

Fryseskader på tørrfisk

Sjúrður Joensen, Bjørn Gundersen, Pål Wang, Hanne Johnsen og Jens Østli





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 420 ansatte. Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på seks ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra, Averøy og Tromsø.

Hovedkontor Tromsø
Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø
Tlf.: 77 62 90 00
Faks: 77 62 91 00
E-post: post@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Rapport

 ISBN: 978-82-8296-052-6 (trykt)
 ISBN: 978-82-8296-053-3 (pdf)

 Rapportnr.:
 5/2013

 Tilgjengelighet:
Åpen

<i>Tittel:</i> Fryseskader på tørrfisk	<i>Dato:</i> 30. januar 2013
<i>Forfatter(e):</i> Sjúrdur Joensen, Bjørn Gundersen, Pål Wang, Hanne Johnsen og Jens Østli	<i>Antall sider og bilag:</i> 46 + 1
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond	<i>Prosjektnr.:</i> 21304
<i>Tre stikkord:</i> Fryseskader, fos, tørrfisk	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF # 900692
<i>Sammendrag:</i> <p>Enkelte år gir frost i hengeperioden betydelige fryseskader på tørrfisken. Tørrfisken kan bli helt "frysetørket", såkalt fosfisk eller få ulike grader av feil som gir kvalitetsreduksjoner. Hovedmålet med prosjektet er å dokumentere effektene av frost på tørrfiskkvaliteten. Prosjektet er finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond.</p> <p>Det er gjennomført tre hengeforsøk. Et i Tromsø høst 2011 med delvis kunstig frysing, et forsøk på Ballstad våren 2012 og et forsøk i Tromsø våren 2012. I forsøkene fant vi to klare tegn til fryseskader på tørrfisken. Ved for stor frostbelastning blir muskelen misfarget gul. Når tørrfisken bløytes og lutes blir utbyttet redusert, sammenliknet med fisk som ikke er utsatt for frost.</p> <p>Fisk som henges direkte ut i frost er betydelig mer utsatt for fryseskade sammenliknet med fisk som først er hengt en uke eller mer frostfritt. Vi fant bare gulfarge på fisken som var hengt direkte ut i frost.</p> <p>Med utgangspunkt i samme tidsperiode og samme frysetemperatur, så vil tørrfisk som sammenhengende er utsatt for frost i perioden ha større fryseskader enn en fisk som er hengt periodevis i frost og ved temperaturer høyere enn null.</p> <p>Fisk som ble hengt ved $-6,2$ °C fikk betydelige fryseskader som vistes som gulfarge i muskelen og redusert utbytte under bløyting og luting. Ved $-3,8$ °C var skadene betydelig mindre, men det var fortsatt skader med betydning for kvaliteten. Vi fant skader på fisk som var hengt i temperaturer helt opp mot -2 °C. Tid, vindhastighet og luftfuktighet spiller også en rolle her, eksempelvis fant vi at hending i 2 dager ved -6 til -8 °C ikke gav fryseskader på fisken.</p>	
<i>English summary:</i> <p>The main objective of this project was to investigate the effect of low temperatures during production of dried cod, stockfish. It is known that freeze temperatures during drying cause quality damages to the product. In this study we investigated the effect of variation in temperatures as well as temperature fluctuation during drying. The consequence of low temperatures during drying is change in texture and color of the stockfish. The effect of freeze damages is also a reduced capacity for rehydration, and thus giving lesser product value during further processing.</p>	

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Mål	2
2	Fryseskader på tørrfisk	3
2.1	Generelt om fryseskader på tørrfisk	3
2.2	Litteratur om fryseskader på tørrfisk	5
3	Gjennomførte forsøk	8
3.1	Henging i Tromsø høst 2011	8
3.2	Henging på Ballstad våren 2012	10
3.3	Henging i Tromsø våren 2012	11
4	Resultater	14
4.1	Henging i Tromsø høst 2011	14
4.1.1	Temperaturlogg	14
4.1.2	Vektutbytter	16
4.1.3	Grad av fryseskader	18
4.2	Henging på Ballstad våren 2012	26
4.2.1	Temperatur- og fuktighetslogg	26
4.2.2	Vekter	27
4.2.3	Grad av fryseskader	31
4.3	Henging i Tromsø våren 2012	33
4.3.1	Temperaturlogginger	33
4.3.2	Vektendringer	35
4.3.3	Grad av fryseskader	37
5	Oppsummering og konklusjoner	42
5.1	Nytteverdi for næringen	45
5.2	Forslag til videre forskning	45
6	Litteratur	46
7	Vedlegg	1

1 Innledning

Kvaliteten på tørrfisken blir i betydelig grad påvirket av vær og temperaturforhold som forekommer mens fisken henger ute. Et av kvalitetsproblemene som kan oppstå er at fisken får det vi kaller fryseskader. I de verste tilfellene blir hele fisken det som kalles fos. Fosfisk er kjennetegnet ved at den er porøs, oppblåst, har gult fiskekjøtt og suger til seg lite vann dersom den legges i bløyt. Den kjennes også "lett" ut i forhold til en tørrfisk på samme størrelse som ikke er fryst. På den andre siden av "fryseskadeskalaen" finnes tørrfisk som er lett frostkjent, gjerne så lite at de fleste vrakere ikke tar hensyn til det ved vrakingen. Fryseskader som sees og vurderes i vrakeprosessen er en ting. Et annet forhold er eventuelle fryseskaders innvirkning på tørrfiskens vannopptak. Vanligvis vannes tørrfisken ut før den blir til råstoffet man anvender til de mangfoldige matretter i eksempelvis Italia. For de som skal bløyte fisken, er utbyttet, det vil si vannopptaket i bløyteprosessen en viktig parameter for lønnsomheten. Vi vet at betydelige fryseskader reduserer fiskemuskelens evne til å ta opp vann (rehydrere). Fra tidligere forskning er det lite kjent om også mindre fryseskader innvirker på rehydreringsevnen.

Ettersom fisken tørkes ute, er det vanskelig å forutse om fisken kan bli utsatt for temperaturer som kan resultere i fryseskade. Ved å henge sent i sesongen, reduserer en muligheten for fryseskader, men muligheten for å få andre kvalitetsfeil øker. I næringen er det stort sett enighet om at hending i mars måned vanligvis gir den beste kvaliteten i Lofoten. Henger en tidligere er det en utbredt oppfatning at faren for fryseskade øker. For å ha et større tidsvindu å henge fisken i, henges fisk likevel ofte i februar, noe som enkelte år gir betydelige fryseskader på fisken.

Det finnes lite forskningsbasert dokumentasjon om fryseskader på tørrfisk. Den kunnskapen en i dag besitter består stort sett av de erfaringene som produsentene har opparbeidet seg, ofte gjennom generasjoner. Det har derfor vært en sentral del av dette prosjektet å legge opp til forsøk som kunne bekrefte eller avkrefte noen av forholdene som erfaringsmessig er vurdert som viktige. Det har mellom annet vært en klar oppfatning om at når fisken utsettes for frost tidlig etter at den har kommet på hjell vil det gi betydelig mer fryseskader, sammenliknet med fisk som utsettes for frost først etter at den har hengt noen uker. Det blir videre påstått at fisken tåler noen få kuldegrader uten at det blir fryseskader, men at man i kombinasjon med (sterk) vind og tørr luft (lav RF) allikevel kan få fryseskader. Tiden som fisken er utsatt for kulde er også viktig. Det blir eksempelvis påstått at en kort kuldeperiode gir lite eller ingen fryseskader sammenlignet med sammenhengende kulde over lengre tid.

For ikke å være helt prisgitt værforholdene er prosjektet gjennomført både ved ordinær hending i Lofoten og ved delvis kontrollert hending i Tromsø. Forsøkene i Tromsø er gjennomført ved å tørke fisken kunstig, bruke fryserom med faste, forutbestemte temperaturer, for så å henge fisken ute for videre tørk.

Å kartlegge effektene av ulike frysebetingelser på tørrfisk er komplekst og et meget omfattende arbeid. Som en start på dette arbeidet ble det i samråd med produsentene valgt å fokusere på noen av de antatt viktigste faktorene for frostskaader og som kan gi tørrfiskprodusentene nyttig informasjon.

1.1 Mål

Hovedmålet i prosjektet er å dokumentere effektene av frost på tørrfiskkvaliteten. Delmål er:

- Dokumentere en eventuell sammenheng mellom tiden fra henging til frosten starter, og fryseskadene på tørrfisken.
- Dokumentere effekten av henholdsvis vedvarende frost og skiftende frost/tining.
- Dokumentere hvilken temperatur som er kritisk for at fryseskader oppstår.

2 Fryseskader på tørrfisk

2.1 Generelt om fryseskader på tørrfisk

Fryseskader er en kjent og vanlig kvalitetsfeil på tørrfisk. I "Norsk bransjestandard for fisk" både i "Standard – Sortering av tørrfisk" og i "Veileder – Tørrfisk" er problemstillingen trukket frem. Her skrives mellom annet at fisken kan bli fryseskadet når temperaturen i fiskemuskelen synker under cirka $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ over en lengre periode tidlig i tørkeperioden. Graden av fryseskader kan variere fra fryseskader i overflaten under skinnen (frostkjent) til helt utsprengt og voluminøs fisk (fosfisk). Små fryseskader gir skader under skinnen som vises som langsgående utsprenginger fra ørebein til sporkringla.

En erfaren tørrfiskvraker kan se på tørrfisken at den har vært utsatt for (tilstrekkelig med) frost. Ved tvil kan man gjøre et snitt gjennom fisken og da blir fryseskaden mer synlig. Fryseskadene vises ved at muskelen er mer porøs. Som tørrfisk er den frostkjente muskelen lys, mens den etter bløyting vil ha en mer rødlig farge.



Bilde 1 Fisken til venstre har så vidt kjent frost. Fisken til høyre er svært fryseskadet og er helt porøs. Hentet fra Veileder – Tørrfisk, år 2000.

Det eksisterer altså en del kunnskaper om hvordan fryseskader vises og påvirker tørrfisken, men tilbakemeldingene fra produsenter og vrakere er at når fryseskadene er små kan det være utfordrende å påvise disse. Samtaler med aktørene avdekker også at det ikke er entydig hvordan man oppfatter og påviser mindre fryseskader. Dette er naturlig da fryseskader både kan oppstå på ulike steder på/i fisken og til ulike tider i hengeprosessen. En såkalt fosfisk (mye fryseskadet) er lett gjenkjennelig ved at den er mindre innskumpet (i skinnen) og mer rund i formen. Den oppfattes også å være lettere (veie mindre) enn en fisk med tilsvarende størrelse (volum) uten fryseskader. Likeledes er fisk med utvendige, synlige "pølser" av utsprengt vev tegn på fryseskade. En mer blålig farge på skinnen kan også indikere at fisken har vært utsatt for frost. Bortsett fra i spesielle tilfeller, kan mindre grad av fryseskade være vanskelig å påvise bare ved hjelp av syn og lukt.

Dersom en er i tvil, er det et alternativ å skjære i fisken eller sage fisken tvers over for å se tegn på fryseskader. Ved å skjære i fisken kan en se om muskelen er lys og porøs, og dette er tegn på tydelige fryseskader. Snittflaten skal vanligvis være mørk og blank. Ved å sage over tørrfisken vil fryseskader vises som lyse og porøse områder. Dersom hele fisken er fryseskadet vil hele muskelen være hvit og porøs i strukturen, slik fisk kalles gjerne for fosfisk.

En ytterligere bekreftelse på fryseskader kan fås ved å bløyte fisken. Etter bløyting kan fryseskadet fisk ha en annen farge i fiskemuskel sammenlignet med vanlig tørrfisk. Denne fargen kan være mer gulaktig og det kan også forekomme en rosa/rødlig/brun farge på fiskemuskel. På ferdig bløytet fisk vil fryseskader vises som svampaktige områder i muskelen. Lukten på fryseskadet sies å være mer nøytral enn vanlig tørrfiskluk. Fryseskadet fisk karakteriseres også ved å ha et dårligere vannopptak under bløyting og dermed gi et dårligere utbytte sammenliknet med fisk som ikke har vært utsatt for frost.

Det er gjennomført samtaler med flere tørrfiskprodusenter for å få deres erfaringer med og oppfatninger av årsaker til fryseskader på tørrfisk. Samtalene avdekker at det finnes til dels svært ulike oppfatninger og erfaringer når det gjelder disse forholdene. Det synes likevel å være enighet om at det ofte er flere forhold i samspill som virker inn på hvor mye fryseskadet fisken kan bli.

Vår sammenfatning av produsentenes oppfatning av årsakene til fryseskader er følgende:

- **Temperaturen** har stor betydning. Vedvarende kraftig frost (–5 til –10 grader) særlig tidlig i tørkeperioden gir fryseskader i fisken, fosfisk. Litt frost, eksempelvis –1 til –3 °C i noen dager, gir vanligvis ikke fryseskader.
- **Tiden** fisken utsettes for frost har betydning. Man kan forvente fryseskader etter to uker med –6 °C. Dersom det i frostperioden er variasjoner i temperaturen (eksempelvis mellom dag- og nattetemperatur) gir dette økte muligheter for fryseskader.
- Til **hvilken tid frosten inntreer i tørkeperioden** har betydning. Råfisk som henges direkte ut i frost er mer utsatt for å få fryseskader enn råfisk som først har hengt frostoffritt (begynt å tørke) en stund før frost inntreer. Fisken tåler mer frost jo lengre den har hengt (tørket) før frost inntreer.
- **Vind og luftfuktighet** har betydning. Kombinasjonen av frost og (sterk) vind synes å øke mulighetene for fryseskader. Fryseskader påstås å oppstå ved høyere temperaturer dersom det er sterk vind. Tørr luft påstås å kunne gi mer fryseskader.

2.2 Litteratur om fryseskader på tørrfisk

Litteratursøk er gjennomført uten at vi har funnet noe særlig relevant litteratur som omhandler forskning og -resultater tilknyttet fryseskader på tørrfisk. Vi går likevel kort gjennom noe litteratur som grenser opp mot problemstillingen. Mellom annet kan generell informasjon om frysing og frysetørking gi relevant informasjon om virkingen på tørrfisk. Vi går også gjennom den norske litteraturen som beskriver fryseskader på tørrfisk og som i hovedsak er basisen for vår og næringens kunnskaper på området.

I "Norsk bransjestandard for fisk" og i Pedersen (1989) er det en nokså likelydende tekst av forholdene rundt frost i tørrfisk. Vi siterer her det som står i Pedersen (1989) om fryseskader:

"Tidlig hengt vinterfisk kan bli utsatt for frost. Fryseskader oppstår når temperaturen faller under cirka -2 °C. Frost på vårhengt fisk oppstår gjerne straks fisken er hengt, mens det ennå er forholdsvis mye vann i vevet. Fisk som har hengt en tid, og som har tørket noe, er mindre utsatt for fryseskader. En må regne med fryseskader på fisk som blir hengt på førjulsvinteren.

Graden av fryseskader kan variere – fra frysing i overflaten under skinnet (frostkjent) til helt utsprengt og voluminøs fisk (fosfisk). Fosfisk har tapt mye av celledsafta (vevsveske), og det som er igjen, er særlig binde- og støttevev. Slik fisk blir ofte søt i smaken.

Små fryseskader fører til froststriper rett under skinnet på fisken i form av langsgående utsprenginger fra ørebein og bakover til spordkringla. Utsprengingene er smale, cirka 0,5 cm høye, og godt synlige. Fryseskadd fisk kan være gulaktig. Dersom vevsvæska er i behold i kjøttet, får fisken en rødlig kjøttglans. Vanligvis er fosfisk lys gul i kjøttet. Det er særlig nakken og stykket bak gattboret mot spordkringla som er utsatt for frost.

Fryseskadd fisk egner seg ikke til luting eller utvanning. Den smuldrer lett opp. Den henger ikke sammen om den blir kokt, og gir dårlig utbytte som lutefisk."

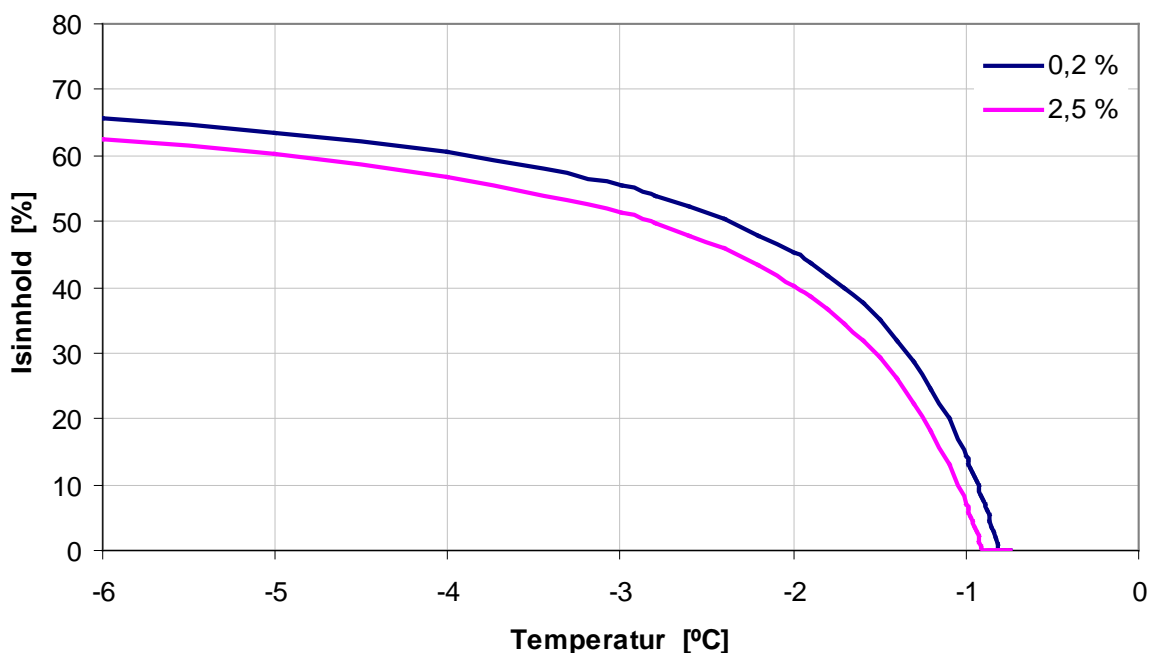
Det meste av det som står her samsvarer godt med de svarene vi fikk fra flere av tørrfiskprodusentene.

For å forstå hva som skjer i muskelen når den utsettes for frost og tørking går vi litt inn på sammenhengen mellom temperatur og andelen utfroset vann i muskelen. I fersk tilstand inneholder fiskemuskel omkring 80 % vann. Størstedelen av dette vannet er såkalt fritt vann, det vil si at det i liten grad er kjemisk bundet til muskelkomponentene. I motsetning til det vannet som er kjemisk bundet, kan det frie vannet fjernes ved tørking ved lave temperaturer. I det frie vannet vil det være løst både organiske og uorganiske salter og denne løsningen vil ha et frysepunkt som ligger under 0 °C. Frysepunktet for fiskemuskel ligger vanligvis mellom -1 og -2 °C og trolig ligger frysepunktet for fersk torsk i nærheten av $-0,7$ °C (Figur 1). I hyse er det målt en andel av is (frost vann) på 10 % ved -1 °C (Mackie, 1993). Under frysing konverteres vannet gradvis til is noe som gjør at saltkonsentrasjonen i det gjenværende frie vannet øker. Dermed senkes frysepunktet kontinuerlig mens vannet fryser. Ved -1 °C vil omkring 10–15 % av vannet være froset mens ved $-2,5$ °C er omkring 50–60 % av vannet froset (bilde 2). Slik fortsetter prosessen med mer og mer utfroset vann og tilsvarende senkning av frysepunktet. Alt vannet fryser ikke ved "vanlige" frysetemperaturer. Selv ved -25 °C er det cirka 10 % av vannet som ikke er froset (Hall, 1997; Mackie, 1993).

Et annet viktig moment er hvordan det frie vannet påvirker muskelen under frysing. En ting er at vannet utvider seg, det vil si at vannets volum er større i fast enn i flytende tilstand. Avhengig av innfrysingshastighet vil vannet også danne iskrystaller av ulik størrelse. Krystallene er skarpe og ødelegger muskelcellene. Kombinasjonen av utvidelse og krystalldannelse er antagelig, dersom klimaforholdene er maksimalt (u)gunstige, det som leder til den typen skader i fisken som omtales som fos.

Det er også en antakelse at fisk som utsettes for temperaturer mellom -2 til -5 °C (kritisk område) er mer utsatt for skader enn fisk som fryses ved -10 °C eller lavere. Både større iskrystalldannelsen og oppkonsentrering av enzymer og andre stoffer har vært forklaringsmodeller for denne forskjellen (Helgason *et al.*, 1995 og Lødemel, 2002).

Det kan tenkes at vi får en frysepunktsnedsettelse tilsvarende den vi får ved innfrysing når fisken tørker. Det frie vannet "tørkes ut", mens salter og andre frysepunktsnedsettende komponenter gjør at den gjenværende løsningen blir oppkonsentrert. En fisk som har tørket i noen dager har et lavere vanninnhold og høyere konsentrasjon av salter i muskelen, og dermed et lavere frysepunkt. Disse betraktningene gjelder fisken generelt. Hvis vi ser på ulike deler av fisken, vil delenes «evne» til å tåle frost henge sammen med tørkegrad. De delene som tørker seint vil kunne utsettes for fryseskade samtidig som de delene som er tørre unngår de samme skadene.



Figur 1 Forholdet mellom temperatur og det prosentvise innholdet av frost vann i fiskemuskel. Vist med henholdsvis 0,2 % saltinnhold og 2,5 % saltinnhold. (Hardarson, 2007)

Vi har funnet en beskrivelse av et annet fiskeprodukt som kan likne på fryseskadet tørrfisk (Bilde 2). I Jong *et al.* (2007) er det beskrevet tørking av splittet "Alaska Pollack". Fisken er mager, men gjennom gjentatt fryse- og tinetørking får man et produkt kalt "Hwangtae". En gulbrun farge er karakteristisk for dette produktet. Fisken fryses til under -10 °C om natta for

så å kunne tine på dagtid, eksempelvis ved at temperaturen er 2 °C. Det antydes at fargen på produktet skyldes bruningsreaksjoner i fiskemuskel. Selv om denne fisken er gulere enn soltørket fisk, er den samtidig mindre harsk.

I Bøgh-Sørensen (1992) beskrives prosessene som gir fosfisk som annerledes enn frysetørking, da det under dannelsen av fosfisk er god mulighet for oksydasjon både under tørkeprosessen og under lagring

Fargeforandringer er noe som går igjen i beskrivelsene av skadene som oppstår når fisken utsettes for frost i hengeperioden. Dette kan skyldes harskning og/eller bruningsreaksjoner. Når vannet fryser, dannes det iskrystaller og dannelsen av iskrystaller ser ut til å øke fettoksydasjonen (Nilsson, 1990), altså at muskelen blir mer utsatt for harskning. Det er også antatt at oksidasjon bidrar til gul misfarging. I Nilsen & Johansen (1978) er en mindre fryseskade beskrevet ved at fisken har et lett gulskjær i skinn og nakke. "Kraftig" fryseskadet fiskemuskel kjennetegnes med en rødbrun farge. I heftet for opplæring av tørrfiskvrakere er fryseskadene hovedsakelig beskrevet som rødfargede. Om kriteriene for vurdering av fryseskader blir det videre sagt at man skal se over noen kontrollfisk, bruke godt lys og konstatere eventuelt innslag av rødlig farge. I tillegg skal man skjære hakk gjennom skinnen på forskjellige steder i fisken og se på muskelfargen. Fryseskadet muskel er rødlig. I tillegg kan skjellene på fisken virke "grovere" på fisk som har vært fryst (Braathen, 2001).



Bilde 2 "Dried pollock" som her vises bløytet og som antagelig er samme produkt som "hwangtae" (http://kimchimari.com/2011/09/07/bugeo-gui/dsc_3107_691-2/).

Noen steder henvises det til at utbyttet under bløyting og luting ville være dårligere på fryseskadet fisk. Det har ikke vært vist til konkrete forsøk og dokumentasjon av disse. Den eneste dokumentasjonen vi har funnet, er i en fiskerikandidatoppgave av Gardarson (1995). Han viste at fisk som ble fryst over natten til -25 °C før den ble hengt og tørket til tørrfisk, hadde et lavt utbytte etter bløyting.

3 Gjennomførte forsøk

3.1 Henging i Tromsø høst 2011

I hengeforsøkene hadde vi lagt opp til to forsøksserier for å se på forhold som kunne gi fryseskader på tørrfisk. I det ene oppsettet variete vi tiden fra henging til fisken ble utsatt for frost, altså om delvis tørket fisk kunne gi mindre fryseskader enn fisk som ble hengt direkte i frost. I det andre oppsettet testet vi effekten av to frysetemperaturer på fisk som ble utsatt for henholdsvis vedvarende frost i 14 dager, frost og tining i 3 dagers syklus, samt frost og tining annen hver dag.

Begge oppsettene ble gjennomført samtidig i november og desember 2011. I det første oppsettet var det 6 forsøksgrupper, mens det var 7 forsøksgrupper i det andre oppsettet. Hver forsøksgruppe bestod av 10 fisker (5 sperrer). Råstoffet var 2–3 kg torsk som ble merket, veid og hengt dagen etter fangst. Underveis i forsøket var det vekta av sperra som ble registrert, ikke av enkeltfiskene.

For å kunne gi sikker frysing og variert tørking ble det satt opp tre lokaliteter: To kunstige tørkelokaliteter i henholdsvis fryserom med $-6,2\text{ °C}$ og et fryseskap ved $-3,8\text{ °C}$. I tillegg ble det satt opp en luftig hjell under et høyt tak på sørsiden av Nofimas bygg i Tromsø. Lufthastigheter ble ikke målt i forsøkene, og luftfuktigheten (RF) ble ikke styrt. RF variete fra gjennomsnittlig 81,6 % i skapet med $-3,8\text{ °C}$ til 92,8 % i rommet med $-6,2\text{ °C}$.

Første oppsett:

Her ønsket vi å se på sammenhengen mellom tiden fra henging til frostbelastning inntreer og eventuelle fryseskader på tørrfisken.

Dette forsøket ble satt opp ut fra hypotesen om at råfisk som først er (delvis) tørket før frysebelastning, vil bli mindre fryseskadet enn råfisk som blir hengt direkte i frost. For å teste denne hypotesen ble forsøket gjennomført med 6 grupper fisk. 1 gruppe ble hengt direkte i frost. 4 grupper ble tørket i henholdsvis 1, 2, 3 og 4 uker før de ble utsatt for frost. I dette forsøket betydde det at sperrene ble hengt inn på fryserommet ved $-6,2\text{ °C}$. Siste gruppe hang frostoffritt i hele forsøksperioden og fungerte som kontroll (F1). Vanntap ble regelmessig registrert gjennom veiing av fisken (sperrere).

Tabell 1 gir en oversikt over gruppenavn og hvilken tørketid hver gruppe ble utsatt for før frysing

Tabell 1 Oversikt over behandlinger og gruppenavn.

Behandling	Gruppenavn
0 uke tørk før frost	A1 – 0 uke
1 uke tørk før frost	B1 – 1 uke
2 uker tørk før frost	C1 – 2 uker
3 uker tørk før frost	D1 – 3 uker
4 uker tørk før frost	E1 – 4 uker
Frostfri kontroll	F1 – kontroll

Frostbelastningen som gruppene (A1, B1, C1, D1 og E1) ble utsatt for er illustrert i Figur 2. Frostbelastningen ble gjort lik for alle gruppene og varte i 14 dager og gikk ut på å veksele mellom frost og naturlig, frostfri utetørking. Med 17 til 30 timers sykluser vekslet fisken mellom frost/tørking og tining/tørking, før den igjen ble utsatt for frost/tørking.

Døgn nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Behandling	Red	Grey	Purple	Grey	Cyan	Grey	Purple	Red	Grey	Purple	Grey	Cyan	Grey	Purple	Red	Grey	Green
	<ul style="list-style-type: none"> Grey Ut i naturlig tørking, morgen kl 09:00 Purple Inn i fryserom ettermiddag kl 15:00 Cyan Inn fryserom morgen kl 09:00 Green Inn fryserom morgen/ut ettermiddag Red Frost hele døgn 																

Figur 2 Oversikt over frysebelastningen. Fisken ble hvert døgn flyttet henholdsvis ut i naturlig tørking eller inn i fryserom. Eller den var frossen hele døgnet.

Andre oppsett:

Her ville vi se på effekten av henholdsvis vedvarende frost og veksling mellom frost og tining. Ved å bruke to ulike frysetemperaturer kunne vi også se på mulige temperatureffekter for forekomst og grad av fryseskader.

Dette forsøket ble satt opp ut fra hypotesen om at "lavere" frysetemperatur kan gi større fryseskader enn "høyere" frysetemperaturer. Forsøksoppsettet ga oss også muligheter til å se om stadige temperaturskift mellom fryse- og tinetemperaturer ville gi mer fryseskader på fisken.

Forsøket omfattet 7 grupper med fisk (35 sperrer). Gruppene G5, H5 og I5 ble fryst ved $-6,2$ °C, men hadde varierende tid i frost. Gruppe G5 hadde vekselvis 24 timer i frost og 24 timer naturlig tørking i til sammen 14 dager. Gruppe H5 hadde vekselvis 72 timer i frost og 72 timer naturlig tørking i til sammen 14 dager. Mens gruppe I5 var fryst i 14 dager. Gruppene J2, K2 og L2 ble fryst med $-3,8$ °C. Gruppe J5 hadde vekselvis 24 timer i frost og 24 timer naturlig tørking i til sammen 14 dager. Gruppe K5 hadde vekselvis 72 timer i frost og 72 timer naturlig tørking i til sammen 14 dager. Gruppe L5 var fryst i 14 dager. Gruppe M ble hengt på eget fryserom ved -30 °C med vekselvis 72 timer i frost og 72 timer naturlig tørking i tilsammen 14 dager. Etter "behandlingen" ble all fisk hengt på hjell ute for tørking fram til ferdig tørrfisk.

En skjematisk framstilling av forsøket finnes i Tabell 2.

Fisken i dette oppsettet ble hengt samtidig med første oppsett. Den frostfrie kontrollen i første oppsett, F1, fungerer også som kontroll i dette forsøket.

Tørrfisken fra første og andre oppsett ble vurdert i to runder. Først i januar/februar 2012 og deretter i oktober/november 2012.

Første gang fisken ble vurdert, var alle tørrfiskene samt noen bløyta fisker, vurdert av forskerne ved Nofima. På rundfisken ble tre ulike sensoriske egenskaper vurdert på tre steder på hver enkelt fisk. De tre områdene var buk, spord og tjukkfisk. Et snitt ble gjort med

kniv i disse områdene og fargen i snittet ble vurdert som lys eller mørk, konsistensen ble vurdert som fast eller porøs og snittflatenes blankhet vurdert som matt eller gjennomsiktig. Nakke- og gattområdet ble også undersøkt for å avdekke eventuelle utsprengninger. Deretter ble tørrfisken saget tvers over i tjukkfiskregionen, gattområdet og spordområdet (hver fisk delt i fire biter). Snittflatene ble undersøkt for tegn på fryseskader. På ferdig utvannet tørrfisk ble farge og konsistens på fiskekjøttet vurdert. I tillegg ble litt av skinnet fjernet slik at kjøttfargen på skinnsiden kunne vurderes.

Tabell 2 Oversikt over behandlinger og gruppenavn i andre oppsett.

Gruppe	Temperatur	Ons	Tor	Fre	Lør	Søn	Man	Tir	Ons	Tor	Fre	Lør	Søn	Man	Tir
G5, -6,2 – 1d	Frost -6,2 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
H5, -6,2 – 3d	Frost -6,2 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
I5, -6,2 – 14d	Frost -6,2 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
J2, -3,8 – 1d	Frost -3,8 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
K2, -3,8 – 3d	Frost -3,8 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
L2, -3,8 - 14d	Frost -3,8 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
M, -30 – 3d	Frost -30 ⁰ C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Frost (flyttes på morgen)
 Frostfritt/naturtørking (flyttes morgen)

Andre gang fisken ble vurdert ble dette gjort sammen med tørrfiskvrakere. Fisken ble tatt inn på lager i januar og lå lagret i produksjonshallen til Nofima i Tromsø frem til oktober da den ble lagret på kjølerom. Fisken ble veid den 29. oktober og litt over halvparten av tørrfisken i hver gruppe ble lagt til bløyt i isvann 30. oktober. Vannet og isen ble skiftet hver dag. Vekt under bløyting ble målt 5. november, 7. november og 9. november. Vekten den 9. november ble gjort på fisk hvor den fremre delen av ryggen var fjernet (det samme gjelder for lutefisken). Denne fisken ble så lutet med 250 g lut i 100 l vann i til sammen 30 timer og lå deretter i vann i 3 døgn (vannskift hver dag) før siste veiing 14. november.

Mot slutten av bløyteprosessen (den 8. november) ble den bløyta fisken og den tørrfisken som ikke var bløytet, kvalitetsvurdert av to tørrfiskvrakere og oss forskere ved Nofima. Dette ble gjort ved at vi evaluerte hver gruppe samlet både som tørrfisk og bløytet fisk. Dette var ikke en vanlig tørrfiskvraking, da vi kun så etter feil som kunne karakteriseres som fryseskader. Type(r) feil ble notert og dokumentert med bilder.

3.2 Henging på Ballstad våren 2012

Hensikten med forsøkene på Ballstad var å avdekke hvilke forhold som kunne gi fryseskader under naturlige forhold, tidlig i hengesesongen, slik de er i Lofoten.

Råstoffet til alle hengeforsøkene var torsk av god kvalitet som ble hengt, med ett unntak (se under), samme dag som fisken ble levert. Råstoffet ble ikke plukket fra én fangst, men var en blanding av line-, juksa- og snurrevadfisk.

Det ble gjennomført hending av fisk på tidspunktene 3. februar, 28. februar og 6. mars. I tillegg var det planlagt en hending mot slutten av mars, men ettersom det ikke var frost av betydning og at en dermed ikke forventet at noen av fiskene skulle få fryseskader, ble den siste hendingen ikke gjennomført.

På hvert av tidspunktene ble det valgt å henge fisk av ulik størrelse. Tanken bak dette var å (eventuelt) kunne avdekke om fiskestørrelsen hadde betydning for omfanget av fryseskader. I tillegg til å henge fisk av ulike størrelser ble det også valgt å henge en gruppe med fisk som først hadde ligget i 3 dager på kjølerom før hending. Tanken bak dette var å se om lagret fisk tålte frost dårligere enn fisk som ble hengt direkte.

Ved hvert forsøk ble fisken delt i 3 grupper etter størrelsen: småfisk (1,5–2 kg), mellomfisk (cirka 3 kg) og storfisk (4–5 kg). Det ble hengt 16 fisk av hver størrelse på hvert hengetidspunkt (tabell 3).

Tabell 3 Oversikt over hengetidspunkt og gjennomsnittlig fiskestørrelse (sløyd og hodekappet) for hver av gruppene.

	3. februar	28. Februar	6. mars
A - Småfisk	1,5 kg	1,8 kg	1,5 kg
B - Mellomfisk	3,0 kg	2,8 kg	2,9 kg
C - Storfisk	3,9 kg	4,5 kg	4,3 kg
E – Lagret 3 dager	3,3 kg	Ikke med	1,9 kg

Ved hvert nytt hengetidspunkt, samt den 22. mars ble all fisk veid som ei sperre (to og to fisker) for å registrere vekttap under hending.

Fisken ble tatt inn på lager i mai/juni under det ordinære inntaket på bedriften. I oktober ble fisken fraktet til Nofima i Tromsø, hvor fisken lå lagret på kjølerom. Fisken ble veid den 29. oktober og litt over halvparten av tørrfiskene i hver gruppe ble bløytet i isvann 30. oktober. Vannet og isen ble skiftet hver dag. Vekt under bløyting ble målt 5. november, 7. november og 9. november. Vekten den 9. november er på fisk hvor fremre del av ryggen er fjernet. Fisken ble så lutet med 250 g lut i 100 l vann i til sammen 30 timer og lå deretter i vann i 3 døgn (vannskift hver dag) før veiing som lutefisk 14. november.

Mot slutten av bløyteperioden den 8. november ble den bløyta og ubløyta tørrfiskene kvalitetsvurdert av to tørrfiskvrakere og forskerne ved Nofima. Dette ble gjort ved at vi evaluerte hver gruppe samlet både som tørrfisk og bløytet. Dette var ikke en vanlig tørrfiskvraking, da vi kun så etter feil som kunne karakteriseres som fryseskader. Type(r) feil ble notert og dokumentert med bilder.

3.3 Hending i Tromsø våren 2012

Hensikten med forsøkene i Tromsø våren 2012 var å avdekke hvilke forhold som kunne gi fryseskader under naturlige forhold. Forsøkene var i så måte parallelle med forsøkene i Lofoten, men med antatt større sannsynlighet for frost i Tromsø. I Tromsø var også hensikten å teste ut effekten av å henge fisken frostfritt før hending i frost.

Råstoffet til alle hengeforsøkene var torsk av god kvalitet (garn og juksa) som ble hengt samme dag eller dagen etter at fisken ble levert.

Tabell 4 Oversikt over hengetidspunkt, uker frostfri henging og gjennomsnittlig fiskestørrelse (sløyd og hodekappet) for hver av gruppene.

Fisk nr og prøve kode	Frostfri henging i uker	Hengetidspunkt ute	Snittvekt
1–10 (14.feb 3 uker)	3	14/2-12	3,3
11–20 (14.feb 2 uker)	2	14/2-12	3,3
21–30 (14.feb 1 uke)	1	14/2-12	3,3
31–40 (14.feb)	0	14/2-12	3,1
41–50 (21.feb 1 uke)	1	21/2-12	3,1
80–89 (21.feb)	0	21/2-12	3,3
90–99 (28.feb 1 uke)	1	28/2-12	3,2
100–109 (2.mars)	0	2/3-12	3,5
110–119 (16.mars)	0	16/3-12	3,4
120–129 (30.mars)	0	30/3-12	3,2

Det ble gjennomført henging av fisk ute på seks tidspunkt: 14. februar, 21.februar, 28. februar, 2. mars, 16. mars og 30. mars (Tabell 4). For noen av disse hengetidspunktene var fisken i forveien hengt frostfritt i en til tre uker. Den frostfrie hengingen ble gjennomført på kjølerom med 2–3 °C og en luftfuktighet på nær 100 %.

Det ble forsøkt å holde lik størrelse på fisken ved hvert hengetidspunkt. Av praktiske grunner ble dette ikke konsekvent gjennomført, men vi har en gjennomsnittsvikt for gruppene som ligger mellom 3.1 og 3,5 kg. Ved hvert tidspunkt ble det hengt 10 fisker (5 sperrer).

Fisken ble vurdert som tørr og tatt inn på lager i juni. Lagringen var vekselvis med cirka 3 ukers mellomrom i forsøkshallen ved cirka 18 °C og på kjølerom ved cirka 2 °C. De siste ukene før vurdering og bløyting lå fisken på kjølerom.

Deretter ble fisken behandlet slik fisken fra de andre forsøkene på Ballstad og Tromsø høsten 2011. Fisken ble veid den 29. oktober og litt over halvparten av tørrfisken i hver gruppe lagt til bløyt i isvann 30. oktober. Vannet og isen ble skiftet hver dag. Vekten under bløyting ble målt 5. november, 7. november og 9. november. Vekten den 9. november er på fisk hvor fremre del av ryggen er fjernet. Fisken ble også lutet med 250 g lut i 100 l vann i til sammen 30 timer og lå deretter i vann i 3 døgn (vannskift hver dag) før veiing som lutefisk 14. november.

Mot slutten av bløyteperioden (den 8. november) ble bløyta og ubløyta fisk kvalitetsvurdert av to tørrfiskvrakere og oss forskere ved Nofima. Dette ble gjort ved at vi evaluerte hver gruppe samlet både som tørrfisk og bløytet. Dette var ikke en vanlig tørrfiskvraking, da vi kun så etter feil som kunne karakteriseres som fryseskader. Type(r) feil ble notert og dokumentert med bilder.

Histologi av muskel

I dette forsøket ble det også tatt ut muskelprøver for å ta mikroskopibilder, normalhistologi av muskel. Det ble tatt ut prøver av noen utvalgte fisker den 10. april. Det ble tatt ut fisk med antatt ulik grad av frysebelastning. Prøvene som ble tatt ut var fra fisk nr. 127 (Kontroll, har aldri vært frosset), 126 (har fått nattefrost), 114 (Ingen eller lite frost), 25 (1 uke frostfritt, resten frost), 32 (frost) og 33 (frost).

Etter uttak ble prøven lagt på 4 % PFA (fosfatbufret), over natt ved 4 °C. Påfølgende dag ble prøvene lagt i 50 % etOH i DEPC i to timer, 70 % etOH i DEPC i to timer, lagret på 100 % etOH ved -40 °C. Den 2. mai ble to paralleller fra hver prøve overført til merkede plastkassetter og klargjort for videre prosessering i LE shandon på NFH med følgende program: 2 x 2 timer i 96 % etOH, 2 x 2 timer i 100 % etOH, 1 time i etOH/ histoclear (1:1), 3 x 1 time i histo-clear, 1 time i histo-clear og parafinvoks (1:1), 1 x 2–10 timer i parafinvoks.

Preparatene ble støpt i parafinvoks med standard metallformer og snittet i 5 µm tynne snitt ved hjelp av mikrotom (Leica RM 2235). Det ble lagt tre snitt på hvert objektglass, i alt 42 objektglass. Snittene ble overført til vannbad (Leica HI 1210) ved 42 °C via objektglass tilsatt 50 % etOH. Da snittene hadde rettet seg ble de montert på objektglass (Super Frost Plus, Menzel-Gläser) og satt til tørking ved 37 °C over natt. Preparatene ble deparafinisert i skyllekar tilsatt histo-clear 3 x 5 min., 100 % etOH i 5 min., 96 % etOH i 5 min., 70 % etOH i 5 min., 50 % etOH i 5 min og overført til milliQ vann.

Snittene ble farget i 1 % Toluidinblå i 50 % isopropanol i 30 min ved 37 °C. Snittene ble deretter satt til avrenning på filterpapir og plassert i absolutt isopropanol i 1 min. Snittene ble inkubert i xylen i 1 min før dekkglass ble montert med Histo-kit. Snittene ble studert samt fotografert med mikroskopet Leica DM 6000B og bearbeidet med programvaren Leica application suite.

4 Resultater

4.1 Henging i Tromsø høst 2011

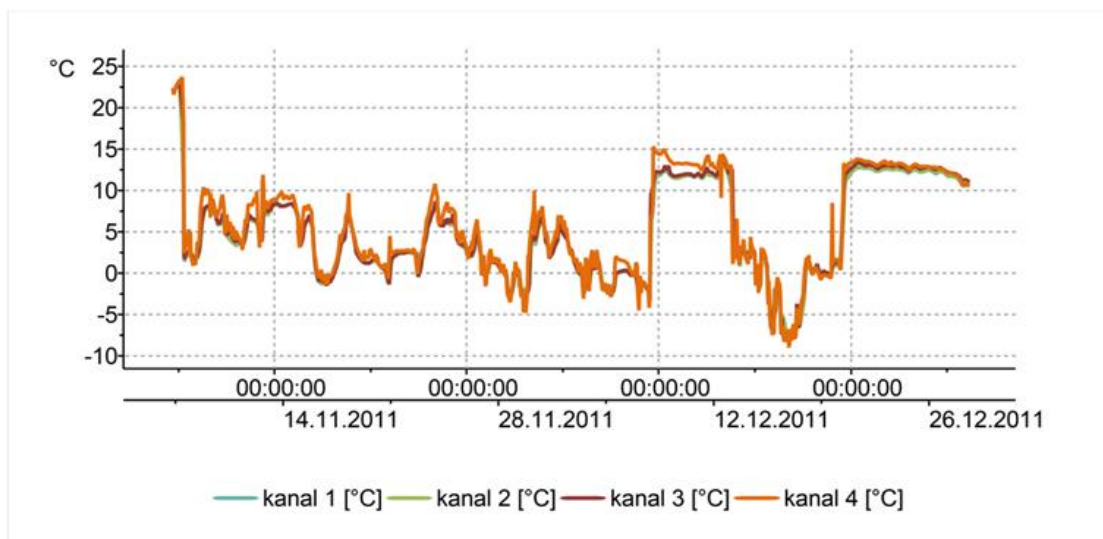
4.1.1 Temperaturlogg

Logging av temperaturen for de ulike behandlingene viser at gruppene stort sett ble utsatt for de temperaturene vi hadde planlagt. I Figur 3 vises temperaturen for kontrollen (F1) som er ordinær henging på hjellen ute. Fra 8. til 12. desember og fra 22. desember ble fisken hengt inne da det var vedvarende kulde ute.

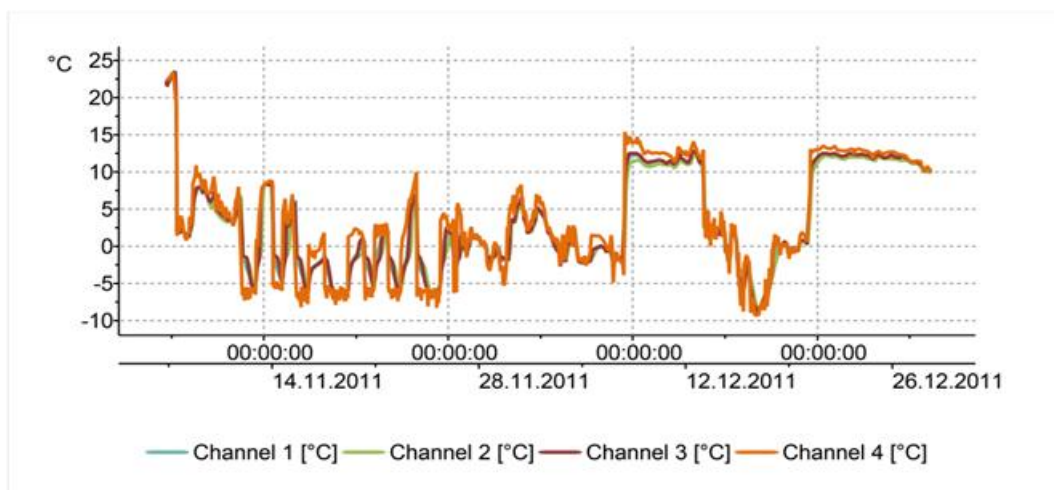
I Figur 4 vises temperaturen for fisken som først var hengt en uke frostfritt før den ble utsatt for en standardisert frysebelastning (se Figur 2). Temperaturutviklingen for gruppene A1, C1, D1 og E1 er ikke vist her, men har samme utvikling som Figur 3 og Figur 4 bare med forskjøvet tid for frysebelastning.

I Figur 5 og Figur 6 vises temperaturutviklingen for gruppene G5 og H5, hvor fisken var utsatt for frost ($-6,2$ °C) i sykluser med henholdsvis frost annenhver dag og med tre dagers frostperioder og tre dager frostfritt. For disse og de andre gruppene, som ikke vises her, har temperaturforløpet vært stort sett som planlagt. Det kan se ut som om den siste frysesyklusen ikke er gjennomført, slik at perioden med frysebelastning har vært to dager kortere enn planlagt. Altså 12 dager i stedet for 14 dager.

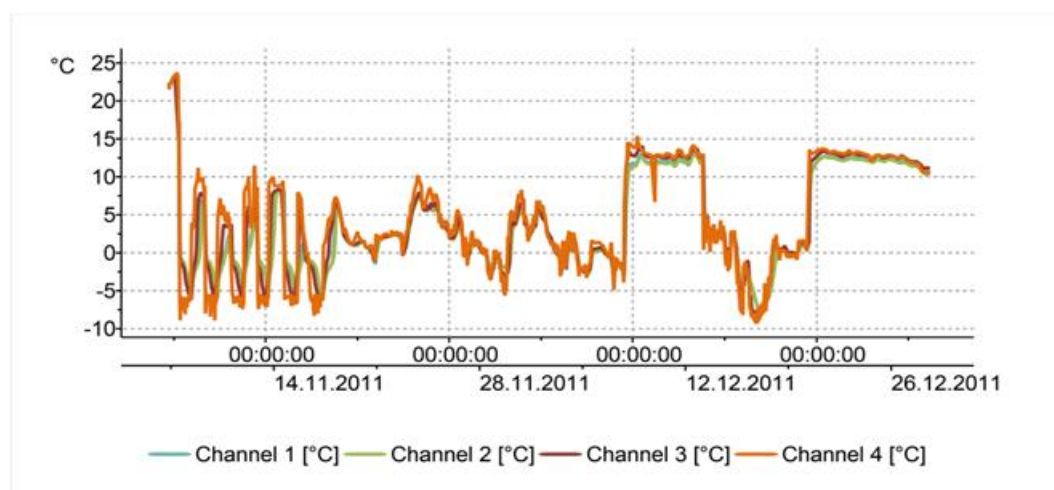
Loggingene av luftfuktigheten (Tabell 5) ved begge frysetemperaturene viste at fuktigheten var høyere enn forventet. Eksempelvis var fuktigheten gjennomsnittlig 93 % i fryserommet ved $-6,2$ °C.



Figur 3 Temperaturutviklingen for frostfri kontroll F1. Henging startet 3. november og fisken ble hengt ute. Fra 8. til 12. desember og etter 22. desember var fisken hengt inne ved 12–14 °C. Kanal 1 og 2 er måling i tjukkfish, kanal 3 er måling i buk, kanal 4 er lufttemperaturen.



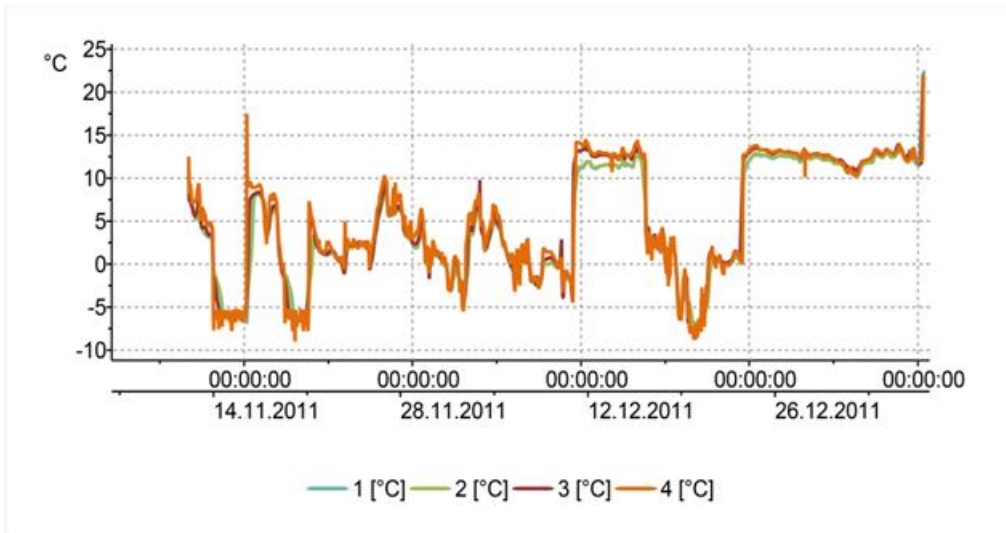
Figur 4 Temperaturutviklingen for 1 uke tørk før frost B1. Henging startet 3. november og fisken henges til frost 9. november. Fra 8. til 12. desember og etter 22. desember var fisken hengt inne ved 12–14 °C. Kanal 1 og 2 er måling i tjukkfisk, kanal 3 er måling i buk, kanal 4 er lufttemperaturen



Figur 5 Temperaturutviklingen for G5, fisken som var hengt i frost ved $-6,2$ °C og ved naturtørking ute annen hver dag. Starter med henging i frost. Fra 8. til 12. desember og etter 22. desember var fisken hengt inne ved 12–14 °C. Kanal 1 og 2 er måling i tjukkfisk, kanal 3 er måling i buk, kanal 4 er lufttemperaturen.

Tabell 5 Oversikt over gjennomsnittsmålinger av fuktighet og temperatur på rommene der fisken ble utsatt for frysebelastning.

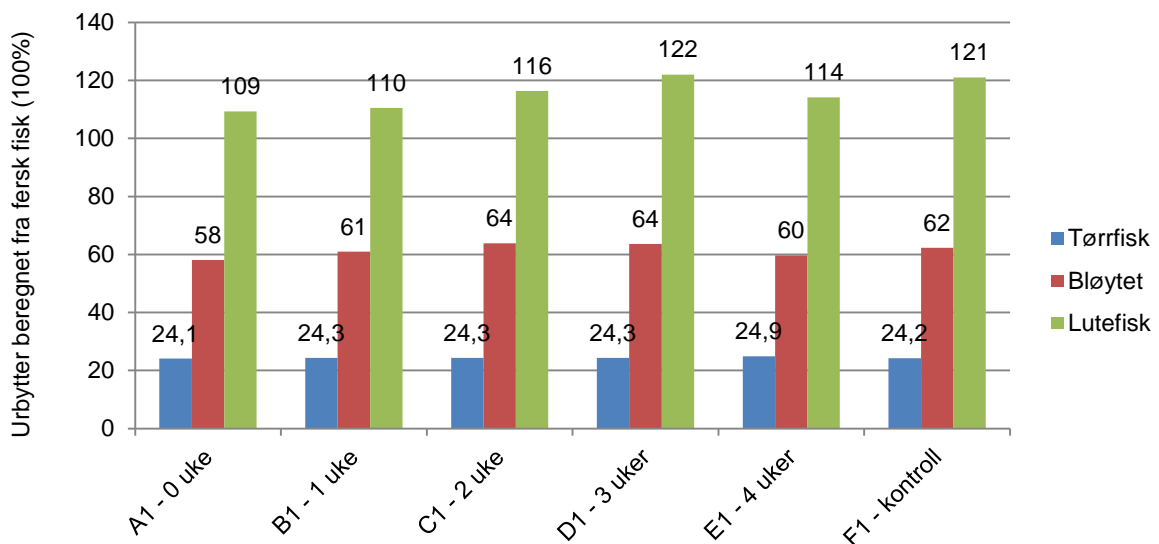
	Fryseskap $-3,8$ °C	Fryserom $-6,2$ °C	Fryserom -30 °C
Relativ fuktighet (%), gjennomsnitt	81,6	92,8	Ikke logget
Temperatur (°C), gjennomsnitt	$-3,8$ °C	$-6,2$ °C	-29 °C



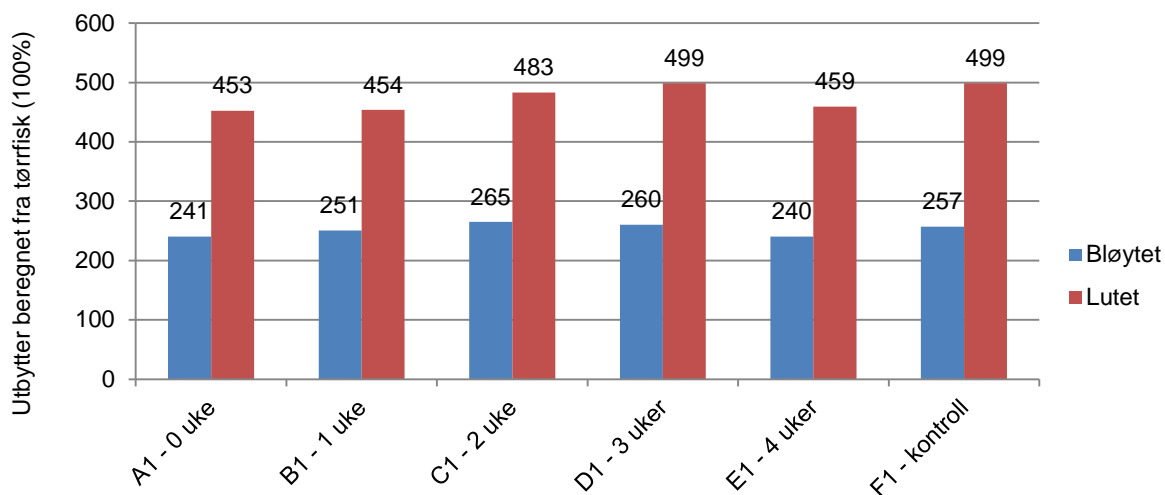
Figur 6 Temperaturutviklingen for H5, fisken som var hengt i frost ved $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ og ved naturtørking ute med tre dagers mellomrom. Starter med hending i frost. Fra 8. til 12. desember og etter 22. desember var fisken hengt inne ved $12\text{--}14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kanal 1 og 2 er måling i tjukkfisk, kanal 3 er måling i buk, kanal 4 er lufttemperaturen.

4.1.2 Vektutbytter

Tørrfiskutbyttet (fra sløyd, hodekappet til tørr vare) ble ikke påvirket av om fisken ble utsatt for frostbelastningen på $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ etter 0, 1, 2, 3 eller 4 uker (Figur 7). Men når en bløytet og lutet samme fisken, er det en tendens til at fisken som ble hengt direkte i frost gir et lavere utbytte, både når en regner fra råstoffvekt og tørrfiskvekt (Figur 7 og Figur 8).

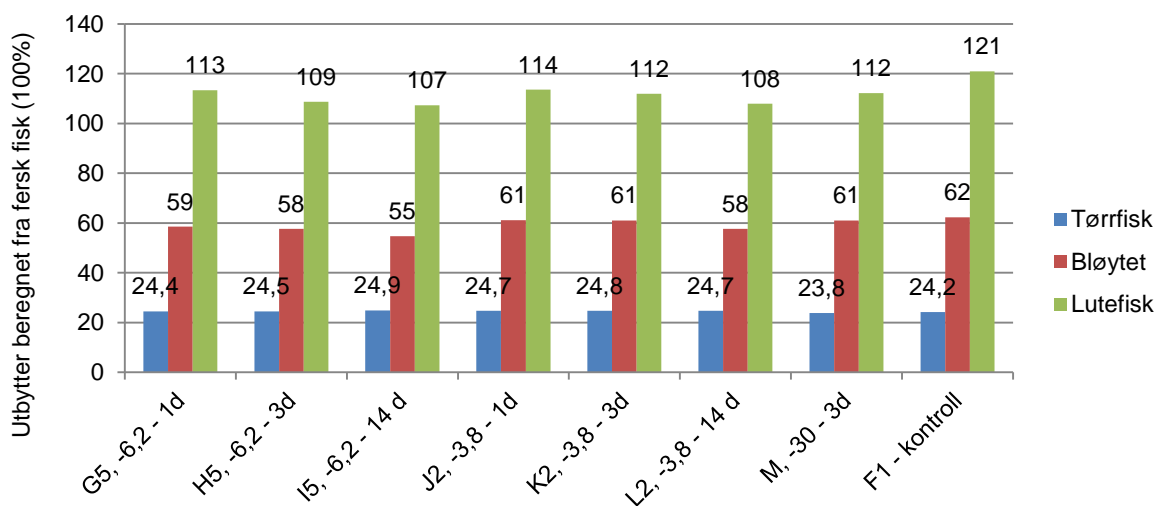


Figur 7 Utbytter beregnet fra ferskfisk (100 %) for fisk utsatt for henholdsvis 0, 1, 2, 3, 4 uker frostfri hending før fisken ble utsatt for en frostbelastning på $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 14 dager. Kontroll (F1) er ikke utsatt for frost.



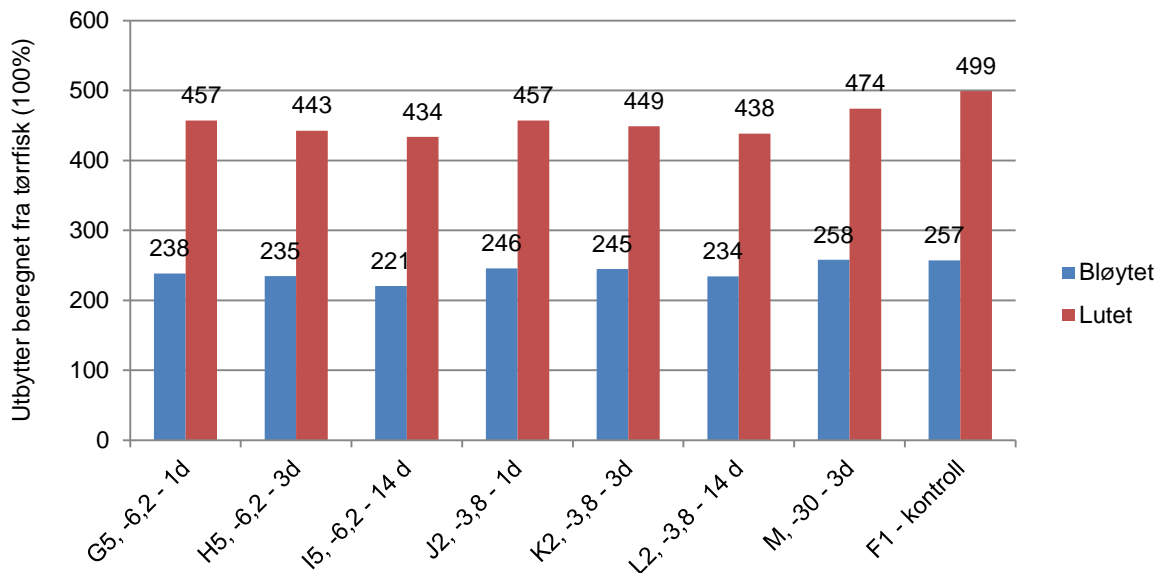
Figur 8 Utbytter beregnet fra tørrfisk (100 %) for fisk utsatt for henholdsvis 0, 1, 2, 3, 4 uker frostfri henging før fisken ble utsatt for en frostbelastning på $-6,2$ °C i 14 dager. Kontroll (F1) er ikke utsatt for frost.

Fisk som ble utsatt for henholdsvis $-3,8$ °C, $-6,2$ °C og -30 °C i 14 dager med ulike fryseintervaller ga noen forskjeller i utbytte etter bløyting og luting. Det er små forskjeller i tørrfiskutbyttet (fra sløyd, hodekappet til tørr vare), men det kan se ut som at fisken fryst ved -30 °C har litt lavere tørrfiskutbytte (Figur 9). Utbyttet som bløytet og lutet er gjennomgående lavest for fisken som er fryst ved $-6,2$ °C, regnet både fra fersk vekt og tørrfiskvekt (Figur 9 og Figur 10). Fisken som er fryst ved -30 °C har et ganske godt bløyte- og lutefiskutbytte, særlig om det beregnet fra tørrfiskvekt.



Figur 9 Utbytter beregnet fra ferskfisk (100 %) for fisk utsatt for frostbelastninger på henholdsvis $-3,8$ °C, $-6,2$ °C og -30 °C i 14 dager. Kontroll (F1) er ikke utsatt for frost. Ved frostbelastningene på $-3,8$ °C og $-6,2$ °C er fisken utsatt for frost henholdsvis en dag frost og en dag naturtørrking (1d), tre dager frost og 3 dager naturtørrking (3d), samt 14 dagers sammenhengende frost (14d).

Det er også en tendens til at en sammenhengende frysebelastning på 14 dager gir dårligere bløytte- og luteutbytte, sammenliknet med frysebelastning annen hver dag i en 14 dagers periode. Den frostfrie kontrollen gir gjennomgående bedre utbytter som bløytet og lutet, sammenliknet med alle varianter av frostbelastning.



Figur 10 Utbytter beregnet fra tørrfisk (100 %) for fisk utsatt for frostbelastninger på henholdsvis – 3,8 °C, –6,2 °C og –30 °C i 14 dager. Kontroll (F1) er ikke utsatt for frost. Ved frostbelastningene på –3,8 °C og –6,2 °C er fisken utsatt for frost henholdsvis en dag frost og en dag naturtørring (1d), tre dager frost og 3 dager naturtørring (3d), samt 14 dagers sammenhengende frost (14d).

4.1.3 Grad av fryseskader

Graden av fryseskader ble vurdert i to runder. Første gang av forskere ved Nofima i januar/februar 2012 og deretter sammen med tørrfiskvrakere i oktober/november i 2012.

Den første gangen fisken ble vurdert var det en del usikkerhet rundt hvordan vi skulle bedømme om fisken hadde fryseskader eller ikke. I denne runden ble fisken kun bedømt av oss forskere og kun et lite antall fisk fra hver gruppe ble bløytet. Resultatene fra den første runden er begrensede og vil bare kort gjennomgås her.

Et vurderingskriterium vi benyttet var å skjære snitt i tørrfisken og bedømme om muskelen var mørk, blank og kompakt (ikke frost) eller om snittene var lyse, matte og porøse (fryseskadet). Gruppene som ble bedømt å ha noe mer innslag av lyse snitt var B1, C1, D1, E1, F1, J2 og K2. Kjønnetegnet for disse gruppene var at de hadde relativt sen eller liten frostbelastning. Mens gruppene med innslag av mørk overflate, A1, G5, H5, L2 og M, var alle grupper med relativt tidlig og større frostbelastning. Våre funn og konklusjoner var nærmest motsatt av det vi hadde forventet som sikre tegn på fryseskader.

Vi gjorde også vurderinger av fasong på nakke og bukrområde utfra at fryst fisk skal ha mer utsprengt nakke eller være mer fyldig over gattområdet. Vi kunne ikke se noen systematisk

sammenheng mellom fasongen på fisken og den frysebelastning fiskene var utsatt for. Det skal bemerkes at fisken ikke var helt tørr da den ble bedømt.

Tørrfisken ble også saget opp for å se etter tegn på fryseskader (Bilde 3). Heller ikke her var det store forskjeller, men fiskene i gruppene A1, B1, E1, G5, H5, I5 og L2 hadde tydelige områder med hvite prikker. Gruppene F1 (kontroll) og M (-30 °C) var de eneste som ikke hadde hvite prikker. Dermed var det tydelige hvite prikker på alle grupper som ble hengt direkte ut i -6,2 °C (A1, G5, H5, I5), mens en av gruppene hengt ut i -3,8 °C (L2) hadde tydelige hvite prikker. Noe uventet var det ingen hvite prikker i fisken som var fryst ved -30 °C (M).



Bilde 3 Tverrsnitt av tørrfisk med hvite prikker i muskelen

En fisk fra hver gruppe ble lagt i vann til bløyting. Fargen på muskelen ble bedømt etter endt bløyting. Gruppene A1, G5, H5 og I5 skilte seg tydelig fra de andre gruppene ved å ha en mer mørk og gulaktig farge i muskelen (Bilde 4). Gulfargen var spesielt kraftig i spordenden på fisken. Dermed var det igjen alle gruppene som ble hengt direkte ut i frost ved -6,2 °C som ble bedømt som avvikende. Til sammenlikning hadde ingen av fiskene fryst ved -3,8 °C tilsvarende gul farge. Det var heller ingen gul farge på fisken som ble hengt ut i frost etter 1, 2, 3 og 4 uker ved frostfri naturtørking. Fisken hengt direkte ut i -30 °C ble ikke bedømt å være gul.

Den avsluttende kvalitetsvurderingen med henblikk på fryseskader ble gjort i oktober/november sammen med tørrfiskvrakere.

Vurdering av fryseskader på tørrfisk er utfordrende og begge vrakerne uttrykte at vurderingene av en del av tørrfisken i tillegg ble forvansket grunnet uvant skinnfarge. Fisken som var hengt i Tromsø hadde en helt annen farge (var mye mørkere) enn vårhengt fisk fra Lofoten.

Bedømmelsen (Tabell 4) viste at fisken som var hengt 4 uker før frost (E1) og kontrollen (F1) var de eneste gruppene som ble bedømt å være uten fryseskader. Fisken som ble hengt i frost etter en uke (B1) ble bedømt å ha lite eller ingen skade. De andre gruppene (A1 – 0 uke, C1 – 2 uker og D1 – 3 uker) ble bedømt å ha tydelige fryseskader.



Bilde 4 Bløytet tørrfisk med ulik farge på muskelen. Til venstre i tykkfisken og til høyre gul farge i sporden.

Bedømmelsen av den bløyta fisken (tabell 6) viste at den eneste fisken med synlige avvik var den som ble hengt direkte ut i frost (A1 – 0 uke). Denne fisken var gul farget i muskelen, særlig i spordpartiet (Bilde 5). Vi fant ingen tegn til fryseskader på noen av de andre gruppene. Dette indikerer at tørrfisken tåler mer frostbelastning dersom den først er tørket i en uke før frosten inntreffer.

Sammenholder en vurderingene som tørrfisk og bløytet tørrfisk ser vi at tørrfisken stort sett ble bedømt å ha fryseskader frem til og med 3 ukers tørk før frost inntreffer. Dette er betydelig lengre enn vurderingene på bløytet fisk tilsier. Dette viser at en trolig ser godt på en tørrfisk om den har vært utsatt for frost, men at det er vanskeligere å avgjøre i hvor stor grad fryseskadene er så store at de vil ha betydning for den visuelle kvaliteten etter bløyting.

Tabell 6 Graden av fryseskader vurdert på henholdsvis tørrfisk og utvannet tørrfisk. På tørrfisk er fryseskade vurdert av tørrfiskvrakere med hensyn på form og farge på skinn og muskel. For bløytet fisk er det hovedsakelig vurdert ut fra fargeendringer i muskelen.

Behandling	Gruppenavn	Tørrfisk	Bløytet
0 uke tørk før frost	A1 – 0 uke	Tydelig fryseskadet, feil farge og sprø konsistens	Frost – gul farget
1 uke tørk før frost	B1 – 1 uke	Lite eller ingen frost	Ingen
2 uker tørk før frost	C1 – 2 uker	Tydelig fryseskadet	Ingen
3 uker tørk før frost	D1 – 3 uker	Tydelig fryseskadet eller avvikende kvalitet	Ingen
4 uker tørk før frost	E1 – 4 uker	Ingen	Ingen
Frostfri kontroll	F1 - kontroll	Ingen	Ingen



Bilde 5 Utvannet tørrfisk. Fisk hengte direkte i frost (A1), med gul farge i sporpartiet (nederst), sammenliknet med fisk som hengte en uke frostfritt før frost, B1 (øverst).

I den andre serien testet vi effekten av frysetemperatur i kombinasjon med henholdsvis vedvarende frost og veksling mellom frost og tining (Tabell 7).

I dette forsøket var det ganske godt samsvar mellom bedømmelsene på tørrfisk og bløytet fisk. Vi kommenterer derfor bare effektene på bløytet fisk. I enkelte av fiskene så vi også en avgrenset rødfarge i muskelen (Bilde 12) som vi (vrakerne inkludert) ikke mente hadde noe med fryseskader å gjøre og derfor heller ikke har kommentert videre.

Alle tørrfiskene som ble utsatt for $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hadde klare fryseskader ved at muskelen var misfarget gul (Bilde 6, Bilde 7 og Bilde 8). Bare en av tre grupper som ble utsatt for $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ hadde litt fryseskader (2 av 5 fisker), mens de andre gruppene ikke ble bedømt å ha fryseskader (Bilde 9 og Bilde 10). Ingen av fiskene som ble hengte ved $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hadde tegn til fryseskader (Bilde 11).

For temperaturene $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ var det også en serie med fisk hengte i henholdsvis vedvarende frost i 14 dager og veksling mellom frost og tining/henging (med 1 dags intervall og 3 dagers intervall). Ved $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ var det kun fisken som var tørket med vedvarende frost som hadde litt fryseskader (to av 5 fisker var litt gule i muskelen). Ved $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ var det klart mest fryseskader i fisken som ble utsatt for vedvarende frost ved at hele muskelen var veldig gul (Bilde 8). Når fisken ble utsatt for frost annenhver dag var den mye mindre fryseskadet og kun gul i sporden. Det synes derfor å være en klar sammenheng mellom hvor mange frostdøgn fisken er utsatt for i de første 14 dagene og hvor mye fisken gulner i muskelen.

Tabell 7 Graden av fryseskader vurdert på henholdsvis tørrfisk og utvannet tørrfisk. På tørrfisk er frosten vurdert av tørrfiskvrakere med hensyn på form og farge på skinn og muskel. For bløytet fisk er det hovedsakelig vurdert ut fra fargeendringer i fisken mot gul/rødlige farger i muskelen.

Gruppe	Temperatur	Tørrfisk	Bløytet
G5, -6,2 – 1d	Frost -6,2 °C	Tydlig og mye frost	Frost – gul i sporen
H5, -6,2 – 3d	Frost -6,2 °C	Tydlig og mye frost, blålig farge på skinnen og bukfosset	Frost – gul i sporen
I5, -6,2 – 14d	Frost -6,2 °C	Litt frost	Mye frost - gul
J2, -3,8 – 1d	Frost -3,8 °C	Ingen	Ingen
K2, -3,8 – 3d	Frost -3,8 °C	Ingen	Ingen
L2, -3,8 - 14d	Frost -3,8 °C	Litt frost	Noe frost (2 av 5 var gule)
M, -30 – 3d	Frost -30 °C	Ikke frost, men avvikende farge	Ingen



Bilde 6 Bløytet fisk med fryseskader i sporpartiet (gul farge). Fisk som er hengt direkte i frost (-6,2 °C) og hengt ut i naturtørring annen hver dag, **G5** (bildet til høyre og nederste fisken i bildet til venstre). Kontrollfisken, F1 ligger øverst i bildet til venstre.



*Bilde 7 Bløytet fisk med fryseskader (gulffarge) i sporen og noe fremover på fisken. Fisk som er hengt direkte i frost (-6,2 °C) og hengt ut i naturtørrking tredje hver dag, **H5** (bildet til høyre og nederste fisken i bildet til venstre). Kontrollfisken, F1 ligger øverst i bildet til venstre.*



*Bilde 8 Bløytet fisk med store fryseskader (gulffarge) over hele fisken. Fisk som er hengt direkte i frost (-6,2 °C) og hengt der sammenhengende i 14 dager, **I5** (bildet til høyre og nederste fisken i bildet til venstre). Kontrollfisken, F1 ligger øverst i bildet til venstre.*



Bilde 9 Bløytet fisk. Fisk som er hengt direkte i frost ($-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) og hengt ut i naturtørking annen hver dag, **J2** (bildet til høyre og nederste fisken i bildet til venstre). Kontrollfisken, **F1** ligger øverst i bildet til venstre.



Bilde 10 Bløytet fisk. Fisk som er hengt direkte i frost ($-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) og hengt der sammenhengende i 14 dager, **L2** (nederste fisken). Kontrollfisken, **F1** ligger øverst i bildet til venstre.



Bilde 11 Bløytet fisk. Fisk som er hengt direkte i frost (-30 °C) og hengt der sammenhengende i 14 dager, **M** (nederste fisken). Kontrollfisken, F1 ligger øverst i bildte til venstre.



Bilde 12 Avgrenset rødfarge i muskelen. Ble av vrakerne bedømt til ikke å være forårsaket av frost. Vi vet ikke hva denne feilen skyldes.

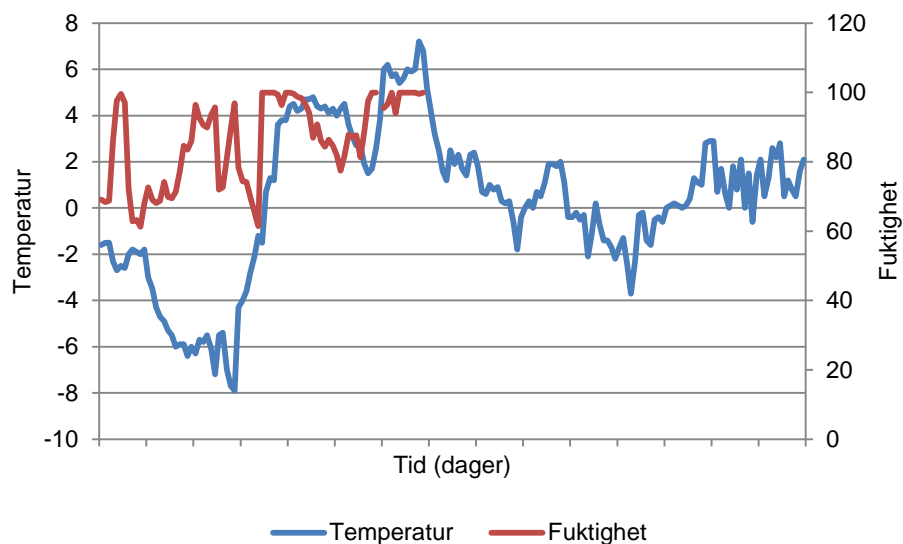
4.2 Henging på Ballstad våren 2012

4.2.1 Temperatur- og fuktighetslogg

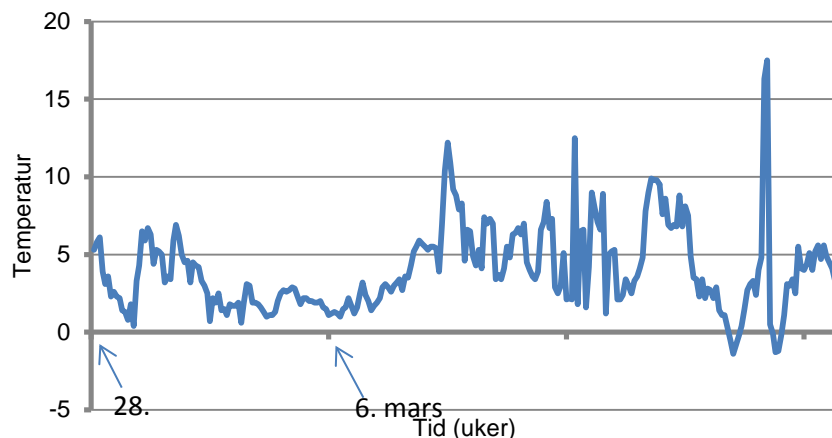
Målingene av temperaturen både i luft og i fisken viste at ingen av de tre partiene hengt henholdsvis 3. februar, 28. februar og 6. mars ble utsatt for noen stor frostpåvirkning (Figur 11 og Figur 12). Den eneste fisken som ble utsatt for noe frost tidlig i hengeperioden var den som ble hengt 3. februar. Men temperaturen lå under -2 °C i kun 3 dager rett etter henging. Videre var det kun enkeltdager med frost ned mot cirka -2 °C . Erfaringene fra bedriften der fisken ble hengt, tilsier at dette ikke skulle gi noen fryseskader av betydning.

Målingene av fuktighet ble ikke gjennomført på grunn av instrumentfeil. Vi hadde to nye loggere på plassen, men begge sluttet å logge fuktighet etter 2 uker (Figur 11). Vi vet ikke årsaken til dette, men en mulighet er at de ble utsatt for mye sjøsprøyt.

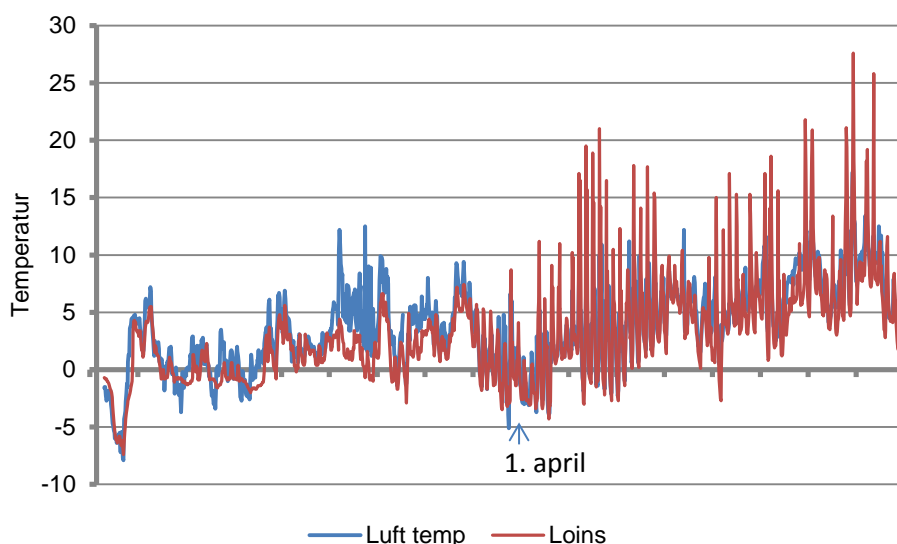
Målingene i hele hengeperioden (Figur 13) fra første henging til inntak viser at temperaturen i luft og i fisken (målt i tjukkfisken) følger hverandre bra frem mot mars/april. Fra april og videre utover varierer temperaturen i fisken mer enn temperaturen i luften ettersom solen varmer opp fisken på dager med klart vær.



Figur 11 Temperatur og fuktighet de to først ukene etter henging 3. februar. Loggingen av fuktighet stoppet etter en uke. Temperaturen vises fra 4. februar til 18. februar.



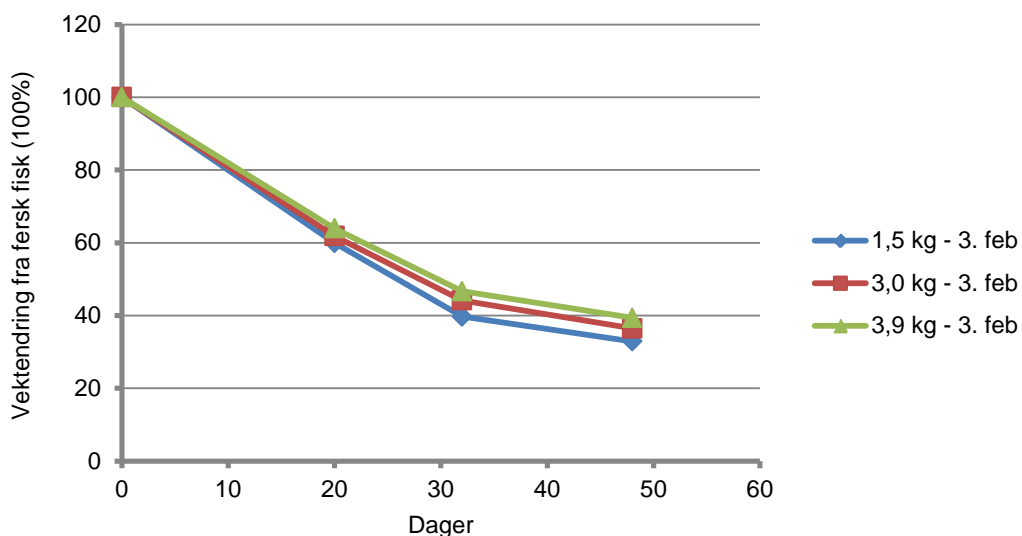
Figur 12 Temperatur etter hengingene henholdsvis 28. februar og 6. mars. Loggingen av fuktighet fungerte ikke. Temperaturen vises fra 28. februar til 20. mars.



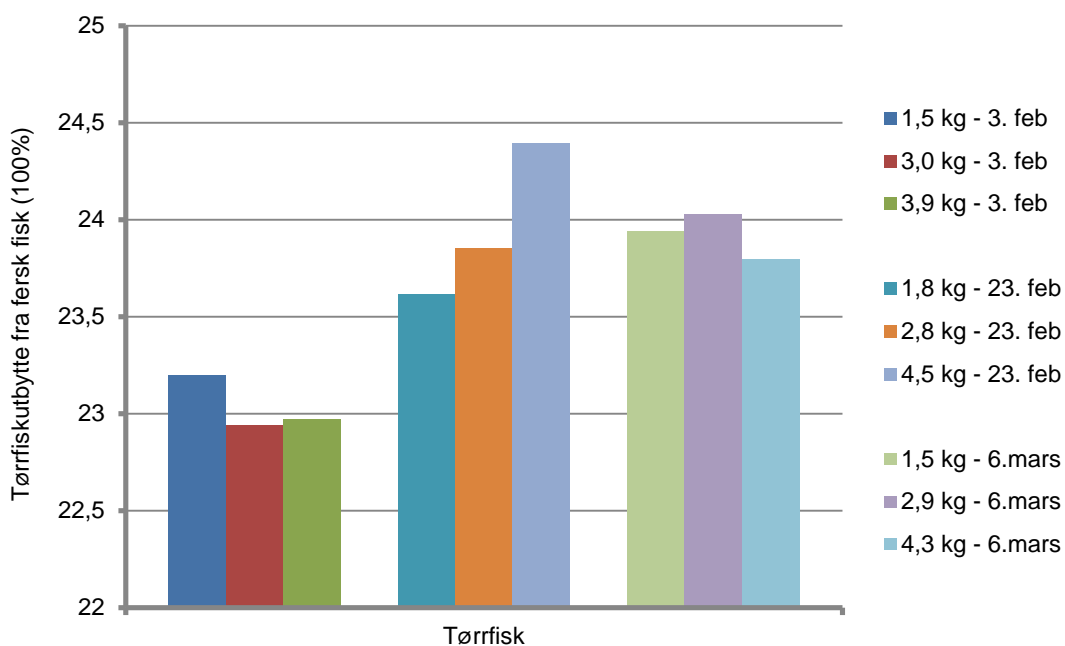
Figur 13 Temperaturen i hele hengeperioden på Ballstad fra 4. februar til 30. mai. Målt i henholdsvis luften og i loins på tørrfisen.

4.2.2 Vekter

Fisk av ulik størrelse ble hengt og veid de første ukene etter henging. Den minste fisken mistet fortere vekt sammenliknet med større fisk (Figur 14). Som ferdigtørket tørrfisk er det ikke noen systematisk sammenheng mellom størrelse og vektutbytte (Figur 15). Fisken hengt 3. februar hadde litt lavere tørrfiskutbytte sammenliknet med fisken hengt 23. februar og 6. mars (Figur 15).

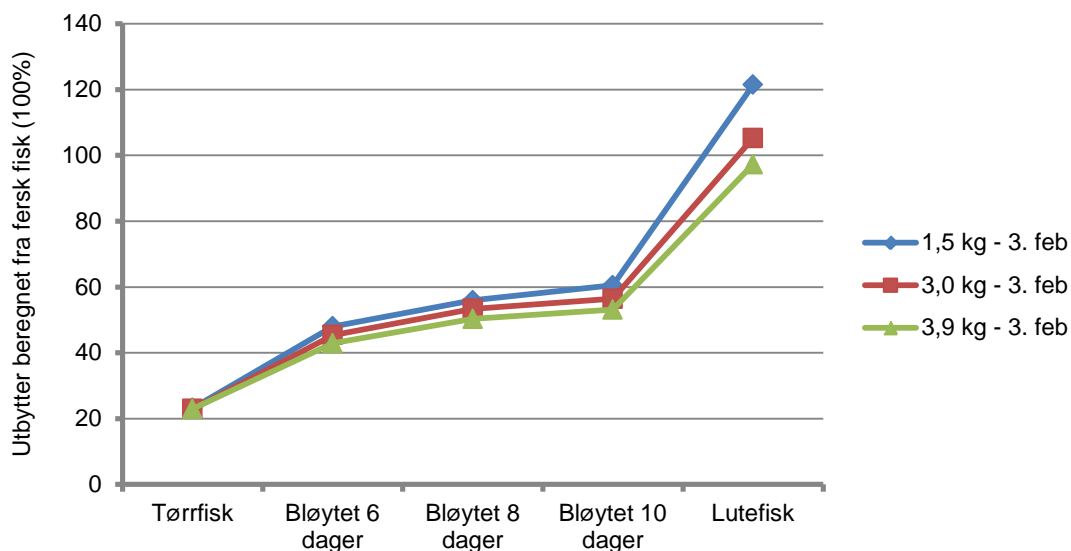


Figur 14 Vektendring de første ukene etter henging for fisk av ulik størrelse. Fisken ble hengt 3. februar.

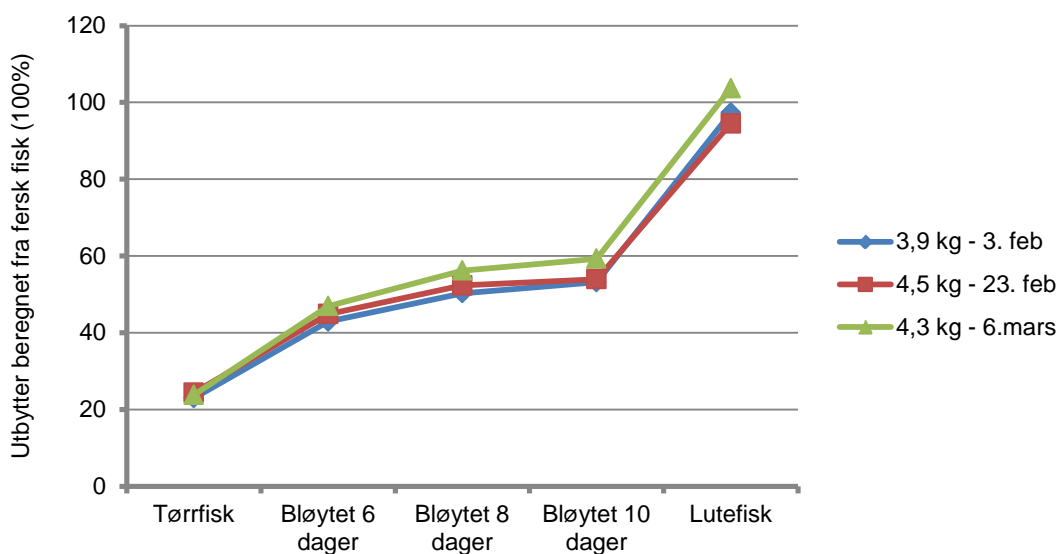


Figur 15 Utbytte som tørrfisk for fisk hengt henholdsvis 3. februar, 23. februar og 6.mars. Ved hvert hengtidspunkt er det hengt fisk i tre vektstørrelser.

Utbyttene som bløytet og som lutefisk, beregnet fra fersk fisk, ble påvirket av fiskestørrelse. Gjennomgående var det slik at jo mindre fisken var, jo bedre ble utbyttet både som bløytet og som lutefisk (Figur 16). Hengtidspunkt hadde også innvirkning på utbytte, men mindre enn fiskestørrelsen. Fisken hengt i februar hadde gjennomgående dårligere utbytte som bløytet og lutefisk, sammenliknet med fisk hengt ut i mars (Figur 17).

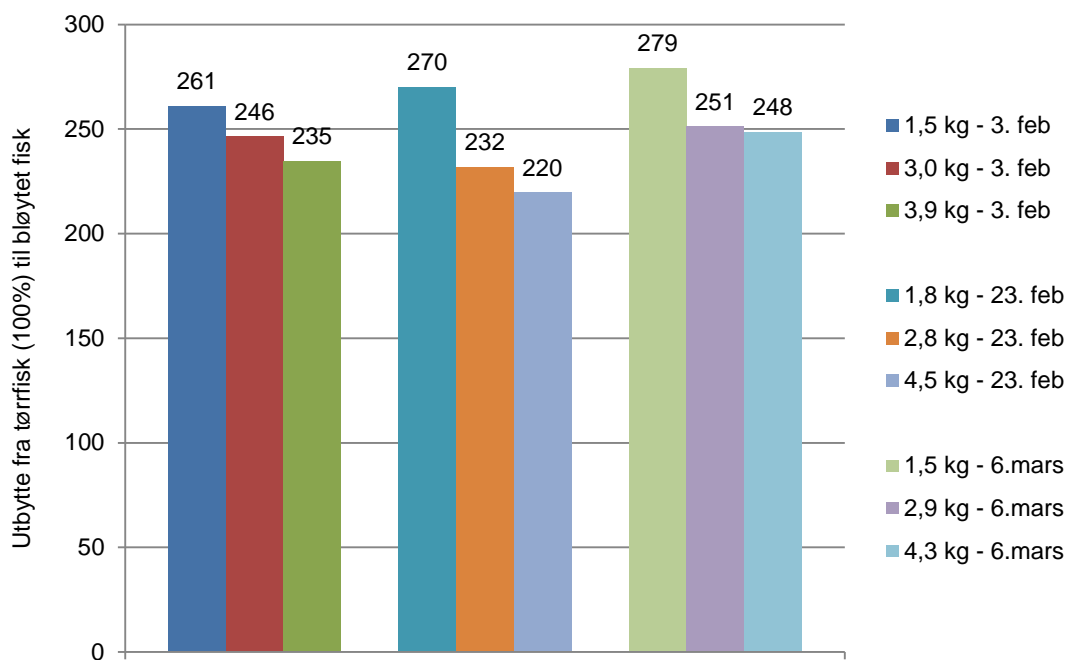


Figur 16 Utbyttet beregnet fra fersk fisk. Fisk av tre ulike størrelser hengt 3. februar.

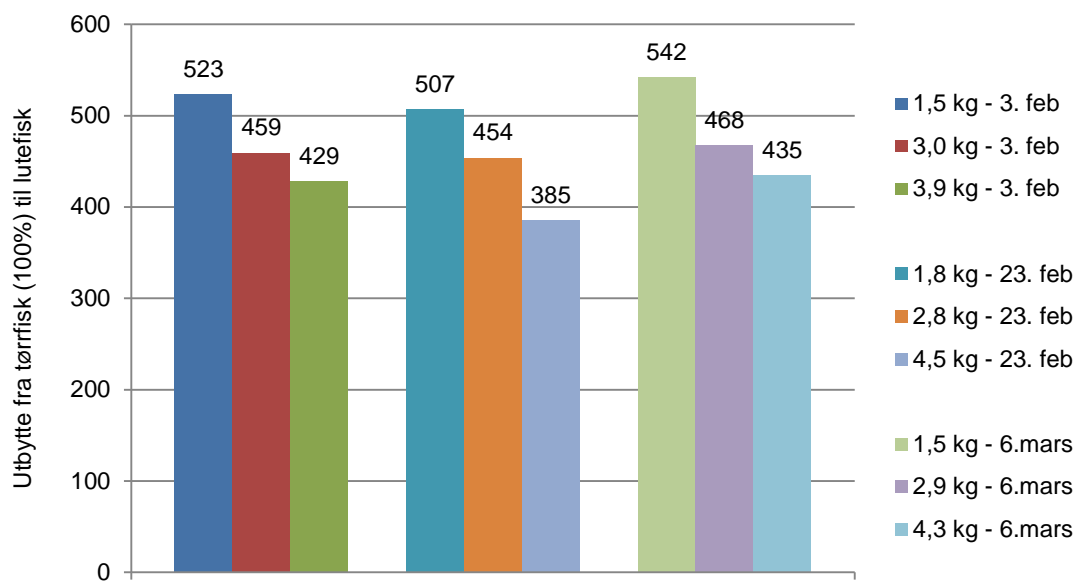


Figur 17 Utbyttet av fisk av omtrent lik størrelse hengt på tre ulike tidspunkt: 3. februar, 23. februar og 6. mars. Utbyttet beregnet fra fersk fisk.

Også utbyttene beregnet fra tørrfisk til henholdsvis bløytet fisk og lutefisk viser at fiskestørrelse har stor effekt på utbytte, samt at det er en tendens til at tidlig hengt fisk har dårligere utbytte enn fisk hengt senere på sesongen (Figur 18 og Figur 19). Den 3. februar og 6. mars ble det også hengt fisk som var lagret tre dager før henging. Resultatene er ikke vist her, men det var ingen forskjell i vekt. For lagret fisk var utbyttet fra tørrfisk til luting litt lavere.



Figur 18 Utbytter fra tørrfisk til bløytet fisk. Fisken ble bløytet i 10 dager og den fremste delen av ryggen er fjernet fra den bløyta fisken.



Figur 19 Utbytter fra tørrfisk til lutefisk. Fremste delen av ryggen er fjernet fra lutefisken.

4.2.3 Grad av fryseskader

Graden av fryseskader ble vurdert både under tørkeperiodene, på ferdig tørrfisk og på bløytet tørrfisk. Graden av skade kan også vurderes ut fra fiskemuskelens evne til å ta opp vann under bløyteprosessen.

Fisken ble tatt ned noen ganger under tørkingen for å måle vekt og vurdere mulige fryseskader. Det ble ikke registrert noen klare fryseskader på noen av fiskene under tørkeperioden. Nakkene på fisken som ble hengt 3. februar var noe lysere og kunne ha tendenser til fryseskader (Bilde 13), men ble av vrakerne ikke vurdert å være av en slik art at det hadde noen praktisk betydning.

Etter en måneds henging ble fisk som var hengt 3. februar kuttet i to for å se om det var tegn til fryseskader. Vi klarte ikke å påvise noen slike. Bilde 14 viser hvordan fisken tørker i buken og ut mot skinnet (de mørke områdene), mens muskelen inn mot ryggspylen fortsatt er godt fuktig.

Vrakernes vurdering av fisken som ferdig tørrfisk og som bløytet var at ingen av fiskene viste tydelige tegn til fryseskader. Den frosten som fisken som eksempelvis var hengt 3. februar ble utsatt for, ble vurdert å ha meget liten betydning for tørrfiskkvaliteten både av vrakere og forskere (Bilde 15).

Ser vi vekta av bløyta fisk hengt i februar og sammenligner med fisken hengt i mars, så har førstnevnte et dårligere vannopptak. Dette kan tyde på at frosten kan ha redusert muskelens evne å ta opp vann (rehydrere). Det er likevel vanskelig å trekke sikre slutninger ettersom både råstoff og hengetid også er variert samtidig. Det er også en mulighet for at det er en viss naturlig variasjon i rehydreringsevnen uavhengig av behandlingen fisken har blitt påført.



Bilde 13 Nakker på fisk etter en måneds henging. Stor fisk hengt 3. februar.



Bilde 14 Tverrsnitt av en fisk som er hengt i 1 måned. Fisken ble hengt 3. februar og veide da 4,1 kg. Tverrsnittet er gjort 6.mars.



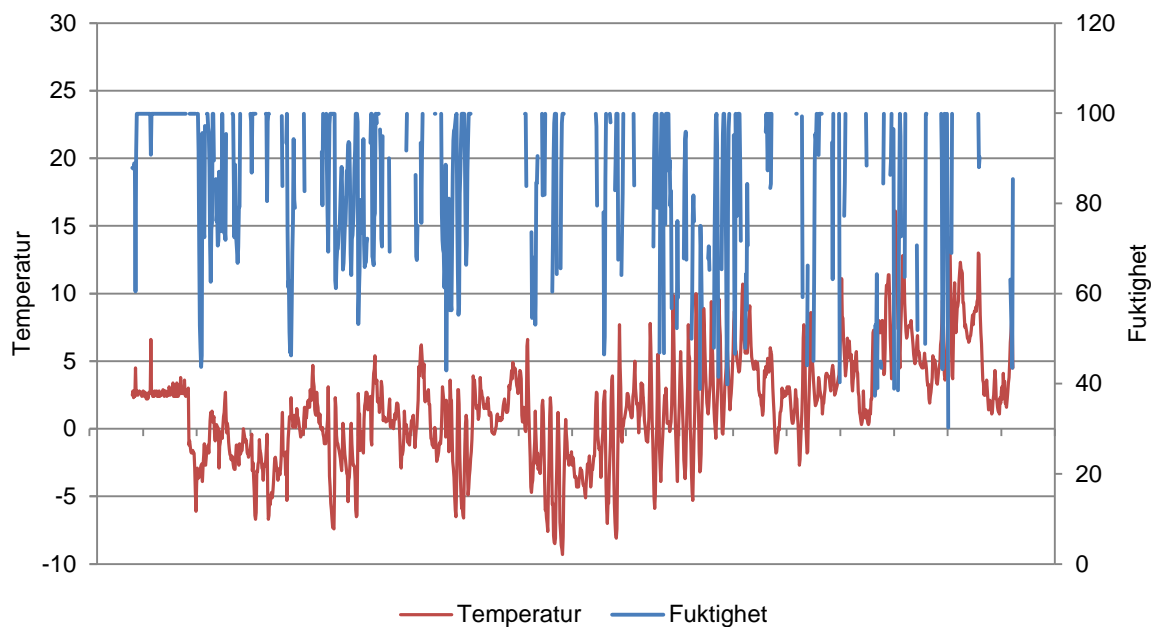
Bilde 15 Utvannet fisk fra alle tre hengetidspunkt. Ingen av fiskene viser tegn til fargeavvik som skyldes frost.

4.3 Henging i Tromsø våren 2012

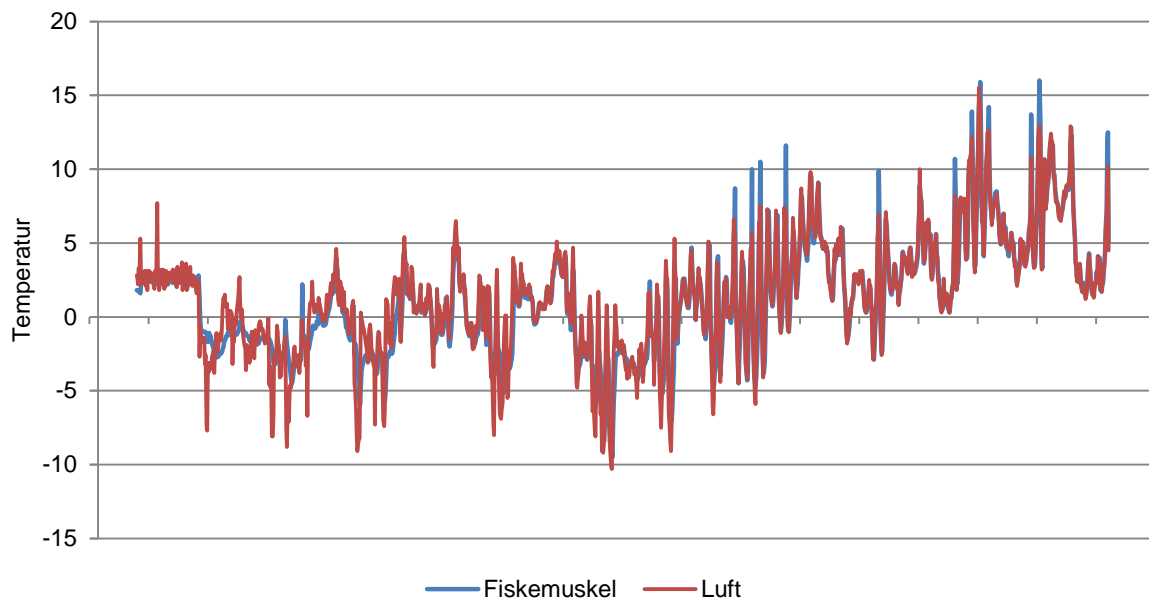
4.3.1 Temperaturlogginger

Målingene av temperaturen i luft og fisk viser at det har vært jevnlig frost i hengeperioden (Figur 20 og Figur 21). Også i dette forsøket hadde vi problemer med loggingen av luftfuktighet ettersom flere målepunkt falt ut, men vi ser at luftfuktigheten (RF) har variert mellom 100 % og cirka 50 % hele hengeperioden. Lufttemperaturen og temperaturen i fisken er sammenfallende også etter at sola har kommet opp i mars og april (Figur 21). Loggingen av temperaturen i fisken er gjort på fisk som ble hengt godt beskyttet mot direkte sollys.

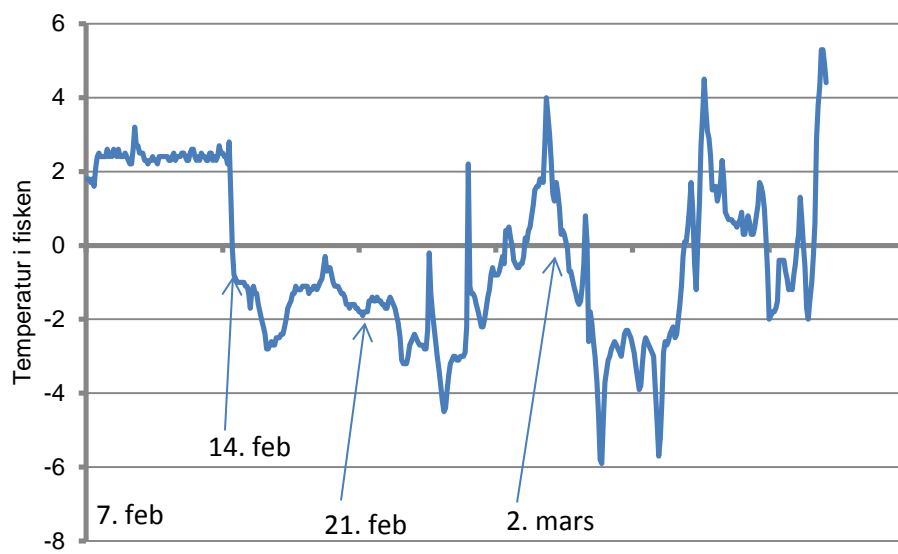
Det har i hengtiden vært perioder med så lav temperatur at en kunne forvente fryseskader på flere av gruppene. Særlig er det en kraftig frostperiode på den fisken som ble hengt 30. mars (Figur 23). Nest tøffest frostbelastning har fisken hengt 21. februar og 2. mars fått (Figur 22). De andre gruppene har nok også fått en frostbelastning som kan gi fryseskader.



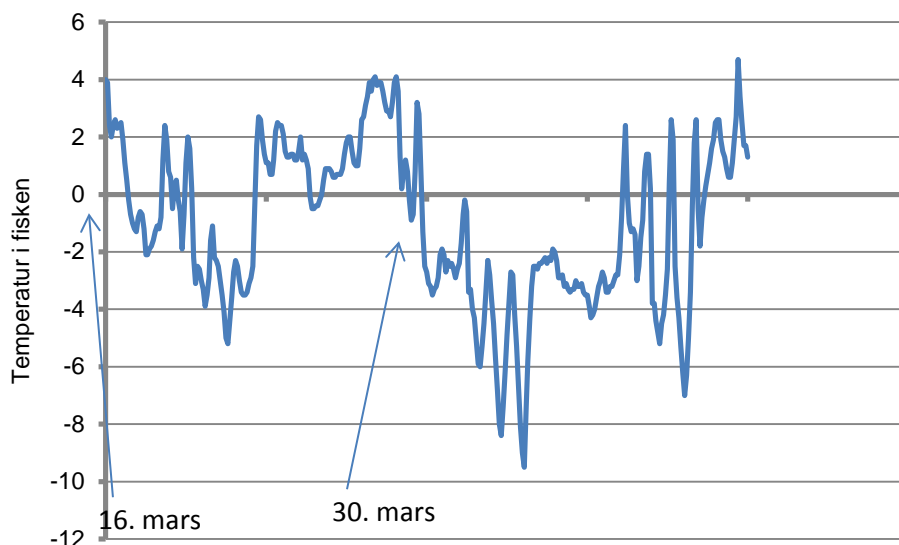
Figur 20 Temperatur og fuktighet i hengeperioden 2. februar til 31. mai 2012.



Figur 21 Temperatur i fiskemuskelen og i luft fra 7. februar til 3. mai 2012.



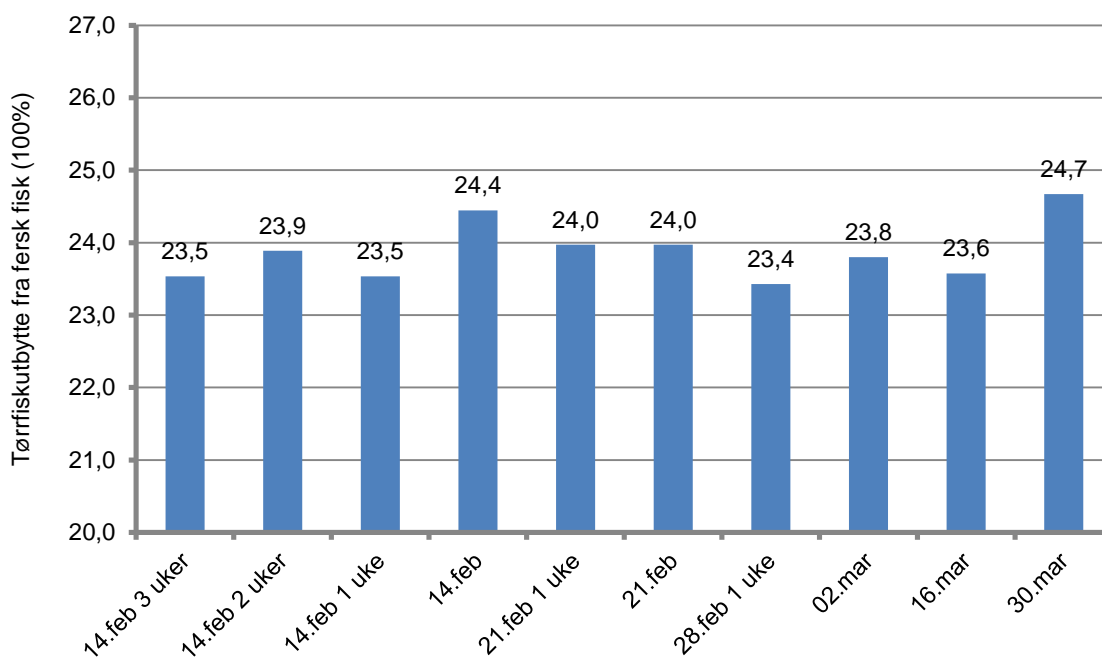
Figur 22 Temperatur i fisken fra 7. februar til 15. mars.



Figur 23 Temperatur i fisk fra 16. mars til 13. april.

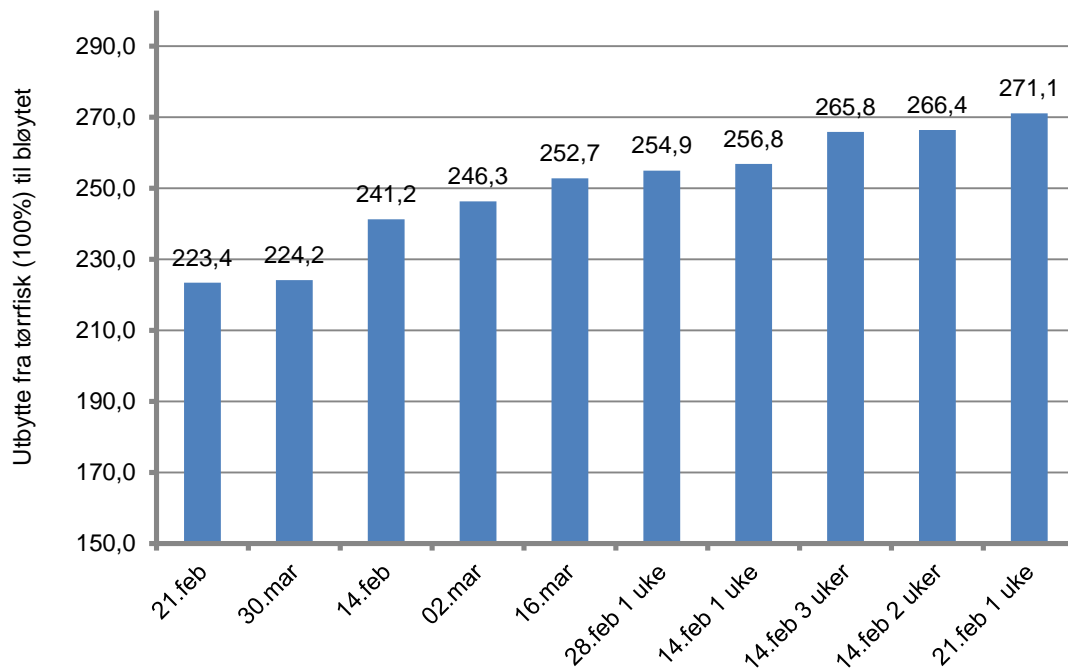
4.3.2 Vektendringer

Vi ser ikke noen systematisk sammenheng mellom tørrfiskutbyttet og frostbelastning som de ulike gruppene ble utsatt for (Figur 24).

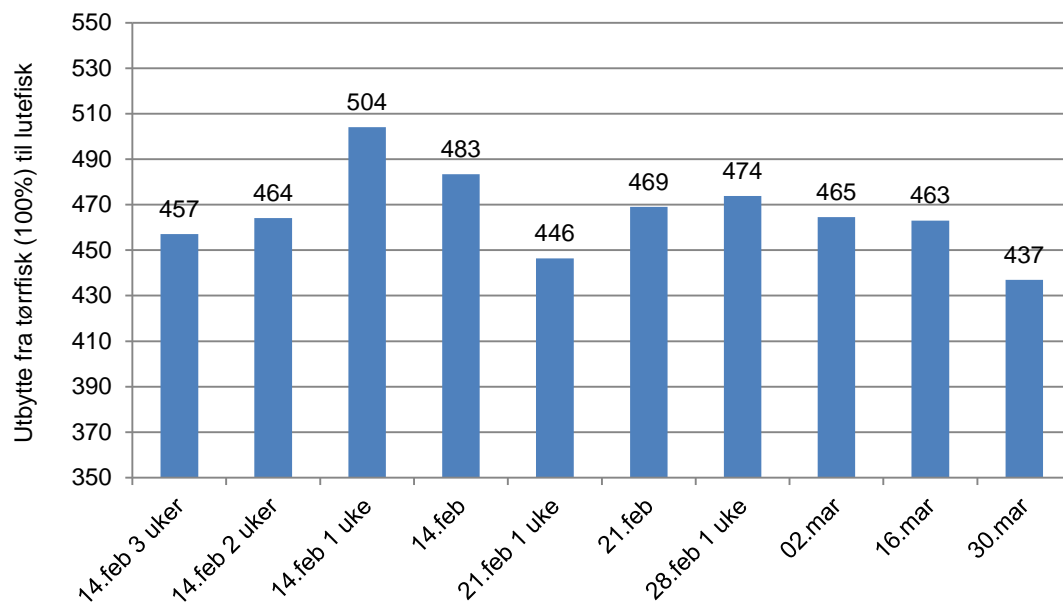


Figur 24 Utbytte som tørrfisk, beregnet fra fersk, sløyd og hodekappet fisk.

Fisk fra alle grupper hvor fisken ble hengt direkte i frost hadde dårligere vektøkning under bløyting, sammenliknet med fisken i gruppene som ble hengt en uke eller mer frostfritt i starten av tørkingen (Figur 25). Det ser dermed ut som tidlig frost etter henging påvirker utbyttet når fisken skal bløytes. Denne utbytteforskjellen vises ikke på lutefisk (Figur 26).



Figur 25 Utbyttet fra tørrfisk til bløytet fisk sortert fra lavest utbytte mot høyest utbytte. Fisken er bløytet i 10 dager og den fremste delen av ryggspyra er fjernet fra den bløyta fisken.



Figur 26 Utbytte fra tørrfisk til lutefisk. Den fremste delen av ryggspyra er fjernet fra den bløyta fisken og er derfor også borte på den luta fisken.

4.3.3 Grad av fryseskader

I disse forsøkene er graden av fryseskader vurdert underveis i tørkingen, på tørrfisk, bløytet fisk og på lutet fisk. Det er også tatt mikroskopibilder/histologi av muskelen for å avdekke endringer i muskelstrukturene. Kvaliteten med hensyn på fryseskader er vurdert på både tørrfisk, bløytet og lutet fisk, samt at vekttopptaket under bløyting er vurdert.

Vrakernes vurdering av tørrfisken viser at flertallet av fiskene som ble hengt direkte ut i frost er bedømt å være fryseskadet (Tabell 8). Ingen av fiskene som var hengt frostfritt i en uke hadde tydelige tegn til fryseskader. På bløytet og lutet fisk ble det kun funnet fargeavvik som indikerte fryseskader, ved en gulaktig misfarging av muskelen (Bilde 19). Her ble det funnet fryseskader i tre av forsøkene, alle hvor fisken var hengt direkte i frost. Fisken hengt direkte ut i frost 14. februar hadde noe fryseskade (Bilde 16), fisken hengt ut 21. februar hadde fryseskader (Bilde 17) og fisken hengt ut 30. mars hadde tydelige fryseskader (Bilde 18).

Tørrfiskene fra disse forsøkene (hengt direkte 14. februar, 21. februar og 30. mars) får altså fargeforandringer i muskelen som vises etter bløyting. Det er også disse tre gruppene som er utsatt for mest frost rett etter henging (Figur 22 og Figur 23). I tillegg er det disse tre gruppene som har lavest utbytteøkning under bløyting (Figur 25). Fisken som ble hengt direkte ut 2. mars er ikke mye fryseskadet, men denne fisken hadde heller ikke mye frostbelastning de to første dagene etter henging (Figur 22).

Tabell 8 Graden av fryseskader vurdert på henholdsvis tørrfisk og utvannet tørrfisk. På tørrfisk er frosten vurdert av tørrfiksvrakere med hensyn på form og farge på skinn og muskel. For bløytet fisk er det hovedsakelig vurdert ut fra fargeendringer i fisken mot gul/rødlige farger i muskelen.

Fisk nr og prøvekode	Frostfri henging i uker	Tørrfisk	Bløytet
14.feb 3 uker	3	Ingen	Ingen
14.feb 2 uker	2	Ingen	Ingen
14.feb 1 uke	1	Mulig frost (avvikende konsistens og sprukken i nakke)	Ingen
14.feb	0	Frossen (form og farge tyder på frost)	Noe frost (1 av 3 fisker litt gul)
21.feb 1 uke	1	Ingen	Ingen
21.feb	0	Frossen (form og farge tyder på frost)	Frossen (alle litt gul og 1 av 4 veldig gul)
28.feb 1 uke	1	Ingen/lite frost	Ingen
2.mars	0	Tydelig fryseskadet	Ingen
16.mars	0	Ingen/lite frost	Ingen
30.mars	0	Ikke vurdert/alle ble bløytet	Mye frossen (mye gul)



Bilde 16 Bløytet fisk. Fisk som er hengt en uke frostfritt øverst og fisk hengt direkte ut i frost nederst. Alle fisker er hengt ut i frost 14. februar.



Bilde 17 Bløytet fisk. Fisk som er hengt en uke frostfritt, øverst (hengt 28. februar) og fisk hengt direkte ut i frost, nederst (hengt 21. februar).



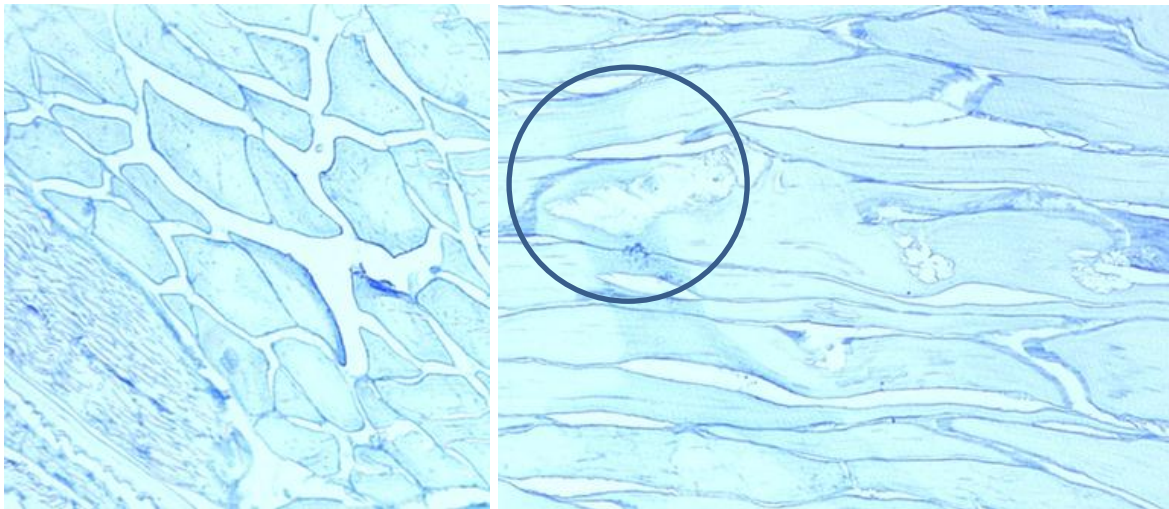
Bilde 18 *Bløytet fisk. Fisk som er hengt en uke frostfritt, øverst (hengt 28. februar) og fisk hengt direkte ut i frost, nederst (hengt 30. mars).*



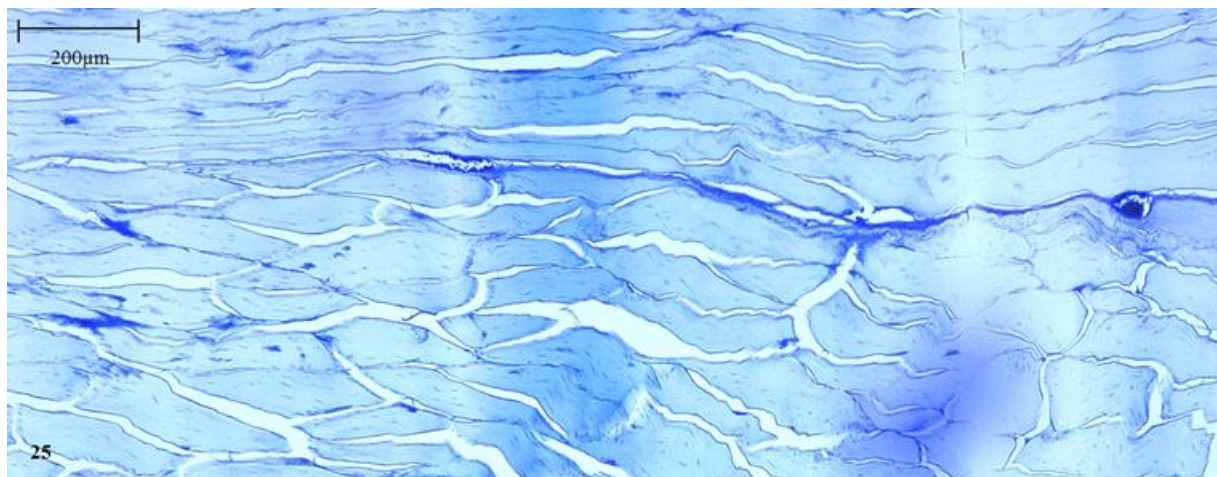
Bilde 19 *Fargen som bløytet tørrfisk (til venstre) og som lutet (til høyre).*

For å avdekke eventuelle endringer i muskelstrukturen ble det tatt mikroskopibilder av muskelen i noen utvalgte fisker.

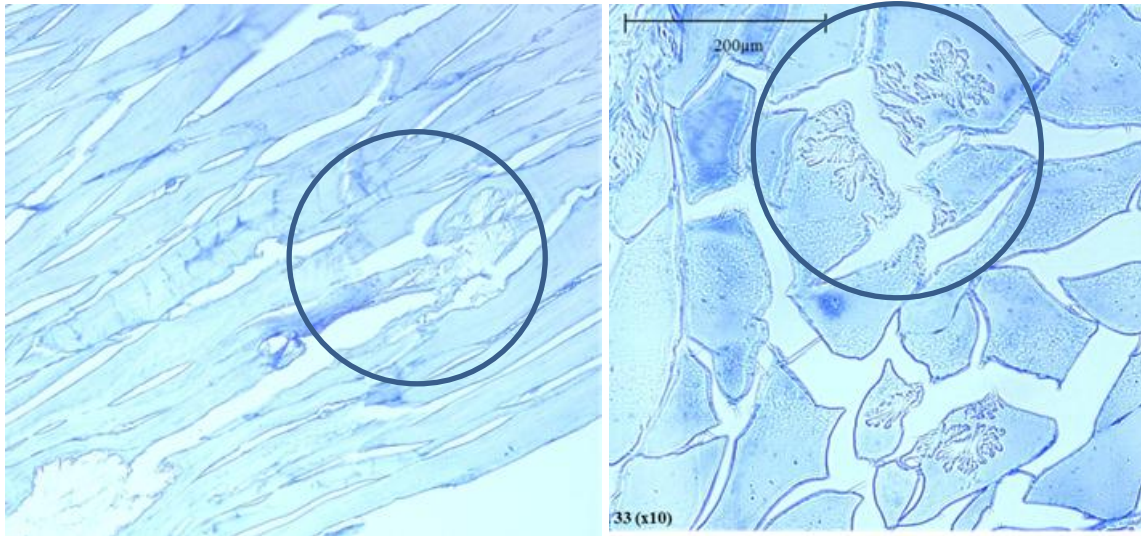
Det er funnet forandringer i fiskemuskel på fisken som er utsatt for frost, som vanligvis ikke finnes i vev som ikke er fryst før prøvetaking. Eksempel på forandringer vises innenfor sirkler som er lagt på Bilde 20 og Bilde 22. Fisken som er hengt frostfritt eller hengt 1 uke frostfritt viser ingen tegn til forandringer, mens det er funnet forandringer i alle fiskene som ble hengt ut i frost direkte. Dette kan ses i sammenheng med beskrivelser av ødeleggelser i cellestrukturene grunnet frysing ved lave temperaturer.



Bilde 20 Normalhistologi av fiskemuskel som er hengt henholdsvis frostfritt (fisk nr. 127 til venstre) og hengt i frost (fisk nr. 126 til høyre). Fiskene er bare hengt i 10 dager. Forstørrelse 100 μ m.



Bilde 21 Normalhistologi av fisk (nr. 25) som først er hengt 1 uke frostfritt før frysebelastning. Fisken har hengt ute fra 14. februar til 10. april. Forstørrelse 200 μ m.



Bilde 22 Normalhistologi av to fisker som er hengt direkte ut i frost. Fisk nr. 32 til venstre og fisk nr. 33 til høyre. Bilde til høyre er forstørret ytterligere 10 ganger. Fisken har hengt ute fra 14. februar til 10. april. Forstørrelse 200µm.

5 Oppsummering og konklusjoner

Skader på tørrfisk som følge av frost, kan forekomme i ulike grader og former. På den ene siden kan tørrfisken være alvorlig skadet, såkalt fosfisk. Denne fisken er svært porøs og vil i liten grad evne å ta opp vann (svelle). På den andre siden finnes feil som er såpass ubetydelige at de betyr lite eller ingenting for kvalitetsgraderingen. Vi fant ingen såkalt fosfisk i våre forsøk, men flere fisk hadde fryseskader som påvirket kvaliteten. Særlig interessant er det å merke seg at selv om vrakingen ikke påviste fryseskader, kan dårligere vannopptak av den samme fisken i bløteteprosessen være forårsaket av at fisken har vært utsatt for frost. Effektene vi har dokumentert av frost på tørrfiskkvaliteten harmonerer med den kunnskapen som ligger i næringen og litteratur om temaet.

Våre forsøk viser at frost påvirker fargen i fiskemuskelen. Særlig er dette tydelig på bløytet og lutet fisk som hadde en gulaktig misfarging. Utbyttet på den samme fisken blir også redusert. I våre forsøk var de klareste tegnene på fryseskader at muskelen var gulaktig og et redusert utbytte på bløytet fisk og lutet fisk. Videre syntes gul farge og redusert utbytte å være mest fremtredende på fisken som var utsatt for temperaturer rundt -5 °C ($-6,2\text{ °C}$). Fisk som ble fryst ned til -30 °C hadde ikke de samme skadene. Det var mer fryseskader på fisk som ble hengt direkte ut i frost, sammenliknet med fisk som var hengt i en kortere eller lengre periode før frysing. Vi observerte også mer fryseskader på fisk som ble utsatt for sammenhengende frost sammenliknet med fisk som fikk periodiske frostbelastninger.

Et av delmålene var å se på **sammenhengen mellom tiden fra henging til frosten startet, og hvordan dette ville kunne bidra til fryseskadene på tørrfisken.** I disse oppsettene ble altså fisken hengt direkte i frost (0 uke), sammenliknet med fisk som først ble utsatt for frost etter 1, respektive 2, 3 og 4 ukers henging/tørking.

Vi ser en klar forskjell mellom fisk som er hengt direkte ut i frost sammenliknet med fisk som hang en uke frostfritt. Tydeligst var dette på bløytet fisk der vi så tydelig gul farge på fisk som var hengt direkte i frost og ingen gul farge på fisk som hadde hengt en uke eller mer frostfritt. Tilsvarende fant vi at utbytte fra tørrfisk til henholdsvis bløytet og lutet fisk var lavere på fisk som var hengt direkte i frost sammenliknet med fisk hengt en uke eller mer frostfritt. Fisken ble også vurdert/vraket som tørrfisk. Vrakingen viste samme tendenser som allerede nevnt, men det var også tegn på ytre fryseskader på noen av fiskene som var hengt frostfritt før henging i frost. Dette tyder på at fisk som har hengt frostfritt i eksempelvis en uke er beskyttet mot alvorlige fryseskader, men at fryseskader av mindre alvorlig karakter fortsatt kan opptre. Utbyttmålingene på bløytet og lutet fisk viser også at en får gradvis bedre utbytte med økende tid fra henging til fisken utsettes for frost.

Resultatene fra disse forsøkene bekrefter langt på vei det som har vært næringens oppfatning: Frost en stund etter henging skader ikke fisken like mye som frost ved hengestart. Resultatene tyder på at fisken er betydelig sterkere mot frost allerede etter en ukes henging frostfritt.

I perioden fisken henger frostfritt mister den vekt og vanninnholdet går ned. Basert på erfaringene i næringen har vår hypotese vært at når vanninnholdet går ned, vil muskelen tåle mer frost. Vi ser fra et av forsøkene at fisken går ned i vekt med omkring 20 % på en uke (se vedlegg Figur a), som vil tilsvare en endring av gjennomsnittlig vanninnhold fra 80 % i

ferskfisken til cirka 75 % i tørrfisken etter en ukes hending. Det er imidlertid stor forskjell på hvor i fisken vannet "forsvinner" først. Buken og sporden mister vann først mens tjukkfisken beholder vannet lenge. Vår oppfatning er at ved hending vil vannet "dreneres" nedover i fisken og at mye av vanntapet de første dagene er drypptap. På fisken som var utsatt for frost direkte etter hending var de første tegnene (gul farge) til fryseskader observert i spordpartiet, mens mye frostbelastning gav gul farge i hele fisken. Altså er spordpartiet mer utsatt for frost, enn loinsområdet. Spordpartiet er nok mest utsatt for vind og det kan også tenkes at spordpartiet er mest utsatt for utstråling i en frostperiode med klarvær. Det kan også tenkes at frosten gjør muskelen mer utsatt for oksydasjon, og når solen da senere i hengeperioden skinner på spordpartiet, vil fiskemuskelen gulne. Etter en ukes hending er det lavere vanninnhold i sporen, sammenliknet med loinsområdet. Vi ser da at sporen tåler frost i større grad. Loinsområdet inneholder etter en ukes hending omtrent like mye vann som opprinnelig, men synes å tåle frost i større grad. Hva kan årsaken være til det? Det kan tenkes at det under "dreneringsprosessen" kommer væske fra spordpartiet som gir en oppkonsentrering av salter også i dette området. Det kan også tenkes at det er helt andre prosesser i muskelvevet, uavhengige av vanninnholdet, som gjør at fisken tåler mer frost.

Effekten av henholdsvis vedvarende frost og skiftende frost/tinging skulle også dokumenteres. I disse oppsettene ble fisken utsatt for vedvarende frost og periodisk frost. To partier ble utsatt for frost i en 14 dagers periode, ett parti ved $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, det andre ved $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. To andre partier ble flyttet fra frost til tørking, et parti med frost og naturtørking tredje hver dag i 14 dager og et parti med frost og naturtørking annen hver dag i 14 dager.

Ved $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ var det klart mest gulning (hele muskelen var gul) i gruppen som var utsatt for sammenhengende frost. Gruppen som ble utsatt for frost tredje hver dag var nest gulest (gul i spord og litt i tjukkfisk) og klart mindre skadet enn den førstnevnte. Frysing annen hver dag resulterte i minst gulning (bare gul bak i spordpartiet). Ved $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ var det klart mindre gulning generelt og kun gulning på 2 av de 5 fiskene som ble fryst sammenhengende i 14 dager. Målingene av utbytte som lutet og bløytet bekrefter tendensene i fargemålingene. Ved både $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ er det lavest utbytte på fisken som er fryst sammenhengende i 14 dager og tilsvarende er det høyeste utbytte av de frosne prøvene på fisken som er fryst annen hver dag i 14 dager. Kontrollen som ikke var fryst hadde det beste utbyttet av alle prøvene.

Resultatene fra disse forsøkene er ikke helt det samme som den beskrevne litteraturen og oppfatninger hos enkelte produsenter. Vi hadde forventet at skiftende frysing og naturtørking skulle gjøre større skade enn sammenhengende frysing. Våre resultater tyder imidlertid på at sammenhengende frysing er en større belastning for fisken enn skiftende frysing og naturtørking i samme tidsperiode. Selv om resultatene var uventet, kan de nok forklares ut fra at i dette oppsettet hadde fisken med sammenhengende frysing 14 dager med frost, mens de to andre variantene hadde kun halvparten av dagene i frost og halvparten naturtørking i 14-dagersperioden. Dermed kan forskjellen trolig forklares ut fra at antall døgn i frost er viktigere enn om temperaturen går opp og ned i frostperioden.

Det siste delmålet var å **dokumentere hvilken temperatur som er kritisk for at skader kan oppstå i tørrfisk.** Denne delen må også ses i sammenheng med de foregående delmålene og deler av disse problemstillingene vil også bli tatt opp her. Her tar vi

utgangspunkt i alle tre forsøkene som er gjennomført i dette arbeidet. Av de kontrollerte forsøkene ser vi at alle fisker som er hengt direkte ut i $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ er fryseskaden karakterisert ved gulfarget muskel og lavere utbytte under bløyting og luting. Ved $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ var der betydelig mindre fryseskader, men det var fortsatt fryseskader på fiskene som var hengt sammenhengende i 14 dager ved $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette tyder på at den kritiske temperaturen for å få fryseskader ligger litt under $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Som kritisk vurderer vi da at tørrfisken ikke skal få gul misfarginger i muskelen.

Det er viktig å presisere at både tid, vindhastighet og luftfuktighet trolig har stor effekt på om det blir fryseskader på fisken. I praksis vil dette tilsi at økt hengetid med tørr luft i stor hastighet (enkeltvis eller i kombinasjoner) forventes å gi betydelig økning i fryseskader selv ved høyere temperaturer enn det som er påvist å gi skader i disse forsøkene. Fisken som ble hengt på Ballstad den 3. februar var på dag 3 og 4 etter henging utsatt for mellom -6 og $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ uten at fisken hadde fryseskader som vist på bløytet fisk. Dette tyder på at fisken kan tåle lave temperaturer en kort periode selv tidlig i hengeprosessen.

I forsøket på våren 2012 i Tromsø ble fisken hengt til naturtørking på ulike tidspunkt og dermed varierende frost. Første henging var 14. februar og temperaturen varierte rundt $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i en to-ukersperiode og med ulik grad av frostperioder videre. På denne fisken ble det funnet fryseskader på en av tre fisker, slik at selv ved omkring $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan det oppstå fryseskader. Fisken som ble hengt 2. mars ble utsatt for temperaturer ned mot $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ den første uken etter henging uten at det var funnet fryseskader på den bløyta fisken. Igjen tyder dette på at tiden fisken utsettes for frost er viktig. Det siste partiet med fisk ble hengt 30. mars og den ble utsatt for temperaturer mellom $+2$ og $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ over en to-ukersperiode. Denne fisken ble svært fryseskadet ved at hele muskelen ble gul og utbytte som bløytet og lutet var lavt. Ut fra dette ser det ut til at temperaturer helt opp mot $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan være kritiske under ugunstige forhold (lang tid, mye vind, tørr luft). Ved denne temperaturen er også halvparten av vannet i muskelen blitt is som kan skade muskelen.

Det er vanskelig ut fra resultatene å kunne gi en absolutt anbefaling om kritisk temperatur. Dersom en henger fisk direkte ut i frost ved -2 til $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ og frosten forventes å vedvare i 2 uker, så kan en forvente moderate skader på fisken. Henging ved lavere temperaturer vil øke risiko for større fryseskader for hver grad en senker temperaturen. Henging ved $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ over 14 dager gir alvorlige fryseskader på tørrfisken.

Det ble også hengt en gruppe som ble utsatt for $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ tredje hver dag i en 14 dagers periode. Denne fisken ble ikke bedømt som fryseskadet og hadde et høyere utbytte som bløytet og lutet sammenliknet med fisken som var utsatt for identisk behandling ved henholdsvis $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette var et overraskende resultat, men stemmer overens med hypotesene om at temperaturer over $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ skader muskelen mer enn temperaturer under $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Helgason *et al.*, 1995 og Lødemel, 2002). Med mikroskopibildene (normalhistologi) har vi påvist at frost kan gjøre skader på cellestrukturen med en frysetemperatur rundt $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, men vi har ikke sett på effektene av ulike frysetemperaturer. I forhold til naturgitte temperaturer i hengeområdene for fisk, ser vi ikke at det i denne sammenhengen er noe grunn å følge opp forsøket med $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resultatene skal formidles på vanlig måte gjennom rapport, faktaark, nettsidene til Nofima og FHF, i presentasjoner for styringsgruppen og i samlinger for tørrfisknæringen. Under evalueringen av fisken deltok også to tørrfiskvrakere som registrerte resultatene av frost både på tørrfisken og på bløytet fisk.

5.1 Nytteverdi for næringen

Tørrfisknæringen kan benytte kunnskapen fra dette arbeidet til å redusere kvalitetsfeil på tørrfisken som skyldes frost. Det viktigste er å unngå å henge fisken direkte ut i frost eller få dager før frost er meldt. Bedriftene kan velge å la være å henge fisk på dager med mye frost og dermed redusere sannsynligheten for å få betydelige frostskafer i tørrfisken. Resultatene viser at fisken også tåler noe frost, men ved hending direkte ut ved temperaturer lavere enn $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan en risikere fryseskader.

For en tørrfiskprodusent er det viktig å kjenne til og eventuelt kunne vurdere hvor mye fryseskader det er i et parti tørrfisk. Ved å koble hengetidspunktet for partiet med fisk opp mot loggede værdata for området, kan en med større sikkerhet avgjøre hvilke fisk som kan ha vært utsatt for frost som skader fisken. Det er betydelig lettere å se fryseskader på fisk som er bløytet, sammenliknet med tørrfisk. Særlig gul farge i muskelen og utbyttetap er lettere å se på bløytet fisk enn på tørrfisk. Vi så også at noen ganger ser tørrfisken ut til å ha frostskafer, men ved bløyting vises kun minimale skader. Ved tvil om graden av frostskafer i et parti vil det alltid være gunstig å ta en testbløyting for å klarlegge utbytte og misfarginger.

Det er flere forhold som kan bidra til fryseskader, enn de som her er studert. Det er imidlertid viktig å holde fokus på de faktorene som har effekt og som næringen kan gjøre noe med i praksis. Utsatt hending i noen dager er en faktor som har stor effekt på kvaliteten. Dersom industrien vurderer at hending kan utsettes i perioder for å unngå frost, så er resultatene fra disse forsøkene så tydelige at de bør følges opp med videre forskning. Her bør man se på grenseverdier for når frost er mest skadelig for fisken.

5.2 Forslag til videre forskning

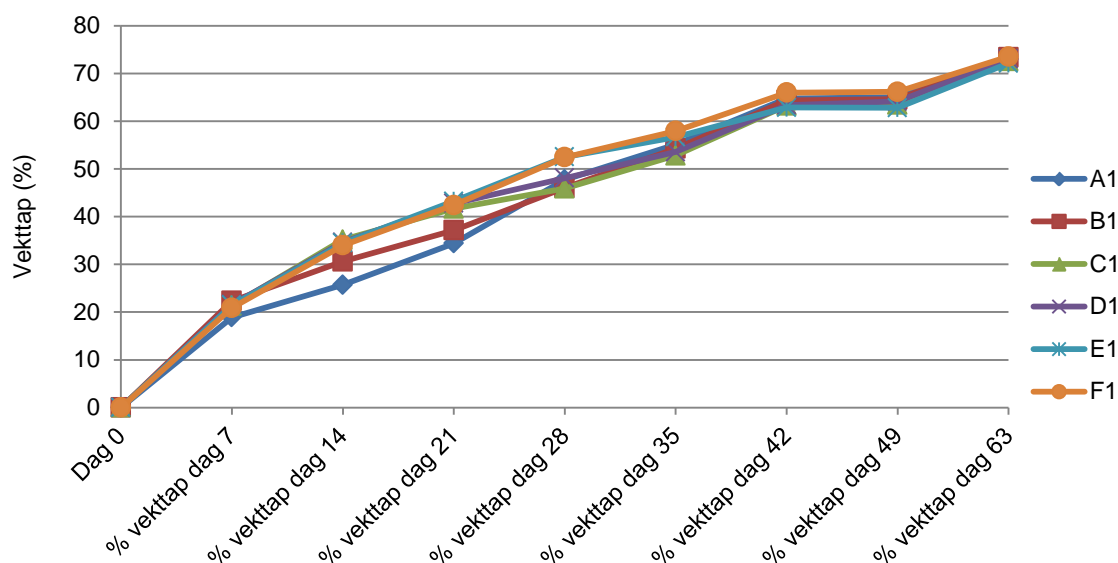
Det oppsettet som ble brukt i dette prosjektet må karakteriseres som grovmasket, særlig med hensyn på temperaturregimene og tidene som ble valgt. Utenom disse forholdene må vi anta at tiden fisken utsettes for frysing, samt effektene av vindhastighet og luftfuktighet også vil kunne innvirke.

Reduksjonen av frostskafer ved å henge fisken frostfritt i noen dager var så store at fokus i første omgang bør legges på å kartlegge antall dager frostfri hending som er nødvendig før fisken kan regnes som robust i forhold til temperatur/tid. I dette arbeidet kan det også legges inn mer grunnleggende arbeid for å klarlegge hvorfor fisken blir mer robust mot frostskafer.

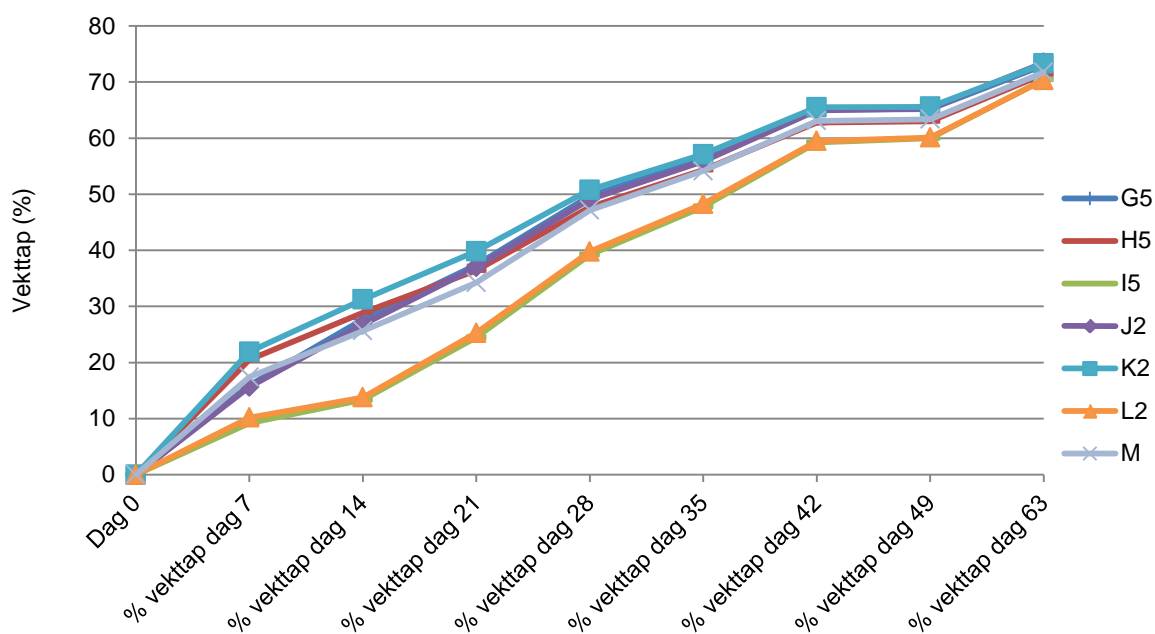
6 Litteratur

- Braathen, J.N. (2001). Flytskjema for tørrfiskproduksjon og gjennomgang av grunnleggende kunnskapsbehov i produksjon av tørrfisk. Hefte fra vrakerutdanningen 2001.
- Bøgh-Sørensen, L., J.H. Jensen, M. Jul & P. Zeuthen (1992). Konserveringsteknik 2. DRS Forlag nr. 1371. DRS Tryk. ISBN 87 7432 302 4.
- Eksportutvalget for fisk (2000). Veileder for norsk bransjestandard for fisk NBS 30–01. Veileder – Tørrfisk. År 2000, utgave 1.
- Eksportutvalget for fisk (1998). Veileder for norsk bransjestandard for fisk NBS 30–01. Standard – Sortering av tørrfisk. År 1998, utgave 2.
- Hall, G.M. (1997). *Fish Processing Technology*. Second edition. Food Engineering and Biotechnology Group Loughborough University.
- Hardarson, V. (2007). Skaginn konseptet – Produksjon av filet i superkjølt tilstand. Samling i Filetforum, Tromsø 30. og 31. mai.
- Helgason, J.G. (1995). Tørrfisk. Fra råstoff til ferdigprodukt. Fiskerikandidatoppgave i produksjonsteknologi. Norges fiskerihøgskole, Tromsø.
- Helgason, J.G., N.K. Sørensen & T. Strøm (1995). Tørrfiskproduksjon – Bakgrunn og teori. Norges fiskerhøgskole, Tromsø.
- Jong, H.K, C. Heesun, H.L. Sang, H.H. Jeong & C.K. Jae (2007). Comparative Analysis of the Physicochemical Properties of Sun-dried and Natural Cyclic Freeze-thaw Dried Alaska Pollack. *Food Science and Biotechnology*, **16**: 4, pp 520–525.
- Lødemel, J.B. (2002). Forandringer i fiskemuskel ved produksjon av tørrfisk. Hefte fra vrakerutdanningen 2002.
- Mackie, I.M. (1993). The Effects of Freezing on Flesh Proteins. *Food Reviews International*, **9**: 4.
- Nilsen, J & S. Johansen (1978). Produksjon og sortering av tørrfisk. Fiskeridirektoratet 1987.
- Nilsson, K. (1990). Frysprosessen och dess påverkan på fisk och fiskkvalitet. En litteratursammanstilling. SIK-Rapport 1990 nr 573.
- Pedersen, T. (1989). Prosesser og produkter i norsk fiskeindustri. Bind 2. Universitetsforlaget 2. utgave.

7 Vedlegg



Figur a Utbytter beregnet fra sløyd, hodekappet ferskfisk (100 %) til tørrfisk for torsk utsatt for henholdsvis 0 (A1), 1 (B1), 2 (C1), 3 (D1), 4 (E1) uker frostfri henging før fisken ble eksponert for en frostbelastning på $-6,2$ °C i 14 dager. Kontroll (F1) ble ikke utsatt for frost.



Figur b Utbytter beregnet fra sløyd, hodekappet ferskfisk (100 %) til tørrfisk for fisk utsatt for frostbelastninger på henholdsvis $-3,8$ °C, $-6,2$ °C og -30 °C i 14 dager. Ved frostbelastningene på $-3,8$ °C og $-6,2$ °C er fisken utsatt for frost henholdsvis en dag frost og en dag naturtørking (1d) (J2 og G5), tre dager frost og 3 dager naturtørking (3d) K2 og H5), samt 14 dagers sammenhengende frost (14d) (L2 og I5) M hang 3 døgn ved -30 °C før den ble tørket.

