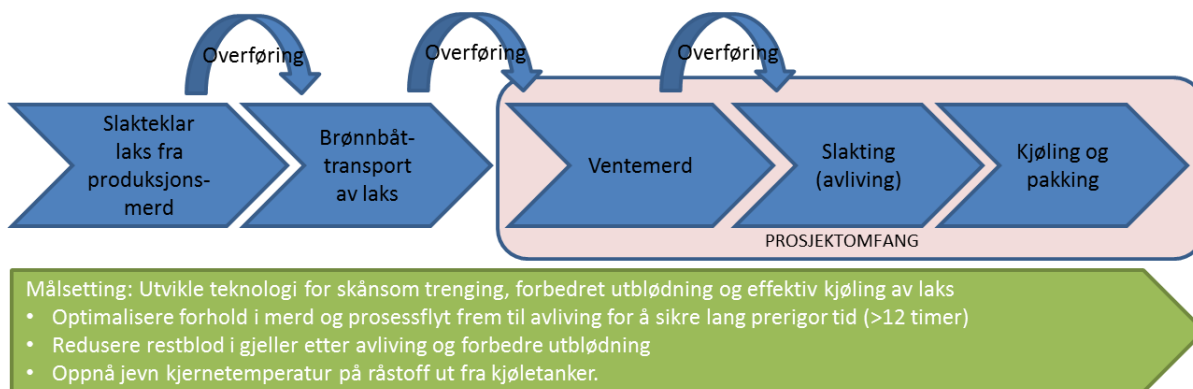
1. A general desire from the industry is a more automated slaughtering process that is less dependent of person. This presupposes a steady flow of fish with the possibility of grading and temperature control throughout the process. This allows for optimization of bleeding- / cooling process. This presupposes that the water circulation is optimal something industry have pointed out is not the case in today's bleeding and cooling process. Especially dead zones where fish density is high offers challenges.
2. Controlled stress of salmon prior to slaughter, were tested in the swimming tunnel. Stress and activity reduce clotting time and result in more residual blood in the fillet. The instrumental measurement of blood works very well to detect residual blood in the fillet. Temperature helps change in clotting time. Bleeding method and bled in air or water is less important for bleeding if the correct gill cutting is performed. Temperature in the air / water could affect bleeding. Stress in combination with high temperatures may lead to reduced bleeding. From the experiments it is recommended to stress your fish at least as possible before slaughter and implement slaughtering / bleeding close to the cage.
3. A dynamic model for cooling of salmon has been developed and verified. Various cooling concepts have been simulated and discussed. The results showed that by sectioning of the cooling process in different tanks, it is possible to reduce the effective cooling time by utilizing the effect of thermal equalization. Concept of buffering during cooling showed that the active cooling time may be reduced between 30% and 40%. This also results in a corresponding increase in capacity. The effect of RSW temperature and varying heat transfer coefficient is made evident with the model. The model can be used for evaluation of cooling processes and to identify the optimal cooling conditions tailored to specific plants.
4. Gentle handling of the fish up to slaughter is essential to achieve maximum pre-rigor time and high product quality. Crowding in sweep net, and special operation pressure / vacuum pumping into the slaughter line increases stress load for large salmon. There is a desire by industry on objective methods and / or sensors for use under sweeping, so that it is repeatable and controllable. This may contribute to a reduced stress load and improve fish welfare, which can allow for a smoother product flow in the subsequent processes. An important conclusion from a meeting with the industry in this project is that it may be appropriate with closed rest cages and sweep net, seaborne or landbased. This considering the possibilities for controlled crowding, the opportunity for live chilling (as part of the cooling process) and to reduce the risk of infection. Meanwhile, a closed sweep net can improve the initial situation for moving the fish. At a favorable location of the holding tank can for example utilize gravity when moving fish. This will make it possible to move anesthetic and euthanasia process to cages / tank edge. It is suggested two concepts closed holding pen in the project, which includes sliding bulkhead and avoids pumping. With regard to an optimal cooling process fish should also be gently cooled in living condition through the sweep process. Live chilling is largely phased out in recent years, but Mattilsynet has opened for the use of live chilling again, while fish welfare is safeguarded. Since living cooling means in practice recycling RSW, the waste products from the fish gradually accumulate in the tank. Especially one must pay attention to elevated levels

of carbon dioxide and possibly TOC (total organic carbon) which includes the mucus from fish. Elevated levels of CO₂ will result in that fish react spontaneously with a violent stress response and high levels of TOC may cause respiratory distress and can cause foaming in the vessel. If closing systems (tank) are used, particularly at high densities, should therefore ensure appropriate water treatment. This may be to use aerators to remove CO₂ and possibly provide for filtering of water. A closed cage also allows for the possibility of a more controlled disinfection of the cage. It is important to point out that there is considerable variation in the industry around the sweep net operations. It must be pointed out that a good animal welfare with gentle treatment will usually result in a good product quality. The slaughter process consists of several processes and operations where each process can destroy for subsequent processes. Thus, it is important that the implementation of new measures is through a comprehensive evaluation of the whole process.

5. In the project it was conducted a study of two commercial sweep net processes from the same waiting cage. The process was monitored continuously by withdrawing fish for stress measurements, fish behavior was filmed, and oxygen distribution in the sweep net were recorded. The company has installed underwater cameras in waiting cage so sweep net process can be followed on screen in the control room. Oxygen level was high during both sweep net processes despite high density of fish. No fish were exposed to air. Although density was high, the fish swam quietly in the sweep net. In line with this, we found essentially no significant increase in the various stress parameters (blood and muscle). However it must be noted that the fish was partially stressed beforehand (fish outside sweep net), probably because it was harvested from the same cage 12 hours earlier. There was considerable variation in the pre-rigor time but roughly we can say that pre-rigor time was around 10 hours post mortem. Since it was not observed changes in fish in waiting cage (condition in = state out) it is not an objective basis to make suggestions for improvements of the process. The results suggest that more operations than the actual discharge, plays a role in the fish final state by slaughter. This may for example be unloading wellboat, how long the fish has got to stand still before withdrawing to the slaughter, repeated slaughter from the same cage, or sudden change to another cage.

1 Innledning

I dagens lakseproduksjon er sentrale utfordringer stressbelastning under trenging i ventemerd, redusert kvalitet på grunn av ikke tilstrekkelig utblødning og for høy og varierende kjernetemperatur etter prosessering som følge av ineffektiv kjøling. Problemstilling er sammensatt og krever en helhetlig evaluering for å oppnå en tilstrekkelig forbedring av dagens prosess. Samtidig er muligheter for påvirkning begrenset gjennom prosessline og fokuset av prosjektet er dermed på prosess fra ventemerd til pakking, som illustrert i Figur 1.1.



Figur 1.1. Omfanget av prosjektet og hvilke prosesstrinn som er inkludert i innspillet.

Det har vært presentert forslag til løsning av utfordringer knyttet til håndtering av laks i merd, samt kjøling og utblødning etter slakting. I denne prosessen har SINTEF Fiskeri og havbruk AS, SINTEF Energi AS og Nofima vært involvert. Faggruppen for kvalitet laks har ytret ønske om at en ser på hele slakteprosessen fra vente-/slaktemerd og til fisken er pakket. FHF åpner for muligheten til et samarbeid mellom forskningsmiljøene.

FHF har benyttet en ressursgruppe i arbeidet med å forberede et prosjekt på området og denne består av følgende personer, Anders Sæther, Marine Harvest Norge, Tore Larsen, Martin Birkenes, Pål Storø, Salmar, Kristin Dalen, Cermac og Børge Holm, Nordlaks. Ressursgruppe ble brukt som styregruppe i prosjektet.

Prosjektgruppe består av 3 forskningsmiljøer:

1. SINTEF Energi, som ledet prosjektet og evaluerer kjøleprosessen
2. SINTEF Fiskeri- og havbruk, med fokus på trengeprosessen
3. Nofima, med fokus på utfordringer rundt utblødning

Gjennom prosjektet ble det også organisert en workshop, hvor resultatene ble diskutert med industrien. For å oppnå en god dialog mellom industrien og forskningsinstitutter ble det lagt vekt på gruppearbeidet, hvor industrien kan komme med innspill rundt sine sentrale utfordringer.

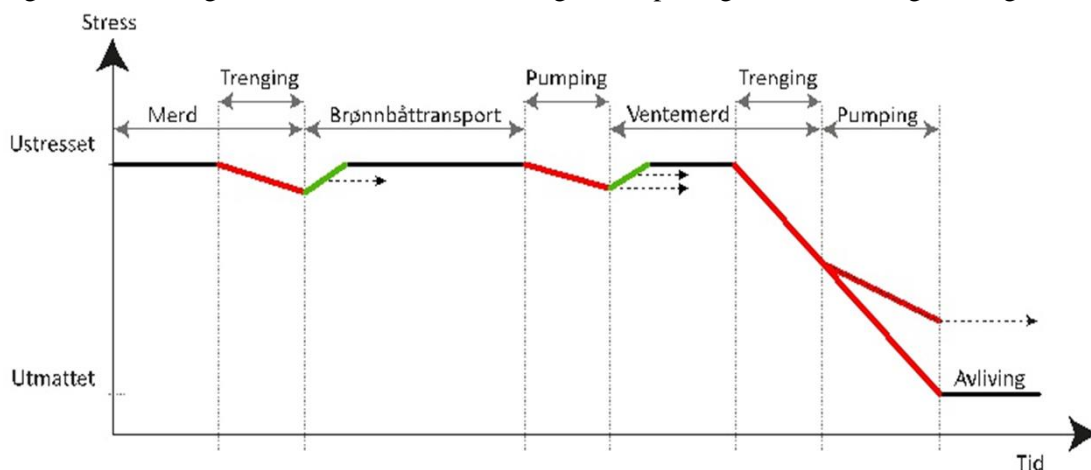
2 Problemstilling og formål

Fokuset i prosjektet er teknologi for stressreduksjon under trenging av fisk i merd, samt forbedret utblødning og god kjøling. Omfanget av prosjektet er fra og med trinnet ventemerdd i figuren nedenfor, og involverer etterfølgende trinn frem til ferdigpakket sløyd fisk.

Trengereoperasjoner som foregår i ventemerdd for å pumpe fisken inn på prosesslinjen vil være en betydelig stressfaktor som kan redusere fiskens pre-rigortid med flere timer, dvs tiden før dødsstivheten inntreer, se Figur 2.1. I dialog med næringen er følgende relevante problemstillinger definert når det gjelder trengereproblematikken i ventemerdd:

- Lite kontroll med kondisjon av fisken i/fra brønnbåt (mangelfulle logger)
- Ofte lange avstander fra ventemerdd til slaktelinje – stressproblematikk/kort pre-rigor tid
- Mangelfull kommunikasjon mellom operatører på merd og ved avliving
- Ujevn strøm av fisk inn til bløgging/avlivning.
- Sortering av levendefisk (små fisk kan flyte oppå storfisk ved støtvis innmating til sorterer)
- Fisken er trengt i for lang tid.

Flere laksebedrifter har valgt som strategi å satse på filetering og uttrekk av pinnebein pre rigor. I denne sammenheng er det ønskelig å redusere stress ved slaktning slik at pre-rigortiden blir lengst mulig.



Figur 2.1. Stressnivået i fisk i de ulike fasene fra fisken er i produksjonsmerd til den pumpes inn til avliving på et slakteri (Erikson, 2013).

Flere lakseslakterier har rapportert om utfordringer rundt utblødning og kjøling av fisken. Det er fare for at nytt utstyr for avliving og bløgging har blitt implementert i eksisterende slaktelinjer, uten at en har tatt behørig hensyn til dette i resten av linjen. Som en konsekvens av forbudet mot å benytte CO₂ til bedøvelse av laksefisk har de fleste lakseslakterier endret teknologien. De har gått bort fra CO₂, over til strøm- eller slagbedøving. I tillegg har de fleste slakteriene faset ut levendekjølingstankene. All nedkjøling av fisk før pakking må dermed foregå i utblødningstanken, eventuelt i en egen kjøletank etter sløying.

I forbindelse med FHF prosjektet «bedøvelse av laksefisk» ble det gjennomført intervju av personell ved lakseslakterier. Utblødning og kjøling av laksen ble da ved flere anledninger bragt opp som økende utfordringer. I samme prosjekt ble det også gjennomført intervju med personell ved filetanlegg og røykerier, hvor økende mengde blod i filetene ble sagt å være en utfordring. Blodet kommer ikke til syne før den ferdigrøkte laksen blir vakuumpakket, noe som kan resultere i at produktet må nedklassifiseres.

Det blir pekt på at blod som koagulerer i gjellene fører til dårligere utblødning, tilsmussing av gjellene, mv. Restblod i gjellene gir dårlig lukt og redusert holdbarhet (dårlig QIM score). Laks som blir bedøvet/avlivet med strøm eller slag beveger seg ikke like mye i blødetanken som den gjorde når den ble bedøvet med CO₂. Fisken synker til bunn av tankene og ligger stille, samtidig som gjellelokkene ligger helt inntil hodet. Dette kan være en årsak til at blod koagulerer i gjellene og hindrer utblødning. Nyfanget torsk har tilsvarende atferd og ligger urørlig på bunnen av transporttanken de første timene etter fangst. For 20 år siden ble det utviklet et eget «oppstrømssystem» som tok hensyn til dette. Perforert dobbel-bunn med svært liten lysåpning (< 1 %) gir hundre små fontener per kvadratmeter. På denne måten får hvilende fisk tilgang på oksygenrikt vann selv om tettheten nå kan være 6-700 kg/m³. Det er sannsynlig at dette vannfordelingsprinsippet også kan brukes til å fjerne blod og senke temperaturen effektivt.

Krav til nedkjøling av laksen før pakking eller videre bearbeiding er sentralt for å oppnå nødvendig holdbarhet, redusert isbehov og mindre avrenning av blodvann under transport. I tillegg møter næringen skjerpede krav i fra markedet i forhold til kjøling. Sirkulasjon og jevn strømming av kaldt sjøvann gjennom og mellom enkeltfiskene vil sannsynligvis være gunstig for å få en mer effektiv kjøling. I tillegg antar vi at økt vannsirkulasjon i kjøletankene vil føre til en vaskeeffekt hvor blodrester i gjellene sannsynligvis vil reduseres.

2.1 Målsetting

For at pre-rigor tiden skal bli lang nok (>12 timer) er det nødvendig at fisken blir utsatt for minst mulig stress og ikke er utmattet før avlivning. Utmattning av fisken kan også hindre optimal blodtapping. Endringer som følge av CO₂-forbudet har ført til utfordringer rundt kjøling, utblødning og restblod i gjellene på fisken. I tillegg møter næringen skjerpede krav fra markedet i forhold til kjøling, hvor laksen skal ha en temperatur på 2 °C ved pakking. Prosjektet blir i den sammenhengen viktig for å kunne sikre en lang nok pre-rigor tid og god nok utblødning og kjøling av fisken. Laksenæringen ønsker å få undersøkt og se sammenhengen mellom disse utfordringene. Tiltakene skal være knyttet til håndtering av frisk fisk, men innføring av målbare styringsparametere vil danne grunnlag for en erfaringsmessig regulering ved avvikende helsetilstand hos fisken. Det er viktig å satse på løsninger som gir bedre forutsigbarhet og sikrer en jevn og god kvalitet på sluttproduktet på forhold som restblod, tekstur, farge og rigorutvikling.

Hovedmål:

Utvikle teknologi og prosedyrer for skånsom trenging, forbedret utblødning og effektiv kjøling av laks.

Prosjektet har følgende delmål:

- Skaffe ny kunnskap som bidrar til å løse problem relatert til trenging av fisk i vente-/slaktemerd.
- Utvikle og teste teknologi for forbedret overføring av levende fisk, som kan gi lengre pre-rigortid og bedre utblødning.
- Definere målbare styringsparametere og terskelverdier som sikrer mer skånsom håndtering av fisk og kan være et redskap for å sikre optimale forhold ved trenging og slaktning.
- Skaffe ny kunnskap om forhold og faktorer som særlig påvirker optimal blodtapping og kjøling av oppdrettslaks/-ørret.
- Beskrive og prøve ut tiltak i slakteprosessen som kan sikre god blodtapping av fisken.
- Utvikle modellberegninger for optimal kjøling av oppdrettslaks/-ørret, som starter når fisken tas inn i brønnbåt.

3 Prosjektgjennomføring

Prosjektets mål er en interdisiplinær vurdering av dagens slakteprosess, med hovedfokus på trening/ventemerid, utblødning og kjøling for laksefisk. Disse tre prosesser ble utpekt fra FHF og prosjektets ressursgruppe som problemområder. I stedet for en separat evaluering ble det valgt å belyse disse prosesser gjennom en helhetlig vurdering, slik at forbedringspotensialet for hele slakteprosessen blir evaluert og ikke bare for enkeltprosesser.

Prosjektet er strukturert i 3 arbeidspakker og delmålene ble oppsatt og godkjent av styringsgruppen. Arbeidspakkeleder for "Teknologiske konsepter for kjøling" var SINTEF Energi, for arbeidspakke "Basiskunnskap for utvikling av nye teknologiske konsepter for utblødning" var NOFIMA (Tromsø) leder, mens SINTEF Fiskeri- og havbruk ledet arbeidspakke "Kunnskapsstatus og nye teknologiske konsepter for trenging". Prosjekt ble ledet av Tom S. Nordtvedt og Michael Bantle fra SINTEF Energi.

Hver arbeidspakke startet med en evaluering av dagens teknologi status, basert på tidligere prosjekter og kunnskap, som ble oppsummert før arbeidsplanen ble lagt frem. For arbeidspakken om de teknologiske konsepter for kjøling ble kontrollerte kjøleforsøk for laksefisk gjennomført. Samtidig ble en fysikalsk og dynamisk modell utviklet og verifisert gjennom forsøkene. Det ble lagt vekt på at effekter som varierende kjølebetingelser og termisk treghet ble inkludert i modellen. Dermed var det mulig å evaluere og sammenligne forskjellige nedkjølings konsepter gjennom simuleringer.

Arbeidspakken rundt utblødnings-problematikk fokuserte på stresspåvirkning under trenging og pumping og de sentrale forhold ved blodtapping. Det ble gjennomført kontrollerte svømmeforsøk under forskjellig stressnivå for laks i en svømmetunnel og dens betydning for utblødning ble evaluert samt effekten av oppholdstid i luft og temperatur under utblødning.

Det ble gjennomført en spørreundersøkelse hos noen utvalgte produsenter for å kartlegge dagens kunnskapsstatus og evaluere nye teknologiske konsepter (Arbeidspakke SINTEF Fiskeri og Havbruk). Samtidig ble det gjennomført et arbeidsmøte med produsentene. Dagens trengeprosess ble evaluert på et utvalgt anlegg, som ble instrumentert og oppfølgt gjennom forskjellig trengeprosedyrer. Nye konsepter for mer kontrollert trenging ble utarbeidet og muligheter for kontrollerte trengeprosesser ved hjelp av sensorer og instrumentering er evaluert.

Prosjektresultatene ble presentert og diskutert med industrien på en Workshop 07. Januar, hvor det også ble gjennomført gruppearbeid med industrien, slik at innspillene derfra kan bli inkludert i videre prosjektarbeid.

Hovedresultatene og felles konklusjoner fra de forskjellige aktiviteter er presentert i den foreliggende rapporten og det videre arbeidet er skissert.

4 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

4.1 Kjøling av laks i slakteanlegg

Tradisjonell slakteprosess er vist skjematisk i Figur 4.1. Fiskens temperatur er 1,0 K høyere enn temperaturen i sjøen (Skjervold et al., 2002). I sommertiden kan fisken ha en temperatur på 15-17 °C når den ankommer pakkeriet. Fisken skal da gjennom slakteprosessene og temperaturen skal være lavere enn 4,0 °C før pakking. Helst skulle temperaturen vært 0 °C før pakking i is. Høy produksjonstemp og tidlig dødsstivhet skaper problemer med å få satt av tilstrekkelig tid til nedkjøling. Det har vist seg at dødsstivhet ofte inntreffer allerede 1-2 timer etter bløgging, men det er store individuelle variasjoner og variasjon fra pakkeri til pakkeri. Mulighetene for å forlenge perioden mellom bløgging og tidspunktet for dødsstivhet vil bli undersøkt nærmere i et samarbeidsprosjekt innen SINTEF og NTNU.



Figur 4.1 Operasjonene i en slakteprosess vist skjematisk

Målet med prosjektet har vært å komme frem til kjølesystem som kjøler store mengder fisk så hurtig som mulig til ønsket temperatur og på en skånsom måte. Kjølesystemet skal videre være driftssikkert, og ha lavest mulige investerings og operative kostnader.

Kjøling av laks i industrielt produksjon er begrenset gjennom flere forskjellige faktorer:

1. Temperaturen i laksen varierer med sjøvannstemperaturen og er høyest i sommeren. Dette medfører utfordringer for dagens kjølesystem som vanligvis er dimensjonert for et konstant kuldebehov.
2. Pre-rigor tiden for prosessering kan være så kort som 3 timer, som setter ekstra krav til hurtig nedkjøling
3. Temperaturekravene er strenge, og det er praksis i flere anlegg å kjøle ned fisken til en kjernetemperatur på 2°C.
4. Termiske konduktivitet i laksen begrenser hurtig nedkjøling og basert på fiskens geometri finnes det en grense for hvor hurtig den kan kjøles.
5. Tykkelse av laksefisk utgjør en annen begrensning for nedkjølingstiden, siden avstand mellom den termiske senter og kjølemedia er forholdsvis langt (gjerne mer enn 5 cm).
6. Forskjellige anlegg operer med ulike varmeovergangstall mellom fisk og kjølemedia, som gjør det vanskelig å sammenligne og overføre resultater.
7. Produksjonen for laksefisk stiger kontinuerlig og dermed øker kjølebehovet. Når massestrøm av laks overstiger dimensjonering av anlegget oppstår det mangelfull og ineffektiv nedkjøling.
8. Gjennom nedkjølingen utvikler det seg en temperatur profil mellom fiskens overfalte og kjernen og når overflatetemperaturen er omtrent temperaturen til kjølemedia stopper nedkjølingen opp.

De fleste industrielle anlegg benytter RSW (Refrigerated Sea Water) som kjølemedia og kjølingen foregår i kjøle- og/eller utblødningstanker. Fisken blir vanligvis transportert med hjelp av en helix-skrue gjennom tankene. Levendekjøling er nesten ikke i bruk lenger i industrien på grunn av fiskevelferd.

En stor utfordring for effektiviseringsarbeid er dagens bruk av modeller, som baserer seg på empiriske parameterne. Dette gjør det vanskelig å evaluere effekten av tiltak uten å gjennomføre en eksperimentell evaluering. Det er også vanskelig å overføre empiriske modeller fra et anlegg til andre systemer. Utvikling

av en fysikalsk og dynamisk modell er nødvendig for å evaluere og sammenligne forskjellig nedkjølingsmetoder.

Utvidet forklaringer rundt dagens kjøleprosesser for laks er oppsummert i prosjektnotatet "State of the Art: Chilling of salmon in industrial production", 01.09.2014 fra SINTEF Energi.

4.1.1 Modellering og verifisering av laksekjøling

Målsetning med modelleringsarbeidet er å finne en fysikalsk modell for kjøling av laks. Modellen skal bli brukt for simulering og sammenligning av forskjellige kjøleprosesser og konsepter. Simulasjon skal svare på spørsmålet hvordan laksen kan bli nedkjølt mer effektivt.

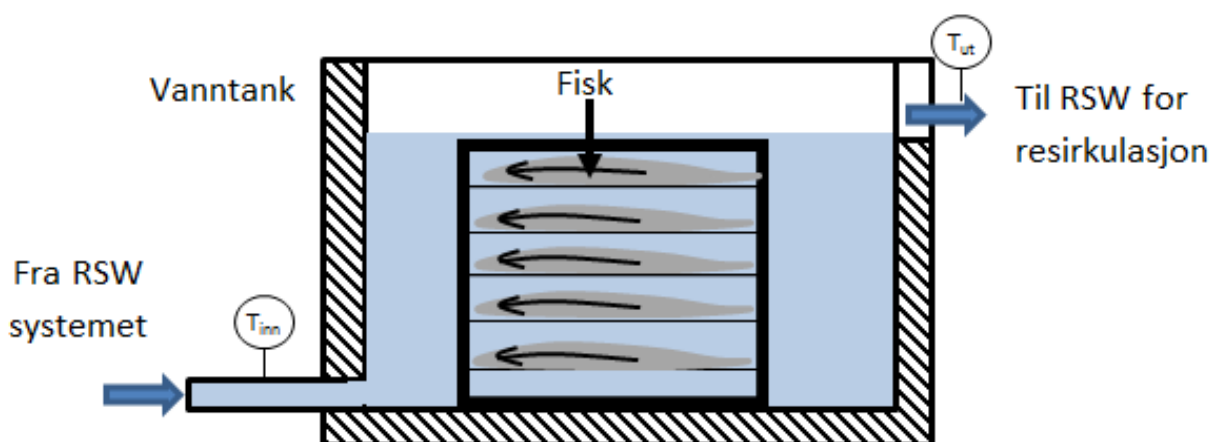
Kjøling med saltlake (mekanisk kjølt sjøvann, eller RSW) har vært undersøkt i laboratoriet. Det er et kjent prinsipp fra kjøling av fisk i slaktefabrikken. Målet med lab-forsøkene er å dokumentere temperaturforløpet for forskjellige kjøleprosesser, så man kan verifisere en dynamisk modell som er basert på fysikalske produktparametere (som vekt og størrelse av laksen). Modellen danner grunnlag for videre evaluering av kjøleprosessen, slik at forskjellige driftssituasjoner kan bli simulert på teoretisk basis uten at flere industri- eller lab-forsøk er nødvendig for verifisering.

4.1.1.1 Kjøling av laks i RSW anlegget

Det ble gjennomført et sett av eksperimenter for kjøling av laks i RSW anlegget. De to hovedkomponentene i forsøket var kjølemaskinen for å produsere kjølt sjøvann (RSW) og kjøletanken (omtrent 0,8 m³), se Figur 4.2. Det kjølte sjøvannet (mellom -1 °C og -0,5 °C) strømmer fra kjølemaskina til bunnen av tanken ved hjelp av ei vannpumpe. Strømningen av saltlaken (konsentrasjon av NaCl 3,5±0,1 %) varieres mellom 150 og 600 L/min. Tre ulike strømningsnivå ble brukt under forsøkene: 150, 300 og 600 L/min.

Fiskene ble festet med plaststrips til et metallstillas som ble plassert i avkjølingstanken. Det var 5 hyller med to fisker (= 10 fisker per eksperiment) på hver. Fiskens parametere var som følger:

- Vekt: $5,9 \pm 0,1$ kg
- Gjennomsnittlig maksimal tykkelse: $97,8 \pm 3,5$ mm
- Gjennomsnittlig lengde: $759,0 \pm 17,2$ mm



Figur 4.2 Eksperimentelt oppsett

Temperaturen i termisk senter av hver sløyde fisk ble målt med to "iButton Temperature Loggers" fra "Maxim integrated", modell DS1922T. Tre fisker ble også utstyr med en ekstra sensor, som ble plassert direkte under skinnen av fisken for å verifisere varmeovergangstallet α . Fisken ble temperert til en enhetlig temperatur (15 °C) 24 timer før eksperimentet.

Det ble gjennomført fire nedkjølingseksperimenter med forskjellige kjølebetingelser, som vist i Tabell 4.1. Forsøk Kjøl1, Kjøl2 og Kjøl3 ble gjennomført under konstante kjølebetingelser, men med forskjellige varmeovergangstall. For forsøk Kjøl4 ble fisken tatt ut av RSW anlegget etter 45 minutt og plassert i romtemperaturen i 30 minutt, før den ble satt inn i RSW anlegget igjen. Den 30 minutter lange perioden med romtemperatur er en oppvarmingsperiode og målet med forsøket er å sjekke om modellen er bra nok til å simulere en kjøling-oppvarming-kjøling behandling av fisken.

Tabell 4.1 Oversikt over gjennomført kjøleforsøk.

	Vann, l/min	α , W/m ² K	Tid, min	Temperatur
Kjø1	150	50	120 min	-1 °C
Kjø2	300	75	120 min	-1 °C
Kjø3	600	100	120 min	-1 °C
Kjø4	300	75	45 min +	-1 °C
		≈ 5	30 min pause + 45	20 °C
		75	min	-1 °C

4.1.1.2 Beskrivelse av modellen

Det ble laget en modell for kjøleprosessen basert på programmeringsspråket Modelica. Det er et objekt orientert programmeringsspråk, som kan brukes til dynamisk modellering av komplekse fysiske system, for eksempel termodynamiske system.

Fisken er modellert som en sylinder med radius R delt inn i N ulike lag (N=100). Radius R er bestemt av tykkelsen på fisken før og bak ryggfinnen. Lengde av sylindere er bestemt basert på den totale vekten, den valgte radiusen og tettheten til fisken, men er av underordnet betydning for modellen. Modellen er basert på grunnleggende ligninger fra termodynamikken:

$$\dot{Q} = k * A * \partial T \quad [1a]$$

$$\dot{Q} = m * c_p * \partial T_{\overline{12}} \quad [1b]$$

som sier at varmemengden Q er bestemt av en samlet varmeovergangstall k [W m⁻² K⁻¹], overflate A [m²] og temperaturdifferansen ∂T [K], som er lik den masse av fisken m [kg], spesifikk varmekapasitet c_p [J kg⁻¹ K⁻¹] og temperaturdifferansen før og etter temperaturstigning [K sek⁻¹].

Lagene har lik lengde, men ulik radius. Tykkelsen av hvert lag er R/N. Hvert lag har en masse kalkulert basert på fiskens tetthet og lagets volum, og den spesifikke varmekapasiteten til massen beregnes basert på innholdet av vann, proteiner, fett og aske og temperaturen. Mellom hvert lag er det en varmeleder med en termisk ledningsevne kalkulert basert på fiskens næringsinnhold og temperatur. Ved overflaten er varmestrømmen beregnet basert på temperaturdifferansen mellom fiskens ytterste lag og omgivelsene, og et

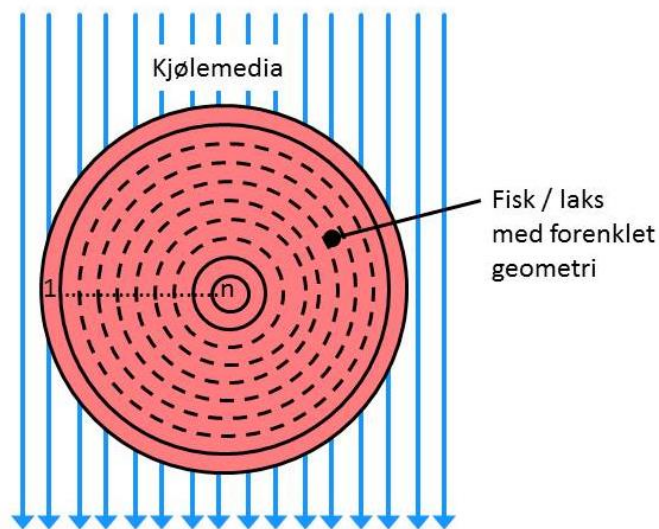
konstant varmeovergangstall. Ved anvendelse av ligninger 1a og 1b for hvert lag n får man en sett av ligninger avhengig av temperatuene i hvert over- og underliggende lag:

$$\dot{Q}_n = k_n * A_n * \Delta T_{n,n+1} = \dot{m} * c_p * \Delta T_{\overline{n12}} \quad [2a]$$

$$\text{med } \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda} \quad [2b]$$

$$Q = \sum_1^n Q_n \quad [2c]$$

med varmeovergang α [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$], termisk konduktivitet λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] og lag-tykkelse s [m]. Modellen er skissert i Figur 4.3. Starttemperaturen til hele fisken settes til en valgt verdi, og fiskens overflatetemperatur er den samme som temperaturen til det ytterste laget av fisken. Omgivelsestemperaturen og varmeovergangstallet kan settes til ulike verdier, og kan endres underveis i simuleringen.



Figur 4.3 Skisse for av det forenklet fysikalsk modell for kjøling av laks.

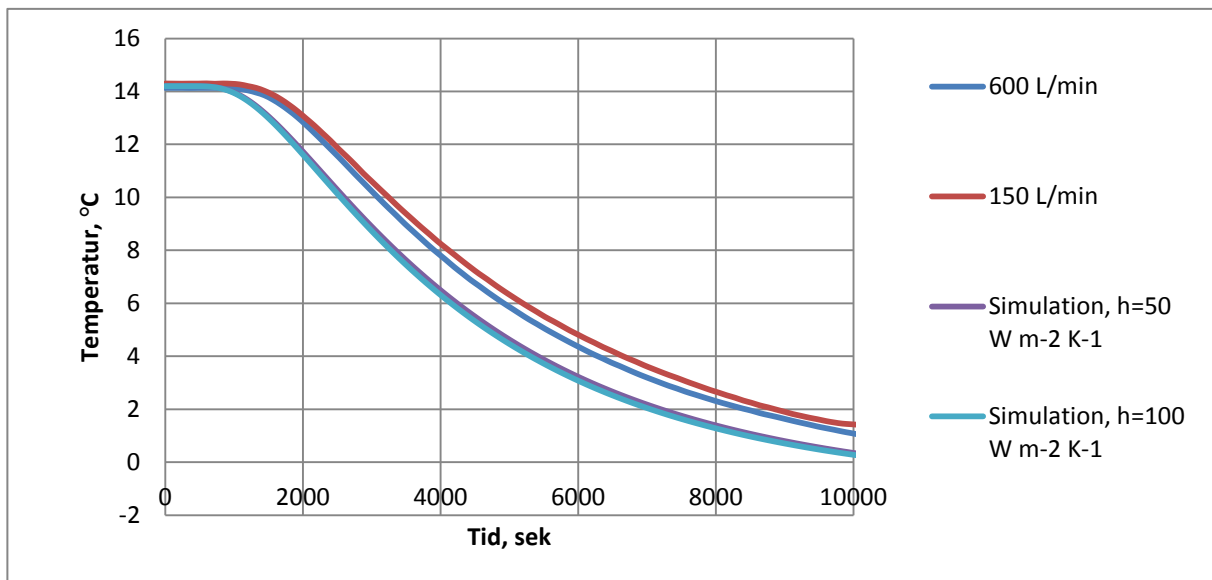
4.1.1.3 Verifikasjon av modell gjennom kjøleeksperimenter

Basert på beregnede verdier for varmeovergangstallet, ble det gjennomført simuleringer med varmeovergangstall på 400 og 800 $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$. Resultatene ble sammenlignet med fisk kjølt i RSW-anlegget med en strømningshastighet på 600 L/min og 150 L/min, og resultatene vises i Figur 4.4. Sammenligningen viste at de simulerte resultatene gav en raskere nedkjøling enn måledataene tilsa. Den samme trenden vises i Figur 4.5 hvor temperaturen målt like under skinnen på fisken sammenlignes med simulerte verdier.

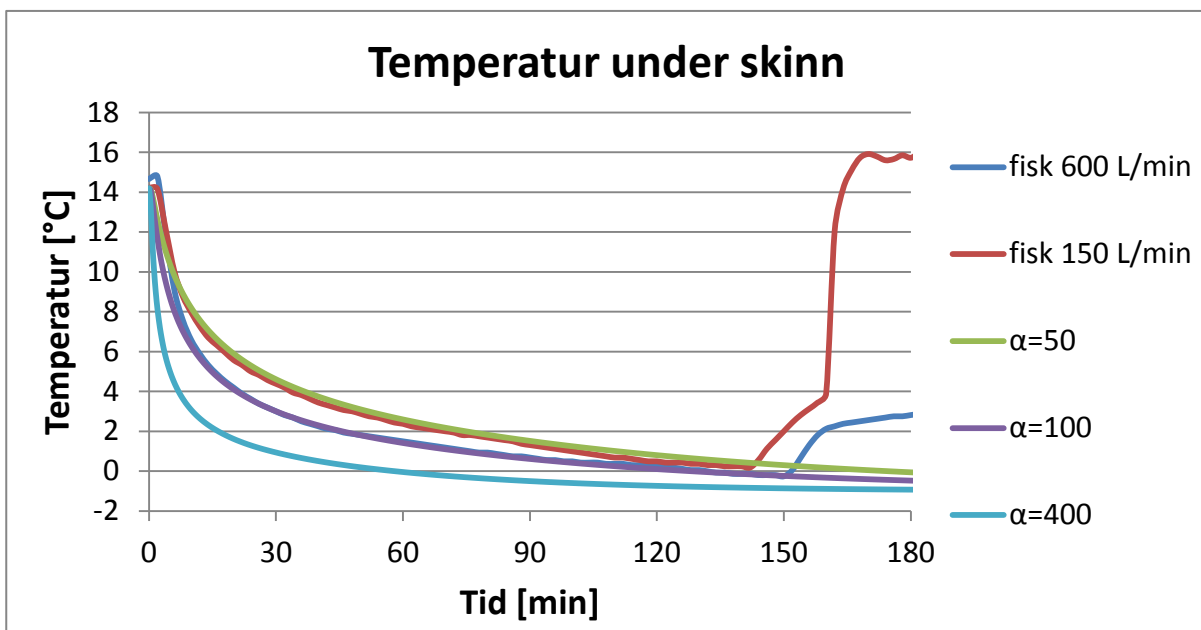
Varmeovergangstallet har størst betydning på temperaturen nær overflaten av fisken, og for å verifisere valgt varmeovergangstall ble temperaturen i lag nummer 10 sammenlignet med temperaturmålingen under skinnen på fisken. Resultatet av denne sammenligningen vises i Figur 4.5. Av figuren ser man at $\alpha = 50 \text{ W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ samsvarer godt med en strømningshastighet på 150 L min^{-1} , og $\alpha = 100 \text{ W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ samsvarer godt med en strømningshastighet på 600 L min^{-1} . **Dette viser at de vanlige metodene for å beregne varmeovergangstallet ikke fungerer i tilfellene ved kjøling av laks.** Det kan være flere årsaker til dette, blant annet:

- Fiskens form, som er annerledes enn en sylinder;
- Vannstrømningen, som danner virvler i tanken og muligens strømmer med en annen vinkel mot fisken;
- "Gele"-laget og tykkelse av skinnet på fiskens overflate, som reduserer varmeovergangstallet betydelig.

I de videre simuleringene ble det derfor valgt å benytte $\alpha = 75 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

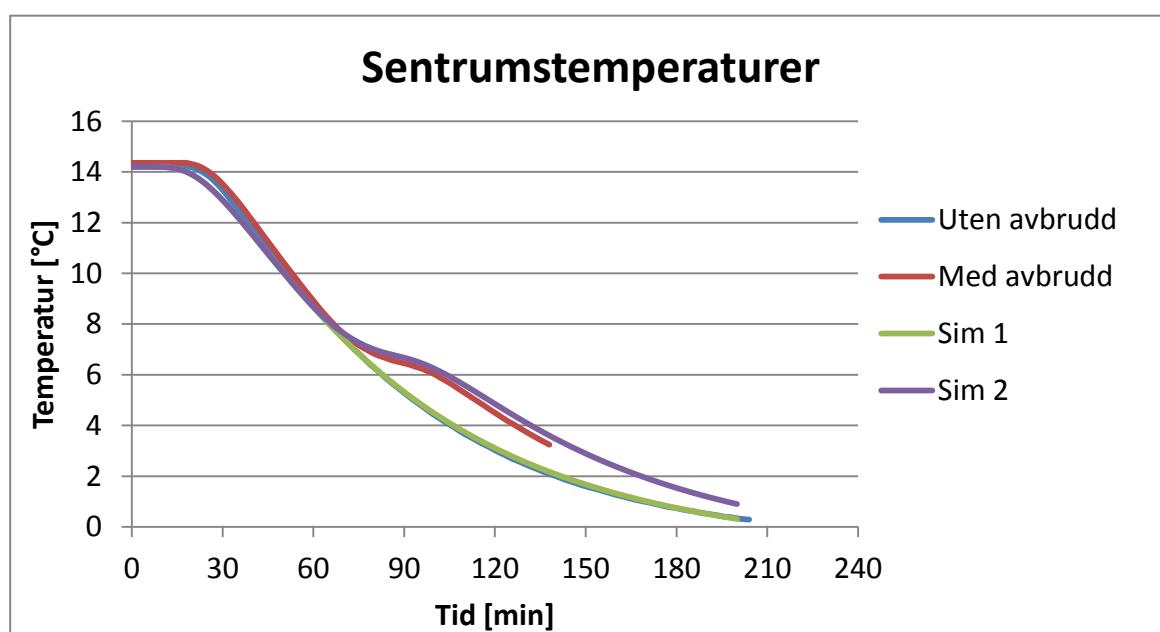


Figur 4.4 Sammenligning av simulerte og målte sentrumstemperaturer av kjølt laks.



Figur 4.5 Sammenligning av temperaturmålingen under skinnet på laksen og simulerte temperaturer ved ulikt varmeovergangstall.

Sammenligning mellom den gjennomsnittlige sentrumstemperaturen i laksen kjølt i RSW-anlegget og den modellerte sentrumstemperaturen er vist i Figur 4.6. Gjennomsnittet av måleresultatene fra forsøk Kjø1, Kjø1 2 og Kjø1 3 samsvarer svært godt med simuleringens resultatet Sim 1, som er simulering uten avbrudd. Også den forsinkete temperaturnedgangen ("lag"-tid) i sentrum i begynnelsen av kjølingen er modellert i godt samsvar med eksperimentelle data. Forsøk Kjø11, Kjø12 og Kjø13 er nesten ideelle caser for evaluering av en teoretisk modell, siden randbetingelser (som RSW-temperatur, strømningsprofil og varmeovergangstall) er konstant gjennom hele forsøket. Uansett er modellen et fremskritt sammenlignet med tidligere empiriske eller semi-empiriske modeller, hvor det ikke er mulig å beregne temperaturprofiler, gjennomsnittstemperaturer eller lag-time i begynnelsen av kjølingen. Forsøk "Kjø14" er karakterisert av varierende randbetingelser gjennom forsøket, nærmere bestemt varierer varmeovergangstallet og temperaturen til omgivelsene. Med empiriske modeller er det dermed ikke mulig å beregne temperaturen i sentrum av fisken. Figur 4.6 viser imidlertid at det er mulig å modellere sentrumstemperaturen med forholdsvis bra samsvar med eksperimentelle data.



Figur 4.6 Modellert og eksperimentell sentrumstemperatur for laks kjølt med og uten avbrudd.

Modellen og nøyaktigheten kan sikkert bli forbedret, hvis man tar hensyn til den reelle geometrien (oval, istedenfor rundt), verifiserer varmeovergangstallet og termiske egenskaper (som spesifikk varme eller varmeledningsevne) som funksjon av fettinnhold, osv. Men, den forenklete termodynamiske modellen av laksen, basert på fysiske parametere, viser stort sett en bra overenstemmelse med eksperimentelle data.

For det videre arbeidet ble modellnøyaktigheten vurdert som akseptabel.

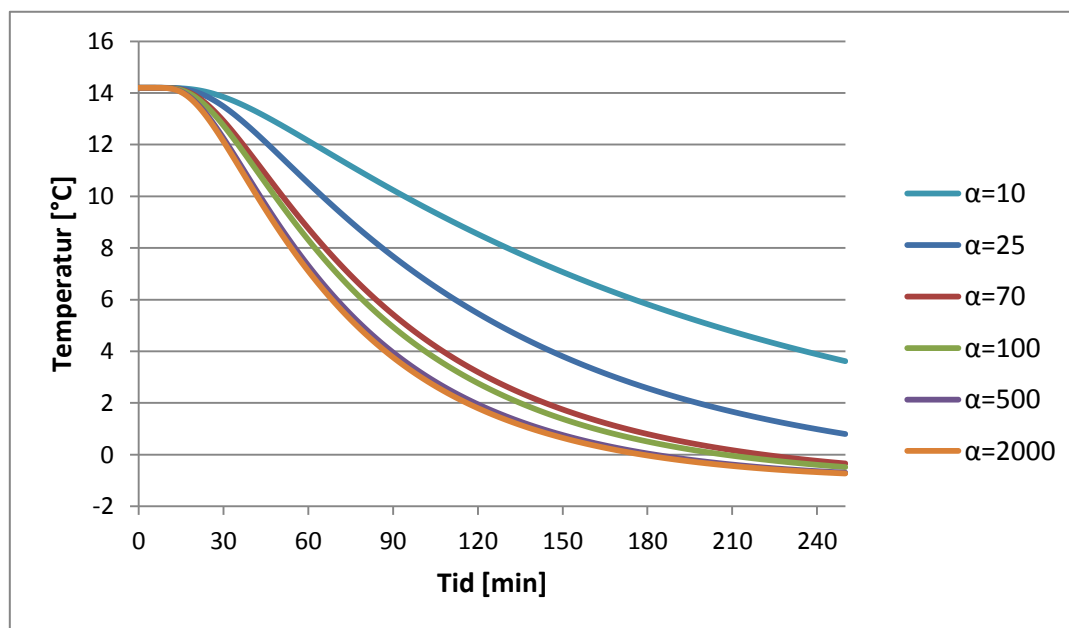
4.1.2 Hvordan kjøle laks mer effektivt

Den verifiserte modellen ble videre brukt til å analysere ulike kjølemetoder og hvilken effekt disse har på fiskens kjernetemperatur. Resultatene ble brukt til å vurdere alternativer for mer effektive kjølemetoder.

4.1.2.1 Effekt av varmeovergang i kjølesystemet

Ulik strømningshastighet i RSW-tanken kan bidra til å gi ulike varmeovergangstall, og Figur 4.7 viser sentrumstemperaturen til laks kjølt ved ulike varmeovergangstall. Av figuren kan man se at varmeovergangstallet har signifikant betydning mellom 10 og 100 $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$, men en ytterligere økning fører ikke til vesentlig endring av kjøletid. Ved slike høye verdier vil indre varmeledningsevne i fisken begrense kjøleprosessen.

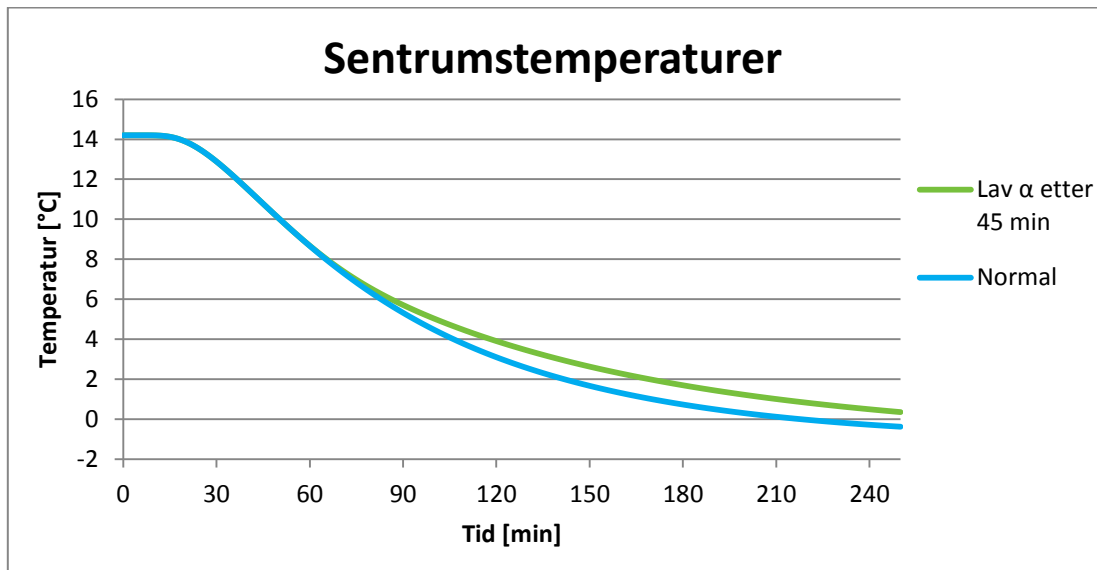
Dette viser at det er viktig med høy nok strømningshastighet, slik at man oppnår rask nedkjøling, men samtidig er det ikke hensiktsmessig å øke strømningshastigheten unødige mye, siden indre varmeledningsevne likevel vil begrense nedkjølingshastigheten. Det er også viktig å fremheve at en økt varmeovergangstall vanligvis krever også høyere energi levert til f. eks. pumper. Dermed blir også den kjøleeffektiviteten redusert hvis en høyere varmeovergangstall ikke resulterer i en hurtigere nedkjøling av fisken. Det er også tydelig at en varmeovergangstall har størst betydning i begynnelsen av nedkjølingen, mens i slutten av den nedkjølingen har den en underordnet betydning.



Figur 4.7 Simulerte sentrumstemperaturer for laks kjølt i sjøvann ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$) ved ulike varmeovergangstall.

4.1.2.2 Høyt varmeovergangstall i begynnelsen, redusert mot slutten

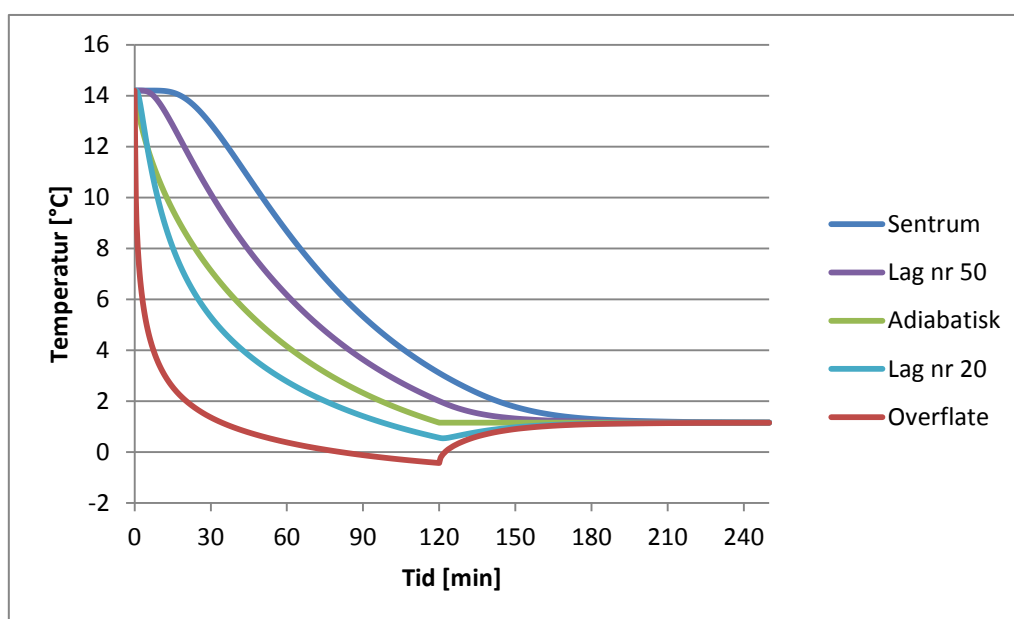
En måte å redusere energibruken på kan være å redusere strømningshastigheten i tanken etter en stund, slik at varmeovergangstallet er normalt høy i startfasen av nedkjølingen, og lavere mot slutten. I Figur 4.8 sammenlignes sentrumstemperaturen i laksen for to ulike nedkjølingsmetoder. Ved den normale holdes varmeovergangstallet konstant lik $75\text{ W m}^{-2} \text{K}^{-1}$, mens ved den andre reduseres det til $25\text{ W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ etter 45 minutter. Av figuren kan man se at dette har forholdsvis lite å si for sluttemperaturer, men den normale nedkjølingsmetoden gir en sentrumstemperatur på $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ omtrent 30 minutter før den alternative metoden når samme temperatur.



Figur 4.8 Sentrumstemperaturen i laks kjølt i sjøvann (-1 °C). En normal nedkjøling sammenlignes med en nedkjøling med normalt varmeovergangstall i starten og lavt varmeovergangstall etter 45 min.

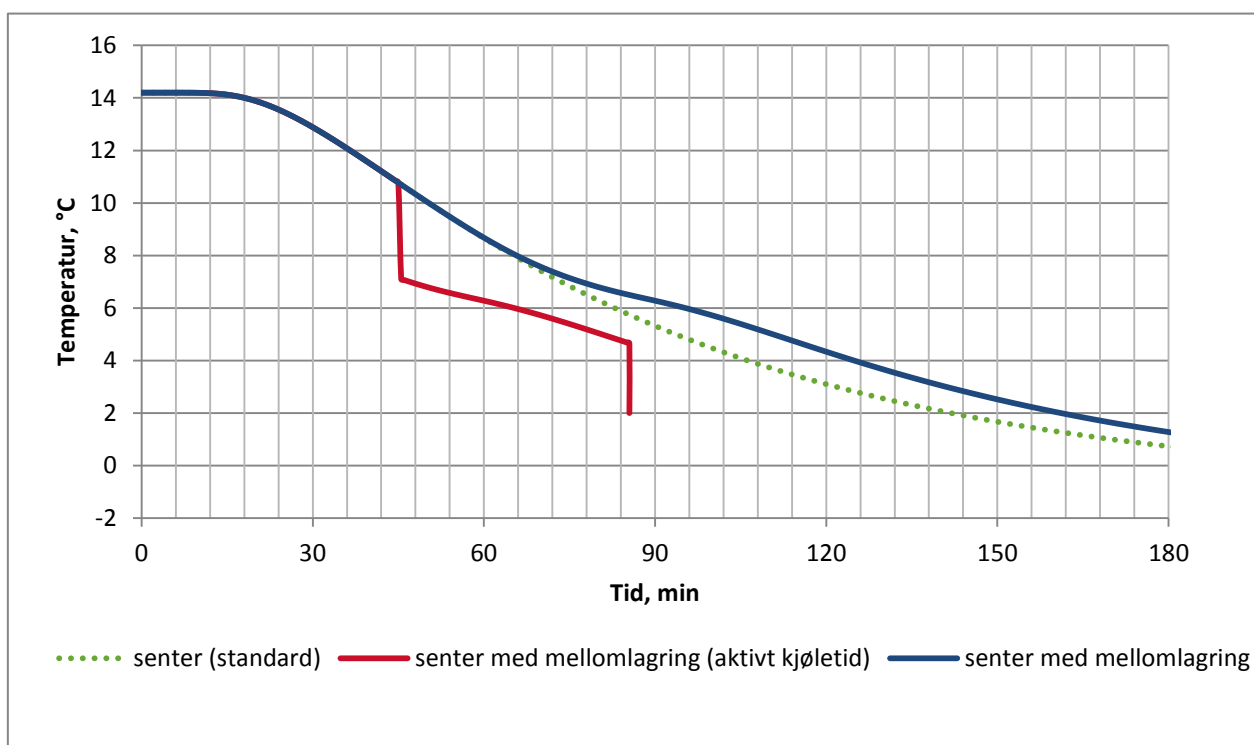
4.1.2.3 Oppdeling av kjøleprosessen (mellomlagring)

Temperaturen i det geometriske sentrum av fisken er en god indikator på kjøleprosessen. Denne temperaturen, som blir brukt i de fleste tekniske forskrifter og reguleringer, skal vanligvis ligge mellom -1 og +4 °C. Det er imidlertid en treghet i nedkjølingen, på grunn av indre varmeledningsmotstand, som gjør at det blir en signifikant temperaturgradient i fiskevevet. Dette fører til at selv om sentrumstemperaturen ikke er lav nok, kan den adiabatisk gjennomsnittstemperaturen, det vil si temperaturen hele fisken vil oppnå dersom varmestrømmen til eller fra fisken opphører, være lav nok til de videre prosesseringsstegene. Temperaturen i sentrum vil fortsette å gå ned, selv etter at kjøleprosessen er avsluttet. Dette vises i Figur 4.9. Kjøleprosessen avsluttes etter 120 min, og den adiabatisk temperaturen er konstant etter dette tidspunktet. Deretter ser man at temperaturen i de indre lagene fortsetter å synke, mens temperaturen nærmere overflaten øker helt til hele fisken har oppnådd samme temperatur.



Figur 4.9 Temperatur profil i fisken med utjevning etter 2 timer med kjøling.

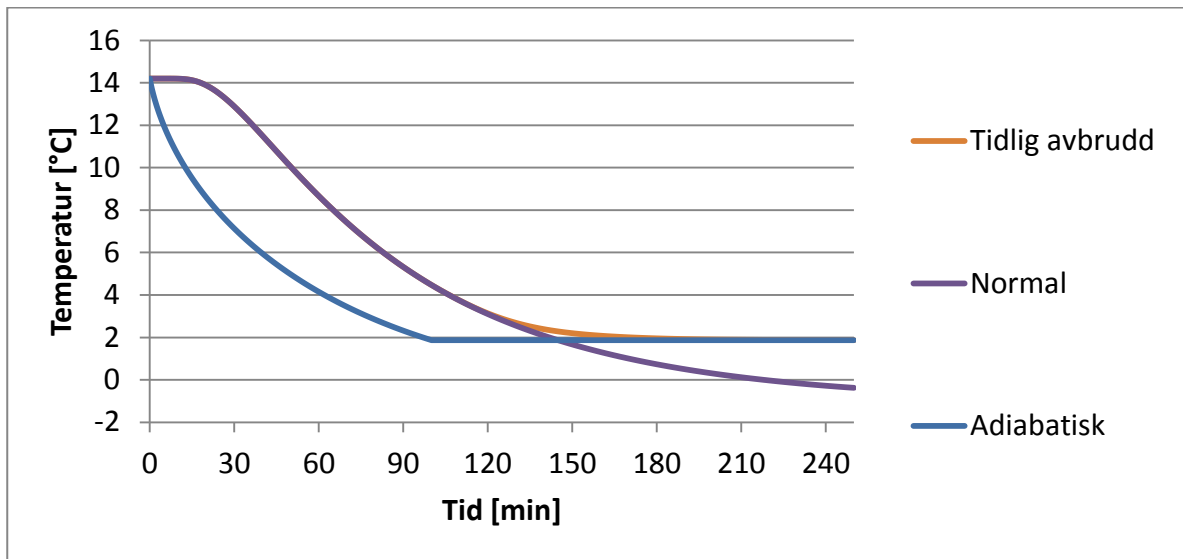
Denne egenskapen kan benyttes til å spare energi ved å bruke mellomlagring i løpet av nedkjølingsprosessen. Mellomlagring vil se at kjøleprosessen avbrytes i en periode, for deretter å bli gjenopptatt. Dersom fisken holdes isolert i denne perioden, vil fiskens overflatetemperatur gå litt opp, siden den gjenværende varmen i fisken vil fordele seg utover i fisken, uten at mer varme strømmer inn i fisken. Siden temperaturen i de ytre delene av fisken har gått opp i løpet av lagringsperioden, vil kjølehastigheten være høyere når den plasseres tilbake i kjøleprosessen. Dette fører til at man kan spare energi, uten at den totale kjøleprosessen blir betydelig lengre. I Figur 4.10 sammenlignes sentrumstemperaturen i fisken ved en kjøleprosess uten mellomlagring og en kjøleprosess med 30 minutters avbrudd etter 45 minutt. I den standard prosessen tar det omtrent 140 minutter å kjøle ned fisken til 2°C, mens med mellomlagring tar det 160 minutter. Men den aktive kjøletid (tid som fisken er i RSW-tanken) er redusert til 85 minutter. Dette tilsvarer nesten 40 % innsparingspotensial for kjølemaskinen eller en tilsvarende kapasitetsøkning for produksjonen.



Figur 4.10 Sammenligning mellom sentrumstemperaturen i laks ved normal nedkjøling og en nedkjøling med 30 min mellomlagring.

4.1.2.4 Tidligere avslutning av kjøleprosessen

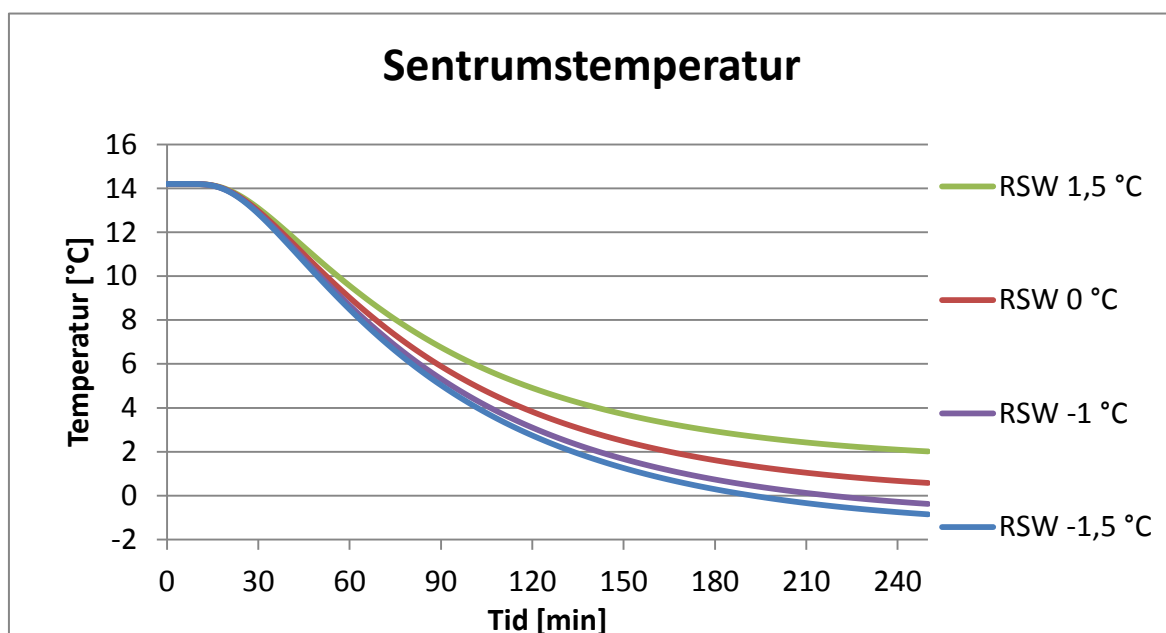
Den termiske tregheten i nedkjølingen av fisken gjør også at man kan avbryte kjøleprosessen tidligere, og likevel oppnå ønsket sluttemperatur. Den adiabatisk gjennomsnittstemperaturen til fisken, kommer raskere under 2 °C enn sentrumstemperaturen. Dette kan man utnytte til å spare energi. Dersom kjøleprosessen avbrytes idet gjennomsnittstemperaturen når den ønskede sluttemperatur, og fisken deretter isoleres, vil den gjenværende varmen i fisken fordele seg slik at hele fisken når den ønskede sluttemperatur uten at mer kjøling er nødvendig. I Figur 4.11 sammenlignes sentrumstemperaturene til laksen ved kontinuerlig kjøling med en kjøleprosess som avbrytes etter 100 min. Av figuren kan man se at sentrumstemperaturen vil gå ned til under 2 °C, men det vil ta omtrent 30 min lengre tid enn dersom kjøleprosessen går kontinuerlig. Også her er den aktive kjøletiden redusert fra 140 minutter til 95 minutter (31% innsparing).



Figur 4.11 Sammenligning mellom sentrumstemperaturen i laks ved normal nedkjøling og en nedkjøling med tidlig avbrudd.

4.1.2.5 Effekt av temperatur på kjølemedium (RSW)

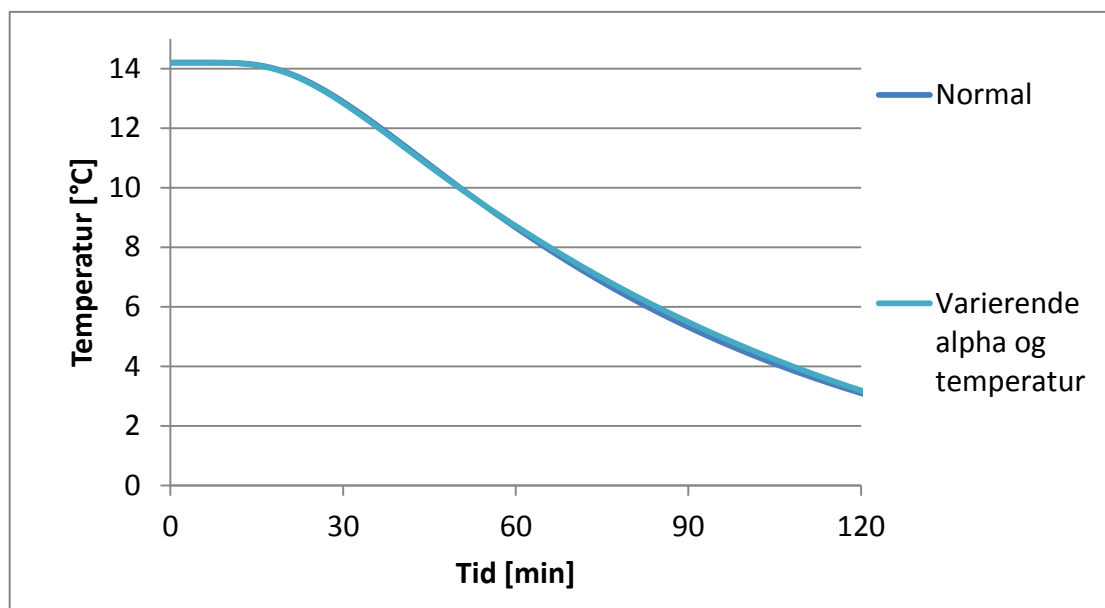
Temperaturen i RSW-anlegget vil ha betydning for energiforbruk og kjøletid. I Figur 4.12 sammenlignes kjøleprosessen ved ulike temperaturer i RSW-anlegget. Av figuren kan man se at temperaturen til kjølemediet har stor innvirkning på tiden det tar før sentrumstemperaturen kommer under 2 °C. Et alternativ som kan undersøkes nærmere er hva som vil skje dersom temperaturen i RSW-anlegget endres i løpet av kjøleprosessen. Temperaturen av kjølemedia (RSW) spiller en viktig rolle gjennom hele nedkjølingen, men spesielt mot slutten av kjølingen er det nødvendig at temperaturen er lavt nok.



Figur 4.12 Sammenligning mellom sentrumstemperaturen i laks ved ulik temperatur i RSW-anlegget.

4.1.2.6 Varierende varmeovergangstall og RSW temperatur

I starten av nedkjølingsprosessen har varmeovergangstallet størst betydning, og det er derfor ønskelig med relativt høyt varmeovergangstall i starten av nedkjølingen. Etterhvert vil varmeovergangstallet få mindre betydning, mens temperaturen på kjølemediet blir mer avgjørende. I Figur 4.13 sammenlignes et normalt nedkjølingsforløp ($\alpha=75 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ og RSW-temp = $-1 \text{ }^\circ\text{C}$) med et nedkjølingsforløp med $\alpha=100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ og RSW-temp = $0 \text{ }^\circ\text{C}$ i de første 45 minuttene, og deretter $\alpha=40 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ og RSW-temp = $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ i resten av perioden. Figuren viser at disse alternativene vil gi omtrent samme sentrumstemperatur i fisken. Samtidig kan det forventes at det kreves mindre energi (for pumpene etc.) for å oppnå en varmeovergangstall av $40 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.



Figur 4.13 Sammenligning mellom sentrumstemperaturen for varierende kjølebetingelser.

4.1.2.7 Sammenligning med levendekjøling

Levendekjøling av fisken vil være gunstig på grunn av følgende faktorer:

- Høyere varmeledningsevne på grunn av blodsirkulasjon i levende fisk;
- Prosessen kan gjennomføres i spesielle tanker (foran slaktning) samtidig som fisken "hviler";
- Temperaturen på fisken før den slaktes kan varieres; dette reduseres gjennom levendekjøling og dermed er kuldebehovet for etterfølgende kjøling konstant (\rightarrow høyere effektivitet).

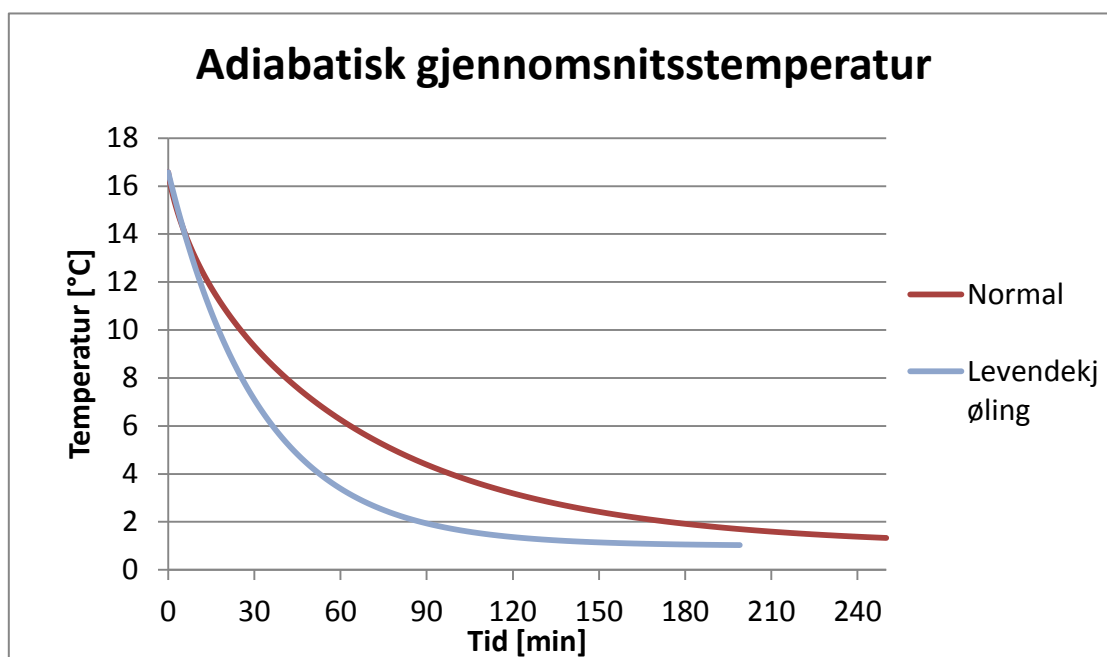
Skjervold¹ beskrev den kjølingen av levende laks når den ble flyttet fra en plass med konstant temperatur til en annen plass med annen konstant temperatur på følgende måte:

$$F(t) = (F(0) - C) \exp^{-kt} + C \quad [5]$$

hvor $F(t)$ er fiskens temperatur ved tiden t , C er den konstante temperaturen til kjølemediet, $k > 0$ er fiskens nedkjølingsrate og $F(0)$ er fiskens temperatur i det den kommer i nedkjølingsvannet ($t=0$). Fiskens nedkjølingsrate avhenger sannsynligvis av fiskens vekt og i forsøket blir det brukt laks fra 2.5 kg til 10.8 kg.

¹ Skjervold, P.O., Fjæra, S.O. and Snipen L, Predicted live-chilling dynamics Atlantic salmon (*Salmo salar*), Aquaculture 209 (2002) 185-195.

I Figur 4.14 sammenlignes den adiabatisk gjennomsnittstemperaturen til fisken ved normal nedkjøling i et RSW-anlegg med fisk kjølt levende. Ved levendekjøling vil nedkjølingen skje raskere, blant annet på grunn av blodsirkulasjonen i fisken som fører til bedre indre varmeledningsevne. Det er tydelig at kjølingen av laksen skjer betydelig hurtigere nå fisken er kjølt levende, dette til tross at fiskens termiske senter har en lengre avstand til overflaten. Levendekjøling kan dermed være en god mulighet til hurtig nedkjøling av fisken, hvis fiskevelferden tillater det.



Figur 4.14 Sammenligning av adiabatisk gjennomsnittstemperatur for fisk kjølt i et RSW-anlegg og levendekjøling.

4.1.3 Sammendrag kjøling av laks

Et delmål av prosjektet er en evaluering av laksekjøling men hensyn til kjøletid, men også energiforbruk. I reale driftssituasjoner finnes det alltid en vist variasjon i fiskens temperatur og geometri, som gjør det veldig vanskelig å evaluere forbedringstiltak uten krevende og tallrike kjøleforsøk. Tidligere evalueringer har brukt eksperimentell arbeid som utgangspunkt og vurdert effekten av tiltakene basert på empiriske modelltilnærminger. Dett gjør det vanskelig å bruke data derfra for videreførende evalueringer, siden randbetingelser (som inkluderer vanligvis spesifikke strømningsforhold i et anlegg osv.) er konstant og ikke overførbare.

Det ble valgt å utvikle en dynamisk modell for laksekjøling, basert på termodynamikk og fiskens geometri. Modellen er verifisert gjennom kjøleforsøkene med varierende randbetingelser. Modellen bruker en standardisert fisk med en gitt geometri og fokuserer på den termiske senter (=kjernetemperatur). Modellen er bygget opp på en måte at reale fysikalske effekter (som for eksempel termisk treghet) er inkludert. Samtidig er det mulig å justere varmeovergangstall og temperatur av kjølemedia gjennom hele forsøket. Dermed er det mulig å evaluere forskjellige tiltak uten at det er nødvendig å gjennomføre eksperimenter (enten i labben eller i industrielle anlegg).

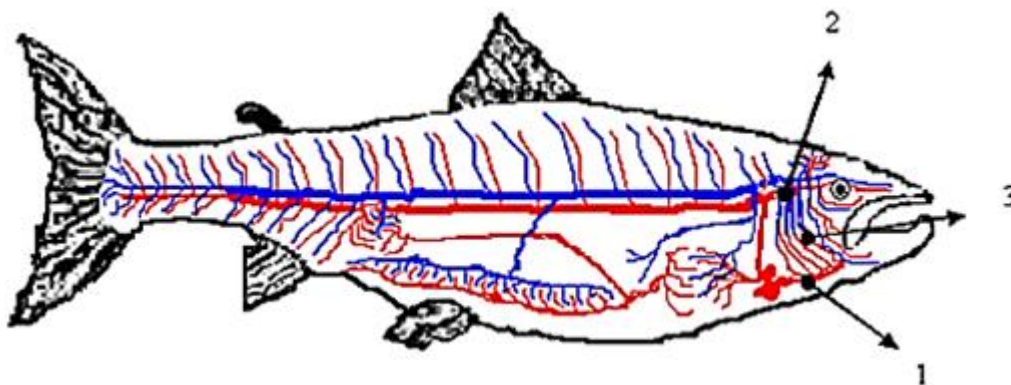
De gjennomførte simulasjoner viser og sammenligner temperaturutvikling for forskjellige nedkjølingsprosesser. Den hurtigste nedkjøling er helt klar den kjøleprosessen som har høyest varmeovergangstall og lavest RSW temperatur. Men det kommer også frem at disse kjølebetingelser kan være energi krevende og den kjøleeffektiviteten vil være lav, fordi fiskens termiske ledningsevne (konduktivitet) utgjør en naturlig begrensning for nedkjølingstiden. Det ligger sannsynligvis stor innsparingspotensial i en mer kontrollert kjøleprosessen, som er seksjonert etter temperatur profilen og utnytter for eksempel den termiske tregheten for å forringe energibruken. Et tidlig avbrudd av kjølingen og konseptet rundt mellomlagring under kjøling viste at den aktive kjøletiden kan bli redusert mellom 30% og 40%. Dette resulterer også i en tilsvarende kapasitetsøkning! Den videreførende arbeidet må evaluere hvordan disse resultatene kan bli brukt i et industrielt anlegg dvs. dele opp dagens kjølingsprosessen i forskjellige trinn som er tilpasset for eksempel ideal prosessetid i utblødnings-tanker. Dette vil også hjelpe å oppnå en mer jevn produktkvalitet, hvis for eksempel pre-kjøling blir brukt bevist for fisk med høy temperatur (i sommer). Samtidig er det anbefalt å belyse kjøleeffektiviteten av systemet.

Nåværende modellen evaluerer nedkjøling basert på en standardisert fisk. Videre arbeid skulle også inkludere en utvidelse av modellen, så at det er mulig å simulere nedkjøling av en hel batch bestående av mange enkeltfisk. Det er nødvendig å inkludere oppvarming av kjølemedia i den evaluering, siden i et industrielt anlegg er den mengde RSW i forhold til antall fisk begrenset. Dette medfører at kjølemedia blir varmet opp samtidig som fisken blir kjølt ned. Dagens modell inkluderer ikke den effekten, men for effektivisering av en industriell kjøleprosessen er det nødvendig at den kobling mellom fisk og kjølemedia er inkludert.

Det har også kommet frem at fiskens temperatur gjennom levendekjøling kan bli senket hurtigere sammenlignet med slaktet fisk. Levendekjøling stiller ekstra krav til fiskens velferd og det er ikke tillatt å senke temperaturen for rask. Med andre ord: selv om levendekjøling er effektiv og hurtig er det ikke lov å kjøle fisken ubegrenset i levende tilstand. Levendekjøling kan også medføre høyere energibehov siden tetthet for levende fisk ikke skal overstige 25 kg per kubikk og man er dermed nød til å bruke mer RSW/vann under levendekjøling. Ved riktig kombinasjoner av kjøling i levende og slaktet tilstand kan det derimot være mulig å forkorte nedkjølingstid, opprettholde jevn produktkvalitet (med hensyn til temperatur) og senke energiforbruket relatert til kjøling.

4.2 Utblødning av laks

Utviklingen i norsk havbruksnæring har i perioden 2001–2014 vært preget av stor vekst, fra ca 435 000 tonn i 2001 til ca 1 300 000 tonn i 2014. I samme periode endret slaktevolumet seg i enkelte slakteri fra 20-30 tonn per dag til 200-300 tonn per dag. I samme periode har alternative metoder for bedøving og avlivning tvunget seg frem, blant annet som følge av økt fokus på dyrevelferd og lovpålagte endringer fra staten. Som en konsekvens av at kunder og næringen selv etterstreber velferdsmessig best mulig praksis, i tillegg til nye myndighetskrav har de fleste slakteriene endret teknologien (FHF, 2009). De har gått bort fra CO₂, over til strøm eller slagbedøving. De fleste har også faset ut levendekjøling, slik at all kjøling før pakking foregår i blødetanken og i kjøletank etter sløyting. I dag er det er stor spredning mellom slakteriene med hensyn til slaktevolum, tekniske løsninger og slakterutiner. I FHF prosjektet «Bedøvelse av laksefisk» ble det i 2012 gjennomført intervju av lakseslakterier (Tobiassen et al., 2012). Utblødning og kjøling av laksen ble da ved flere anledninger bragt opp som økende utfordringer. I samme prosjekt ble det også gjennomført intervju med filetanlegg og røykerier, hvor økende mengde blod i filetene ble sagt å være en utfordring. Blodet kommer ikke til syne før den ferdig røkte laksen blir vakuumpakket, noe som kan resultere i at produktet må nedklassifiseres. Det blir pekt på at blod som koagulerer i gjellene fører til dårligere utblødning, tilsmussing av gjellene, mv. Restblod i gjellene gir dårlig lukt og redusert holdbarhet (QIM score). Det er fare for at nytt utstyr for avliving og bløggning har blitt implementert i eksisterende slaktelinjer uten at en har tatt behørig hensyn til dette i resten av linjen. En del av slakteriene har prøvd å utbedre utblødningen ved å til føre vann- eller luftstrøm i bunne av utblødnings-/kjøletanken.



Figur 4.15 Tre vanlige måter å bløgge fisk: 1 kutte kverken (ventral aorta), 2 kutte dorsal aorta i nakken, 3 kutte gjellebuene på en eller begge sider (Olsen, 2011).

Hvilken bløggemetode som benyttes (Figur 4.15) ser ut til å ha mindre å si for utblødningen, så fremst bløggningen blir utført korrekt. Derimot ser det ut til at tiden det tar fra fisken dør og fram til bløggning, stress, muskelsammentrekninger, temperatur, gravitasjon ol. påvirker mengden restblod i muskel (Akse et al., 2004; Midling et al., 2008; Olsen et al., 2006; 2013; 2014; Robb et al., 2003; Rotabakk et al., 2014; Roth et al., 2005; 2009a; 2009b). God utblødning, rengjøring og kjøling av laksen før pakking eller videre bearbeiding er sentralt for å oppnå lang holdbarhet, og å redusere is-behov og avrenning av blodvann under transport. I tillegg møter næringen skjerpede krav fra markedet i forhold til kjøling (< 2 °C). Rundt 80 % av bakterier som forekommer på fisk i våre kalde farvann, er kuldeelskende (psykrofile) og vil kunne vokse og formere seg selv ved temperaturer ned mot 0 °C. God hygiene, rask nedkjøling og lav temperatur (mellom 0 og -1 °C) under lagring vil forlenge nølefasen til psykrofile bakteriene i starten av lagringen og dette vil kunne forlenge holdbarheten med flere døgn. Blodrester på fisken, i gjellene og i transportkassene er i tillegg ”snop” for bakterier, noe som bidrar til bedre vekstvilkår og raskere bedøring (Saguer et al., 2006; Ghaly et al., 2010).

Etter slakting vil det normalt være en del restblod igjen i muskelen. Restblod er hovedsakelig et visuelt problem som vil kunne bidra til misfarging av fileten, men under fryselagring, salting og røyking kan

restblod bidra til å forringe kvaliteten ytterligere (Tobiassen et al., 2013). Fisk fra våre farvann er generelt sett rik på flerumettede fettsyrer (Polyunsaturated fatty acid, PUFA). Disse fettsyrene oksiderer svært lett og danner harskningsprodukter i kontakt med blant annet jern (Fe^{3+}) (Miller et al., 1990). Da fiskeblod inneholder jern, vil blodmengden i muskel etter slakting ha betydning for dannelsen av harskningsprodukt og holdbarheten til fiskeprodukt ved langtidslagring (Richards and Hultin, 2002). Fiskeblod inneholder i tillegg protolytiske enzymer (proteiner) og er trolig en medvirkende årsak til bløt muskel og spalting på pelagiske arter, deriblant tunfisk (Ando et al., 1999).

4.2.1 Materiale og metoder

Gjennomføring av forsøkene: Det ble utført 5 forsøk fra oktober til desember 2014. Råstoffet i forsøksrundene var laks (2,0-4,5 kg) som ble holdt i merd ved Sjøanlegget til Havbruksstasjonen i Tromsø. I tillegg ble levende laks ($n=150$) transportert fra sjøanlegget til kar på Havbruksstasjonen (Kårvika). Her ble fisken restituert og foret i 4 og 8 uker før svømmetunell- og bløggforsøket ble gjennomført. Generelt for alle rundene er at foringen av fisken ble stoppet 4 dager før gjennomføring av forsøk.

Forsøk 1: Målet var å kartlegge og beskrive årsakene til basisproblemer i bløggeprosessen, med fokus på fiskens tilstand når den kommer inn i bløggelinja. Den 9. oktober ble det derfor gjennomført et forsøk med å holde laks i avkastnot ved sjøanlegget. Sjøtemperaturen var $7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Avkastet ble gjennomført av erfarne røktere, i henhold til havbruksstasjonens standard metode for flytting av fisk.

For å se på effekten av oppholdstid i avkastnoten, ble det gjort uttak av totalt 21 laks ($2,6 \pm 0,9\text{ kg}$ og $59 \pm 7\text{ cm}$), etter 0,5 time ($n=7$), 2,8 timer ($n=7$) og 4 timer ($n=7$). Fisken ble umiddelbart avlivet med slag mot hode før 7 ml blod ble tappet fra kaudalvenen, med hjelp av BD Vacutainer® (7.0 mL) uten tilsetning (Z), påsatt en $0,9 \times 40\text{ mm}$ spiss. Etter blodprøvetaking ble muskel-pH, blod-pH, blod glukose og blod laktat målt. Metodene for måling pH, glukose og laktat er tidligere beskrevet av Olsen et al. (2013). I samme forsøk ble det gjennomført måling av lakseblodets koaguleringsstid ved $7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, som en effekt av tid i avkastnota. Koaguleringsstiden ble målt etter en metode, beskrevet tidligere av Ruis & Bayene (1997). Alle fiskene ble bløgget og blødde ut i 30 minutter i sjøvann ($7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Deretter ble fisken sløyd, iset i kasser med buken ned og kjølelageret i 4 dager før videre bearbeiding, sensorisk vurdering og instrumentell måling av restblod i muskel.

Forsøk 2: Målet var å se på hvordan fiskens aktivitet (utmattning), i kontrollerte omgivelser, påvirker blodtappingen og blodets evne til å koagulere. Den 3. november ble svømmetunellforsøket på Havbruksstasjonen (Kårvika) startet. Fisken ($n=30$) hadde en vekt på $2,7 \pm 0,4\text{ kg}$ og var $63 \pm 3\text{ cm}$ lang. Temperaturen i sjøvannet var $6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Før laks ble flyttet til svømmetunellen for akklimatisering, ble det tatt ut en 0-gruppe ($n=10$). Fisken i 0-gruppen ble forsiktig håvet fra karet og umiddelbart avlivet med slag mot hode. Deretter gikk de igjennom samme prøveprosedyre som nevnt i forsøk 1, bortsett fra at koaguleringsstiden ble målt ved $6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Etter at 0-gruppen ble slaktet, ble 20 stk. laks overført fra det samme kar til svømmetunnelen for akklimatisering i 3 dager, med en svømmehastighet på ca. 0,5 kroppslengde per sekund. Etter akklimatisering ble hastigheten på vannstrømmen gradvis økt i løpet av 10 minutter, fra 0,5 kroppslengder per sekund til 2 kroppslengder per sekund. Fisken ($n=20$) ble holdt ved denne hastigheten fram til utmattelse, som spredte seg fra 10 minutter til 2,5 timer. Hver fisk som ble utmattet ble umiddelbart tatt ut av tunnelen og avlivet med slag mot hode. Disse fiskene gikk igjennom samme prøveprosedyre som 0-gruppen.

Forsøk 3: På grunn av usikkerhet rundt resultatene i forsøk 1 med trening av laks i avkast, ble det derfor besluttet å gjennomføre et nytt forsøk. Den 25. november ble det på nytt gjennomført et forsøk med å holde laks i avkastnot ved sjøanlegget. Avkastet ble også denne gangen gjennomført av erfarne røktere, i

henhold til havbruksstasjonens standard metode for flytting av fisk. Temperaturen på sjøvannet var 6,3 °C. Det ble gjennomført uttak av 30 stk. laks ($4,0 \pm 0,6$ kg, 67 ± 3 cm). For å sikre at fisken i 0-gruppen ikke har blitt påvirket av avkastet, ble Laks (n=10) foret til overflaten og forsiktig tatt ut med håv før selve avkastet startet. Avkastet ble deretter tatt og fisken ble deretter holdt i avkastnoten i 1,5 time (n=10) og 3 timer (n=10), før avlivning med slag mot hode og prøvetaking (se forsøk 1). I tillegg ble det gjennomført måling av blodprotein, for å se om økning i proteinmengden ville påvirket blodets evne til å koagulere. Mengden protein (g/100 ml) ble målt ved hjelp av en MASTER-SUR/Na refraktometer (AGATO CO. LTD, Tokyo, Japan).

Forsøk 4: Den 4. desember ble det gjennomført et forsøk på Havbruksstasjonen i Kårvika, der man skulle se på lakseblodets evne til å koagulere ved ulike temperaturer. Sjøtemperaturen denne dagen var 6,4 °C. Laks (n=6; $2,9 \pm 0,4$ kg) ble forsiktig håvet ut fra kar og umiddelbart avlivet med slag mot hode før 2 x 7 ml blod ble tappet fra kaudalvenen, med hjelp av BD Vacutainer® (7.0 ml) uten tilsetning (Z), påsatt en 0,9 x 40 mm spiss. Blodet fra hver enkelt fisk ble fordelt på ulike temperaturer 0,5 °C (n=6), 6,4 °C (n=6), 10 °C (n=6) og 16 °C (n=6). For hver temperatur ble blod fra samme fisk fordelt på 3 parallelle prøver på ca. 1 ml og overført til 3 stk. (5 ml) TT-rør. Blodet ble holdt i vannbad med konstant temperatur og kaguleringstiden ved de ulike temperaturene ble registrert ved første tegn på koagulering.

Forsøk 5: Den 5. desember ble det gjennomført et bløgge- og utblødningsforsøk ved Havbruksstasjonen i Kårvika. Laksen (n=40; $2,9 \pm 0,4$ kg) ble håvet ut fra kar og avlivet med slag mot hode. Deretter ble forskjellige bløggekkutt benyttet.

- Alle gjellebuer en side
- Alle gjellebuene på begge sider
- Stikk rett foran kverken (kutter ventral aorta).

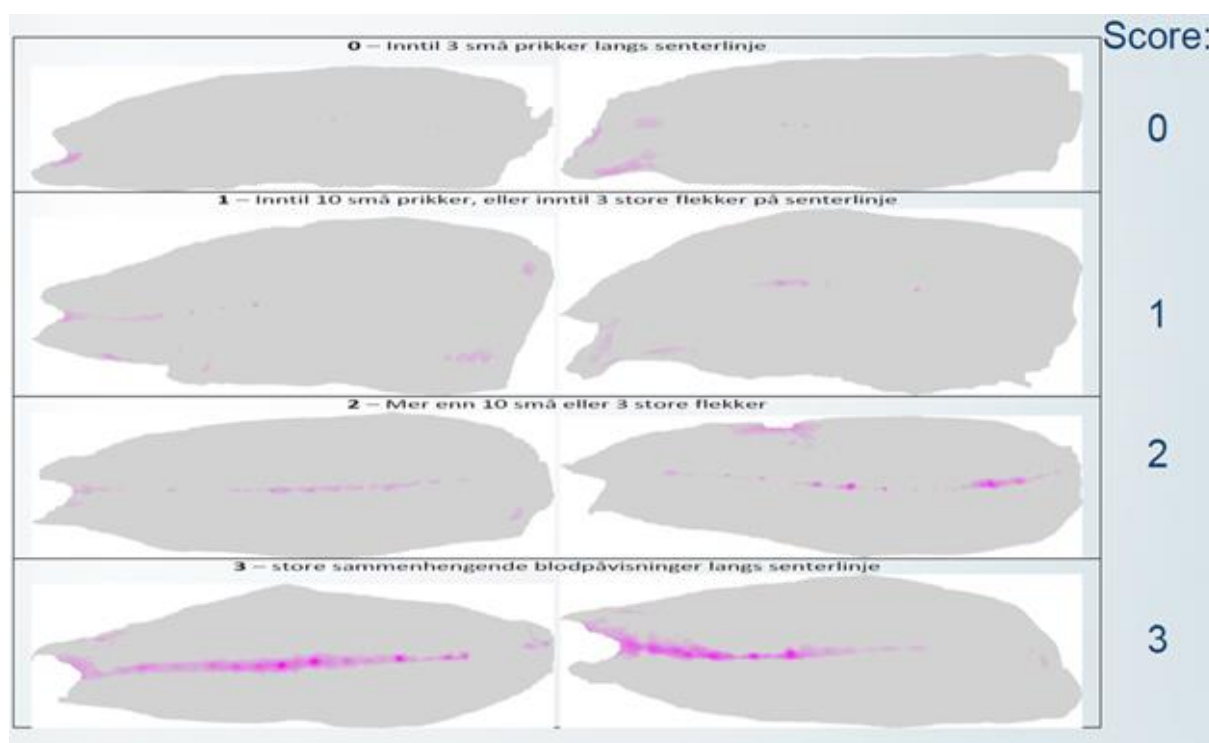
Laks ble hengt opp etter sporen og blødd ut i luft (n=20) eller vann (n=20) i 30 minutter. Temperaturen i vannet var 6,4 °C og i luften 6.0 °C. Fisken ble tørket med tørkepapir før veiing både før og etter blodtapping. Blodtapet ble målt i vektendring i prosent etter bløgging. Etter utblødning ble fisken iset og transportert til Nofimas forsøkshall i Tromsø. Her ble den sløyd, vasket og iset med buken ned i kasser og lagret på kjølerom (1 °C) fram til filetering 4 dager etter slaktning. Instrumentell blodmåling ble gjennomført både på fersk og røkt filet. Den sensoriske vurderingen ble gjennomført kun på røkt filet.

Instrumentell blodmåling.

Instrumentell beregning av restblod ble utført med hjelp av hyperspektral avbildning både av ferske og røkte fileter. Analysemetoden er utviklet i et FHF-prosjekt (Heia et al., 2012) for påvisning av blod- og melaninflekker i laks. Den baserer seg på å sende lys inn i fileten på to smale striper med noen centimeters avstand og måle hvor mye lys som kommer ut av fileten midt mellom de to stripene. Etterhvert som filetene passerer under instrumentet på et transportband (40 cm/sek) dannes et hyperspektralt bilde av hver enkelt filet. Fra det hyperspektrale bildet kan deretter blod/blodflekker påvises. Filetene ble deretter rangert etter mengde restblod av tre trente dommere som vurderte analyseresultene i forhold til skalaen vist i Figur 4.16.

Sensorisk vurdering av blodtapping

Det er normalt lite blod i en fiskemuskel og mengde blod vil også variere relativt lite med f. eks, aktivitet, stress og utmattelse. Hvor blodet er (i kar eller i vev) og i hvilken tilstand det er i (koagulert eller flytende) kan være viktigere enn mengde blod i fileten. I dette tilfelle ble filetene saltet og røyket. Dette er en metode som er beskrevet tidligere for å visualisere restblod i laks (Robb et al., 2003; Olsen et al., 2006). Metoden bidrar til at blodet koagulerer hurtig, i tillegg til at hemoglobinet i blodet oksyderes og gir mørk farge. Etter røyking ble antall synlige blodflekker på overflaten og ned langs sidelinjen først registrert. Deretter ble alle filetene kuttet opp ned langs sidelinjen inn mot skinnet og alle blodfylte årer ble deretter registrert. Mange fylte blodårer i sidelinjen og loins indikerer dårlig blodtapping.



Figur 4.16 Vurdering av restblod i laksemuskel, basert på blod langs sidelinjen

4.2.2 Resultater

4.2.2.1 Kontrollerte småskala forsøk i svømmetunnel og avkastnot

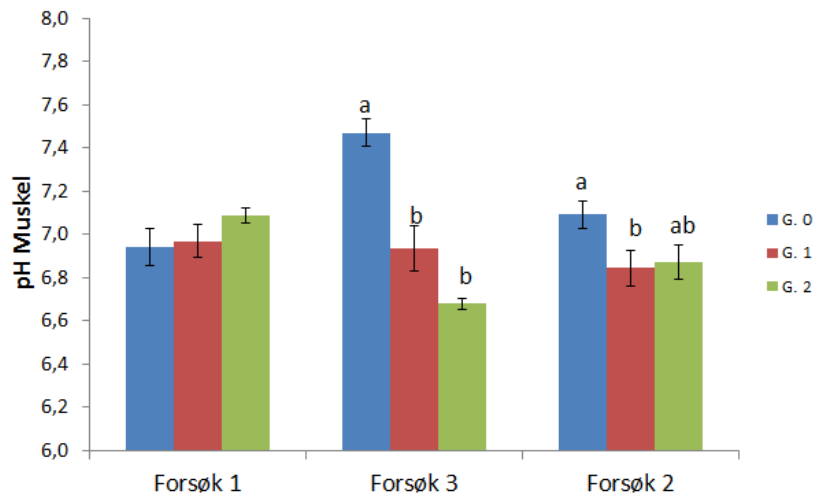
G.0. fisken skulle tas ut før avkast eller overføring til svømmetunell. Som nevnt tidligere ble det i forsøk «avkast 1» gjort en feil og laksen ble stående en halv time i avkast før uttak. For forsøk «avkast 2» og «tunell» ble gruppe 0 tatt ut med håv mest mulig skånsomt før den ble utsatt for avkast eller svømmetunellen.

I tillegg til den ustressete gruppen (G. 0) ble det laget to grupper med økende aktivitet-/stressnivå (G. 1 og G. 2) henholdsvis økende tid i avkast eller svømmetunell.

4.2.2.2 Muskel og blod parameter

pH blod og pH muskel er i stor grad summen av karbon og melkesyre, altså et resultat av hvor mye fisken har jobbet/stresset anaerobt før den ble avlivet. Ved økt stress og belastning reduseres pH muskel.

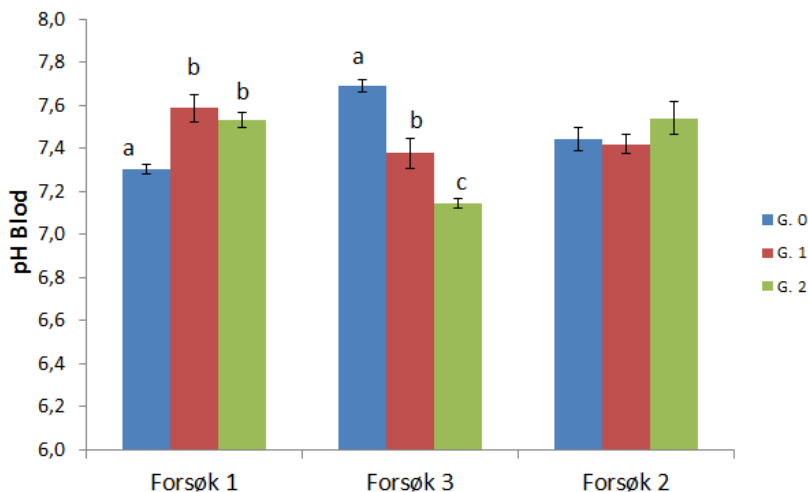
Figur 4.17 viser resultatene for pH muskel målt i forsøk 1, 2 og 3. Gruppe 0, 1 og 2 er økende tid i avkast eller svømmetunnel. Forskjellig bokstav (a,b) over søylene indikerer signifikante forskjeller på $p < 0.05$ nivå.



Figur 4.17 Utvikling i pH muskel i de tre forsøkene med økende belastning av laksen, i avkast (forsøk 1 og 3) eller svømmetunnel (forsøk 2).

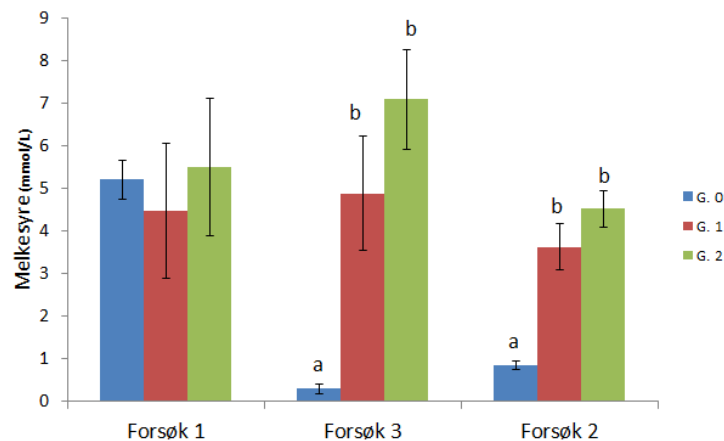
I forsøk 1 er pH muskel allerede lav (under 7,0) etter en halv time i avkast, noe som viser at laksen påvirkes raskt av å oppholde seg i avkastet. I tillegg stiger muskel pH for gruppen av fisk som har vært 4 timer (G.2) i avkastet. Dette er motsatt av hva som var forventet med økt oppholdstid i avkastet. Grunnen til dette er nok at laksen var trent hardt til å begynne med i avkastet og etter hvert tilpasset seg avkastet. Tettheten i avkastet gikk også ned utover i forsøket og forholdene for fisken ble bedre, noe som vises med økt muskel pH. Det var ingen signifikante ($p > 0.05$) forskjeller mellom pH verdiene i forsøk 1.

For forsøk 2 og 3 var pH muskel relativ høy for gruppen av fisk (G.0) (over 7,4 i forsøk 3). pH muskel utviklet seg som deretter som forventet ved at den ble lavere med økende oppholdstid i avkast eller svømmetunell (6,6-6,8).



Figur 4.18 Utvikling i pH blod i de tre forsøkene med økende belastning av laksen, i avkast (forsøk 1 og 3) eller svømmetunnel (forsøk 2). Gruppe 0, 1 og 2 er økende tid i avkast eller svømmetunnel. Forskjellig bokstav (a,b,c) over søylene indikerer signifikante forskjeller på $p < 0.05$ nivå.

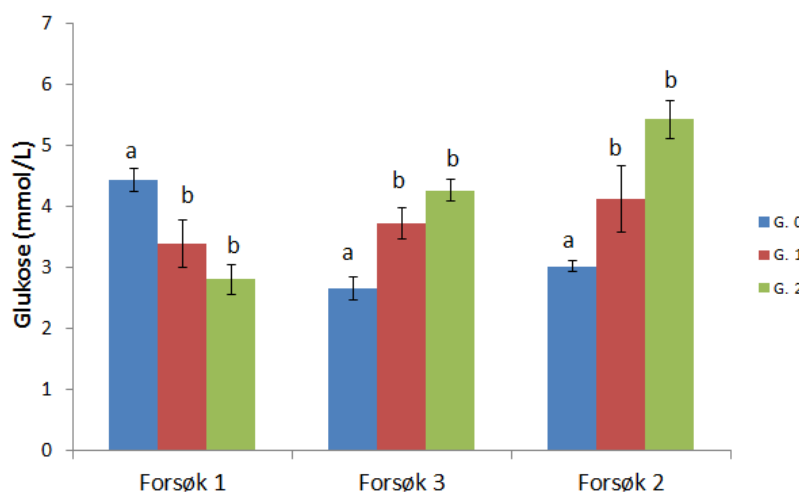
Blod pH indikerer i spesielt i forsøk 3 at nullgruppen ikke har vært stresset, med en pH opp mot 7,7 -7,8. Ellers følger blod pH resultatene fra pH muskel, men noe høyere.



Figur 4.19 Utvikling i melkesyre i de tre forsøkene med økende belastning av laksen, i avkast (forsøk 1 og 3) eller svømmetunnel (forsøk 2). Gruppe 0, 1 og 2 er økende tid i avkast og svømmetunnel. Forskjellig bokstav (a,b) over søylene indikerer signifikante forskjeller på $p < 0.05$ nivå.

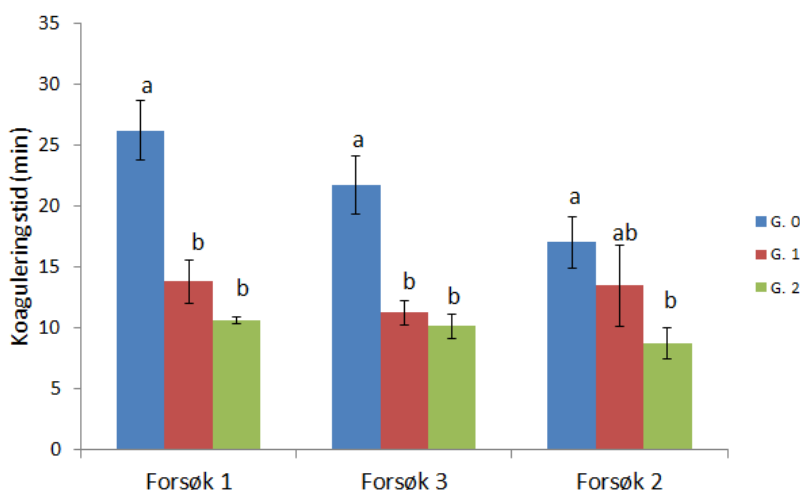
Økt melkesyre nivå tyder på økt stress for laksen. Fisk som stresses over tid vil ha redusert pH i blod og muskel som en følge av økt oksygenforbruk og forhøyet laktat (melkesyre) nivå. Resultatene i Figur 4.19 viser ulik utvikling for laktatnivåene forsøk 1 i motsetning til forsøk 2 og 3. I forsøkene ønsket vi å lage baseline grupper (0-gruppe) som var minst mulig påvirket og stresset før fisken ble overført til avkast eller svømmetunellen. I forsøket 1 ble avkastet tatt før gruppe 0 ble tatt ut, noe som resulterte i en høy melkesyreverdi (over 5,0) allerede etter en halv time i avkastet. Dermed ble det heller ingen signifikant forskjell mellom verdiene i gruppe 0, 1 og 2.

Forsøk 2 og 3 har lik utvikling for gruppene, gruppe 0 ble tatt ut og slaktet før avkastet ble tatt eller overføring til svømmetunell. Laktatverdier for gruppene 0 var dermed lave (under 1) og det var en betydelig økning i laktatverdi med økt oppholdstid i avkast eller svømmetunell (G. 1 og G. 2). Laksen i gruppe 1 og 2 har økende tid i avkastet/svømmetunell og dermed økt belastning/stress, noe som vises ved forhøyede laktat verdier. Verdiene for gruppe 1 og 2 er signifikant forskjellige fra gruppe 0, noe som viser at en klarte å skape grupper av fisk med ulike stressnivå.



Figur 4.20 Utvikling i glukose i de tre forsøkene med økende belastning av laksen, i avkast (forsøk 1 og 3) eller svømmetunnel (forsøk 2). Gruppene 0, 1 og 2 skal representere ulike belastningstid i avkast eller svømmetunell. Forskjellig bokstav (a,b) over søylene indikerer signifikante forskjeller på $p < 0.05$ nivå.

En økning i glukoseverdier kan relateres til økt stressnivå. Tidligere resultater fra forsøkene viste at vi i forsøk 2 og 3 klarte å produsere grupper med økt aktivitetsnivå/stress ved økende tid i avkast eller svømmetunellen. Dette gjenspeiles ved lavest glukoseverdi for laksen i G. 0 og ved en økning for hhv, G. 1 og G. 2. I forsøk 1 klarte vi ikke å få en ustresset G. 0 gruppe som også bekreftes med signifikant ($p < 0.05$) høyere glukose verdier for denne gruppe enn i forhold verdiene i G. 1 og G. 2.

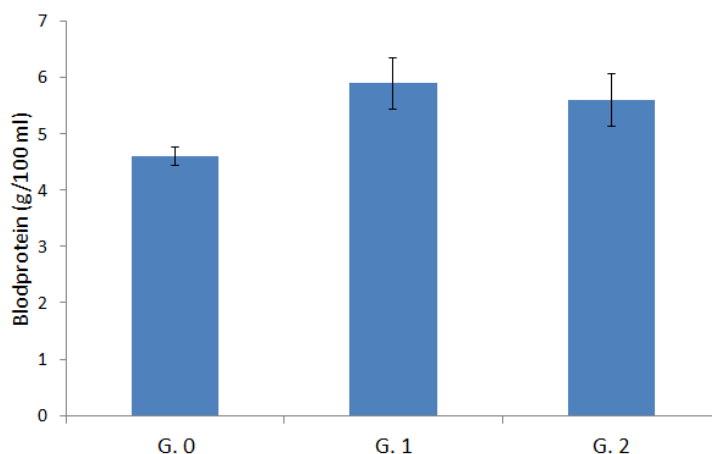


Figur 4.21 Utvikling i koaguleringsstid i de tre forsøkene med økende belastning av laksen, i avkast (forsøk 1 og 3) eller svømmetunnel (forsøk 2).

For alle forsøkene har laksen i G.0 gruppene signifikant ($p < 0,05$) lengre koaguleringsstid enn laksen i G.1 og G.2. Det vil si at du har lengre tid for å gjennomføre avblødningen før blodet koagulerer.

For laksen i forsøk 2 og 3 er det klar sammenheng mellom blodets koaguleringsstid og de målte stressindikatorene. Koaguleringsstiden til blodet reduseres med økt stress/aktivitetsnivå, noe som i forsøkene ble skapt med økt oppholdstid i avkast eller i svømmetunnelen.

I forsøk 1 har vi forklart at vi ikke klarte å lage til grupper av fisk med ulik stress/aktivitetsnivå og vi kunne kanskje forvente at det ikke skulle bli forskjell i koaguleringsstidene for disse gruppene. Derfor er det spesielt at G. 0 har lengst koaguleringsstid da denne ikke var forskjellig fra G.1 og G.2. med hensyn på stressnivå. En mulig forklaring kan være at koaguleringsfaktorene i blodet ikke aktiveres like hurtig, som eventuelt de målte stressparameterne (melkesyre, glukose og pH).

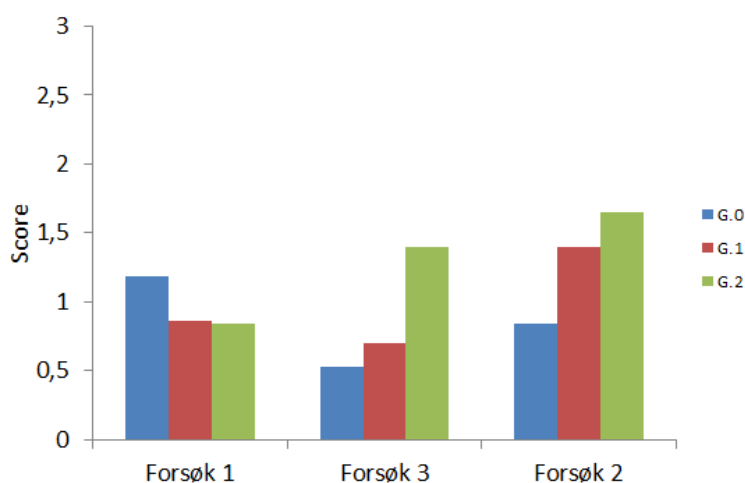


Figur 4.22 Utvikling i målt blodprotein i forsøk 3 (avkast).

Figur 4.22 ser man at laks som ble slaktet ut før avkastet ble tatt har 4,5 g blodprotein per 100 ml blod. Mengden blodprotein stiger for gruppen G.1 (1,5 time i avkast), før den så flater ut for gruppen G.2 (3 timer i avkast). Resultatet her viser at det skjer en endring med blodet, men det gjenstår å undersøke nærmere hva disse endringene er og hvilken konsekvens de har for utblødningsprosessen.

Instrumentelt målt blod

På laksen fra forsøk 1, 2 og 3 ble det gjennomført instrumentelle målinger av blod i fersk og røkt laks. Resultatene ble sammenlignet med visuelle vurderinger av de samme filetene og det var en god sammenheng. Målingen av blod ble gjennomført for å se om det var noen sammenheng mellom stress/aktivitetsnivået til fisken og restblod i fileten.



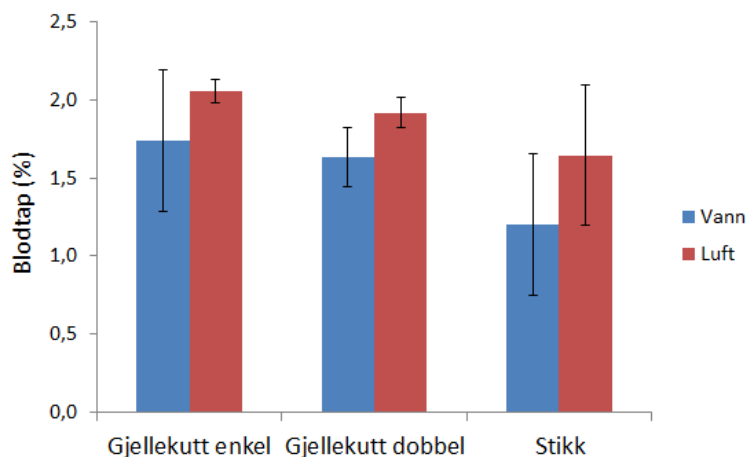
Figur 4.23 Instrumentelt målt restblod i fileter fra laks utsatt for økende belastning, i avkast (forsøk 1 og 3) eller svømmetunnel (forsøk 2).

Etter at instrumentell analyse av restblod var gjennomført, ble resultatene vurdert av tre dommere for å gi hver filet en blodscore mellom 0 og 3. Her representerer 0 minst innhold av blod og 3 mest. Som for de andre resultatene avviker forsøk 1 fra forsøk 2 og 3. I forsøk 1 har fileten som har vært kortest tid i avkastet størst mengde blod i filetene. Første del av trengingen har trolig vært noe hard og har endret fiskens vanlige svømmemønster og stimadferd. Dette har trolig bidratt til økt aktivitet og utmatting i første del av trengingen. Etterhvert har fisken fått bedre plass og har dermed roet seg i avkastet. Dette har trolig ført til at fisken har begynt å akklimatisere i avkastet seg mot slutten av forsøket. I forsøk 2 og 3 hadde gruppe 0 lavest innhold av blod og med en jevn økning av blod innhold for G.1 og G.2 som stemmer godt overens med at disse gruppene var mest stresset/aktiv. Resultatene for forsøk 2 og 3 var veldig klare sammenheng mellom stress/aktivitet før avliving og blodinnhold i muskelen etter røyking.

4.2.2.3 Bløgging i vann og luft.

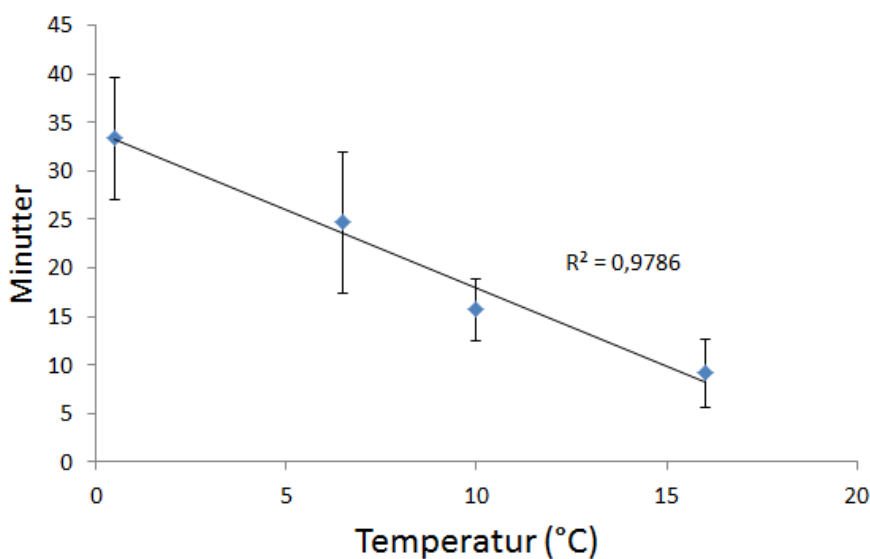
Når det gjelder bløggemetodene, så viser resultatene at laks som ble blødd ut i vann mistet mindre blod enn den som ble blødd ut i luft. Forklaringen på denne forskjellen er at fisken som ble blødd ut i luft tørket noe, mens den som var i vann ikke tørket under utblødning og dermed hadde noe vann på seg under måling. I forsøk med ubløgget fisk, ble det registrert et vekttap på ca 0,25 % for fisk som ble hengt opp i luft i 30 minutter. Når en tar dette med i betraktning så er det ikke store forskjellen mellom utblødning i vann og luft. I tillegg ble ulike bløggemetoder undersøkt med hensyn på utblødning. Forsøket viste ingen signifikant ($p > 0.05$) forskjell mellom metodene, men en kan observere en rangering av metoden hvor enkelt gjellekutt gav marginalt høyere utblødning etterfulgt av dobbelt gjellekutt og med stikkmetoden lavest. Dette var uavhengig av om utblødningen skjedde i luft eller vann. Blodtapet som ble oppnådd i dette forsøk, er omtrent identisk med det som har vært funnet ute i industrien. For metoden stikk (kutte ventral aorta foran

kverken) i vårt forsøk må det nevnes at dette var eksperimentelt og ikke kan direkte sammenlignes med automatisk bløgging.



Figur 4.24 Registrert blodtap for tre ulike bløggemetoder etterfulgt av utblødning i vann eller luft.

4.3.2.3 Temperaturens innvirkning på blodets koaguleringssevne



Figur 4.25 Blodets koaguleringstid som funksjon av blodets temperatur.

Temperaturen påvirker tiden det tar for lakseblodet til å koagulere og resultatene viser en god sammenheng mellom temperatur og tiden før blodet koagulerer. Ved temperaturer rundt 16 °C tar det ca 10 minutter, mens ved en temperatur på 0,5 °C tar det over 30 minutter. Hvis disse sammenhengene også gjelder for blod i laksen så er det en viktig parameter i forhold til utblødning. Spesielt med tanke på at trengeprosessen i tillegg påvirker blodets evne til å koagulere.

4.2.3 Oppsummering utblødning av laks

Stress og aktivitet bidrar til redusert koaguleringsstid og mer restblod i file. Den instrumentelle målingen av blod fungerer meget godt til å påvise restblod i file. Temperatur bidrar til endring i koaguleringsstid. Bløggemetoder og utblødning i luft eller vann er mindre viktig for utblødning dersom korrekt bløgging utføres. Temperatur i vann/luft vil kunne påvirke utblødning. Stress i kombinasjon med høy temperatur vil kunne medføre redusert utblødning.

Anbefaling

- Minst mulig stress på fisken før slakting
- Slakting/bløgging på eller nærmest mulig mærdekanten
- Spesielt ved høye sjøtemperaturer kan det være fordelaktig med kjøling (levende) og da i som seksjoner kjøling.

Dette er basert på et begrenset forsøksmateriale. Må testes hvordan årstidsvariasjoner og kjøling virker inn på utblødning. I tillegg må det gjennomføres forsøk i stor skala for å få dokumentere det vi har vist.

4.3 Nye teknologiske konsept for "trenging", og ventemer. d.

4.3.1 Introduksjon

Trengoperasjoner som foregår i ventemer. d inkl pumping av levende fisk vil være en stressfaktor som kan redusere fiskens pre-rigortid med flere timer, dvs tiden før dødsstivheten inntre. I dette prosjektet er følgende arbeid utført:

- 1) *State of the art (se kap 4.3.2):* Det er utarbeidet en oversikt over eksisterende kunnskap om forhold ved trenging og transport av levende fisk i forhold til fiskevelferd (velferdsriterier), kvalitet, treng – og pumpeteknologi og prosessstyring. Det er også foretatt dybdeintervju med 5 næringsaktører om forhold knyttet til trengoperasjonen i ventemer. d.
- 2) *Kartlegge årsakene til basisproblemer for trengeprosessen i ventemer. d inkl. pumpeprosessen:*
 - a) Det er gjennomført en studie av en trengoperasjon fra start trenging til fisken pumpes inn til slakteriet. Hensikten med forsøket var å øke kunnskapen om trengeprosessen ved å utføre målinger av nøkkeltilstander samt prøvetaking av fisk ved ulike stadier av prosessen. Dette forsøket ga også viktig input til hvilke sensorsystemer som er relevante å utvikle videre.²
 - b) Forbedring av dagens trengprosedyrer med dagens teknologi er foreslått med bakgrunn i forsøket og litteraturstudiet som ble utført (se kap4.3.4).
- 3) *Konsepter for fremtidens ventemer. d:*
 - a) Konsepter for lukkede løsninger for ventemer. d er skissert og en workshop er avholdt ved SINTEF Fiskeri og havbruk i november 2014 (det foreligger et eget møtereferat fra workshopen). Prosjektet har vurdert nye konsepter for ventemer. d og lukkede løsninger samt bruk av mobile slakte-/bedøvings enheter. Det er lagt fokus på minst mulig transport og belastning av levende fisk og økt grad av transport/flytting av fisk etter avliving (se kap4.3.7).
 - b) Nye sensorsystemer er foreslått (se kap4.3.6). Sensorsystemene er tenkt å forbedre styring og kontroll av trengeprosessen slik at operatørene kan utføre trengeprosessen på en bedre

² Erikson et al., 2015b. Utdringer med dagens trengeprosess i ventemer. d – baseline forsøk hos SalMar. SINTEF Fiskeri og havbruk prosjektnotat.

måte. Konsepter for styringssystemer for stressreduksjon og bedre prosessflyt inn til slakteri er vurdert, både i forhold til forbedring av eksisterende teknologi og nye konsepter.

4.3.2 *State-of-the-art* for dagens ventemerder og trengepraksis

Trengeoperasjoner er en av de mest kritiske operasjonene i dagens oppdrettsnæring, både med tanke på fiskevelferd, tap av vekst, dødelighet, kvalitet og rømmingsfare. Likevel utføres operasjonen med samme teknologi og samme metodikk som det har blitt gjort i all tid.

Med stadig større produksjonsvolum og stadig flere produksjonsprosesser som krever trenging av biomasse har det aldri vært gjort mer trenging enn nå. Forståelsen av de negative effektene av trengeoperasjoner, både ved trenging i produksjons- og ventemerdd har satt utviklingen av ny teknologi og nye metoder for trenging av fisk i merd, på dagsorden.

I prosjektet er det foretatt en litteraturstudie samt intervju med næringsaktører om forhold knyttet til trengeoperasjonen i ventemerdd. Dette er beskrevet i et notat³. Kort oppsummert viser litteraturstudien at operasjonen trykk/vakuumpumping inn til slaktelinjen representerer som regel den største stressbelastningen for slaktelaks i kjeden fra oppdrettsmerd fram til bedøving/avliving på slaktelinjen. Trenging i ventemerdd før pumping kan også føre til en stressbelastning. På grunn av den relativt korte eksponeringstiden fisken ofte har ved høye fisketettheter foran pumpeinntaket (minutter til få timer) og påfølgende pumping (1-2 min), den moderate konsekvensen for redusert fiskevelferd som en følge av stresspåvirkningen, i tillegg til at fisken skal avlives i neste trinn, synes det i utgangspunktet som om reduksjon av akutt håndteringsstress kan være viktigst å kvantifisere siden graden av håndteringsstress og rigor mortis er av interesse for videre prosessering.

Vi forslår følgende evalueringsparametere:

- (1) pH i hvit muskel
- (2) tid til inntreden i rigor mortis, samt eventuelt,
- (3) laktat i blod (økt laktatmengde i blod stammer fra muskelens nedbrytning av glykogen)

Med hensyn til fiskevelferd og stress i ventemerden bør industrien ha kontroll over følgende punkter:

- Tilstrekkelig oksygenmetning under trengeoperasjonen (f.eks. DO > 80 % metning). En bør være spesielt påpasselig med oksygennivået ved høye sjøtemperaturer.
- Fisken skal ikke eksponeres mot luft under operasjonen.
- Unngå at fisken tyr til fluktnespons (fisken skal svømme i rolig ved bruk av rød muskel, aerob metabolisme).

Bedriftene, som deltok i spørreundersøkelsen, trakk fram følgende forhold som kan forbedres med dagens trengepraksis:

- Hele verdikjeden må sees under ett inkl hele prosessen fra uttak i produksjonsmerd, brønnbåttransport, ventemerdd og pumping var viktig for å oppnå gode resultater.
- Enkelte mente at avkastnot var en brutal måte å trenge fisk på ettersom den foregår rykkvis, og notmerker var ikke uvanlig på fisken.
- Det ble trukket frem at andre konsepter som skyveskott for bedre kontroll med trengeprosessen ville være en stor forbedring.
- Det ble etterlyst større grad av objektivitet og kvantifisering av adferd, samt bedre opplæring mht vurdering av fiskevelferd

³ Erikson et al., 2015a. Dagens ventemerder og trengepraksis – *state of the art*. SINTEF Fiskeri og havbruk prosjektnotat 19s.

- Direkteløssing fra brønnbåt ble nevnt som en fordel for å unngå belastningen fra en ekstra runde med trenging og pumping. Når brønnbåten legger til mente enkelte at dette kunne stresse fisken i ventemerden, og brønnbåten bør derfor kobles til en egen lossestasjon.
- Når det gjelder HMS ble det nevnt at den arbeidskrevende avkastnoten med fordel kunne automatiseres for å redusere fysisk belastning for personell.
- Omkobling og trekking av slanger på ventemerd er tidkrevende og tungt arbeid.

4.3.3 Basisproblemene for trengeprosessen i ventemerd

Det ble gjennomført en baseline studie hvor trengeprosessen fra start trenging til fisken pumpes inn til slakteriet ble studert.

Hensikten med studiet var følgende:

- Øke kunnskapen om trengeprosessen i ventemerd ved å utføre målinger av fiskens stresstilstand samt utvalgte fysiske parametere relatert til prosessen.
- Gi input til eventuelle forbedringer av dagens trengeprosedyrer med dagens teknologi.
- Gi input til eventuelle nye sensorsystemer samt hjelpemidler for prosesskontroll

Studiet ble gjennomført ved SalMar sitt prosesseringsanlegg på Frøya i Sør-Trøndelag og er beskrevet i prosjektnotatet Erikson et al., 2015b.

Kort oppsummert viser denne studien følgende:

I havbruksnæringen benyttes ulike typer ventemerder, prosedyrene og utstyr for overvåking av trengeprosessen varierer fra anlegg til anlegg og ikke minst er operasjonen personavhengig med hensyn graden av oppfølging og overvåking underveis gjennom hele trengeprosessen. Vi vil derfor presisere at resultatene gjelder for SalMar sin ventemerd under de rådende betingelsene den aktuelle dagen.

- Basert på kriteriet at det ikke skjedde endringer med fisken gjennom to trengoperasjoner (avkast) så kan prosessen betegnes som god. Det må samtidig presiseres at fisken var stresset, men ikke utmattet, før trengeprosessen tok til. Dersom fisken hadde vært lite stresset i utgangspunktet kan konklusjonene i forbindelse med stress i avkast ha blitt noe annerledes.
- God vannutskifting og høy oksygenmetning ble observert gjennom hele trengeprosessene (blant annet målt i områder med høyest fisketetthet)
- Fisken i avkastet ble ikke eksponert mot luft
- Laksen var stresset (men ikke utmattet) før fisken ble trengt i to avkast. Mest trolig skyldes dette at det hadde blitt slaktet fisk fra samme merd 12 timer tidligere.
- Fisketettheten var høy og virket relativt uniform gjennom begge trengoperasjonene
- I forhold til fisk i samme merd før avkastene ble satt, ble ikke fisken ytterligere stresset i løpet av de to trengoperasjonene vi studerte (som inkluderte siste fisk ut fra ventemerd)
- Til tross for høy tetthet viste videoopptak fra undervannskameraer at fisken svømte rolig rundt i avkastet. Denne atferden forklarer hvorfor vi ut fra våre stressmålinger kunne konkludere med at fiskens stressnivå ikke endret seg signifikant gjennom trengoperasjonene.
- Det var store individuelle forskjeller med hensyn til når rigor mortis startet i de ulike gruppene fisk. I tråd med resultatene fra stressmålingene var det ingen klar tendens med hensyn til lengden av pre-rigortid og trengetid. I de fleste fiskene startet rigor mortis mellom 5 og 13 timer post mortem ved lagring på is.
- Slik trengoperasjonen ble utført er det uklart om fiskens velferd eventuelt kunne ha blitt forbedret, eller om det er behov for det (gitt at dagens produksjonshastighet skal opprettholdes).
- Dersom en ser bort fra åpenbare velferdskriterier knyttet til vannkvalitet, og at fisken ikke må eksponeres mot luft, er det uklart om det er andre kriterier en bør vurdere spesifikt for ventemerd.

4.3.4 Dagens trengeprosedyrer

Utfordringer knyttet til produktkvalitet, som bløt filét og filétspalting, avhenger ikke bare av behandlingen fisken får på slakteriene men også av historikken til fisken helt fra settefiskanlegget, gjennom vekstfasen i sjø og fram til slakteri. Hendelsesforløpet som kan påvirke produktkvaliteten fram til slakteri, er ikke noe slakteriene kan bøte på, men målet er at slakteriene ikke skal bidra negativt til ytterligere forringelse av kvaliteten.

Mattilsynet ga i 2014 ut en veileder⁴ om krav til god fiskevelferd ved slakteri for akvakulturdyr. Basert på vårt forsøk, samt litteraturstudiet og intervju med bedriftene mener vi at de anbefalingene som gis i veilederen er gode.

Kort oppsummert gir veilederen følgende råd:

- De legger vekt på at fiskens velferd skal ivaretas gjennom hele slakteprosessen, fra trenging og pumping til ferdig avlivet fisk.
- Gode holdninger og god kompetanse hos operatørene er også vesentlig for at avliveningen skal kunne gjennomføres på en velferdsmessig forsvarlig måte. Vurderinger som går inn her er fiskens atferd i merd, fiskens helsestatus (sår/skader på fisken), andel dødelighet etc.
- Det er ikke anbefalt å oppbevare fisken lengre enn 6 døgn i ventemerd.
- Miljøet i ventemerden må være akseptabelt (temperatur og oksygennivå må ligge innenfor fiskens toleransegrenser).
- Kravene til tetthet i ventemerd er de samme som for ordinære anlegg, dvs 25 kg/m³.
- Personell skal være tilstede ved lossing av fisk, tetthet, rengjøring av nøter, opptak av svimere og dødfisk.
- Akseptabel oksygenmetning er minimum 70-80 % metning. Ved lave temperaturer kan det være forsvarlig med lavere O₂- metning, mens O₂ metning bør være høyere ved temperaturer opp mot 20 °C.
- Opplining skal skje på en måte som ikke lager lommer i nota eller grunne områder der fisken kan gå seg fast.
- Ved pumping bør fisk føres i en jevn strøm i passelig hastighet gjennom rørgater.
- Pumper og rørgater må være dimensjonert til mengde og størrelse på fisk for å oppnå jevn flyt. Spesielt viktig er at man har et godt styringssystem for jevn innmating til bedøver.
- Oppholdstid i rør skal ikke være lengre enn nødvendig.
- Gode rutiner med hensyn til arbeidsflyt og kommunikasjon langs hele slaktelinja (fra fisken trenges til den er avlivet) vil kunne bidra til at fisk ikke hopper seg opp inne i rørgatene eller blir eksponert lenge for luft på bånd før bedøving.
- Det skal ikke tas pauser uten at rørene er tømte for fisk.
- Antall meter rør og rørdimensjon har betydning for tilgjengelig oksygen i vannet. En tommelfingerregel er at laksefisk forbruker oksygenet i 0,5 liter vann pr kg fisk pr minutt.
- Virksomheten bør ha kontroll på forholdet mellom fisk og vann, samt oppholdstid.
- Rørgatene skal være utformet slik at det er minst mulig risiko for å skade fisken.
- Jevnlig vedlikehold, service og opplæring av personell er viktig for å oppnå best mulig fiskevelferd ved pumping av fisk.
- Laks bør ikke eksponeres for luft i mer enn ca. 30 sekunder, men bør helst unngås.

Videre er det i en rapport utarbeidet av Mejdell et al. (2009⁵) gitt følgende beskrivelse av hvordan merdbildet og fiskens adferd kan gi et mål for trenningsgrad (se også Figur 4.26):

⁴ Mattilsynet, 2014. Veiledning om krav til god fiskevelferd ved slakteri for akvakulturdyr.

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



Figur 4.26 Trengning av laks i en sen fase av trengingen. (Trengingsgrad Nivå 3, Mejdell et al., 2009).

4.3.5 Forslag til forbedringer til dagens trengeoperasjon

Vi foreslår følgende forbedringer av dagens trengeoperasjon:

- Alternativ plassering av pumpeinntak
- Benytte en mer skånsom metode for å flytte levende fisk på

Disse forslagene er presentert nedenfor.

Alternativ plassering av pumpeinntak

Biomassestrømmen (pumperaten) inn til slakteriet endres gjerne ved at pumpehastigheten justeres og beskjed gis til personell på merdkanten om de må trenge fisken mer eller mindre. Ekkolodd har blitt benyttet i tidligere forsøk for å se om det er mulig å måle fisketettheten rett foran pumpeinntak, blant annet for å kunne benytte målingen til automatisk justering av pumperate i en lukket reguleringsløyfe (Liu, 2013⁶). Denne tilnærmingen viste seg imidlertid å være utfordrende ettersom fisketettheten foran pumpeinntaket var så høy

⁵ Mejdell, C.M., Erikson, U., Slinde, E., Evensen, T.H. Midling, K. (2009) Slaktesystemer for laksefisk i 2008 – fiskevelferd og kvalitet. Veterinærinstituttets rapportserie. Nr 1-2009.

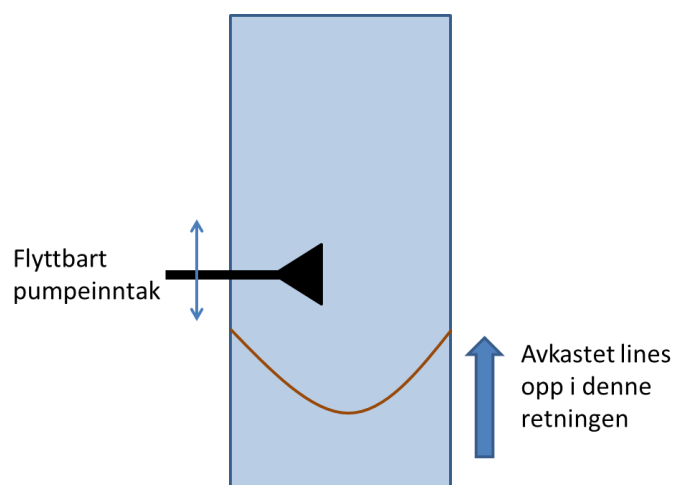
⁶ Liu, L., 2013, Study on backscattering from a fish school near pump intake, Master Thesis NTNU.

at ekkoloddet som ble benyttet ikke greide å måle tetthetsendringene. For bedre kontroll på pumpeprosessen, og derigjennom tettheten i avkastet, forslås det her en del muligheter som kan bidra til bedre kontroll i forhold til dagens situasjon.

Under intervjurunden ble det avdekket at det ikke er praksis å flytte pumpeinntaket underveis i trengeprosessen. Figur 4.27 viser et eksempel på opplining under trenging av fisk i ventemerd. Som det går frem av Figur 4.27 trenges fisken fra den ene siden mot pumpeinntaket. Videomateriale fra forsøket gjennomført i prosjektet viser at tettheten ser ut til å være høyest i enden hvor nota lines opp. Dette gjelder spesielt idet volumet reduseres. Det kan være hensiktsmessig å plassere pumpeinntaket der fisketettheten er størst i stedet for å trengre fisken mot pumpeinntaket. En måte å gjøre dette på er å ha et bevegelig pumpeinntak som flyttes nedover i avkastet etter hvert som nota lines opp. Dette er illustrert i Figur 4.28.



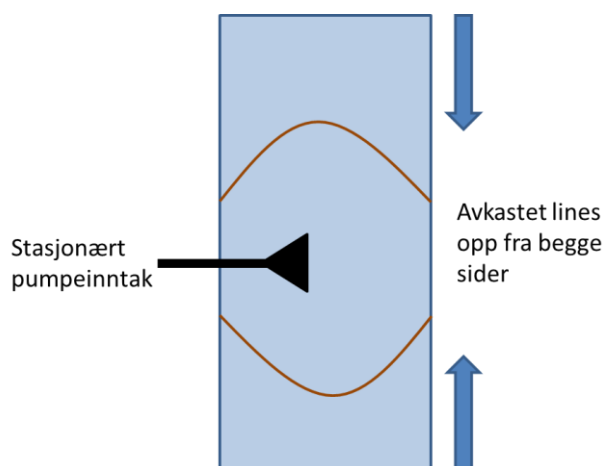
Figur 4.27 Opplining av avkast



Figur 4.28 Prinsippkisse for flyttbart pumpeinntak

Ved å plassere og flytte pumpeinntaket som illustrert i Figur 4.28 kan man hente ut fisken der tettheten er størst. Slik reduseres tiden fisken står med høyest tetthet i avkastet. I denne sammenhengen nevnes at om man flytter pumpeinntaket som foreslått over så kan fiskens adferd påvirkes slik at tettheten ikke lenger er høyest der det lines opp. Ytterligere forsøk vil være nødvendig for å kunne si noe om effekten flytting av pumpeinntaket har på fiskens adferd.

Som et alternativ til forslaget illustrert i Figur 4.28 kan man se for seg et stasjonært pumpeinntak i midten av avkastet der man lines opp nota fra begge sider inn mot pumpeinntaket. Dette er illustrert i Figur 4.29.



Figur 4.29 Prinsippkisse for opplining fra to sider

Ved å line opp mot midten fra begge sider kan man trolig oppnå en jevnere tetthet på biomassen i avkastet. Ytterligere forsøk vil være nødvendig for å kunne si noe om betydningen denne tilnærmingen har på fiskens velferd.

Skånsom måte for flytting av fisk

Bruk av vakuumpumper kan påføre laks skader på gjeller, skinn og finner enten på grunn av trykkendringer eller på grunn av kontakt med annen fisk eller med skarpe kanter og bend i pumpen. I tillegg påfører

vakuumpumpene levende fisk stress og utmattelse i varierende grad. Espmark et al. (2012)⁷ studerte bl.a. vakuumpumping av laks og fant at pumping er uheldig for kvaliteten på laks.

En mer skånsom måte å flytte fisken på vil være å erstatte trykk-vakuumpumper med f.eks. ejetorpumper. Som eksempel nevnes Flatsetsund sine ejetorpumpeløsninger (<http://www.fls.no/en/ejector>) samt pumpene fra Environmental Technologies Inc. (<http://www.transvac.com/index.php/silkstream>). Flere ejetorpumper kan kobles i serie for å øke løftehøyden dersom dette skulle være en utfordring, men dette kan være komplisert.

Et annet konsept som bl.a. brukes for transport av frukt er Woosh. Hver enkelt fisk drives fram ved trykkdifferensialer i en myk og fleksibel slange. Konseptet kan benyttes ved høy hastighet og stor løftehøyde. Imidlertid må man legge fisken manuelt inn i slangen, og det krever derfor videre utvikling før dette kan benyttes i laksenæringen i Norge. Konseptet kan sees her:

<http://www.independent.co.uk/news/science/video-shows-salmon-cannon-used-to-help-fish-move-upstream-9667646.html>

"Menneskelige faktoren"

Når det gjelder forbedring av dagens trengoperasjoner er kanskje den viktigste faktoren den "menneskelige faktorer", som er et samlebegrep der det oppstår problemer med samhandlingen mellom teknikk eller prosedyrer og mennesket. I de fleste etablerte bransjer er det i dag "menneskelige faktorer" som er den største medvirkende årsaken til uønskede hendelser. Ulykkesgranskning fra maritim sektor (Rothblum, AM. 2000⁸) peker på at "menneskelige faktorer" medvirket i 84-88% av tankerhavari (Transportation Safety Board of Canada, 1994), 79% av grunnstøtninger med slepefartøy, 89-96% av kollisjoner, 75% av branner og eksplosjoner. Dette kan lære oss at operasjoner og teknikk skal tilrettelegges menneskets naturlige forutsetninger.

På ventemerden settes det gjerne opp ukeplaner som angir hvor mye som skal slaktes hver dag. Men dette vil være dynamisk og endres i forhold til laksepriser, biologiske faktorer og andre relevante faktorer. I praksis vil det være stadige endringer i hvor fisk skal hentes og hvor mye. Dette representerer en utfordring for slakteriene ettersom denne dynamikken medfører endringer i hvilken fisk som skal slaktes når. Dette påvirker arbeidssituasjonen til mannskapet på merden i form av avbrutte operasjoner og stress. Dette kan igjen påvirke fiskens velferd og kvalitet. Stress er gjerne en medvirkende faktor i uønskede hendelser, og en har lenge vært kjent med at økt stressnivå reduserer prestasjonsnivået til sammensatte oppgaver som krever delt oppmerksomhet, arbeidshukommelse, beslutningstaking og multitasking (Yerkes-Dodson, 1980⁹).

I havbruksbransjen er det ikke alltid forholdene ligger til rette med tanke på bemanning, hviletidsbestemmelser og oppgavene som skal gjennomføres. I den senere tiden, gjerne i kjølvannet av rømminger, har det vært større fokus på viktigheten og krav til hviletid. ("Menneskelige faktorer og

⁷ Espmark ÅM, Humborstad OB, Midling KØ (2012). Pumping av torsk og laks, faktorer som påvirker velferd og kvalitet. Nofima rapport 6/2012.

⁸ Rothblum AM. Human Error and Marine Safety. U.S. Coast Guard Research & Development Center Schreck, C.B., Olla, B.L. & Davis, M.W. 1997. Behavioral responses to stress. In: G.K. Iwama, A.D. Pickering, J.P. Sumpter, C.B. Schreck (eds.). *Fish Stress and Health in Aquaculture*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 145-170.

⁹ Yerkes RM., Dodson JD. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology* **18**: 459–482. Doi: 10.1002/cne.920180503.

rømming" FHF-prosjekt 900835¹⁰) Likevel vil det være hektiske perioder, og i operasjonelle oppgaver vil det ikke være rett frem å sette inn vikarer til å utføre arbeidet. Lange arbeidsdager, eller lange arbeidsøkter uten pause, på bevegelige arbeidsplattformer slik som båt og merdkant, påvirker både kognitiv og fysisk yteevne hos den enkelte (Hansen et al 2010¹¹).

Samhandling mellom forskjellige arbeidsteam er alltid en faktor en må se på når det er snakk om menneskelige faktorer. På ventemerder kommer brønnbåt inn som et eksternt team, leverer fisk og drar igjen. Det er færre servicefartøy innom, da det generelt er mindre fortøyningsarbeid på ventemerder enn på sjø. Et selskap forteller at de har ROVinspeksjon etter 6 måneder og leier stort sett inn eksterne til å gjøre vedlikeholdsarbeid. ("Menneskelige faktorer og rømming" FHF-prosjekt 900835.) I havbruksnæringen, som i mange bransjer, kan samhandlingen problematiseres av fremmedspråklige. Det kan også oppstå misforståelser grunnet kulturforskjeller i forhold til om beskjeder er mottatt og forstått eller ikke. Dette er noe en må være bevisst på.

4.3.6 Sensorsystemer

Sensorsystemene skal forbedre styring og kontroll av trengeprosessen slik at operatørene kan utføre trengeprosessen på en bedre måte. Konsepter for styringssystemer for stressreduksjon og bedre prosessflyt inn til slakteri, både eksisterende teknologi og nye konsepter, er vurdert og beskrevet nedenfor.

Oksygen

Oksygeninnhold i vannet avhenger blant annet av fiskens aktivitet, fiskens tetthet og vanngjennomstrømming. Oksygen er en parameter som i utgangspunktet relativt enkel å måle, men kan være vanskelig å gjøre noe med. Industrien oppgir at oksygeneringsutstyr brukes i liten grad og strømforhold varierer fra lokalitet til lokalitet. Dette gjør det til sammen vanskelig å øke oksygeninnholdet i vannet dersom behovet skulle oppstå. En mulig forbedring i denne sammenhengen kan være et system som gjør det mulig og raskt og enkelt sette ut et antall O₂ målere i avkastet knyttet til grenseverdier knyttet til god oksygenmetning, lav oksygenmetning og for lav oksygenmetning. Disse grensene kan synliggjøres for operativt personell gjennom et "Trafikklys" på merdkanten som indikerer når de ulike grenseverdiene nås. Dette er illustrert i Figur 4.30.

¹⁰ Thorvaldsen T., Holmen IM., Moe HK. (2013). Menneskelige faktorer og rømming, SINTEF rapport A2408 978-82-14-05575-7.

¹¹ Hansen JH., Geving IMH., Reinertsen RE. (2010). Adaptation rate of 6-sulfatoxymelatonin and cognitive performance in offshore fleet shift workers: a field study. Int Arch Environ Health 83: 607-615.



Figur 4.30 Eksempel "Trafikklys" på merdkanten

Et slikt system krever at det etableres en metode for hvordan Oksygen skal måles og hvilke grenseverdier som skal være gjeldende. Det må i tillegg kartlegges hvilke tiltak som kan gjøres ved de ulike anleggene dersom oksygenivået er i faresonen eller blir for lavt. Eksempler på mulige tiltak kan være stans i trenging ved gult lys og start av oksygenering eller å slippe ned notbunnen ved rødt.

Tetthet

Akustiske metoder kan trolig benyttes til å beregne tetthet i ventemerd, men mange faktorer påvirker resultatet og slike system må spesial tilpasses. Eksempelvis kan man montere ekkolodd som scanner hele merdvolumet fra undersiden. Til dette formålet kan man for eksempel benytte en flerstrålesonar (Figur 4.31).



Figur 4.31 Flerstrålesonar. Foto: NORBIT

En flerstrålesonar kan roteres for å dekke hele merdvolumet. Man vet fra brønnbåten hvor stor biomasse (antall og snittvekt) som er i merden. Når fisken ikke er trengt måler man 100 % signalstyrke fra totalbiomassen. Når biomassen deles i et avkast kan man se på de to sidene hver for seg og slik få et estimat på mengden fisk i trengt og utrengt volum.

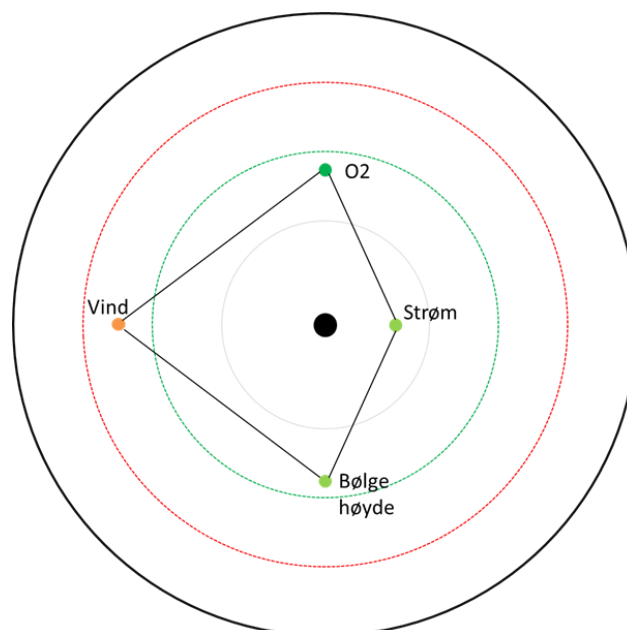
Volum

Som vist i prosjektnotat (Erikson et al., 2015b) kan volum i merden estimeres ved bruk av dybdemålinger. Det kan tenkes at volum alene kan brukes som styringsparameter i trengeprosessen gjennom å sette grenser for hvor raskt man endrer volumet i avkastet. Dette kan bidra til reduksjon i stressbelastningen til fisken. Det kan også undersøkes hvorvidt skader på fisken forårsaket av kontakt med nota kan reduseres gjennom en slik begrensing.

En annen mulighet er å kombinere slike dybdemålinger med sonar som beskrevet over. Sonaren vil alene kun gi et mål på hvor stor del av totalmengden i ventemerden som befinner seg i avkastet før oppliningen begynner. Dersom man i tillegg har et estimat på volumet kan man benytte signalstyrken fra sonaren til å estimere tettheten i avkastet.

HMS

Instrumentering er ikke kun forbeholdt måling av forholdene til fisken. Vind, bølger, strøm og temperatur er alle eksempler på faktorer som påvirker arbeidssituasjonen til menneskene ute på merden. Dårlige arbeidsforhold kan føre til hastverksarbeid i form av for hard behandling av fisken. Det bør derfor vurderes å måle uvalgte miljøparametere som påvirker trivsel og yteevnen til røkterne. Operasjonelle grenser for disse parameterne kan defineres og arbeidet på merdkanten tilpasses deretter. En mulig løsning for fremstilling av måledata som omfatter både fisk og mennesker er gitt i Figur 4.32.



Figur 4.32 Forslag til informasjonsfremstilling

Ideen bak fremstillingen i Figur 4.32 er å fremstille operasjonskritiske parametere på en slik måte at operatøren enkelt kan kaste et blikk på displayet uten å måtte bry seg om detaljer. I en slik fremstilling er parameterene representert med hver sin prikk. Posisjonen til hver prikk er avgjort av hvor langt unna de respektive målingene er sine grenseverdier som her er representert av den røde sirkelen. Dersom en av målingene beveger seg ut over den røde sirkelen kan det gis alarm til operatøren og operasjonen må avbrytes. Farger for å illustrere alvorlighetsgrad kan også benyttes. Alle målinger som ligger innenfor den grønne sirkelen er representert med grønne prikker. Målinger som nærmer seg grenseverdien sin kan f.eks skifte farge til oransje mens de som passerer den røde linja skifter til f.eks blinkende rødt. Det kan og vurderes om

det kan være hensiktsmessig å skravere arealet som innesluttet av linjene som binder sammen målepunktene ettersom assymetrien i figuren dette arealet danner kan gjøre det enklere å se hvilke målinger som ligger nærmest grensa.

Fiskens atferd

Per i dag er det personell på merdkanten som observerer fisken og bedømmer adferd. I tillegg opplyser enkelte at det benyttes kameraovervåkning av fisken både over og under vann. Enkelte parametere som svømmehastighet og svømmemønster kan kvantifiseres ved bruk av avansert bilde- og videoanalyse som "optical flow" basert hastighets- og retningsmåling. Man kan benytte kameraene som gjerne er i bruk på anlegget allerede og utvikle programvare for å regne ut et vektorfelt som representerer fiskens svømmemønster. Svømmemønsteret vil være stress- og håndteringsrelatert. Grenseverdier for hvor kaotisk svømmemønsteret (vektorfeltet) kan være og hvor fort dette kan endre seg kan settes og benyttes som styringsparametere i trengeprosessen (se kap. 4.3.4; Beskrivelse av fiskens atferd relatert til trengingsgrad Mejdell et al. (2009). Programvareløsninger for dette må utvikles før en slik løsning eventuelt kan realiseres.

4.3.7 Teknologiske konsepter for lukket ventemerdd

I fremtiden kan det være aktuelt med lukket ventemerdd systemer, bl.a. for å redusere risikoen for overføring av patogene organismer mellom fisk, samt spredning av lus. I prinsippet er det aktuelt å vurdere to eller tre alternativer, nemlig lukket ventemerdd i sjø eller at fisken pumpes fra brønnbåt direkte inn til landbaserte kar eller tanker. Et tredje alternativ er naturligvis å pumpe fisken fra lukket brønnbåt rett inn på slaktelinjen uten å gå veien om lukket ventemerdd. For optimal effekt av tiltak som medfører redusert smitterisiko bør også brønnbåten gå med lukket system. Avhengig hvor lang transporttiden er, kan dette kreve at brønnbåter som ikke har vannbehandlingssystem ombord må anskaffe slikt utstyr. Videre krever bruk av lukket system (brønnbåt, i merd, eller på land) at involvert personell må gis økt kompetanse på vannkvalitet og fiskevelferd.

I dette kapittelet har vi skissert to eksempler på hvordan lukkede ventemerdder kan tenkes å se ut i framtiden, se

Figur 4.33 og Figur 4.34, samt 3D-skisse av et lignende konsept Figur 4.35. Beholderne (lukket ventemerdd) kan plasseres på land eller på fundamentering i sjøbunnen der ventemerddene er i dag. Disse konseptene kom vi frem til under en miniworkshop, hvor både forskere og industrideltakere deltok (møtereferat november, 2014).

Begge alternativene baserer seg på pumping av friskt sjøvann inn i beholderne. Vannet slippes deretter ut i respipienten etter rensing, det vil si en baserer seg på "single-pass flow-through"-prinsippet. Felles for alternativene er at fisken fordeles mellom beholderne basert på telling nedstrøms (fisken kommer opp fra brønnbåt) en fordelingsmanifold med integrerte ventiler som stenger og åpner for biomassestrøm inn til de ulike beholderne. Kun en beholder fylles med fisk om gangen. Telling inn til manifolden, og dermed inn til hver beholder, kan sammenliknes med telleren i brønnbåten for kvalitetskontroll. Bunnen i beholderne er skråstilt slik at død fisk samles i en ende for uttak.

I alternativ 1 tas fisken ut av beholderne (ved slakting) gjennom en kombinasjon av vannstrøm og skyveskott. I kombinasjon med å flytte på et skyveskott som trenger fisken mot enden, økes vanngjennomstrømmingen slik at fisken "renner ut" gjennom et overløp i enden av beholderne. For å få ut siste rest av fisken har beholderne et vertikalgående skyveskott som trenger siste fisken opp og ut gjennom overløpet.

I alternativ 2 tas fisken ut ved å åpne en ventil i bunnen av den ene enden slik at fisken tappes ut. Skyveskott er ikke nødvendig i dette alternativet ettersom fisketettheten kan justeres ved å styre vannivået i tanken.

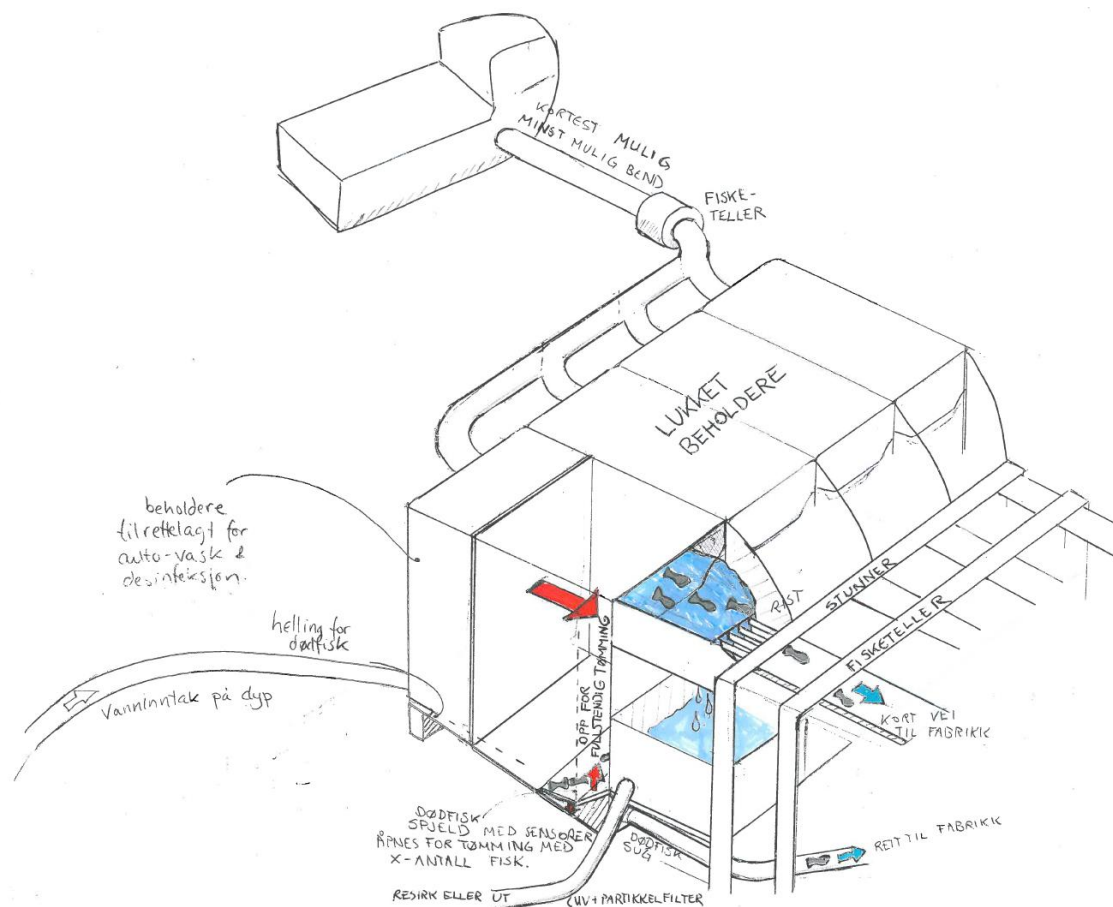
Tetthetskontroll oppnår man da gjennom å kombinere justering av ventilåpningen ut av beholderen og regulering av vanntilførselen inn.

Umiddelbart etter at fisken har kommet ut av beholderne siles vannet av og fisken bedøves eller avlives elektrisk eller ved bruk av slagmaskin. Fisken telles rett etter bedøving, for eksempel ved bruk av kamerabaserte teknikker. Tellerresultatet kan benyttes til automatisk justering skyveskott/utløpsventil og vanntilførsel for jevn biomasserate inn til bløgging. Vannet som siles av kan slippes ut i sjø etter godkjent rensing og desinfeksjon.

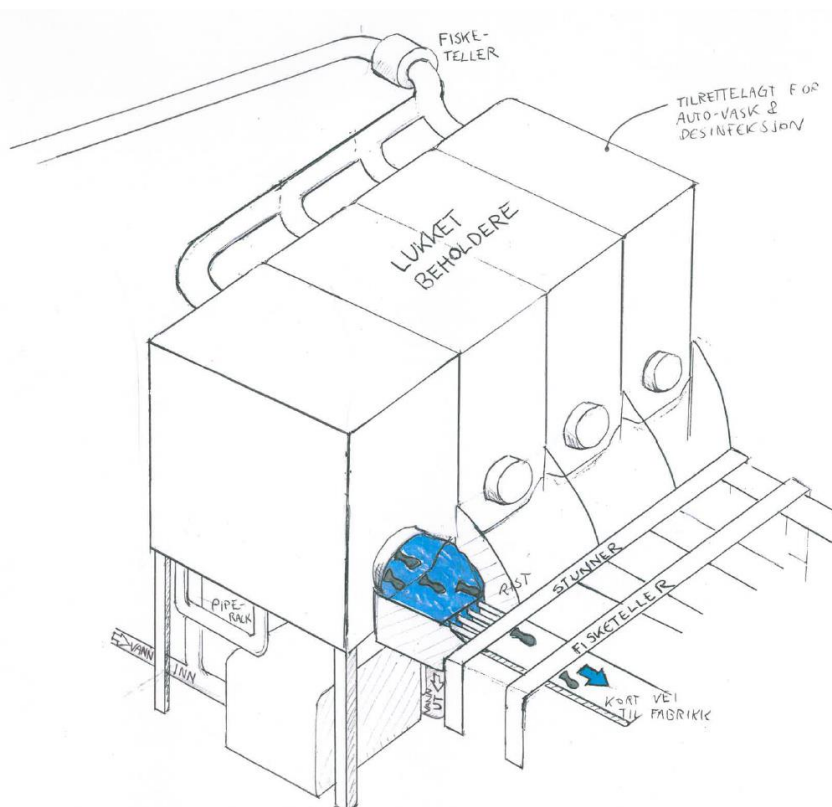
Felles for disse alternativene er at de tilbyr en stor grad av fleksibilitet med tanke på levering og produksjon. For eksempel gjør konseptene det mulig å ta ut fisk fra flere beholdere samtidig ved behov. I tillegg har man mulighet til å overvåke fisken og ha full kontroll på vannkvalitet. Man unngår pumping av fisken ut av beholderne samtidig som antall mekaniske komponenter er redusert. Dette gjelder spesielt alternativ 2 (Figur 4.34).

Som et 'ventemerdsystem' ønsker man typisk å holde fisken alt fra noen få timer opptil flere dager (produksjonsplanlegging). Alternativt til å benytte "flow-through"-prinsippet kunne en i utgangspunktet tenke seg å benytte et resirkuleringssystem. Et slikt system vil imidlertid kreve betydelig vannrensing trolig noe i retning av det som benyttes i et typisk RAS for oppdrett. Sannsynligvis vil det i et slikt tilfelle være fordelaktig å bruke RSW-basert kjøleanlegg hvor fisken kan kjøles ned mot 0°C før den slaktes. En vil dermed kunne ta tiden til hjelp for å sikre optimal pakketemperatur siden for kort oppholdstid i kjøletankene ofte er årsaken til for høy pakketemperatur.

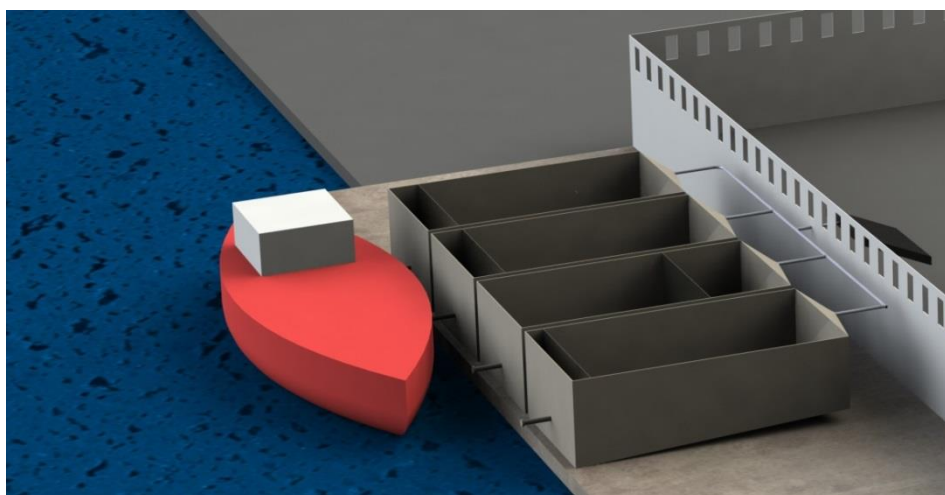
Reduksjon av stoffskifte og utskillelse av ammonium og karbondioksid fra fisken er ytterligere grunner for å benytte RSW-kjøling. Imidlertid vil bruk av resirkulert vann kreve mer avansert vannrensing samtidig som investeringskostnadene blir betydelig høyere for å kunne opprettholde god vannkvalitet.



Figur 4.33 Eksempel på et landbasert lukket ventemerdsystem hvor fisken pumpes direkte fra brønnbåt – alternativ 1. Systemet baserer seg på 'single pass flow-through'-prinsippet. Når fisken skal slaktes benyttes skyveskott til å tømme beholderen hvorpå fisken bedøves ved beholderens utløp. (Helene Katrine Moe, SINTEF Fiskeri og havbruk)



Figur 4.34 Eksempel på et landbasert lukket ventemerdssystem hvor fisken pumpes inn direkte fra brønnbåt – alternativ 2. Systemet baserer seg på 'single pass flow-through'-prinsippet. Når fisken skal slaktes, tømmes beholderen nedenfra (gravitasjonprinsippet) hvorpå fisken bedøves ved beholderens utløp (Helene Katrine Moe, SINTEF Fiskeri og havbruk)



Figur 4.35 Eksempel på landbasert lukket 'ventemerd' tegnet i 3D (Cecilie Salomonsen, SINTEF Fiskeri og havbruk)

4.3.8 Oppsummering trenging av fisk i ventemerd

Trengoperasjoner er en av de mest kritiske operasjonene i dagens oppdrettsnæring, både med tanke på fiskevelferd, tap av vekst, dødelighet, kvalitet og rømmingsfare. Likevel utføres operasjonen med samme teknologi og samme metodikk som det har blitt gjort i all tid. I havbruksnæringen benyttes ulike typer ventemerder, prosedyrene og utstyr for overvåking av trengeprosessen varierer fra anlegg til anlegg og ikke minst er operasjonen personavhengig med hensyn graden av oppfølging og overvåking underveis gjennom hele trengeprosessen.

I studien som ble gjennomført i prosjektet viser at totalt sett kan trengoperasjonene hos SalMar betraktes som gode fordi fisken hadde til enhver tid rikelig tilgang på oksygen, ble ikke eksponert mot luft, ble ikke ytterligere stresset i avkastene, og bedriften har dessuten konstant videoovervåking av fiskens atferd både over og under vann. Selv om fisketettheten var høy, hadde fisken normal, rolig svømmeaktivitet. Det ble ikke observert perioder hvor fisken hadde tydelig fluktespons. Basert på kriteriet at det ikke skjedde endringer med fisken gjennom to trengoperasjoner (avkast) så kan prosessen betegnes som god. Det må samtidig presiseres at fisken var stresset, men ikke utmattet, før trengeprosessen tok til. Dersom fisken hadde vært lite stresset i utgangspunktet kan konklusjonene i forbindelse med stress i avkast ha blitt noe annerledes. Det var forholdsvis store individuelle forskjeller med hensyn til når rigor mortis startet i de ulike gruppene fisk. I tråd med resultatene fra stressmålingene var det ingen klar tendens med hensyn til lengden av pre-rigortid og trengetid. I de fleste fiskene startet rigor mortis mellom 5 og 13 timer post mortem ved lagring på is. Resultatene tyder videre på at selve pumpingen stresset fisken (hadde signifikant høyere laktatnivå i blodet sammenlignet med trengt fisk).

Videre er det foreslått to tiltak til forbedring av dagens trengoperasjoner; alternativ plassering av pumpeinntak, samt alternativer til dagens vakuumpumper for mer skånsom transport av levende fisk. Med hensyn til fiskevelferd og stress i ventemerden anbefales det at industrien følger Mattilsynet sin veileder for krav til god fiskevelferd ved slakteri for akvakulturdyr (2014), og som minimumskrav ha kontroll på følgende punkter:

- Tilstrekkelig oksygenmetning under trengoperasjonen (f.eks. DO > 80 % metning). En bør være spesielt påpasselig med oksygenivået ved høye sjøtemperaturer.
- Fisken skal ikke eksponeres mot luft under operasjonen.
- Unngå at fisken tyr til fluktespons (fisken skal svømme i rolig ved bruk av rød muskel, aerob metabolisme).

Konsepter for styringssystemer for stressreduksjon og bedre prosessflyt inn til slakteri, både eksisterende teknologi og nye konsepter, er vurdert. Følgende parametere er vurdert; overvåking av oksygenivå i avkast, tetthetsmålinger, estimering av volum, fiskeatferd og Helse-miljø og sikkerhetsforhold for operatørene.

To konsepter for lukket ventemerd er skissert. Felles for disse alternativene er at de tilbyr en stor grad av fleksibilitet med tanke på levering og produksjon. Konseptene gjør det mulig å ta ut fisk fra flere beholdere samtidig ved behov. I tillegg har man mulighet til å overvåke fisken og ha full kontroll på vannkvalitet. Man unngår pumping av fisken ut av beholderne samtidig som antall mekaniske komponenter er redusert.

4.4 Resultater fra Workshopen

Gjennom prosjektet ble det gjennomført en workshop, 7. januar 2015 på Værnes/Trondheim. Totalt deltok 45 deltagerne, derfra omtrent 30 fra industrisektoren. Under workshop ble en gruppearbeid gjennomført, for å belyse 2 spørsmål:

1. Hvordan kan dages prosess i din bedrift blir forbedret?
2. Hvordan skal etter din mening den fremtidige slakteprosess ser ut?

Gruppearbeidet var vellykket og mange innspill kom inn og ble diskutert. Innspillene er gjengitt i Vedlegg A. Oppsummert står man igjen med følgende tema som deltagerne mener bør belyses mere.

1. **Finne frem til objektive metoder og sensorer som kan brukes i driftsituasjoner for å opprettholde optimal tetthet under trenging i forbindelse med slakting og til å bestemme når fisken er klar for slakting (ustresset).**
2. **Forbedre avlivningsutstyr og bløggeoperasjoner med f.eks forbedret vannsirkulasjon og lavere temperaturer i utblødningstanker. Avklare nødvendig oppholdstid i utblødningstank med hensyn til utblødning.**
3. **Forbedre kontroll av temperatur på fisken gjennom slaktelinja slik at tilgjengelig kjølkapasitet kan utnyttes bedre.**
4. **Forbedre vannsirkulasjon i alle tanker (utblødning, vasking og kjøling)**
5. **Arbeide for mere automatisert slakteprosess med mindre personavhengighet og mer bruk av objektive metoder og sensorer.**
6. **Lukket ventemerd med levendekjøling i mindre volum forut for avlivningsprosess. Slaktebåtkonsept, muligheter og avgrensninger.**

4.5 Konklusjon prosessering under trenging og slakting

I prosjektet er ulike tiltak for forbedring og optimalisering av dagens slakteprosess evaluert. Optimalisering av slakteprosessen er en sammensatt operasjon hvor trenging, pumping og avliving skal foregå uten at fisken blir utsatt for stressbelastning, etterfulgt av en rask nedkjøling.

Prosjektet har identifisert følgende forbedringspotensial i dagens prosess:

1. Et generelt ønske fra industrien er en mer automatisert slakteprosess som er mindre personavhengig. Dette forutsetter en jevn flyt av fisk med mulighet for størrelsessortering og temperaturkontroll gjennom hele prosessen. Dette gir mulighet for optimalisering av utblødnings-/kjøleprosessen. Dette forutsetter at vannsirkulasjonen i tankene er optimale noe industrien har påpekt ikke er tilfelle i dagens utblødning og kjøling. Særlig dødsoner hvor fisketettheten er høy byr på utfordringer.
2. Kontrollert stressbelastning av laks før slakting ble testet i svømmetunnel. Stress og aktivitet bidrar til redusert koagulerings- og mer restblod i fileten. Den instrumentelle målingen av blod fungerer meget godt til å påvise restblod i fileten. Temperatur bidrar til endring i koagulerings- og bløggemetoder og utblødning i luft eller vann er mindre viktig for utblødning dersom korrekt bløgging utføres. Temperatur i vann/luft vil kunne påvirke utblødning. Stress i kombinasjon med høy temperatur vil kunne medføre redusert utblødning. Ut fra forsøkene er det anbefalt å stresse fisken minst mulig før slakting og gjennomføre slakting/bløgging nærmest mulig mærdkanten.
3. En dynamisk modell for nedkjøling av laks har blitt utviklet og verifisert. Ulike nedkjølingskonsepter har blitt simulert og diskutert. Resultatene viste at ved seksjonering av kjøleprosessen i forskjellige tanker er det mulig å redusere den effektive kjøletiden ved å utnytte effekten av termisk utjevning. Effekten av RSW temperatur og varierende varmeovergangstall er gjort tydelig med modellen. Modellen kan brukes for evaluering av kjøleprosesser og for å finne optimale kjølebetingelser tilpasset spesifikke anlegg.
4. Skånsom håndtering av fisken frem til avliving er viktig for å oppnå lengst mulig pre-rigor tid og høy produktkvalitet. Trenging i avkast, og spesielt operasjonen trykk/vakuumpumping inn til slaktelinjen øker stressbelastningen for slaktelaks. Det er et ønske fra industriens side om objektive metoder og/eller sensorer til bruk under trengingoperasjonen, slik at den blir repeterbar og kontrollerbar. Dette kan bidra til en redusert stressbelastning og forbedre fiskevelferd, noe som kan gi mulighet for en jevnere produktflyt i de etterfølgende prosesser. En viktig konklusjon fra møte med industrien i dette prosjektet er at det kan være hensiktsmessig med lukkede vente/trengemerder, sjøbasert eller på land. Dette med tanke på muligheter for kontrollert trenging, mulighet for levendekjøling (som del av kjøleprosessen), samt å redusere smitterisiko. Samtidig kan en lukket trengemerde forbedre utgangssituasjon for flytting av fisken. Ved en gunstig plassering av ventemerde/tank kan en for eksempel utnytte gravitasjon under flytting av fisk. Dette vil gjøre det mulig å flytte bedøvning og avlivningsprosess til merd- / tankkanten. Det er foreslått to konsepter for lukket ventemerde i prosjektet, som inkluderer skyveskott og unngår pumping. Fisken blir skånsomt overført fra lukkede beholdere inn til en avlivingsrigg. Med hensyn til en optimal kjøleprosess bør fisken også bli skånsomt kjølt i levende tilstand gjennom trengingprosessen. Levendekjøling er stort sett faset ut i de siste årene, men Mattilsynet har åpnet for bruk av levendekjøling igjen, så lenge fiskens velferd er ivarettatt. I og med at levendekjøling i praksis innebærer resirkulering av RSW, vil avfallsstoffer fra fisken etterhvert akkumulere i tanken. Spesielt må en ta hensyn til forhøyede nivå av karbondioksid og muligens også TOC (total organisk karbon) som blant annet består av slim fra fisken. Forhøyet nivå av CO₂ medfører som kjent at fisken reagerer spontant med en voldsom stressreaksjon og høyt nivå av TOC kan medføre respirasjonsproblemer og kan også føre til

skumdannelse i karet. Dersom lukkede systemer (kar) skal anvendes, spesielt ved høye fisketettheter, bør en derfor sørge for passende vannbehandling. Dette kan være å benytte luftere for å fjerne CO₂ og muligens sørge for filtering av vannet. En lukket vente/trengemerden åpner også for muligheten til en mer kontrollert desinfeksjon av merden. Det er viktig å påpeke at det finnes stor variasjon i industrien rundt trengesoperasjoner. Det må påpekes at en god fiskevelferd med skånsom behandling vil vanligvis resultere i en god produktkvalitet. Slakteprosessen består av flere prosesser og operasjoner der hver enkelt prosess kan ødelegge for etterfølgende prosesser. Dermed er det viktig at implementering av nye tiltak skjer gjennom en helhetlig evaluering av prosessen.

5. I prosjektet ble det gjennomført en studie av to kommersielle trengesprosesser i samme ventemerden. Prosessen ble overvåket kontinuerlig ved uttak av fisk for stressmålinger, fiskens atferd ble filmet, og oksygenfordelingen i avkastene ble registrert. Bedriften har installert undervannskameraer i ventemerden slik at trengesprosessen kan følges på skjerm i kontrollrommet. Oksygenivået var høyt gjennom begge trengesprosessene til tross høy fisketetthet. Ingen fisk ble eksponert mot luft. Selv om tettheten var høy, svømte fisken rolig i avkastet. I tråd med dette fant vi i hovedsak ingen signifikant økning i de ulike stressparametrene (blod og muskel), selv ikke hos siste fisk ut fra merden. Imidlertid må det nevnes at fisken var delvis stresset på forhånd (fisk utenfor avkast), sannsynligvis fordi det ble slaktet fisk fra samme merd 12 timer tidligere. Det var stor variasjon i pre-rigortid, men grovt sett kan vi si at pre-rigortiden lå rundt 10 timer post mortem. Siden det ikke ble observert endringer hos fisken i ventemerden (tilstand inn = tilstand ut) har en ikke et objektivi grunnlag for å komme med forslag til forbedringer av prosessen. Resultatene tyder på at flere operasjoner enn selve avkastet spiller en rolle for fiskens endelige tilstand ved avliving. Dette kan for eksempel være lossing fra brønnbåt, hvor lenge fisken har fått stå i ro før uttak til slakting, gjentatt slakting fra samme merd, eller plutselig skifte til en annen merd.

5 Leveranser

5.1 Forslag til videreføring av prosjektet

Gjennom prosjektet ble forskjellige tiltak evaluert og presentert for industrien. Det har kommet frem at industrien, men også FoU ønsker en mer kontrollert slakteprosess for å oppnå jevn høy produktkvalitet. Basert på de foreliggende konklusjoner er det videre arbeid skissert som følgende:

1. Lukket ventemerde er etterspurt av industrien for å oppnå bedre kontroll med trengeprosessen, samt å redusere risikoen for overføring av patogene organismer mellom fisk, samt påslag av lus. Videre arbeidet bør involvere evaluering av forskjellige konsepter for lukket ventemerde, både i sjø og på land. Ved lukket system vil det være spesielt viktig med fokus på vannkvalitet og fiskevelferd. Levendekjøling er også aktuelt å vurdere.
2. I sammenheng med evalueringene rundt ventemerden er det viktig å fokusere også på flytting av fisk og evaluere om det er mulig å unngå pumping (adferds-basert trenging inn i avliving) eller komme med nye konsepter for pumping som for eksempel utnytter gravitasjon (Konseptet "Whoosh"). I evalueringen bør en se på mulighetene for å flytte bedøving av fisken til merde- eller tankkanten og ved eller i pumpeinntaket.
3. Det er behov for å definere vitenskapelige grenseverdier for å sikre god velferd av fisk i ventemerde. Dette kan gjøres gjennom instrumenteringsløsninger som gir mulighet for en objektiv og kvantifisert vurdering av adferden, f.eks. ved bruk av avanserte bilde- og videoanalyse
4. Industrien har også etterspurt teknologi for automatisk opplining av avkastnota, for å bedre helse- miljø og sikkerhet for operatørene.
5. Utblødning: Evaluering presentert i den rapporten er basert på et begrenset forsøksmateriale. Optimal utblødnings-temperatur må finnes for fisken. Det må også testes hvordan årstidsvariasjon og kjøling (differensiert temperatur) virker inn på utblødning. I tillegg må det gjennomføres forsøk i stor skala for å få dokumentert de påviste funnene i industriell skala.
6. Modellen for kjøling er basert for et begrenset antall forsøk og for en standardisert fisk. Det er ønskelig å verifisere modellen videre og inkludere flere fysikalske parametrene (oppvarming av kjølemedia, etc.). Det må også sjekkes hvordan industrielle kjølesystemer (som jobber med bulk av fisk) påvirker nedkjøling av en enkelt fisk. I den evaluering skulle man også sjekke effektive varmeovergangstall.
7. Modellarbeidet fra kjøling har skissert forskjellige muligheter for blant annet seksjonering av kjølingen, levendekjøling, etc. Det må evalueres hvordan disse tiltakene kan bli implementert i dagens og fremtidige slaktelinjer. Her er det også viktig å belyse kjøleeffektivitet og energiforbruk i disse evalueringer. Samtidige er det ønskelig å opprettholde en vist fleksibilitet med hensyn til variasjoner i fiskens størrelse/vekt og temperatur.

5.2 Detaljert oversikt over leveranser i prosjekt

1. Prosjektnotat, State of the Art: Chilling of Salmon in industrial production", Tolstorebrov, I., Bantle, M., SINTEF Energi AS.
2. Prosjektnotat, TekSlakt: Chilling of Salmon; modelling and verification of cooling in RSW; Bantle M., Tolstorebrov I., Stavset O., SINTEF Energi AS
3. Møtereferat; Workshop "Nye konsepter for ventemerd", 26.11.2014 Trondheim, Hanne Digre og Guro M. Tveit. Fiskeri og Havbruk
4. Prosjektnotat "Utfordringer med dagens trengeprosess i ventemerd – Baseline forsøk hos SalMar"; Ulf Erikson, Eirik Svendsen, Helene Katrine Moe, Hanne Digre, SINTEF Fiserki og Havbruk.
5. Prosjektnotat "Dagens ventemerder og trengepraksis – State of the Art", Ulf Erikson, Eirik Svendsen, Per Rundtop, Hanne Digre, SINTEF Fiskeri og Havbruk

6 Referanser

- Akse, L., Midling, K., Herland, H., Tobiassen, T., Ås, K., Sørensen, N.K., Prytz, K. 2004. Slakting og prerigor filetering av oppdrettsfisk. Ny slakteprosess, Hydrotech-Gruppen AS. Nofima (Fiskeriforskning) Rapport. August 2004.
- Ando, M., Nishiyabu, A., Tsukamasa, Y., Makinodan, Y., 1999. Post-mortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. *J. Food Sci.* 64, 423-428.
- FHF (2009). Moderne slakting av laks. Brosjyre fra FHLs nettsider: http://fhl.no/wp-content/uploads/importedfiles/FHL_slaktebrosjyre_A5.PDF
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859
- Heia K., Sivertsen A.H., Wold J.P., Ottestad S., Böcker U., Carlehög M., Altintzoglou T., Sone I., Gundersen B., 2012. Automatisk kvalitetsdifferensiering av laksefilet. Nofima rapport 7/2012.
- Midling, K.Ø., Mejdell, C., Olsen, S.H., Tobiassen, T., Aas-Hansen, Ø., Aas, K., Harris, S., Oppedal, K., Fremsteinevik, Å. (2008) Slakting av oppdrettslaks på båt, direkte fra oppdrettsmerd Rapport 6/2008.
- Miller, D.M., Buettner, G.R., Aust, S.D., 1990. Transition-metals as catalysts of autoxidation reactions. *Free Radical Biology and Medicine*. 8, 95-108.
- 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), 462-469.
- Olsen, S. H. (2011). Quantification and characterisation of residual blood in fish muscle. PhD. Thesis. Tromsø: Universitetet i Tromsø 2011 100 s. UiT
- Olsen, S. H., Tobiassen, T., Akse, L., Evensen, T. H., Midling, K. Ø. (2013). Capture induced stress and live storage of Atlantic cod (*Gadus morhua*) caught by trawl: Consequences for the flesh quality. *Fisheries Research*, 147, 446-453.
- Olsen, SH., Joensen, S., Tobiassen, T., Heia, K., Akse, L., Nilsen, H. (2014). Quality consequences of bleeding fish after capture. *Fisheries Research* 153-103-107
- Richards, M.P., Hultin, H.O., 2002. Contributions of blood and blood components to lipid oxidation in fish muscle. *J. Agr. Food Chem.* 50, 555-564.
- Robb, D. H. F., Phillips, A. J., Kestin, S. C. (2003). Evaluation of methods for determining the prevalence of blood spots in smoked Atlantic salmon and the effect of exsanguination method on prevalence of blood spots. *Aquaculture*, 217(1), 125-138.
- Rotabakk, B.T., Bleie, H., Stien, L.H., Roth, B. 2014. Effect of Blood Removal Protocol and Superchilling on Quality Parameters of Prerigor Filleted Farmed Atlantic Cod (*Gadus morhua*). *J Food Sci.* 79: E881-6.
- 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, 796-803.
- 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, 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, 163-168.
- Ruis, M. A., & Bayne, C. J. (1997). Effects of acute stress on blood clotting and yeast killing by phagocytes of rainbow trout. *Journal of aquatic animal health*, 9(3), 190-195.
- Saguer, E., Fort, N., Regenstein, J.M., 2006. Fish (rainbow trout) blood and Its fractions as food ingredients. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 15, 19-51.
- Tobiassen, T., Herland, H., Heide, M., Østli, J., Sogn-Grundvåg, G., Midling, K.Ø., Erikson, U., Digre, H. (2012) Bedøvelse av laksefisk - status i forhold til forskrift og produktfeil. Rapport/Report 32/2012.
- Tobiassen, T., Nordtvedt, T.S., Olsen, S.H., Akse, L. (2013) Workshop om utblødning og kjøling av laks, med fokus på kvalitet. Rapport/Report 37/2013

A Vedlegg

A.1 Hvordan kan dagens prosess i din bedrift bli forbedret?

- Drift og operasjon
 - Fokus på internkontroll som levende system for optimal drift, oppdage svakheter, avvik og stadig læring og forbedring
 - Investere i teknologi for økt grad av automasjon i trengeprosessen – den er for personavhengig
 - Kontrollert trenging opp mot fabrikkens produksjonstakt
 - Faste tidsfrister for forandringer i opptaket (impulsive selgere)
 - Mere automatisering inn
 - Evakuering under stopp. Ha planer.

- Pumping og Trenging
- Pumping
 - System for lossing/levendekjøling uten pumper
 - Pumper med overkapasitet slik at fisketettheten i rørsystem reduseres og redusert trenging
 - Unngå avliving/bedøving av fisk i merd/ved pumpeinntak
 - Kontroll/utskifting av pumpeslange
 - Jevnere trenging og innpumping, viktig i hele prosessen
 - Plassering av pumpen lavest mulig.
 - Unngå slag og belastning ved innpumping og rørføring

- Ventemerd
 - Bedre retningslinjer for optimal tetthet. Få følger kravet fra myndighetene (25 kg/m³).
 - Hva er den reelle tettheten i ventemerd, hvordan påvirkes fisken som ikke blir med i kastet?
 - Bedre kontroll på trenging av fisk på ventemerd
 - Bedre regulering av volum/antall fisk inn til avliving, samt mellom ventemerd og avliving/bløgging
 - Bedre forståelse for de enkelte operasjoner fra merd til kasse
 - Alternative måter å flytte fisk fra ventemerd til slakting
 - Bedre/jevnere flyt mellom ventemerd - bløgging
 - Metode for uttak av dødfisk på ventemerd
 - Bedre kommunikasjon med brønnbåt, samt mellom ventemerd og produksjonen
 - Hva er optimal kaststørrelse?
 - Benchmarking for "best practice"
 - Mekanisk lining ved avkast

- Fiskevelferd
 - Restitusjonstid - mål for når fisken er klar for slakting
 - Bedre informasjon om fiskens kondisjon inn til slakt
 - Redusere stress/aktivitet i forkant av slakting, opplining, pumping, ensretter, bedøving
 - Produsere fort nok – og fortsatt beholde god fiskevelferd
 - Transportavstand for levende fisk?
 - Holdetid levende fisk?
 - Dødelighet ved inntransport?

- Kjøling
 - Bedre styring av kjølingen og hygiene – bedre utnyttelse av energien i vannet
 - Buffring i tankene – men bedre sammenheng mellom de forskjellige prosesser for å minske behov for buffer

- Ekstra kjøletank
 - Sirkulasjon av vann i kjøletanker
 - Bedre dimensjonering av hele linjen for å få til bedre utnyttelse
 - Stor inntakskapasitet – større grad av automatisering
 - Optimalisere kjøleprosess, levendekjøling, sløyd, rund
 - Bedre temperaturkontroll
 - Temperaturgradient mellom fisk og vann/levendekjøling (utskifting av vann)
 - Kjøling i brønnbåt?
- Slakteprosess
 - Skånsommere overganger mellom arbeidsstasjoner; ro og flyt gjennom hele slakteprosessen
 - Bløgging
 - Bløgging/sløyning i samme prosess
 - Bedre bløggestikk - justering av robot
 - Større helling på rist i avsilingskasse i bløggerom
 - Rask avliving og bløgging og skånsom forflytning av fisk
 - Bedre vannstrøm i bløggekar
 - Bedre metode for å få ens stikkpunkt/bløgging uavhengig av størrelse på fisk
 - Fisk direkte i vann etter bløgging
 - Bedre kommunikasjon mellom bløgger og videre i linja
 - Avliving
 - Få bedre kontroll på vår avlivingsmetode
 - Bedre metode for å få en og en fisk rolig frem til bedøving
 - Sikker bedøvelse og avliving av alle individer
 - Bedre avlivingsmetoder, lengre pre-rigortid uten store vedlikeholdskostnader
 - Avlivningsutstyr: Fortsatt ikke god nok, må jobbes med leverandører
 - Slakting direkte, skånsomt for fisken.
 - Utblødning
 - Mer effektiv utblødning - forutblødning i vann m/strøm kort oppholdstid
 - Skaginn konsept for hvitfisk
 - Renere fisk etter utblødning
 - Ulik driftsmønster gjennom året på utblødningen (temperatur/fyllingsgrad)
 - Kjøleprosessen/utblødning i tanker stor masse, innvirkning. Luft/omrøring
 - Mindre blod
 - Lavere temperatur (1°C)
 - Blod på gjeller – et problem
 - Oppholdstid i blødetank
 - Levendekjøling for bedre utblødning, helst ned til 2°C for sedativ effekt og lavere stress påvirkning
 - Raskere nedkjøling/ bedre utblødning i kjøle-utblødningstank

A.2 Hvordan skal etter din mening den fremtidige slakteprosess ser ut?

- Mindre håndtering, mer automatisering
 - Automatisert prosess med lite bufferbehov
 - Automatisk rengjøring av utstyr
 - Redusert håndtering og bedre logistikk
 - Vedlikeholdsfri og helautomatisk bedøving/avliving
 - Lukkede system med høy grad av automasjon, kontroll på vannkvalitet samt overvåking av fisken
- Produktkvalitet
 - Mer kunnskap og bedre forståelse i hele produksjonskjeden om hva som skaper et godt produkt markedet vil ha?
 - Klassifisering av sluttprodukt basert på levende fisk, eventuelt rund fisk.
 - Når det gjelder tekstur vet vi enda ikke hva vi skal måle for å kunne si noe om hvordan produktet blir.
- Kjøling
 - All kjøling etter avliving men dyp vann på 7°C i lukket ventemerde, evt i brønnbåt
 - Levendekjøling ned til 2°C
 - For å unngå sterke stressresponser anbefaler HI 2°C som nedre grense for levende kjøling, med mindre kjølingen foregår gradvis over tid (minimum noen timer) for eksempel brønnbåt.
 - Lossing i levendekjølingstanker som senkes ned i sjø på sleider
 - Trykklossing i tankene fylles vann fra dypet (8°C)
 - Ved slakting heises tanken opp og blir RSW kjølt til 2°C
 - Deretter skyveskott fra bunn og fisken renner ut via overløpet inn i en ensretter elektro for så å bli manuelt bløget
- Avliving/slakteri
 - Bedre, vedlikeholdsfritt avlivingsutstyr
 - Sløyting og hodekapping av all laks før pakking (bedre plass i kasse samt mere verdiskaping av biprodukt)
 - Sortering fisk inn i slakteri med tanke på potensiell spalting og bløt muskel (teknologi for måling)
 - Sortering av rund sløyd fisk mht utblødning, melanin, blodflekker
 - Bur med skyveskott uten pumping inn til avliving
 - Fabrikkskip for slakting og bearbeiding direkte fra/ved oppdrettsanlegg; noen alternativer:
 - Slakting på merdkant, filetering under transport til land
 - Avliving /slakteri i båt, ferdig pakket produkt fra båt
 - Slakteflåte på merd.
 - Bedøving og avliving direkte fra ventemerde/ved oppdrettsmerd → kjøling i båt til pakkeri
- Ventemerde
 - Lukkede ventemerde evt med skyveskott, evt direkte lossing med høy kapasitet, ingen pumping fra ventemerde til avliving
 - Lukket «ventemerde»/brønnbåt. Fremtidsmål for å reduser smittefare.
- Fiskevelferd
 - Glad laks svømmer selv inn til bedøvelse og avliving uten å vite hva som skjer
 - Bruk av CO₂ som sedasjon: Dersom det brukes må fiskevelferden dokumenteres.
 - Mattilsynet har laget veileder for hva som er god velferd på slakterier – bruk de
- Drift, operasjon og kontroll
 - Mattilsynet vil være mer tilstede ved slakteri- fokus på internkontroll. Mål 100% bedøving og 100% avliving (hvis ikke må back-up systemer være på plass).

- Hygienisk design på lokaler og utstyr
- Bedre flyt av informasjon (og håndtering av informasjon) fra egg-smolt-oppdrett-ventemerds-lakteri
- Andre kommentarer
 - Land anlegg fast installasjon, vanskelig å endre.
 - Utforming avhengig av størrelsen på slakteriene, skal alle være store?
 - Total prosessering, ta vare på alt. Størrelse må være stor for å klare dette.
 - Nye anlegg er begrenset av kjent, utprøvd teknologi
 - Logistikk som muliggjør redusert behov for hard trenging, pumping og transportetapper
 - Store volum.
 - Bygge på Hydrotech modell?
 - Brønnbåt Tauranga prinsipp.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no