

Auðlindir & afurðir
Resources & Products

Öryggi, umhverfi & erfðir
Food Safety, Environment
& Genetics

Viðskiptaþróun
Business Development

Líftækni & lífefni
Biotechnology & Biomolecules

Mælingar & miðlun
Analysis & Consulting



Áhrif dauðastirðnunar á gæði fiskflaka

Gunnar Þórðarson
Albert Högnason
Anton Helgi Guðjónsson

Auðlindir og afurðir

Skýrsla Matís 13-16
Október 2016

ISSN 1670-7192

<i>Titill / Title</i>	Áhrif dauðastirðnunar á gæði fiskflaka / The effect of rigor mortis on fillet quality		
<i>Höfundar / Authors</i>	Gunnar Þórðarson, Albert Högnason og Anton Helgi Guðjónsson		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	13-16	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Október 2016
<i>Verknr. / Project no.</i>	2421		
<i>Styrktaraðilar /Funding:</i>	AVS Rannsóknarsjóður í sjávarútvegi (R 16 014-16)		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Tilgangur rannsóknarinnar var annars vegar að rannsaka áhrif ofurkælingar á dauðstirðnun og bera saman við hefðbundna kælingu og hins vegar að útbúa kynningarefni sem hægt væri að nota til að kynna hagsmunaaðilum í sjávarútvegi mikilvægi þess að stýra dauðastirðnunarferlinu. Rannsókn var gerð á þorski og laxi og hún framkvæmd á tveimur mismunandi árstímum fyrir þorsk, en mikill munur getur verið á ástandi hráefnis eftir því hvenær og hvar fiskur er veiddur. Rannsóknin var tvíþætt þar sem annars vegar var aflað gagna um áhrif kælingar á dauðastirðnunarferlið þar sem hóparnir voru bornir saman; ofurkældur og hefðbundinn, og hins vegar að túlka niðurstöður fyrir kynningarefni.</p> <p>Ofurkæling í þorski er miðuð við kælingu niður í -0,8 °C og laxi í -1,5 °C en hefðbundin kæling er miðuð við 0 °C fyrir báðar tegundir. Bæði var skoðaður mismunur milli hópa ásamt því að bera saman mismun innan hópa. Lítil munur innan hópa bendir til nákvæmari og trúverðugri niðurstöðu.</p> <p>Niðurstöður sýna að mikill munur er á samdrætti fiskvöðva við að fara í gegnum dauðstirðnunarferlið eftir því hvort hann er ofurkældur eða notast er við hefðbundna kælingu. Draga má þá ályktun að mikill gæðaávinningur sé í notkun ofurkælingar fyrir dauðastirðnun, sem dregur úr samdrætti og þar af leiðandi úr spennu milli vöðva og hryggs. Við of hraðan og mikinn samdrátt við dauðastirðnun getur vöðvi auðveldlega orðið fyrir skemmdum eins og losi, stinnleiki flaka minnkar o.fl.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	Dauðastirðnun; samdráttur; slátrun; ofurkæling, vinnslueiginleikar		
<i>Summary in English:</i>	<p>The purpose of this project was to study the effect of superchilling on rigor mortis process and compare it to traditional chilling with ice. Also to prepare promotional material to enlighten the fishery industry on the importance of managing the process of rigor mortis for product quality. A study was conducted on cod and salmon, including seasonality effect on rigor mortis for cod.</p> <p>The definition on sub chilling in this study is; for cod it is based on cooling to -0.7 °C and for salmon down to -1.5 °C and for traditional chilling by ice is targeted at 0 °C for both species. The rigor process was studied between groups, sub-chilled and traditional, and within groups to investigate standard deviation between samples to sample credibility of outcome.</p> <p>The results indicate a large difference in the contraction process on whether the fish is super chilled or traditional cooling used. The conclusion of the study indicates that sub chilling, which reduces the contraction and consequently the tension between muscle and backbone in the process, can have a large effect on fillet quality, less gaping and a firmer product.</p>		
<i>English keywords:</i>	Rigor Mortis; contraction; slaughtering; superchilling; processing properties		

EFNISYFIRLIT

1	Inngangur	1
2	Dauðastirðnun.....	2
3	Framkvæmd.....	8
3.1	Tilraunaskipulag.....	9
3.1.1	Lax.....	9
3.1.2	Þorskur	11
4	Niðurstöður	15
4.1	Lax.....	15
4.1.1	Samdráttur í flökum	15
4.1.2	Myndataka.....	16
4.2	Þorskur.....	18
4.2.1	Samdráttur í flökum	19
4.2.2	Myndataka.....	19
5	Umræður og ályktanir	22
6	Þakkarorð	23
7	Heimildaskrá.....	24
8	Viðaukar	26
8.1	Viðauki I – niðurstöður mælinga í laxi	26
8.2	Viðauki II – niðurstöður mælinga í þorski.....	26

1 INNGANGUR

Margir þættir hafa áhrif á dauðastirðunarferlið og mikilvægt að gera sér grein fyrir hvernig megi stýra því til að hámarka afurðagæði. Við rannsóknir á ofurkælingu og áhrifum þess að kæla fisk niður fyrir fyrir frostmark vatns, án þess að skemma frumur holds með ískristöllum, hafa komið vísbendingar um að verulega megi auka flakagæði umfram hefðbundna meðhöndlun. Tilgáta rannsakenda er að með ofurkælingu fyrir dauðastirðnun megi draga úr ferlinu og krafti samdráttar í samanburði við hefðbundna kælingu. Mikilvægt er þó að kælingin sé hröð og fari ekki niður fyrir frystimörk fisksins („freezing stage“) til að koma í veg fyrir krystalmyndun (Páll G. Pálsson & Margeir Gissurarson, 2016).

Með ofurkælingu er átt við að þorsfiskar séu kældir niður í u.þ.b. $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ og lax í $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, en hefðbundin kæling er með ís í $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, en frystimörk (mörk þess þegar fyrstu kristalar í fiskholdi myndast) geta verið breytilegt eftir t.d. vatns- og fituinnihaldi vöðvans og því breytilegt eftir tegundum, árstímum o.fl. Hugmyndin með þessu verkefni var að bera saman dauðastirðunarferli hjá ofurkældum fiski og fiski kældum á hefðbundin hátt. Einnig að kanna áhrif árstíða á dauðastirðnun bolfisks, en þekkt er að ástand fiskholds getur tekið miklum breytingum eftir árstímum.

Í verkefninu var gerður samanburður á þorski og laxi. Tilgáta rannsóknar var að ofurkæling hefði áhrif á dauðastirðnun og samdrátt fiskflaka miðað við hefðbundna kælingu og sýna niðurstöður að um tölurverðan mun er að ræða. Annar tilgangur verkefnisins var að útbúa kynningaefni á mikilvægi dauðastirðunarferlis og hvernig hægt er að stýra því til að tryggja betri flakagæði.

Það er trú höfunda að áhrif dauðastirðunar á gæði afurða í sjávarútveg séu vanmetin og mikilvægt er að bæta þekkingu á ferlinu. Við dauðastirðnun eiga sér stað mikil átök í flökunum og mikilvægt er að afla þekkinar á því hvernig los í flökum myndast og hvernig hægt er fá réttan stífleika þeirra. Los í flökum og meyr vöðvi er mikið vandamál í fiskvinnslu og jafnframt gerir það fiskinn viðkvæmari fyrir hnjaski í vinnsluferlum og getur þannig haft áhrif á nýtingu og afurðaskiptingu í vinnslu. Kynningarefnið, sem útbúið var í verkefninu, eru ljósmyndir sem sýna samdrátt við dauðastirðnun og nota má við útgáfu kynningarefnis í framtíðinni, ásamt myndbandsupptökum af ferlinu í rauntíma sem verða aðgengilegar fyrir alla á netinu.

2 DAUÐASTIRÐNUN

Við dauðastirðnun (*Rigor Mortis; latína: stífleiki dauðans*) verða fyrstu áhrif skemmdarferla eftir dauða, sem geta haft mikil áhrif á útlit og gæði fiskafurða. Um er að ræða fyrstu merkjanlegu viðbrögð vöðvans við dauða þar sem hann er í upphafi mjúkur (pre-rigor) og síðan stífur (rigor) og mýkist síðan aftur (post-rigor). Mismunandi er eftir tegundum, ástandi og hitastigi hver tímasetning og tímalengd er fyrir hvert stig dauðastirðnunar. Þekkt er að streita fyrir slátrun og sú orka sem fiskurinn notar fyrir slátrun geti einnig haft mikil áhrif, meiri streita og meiri orkunotkun fyrir dauða flýtir þessu ferli. Það er margt sem hefur áhrif dauðastirðnunarferlið eins og áður hefur komið fram getur meðhöndlun eftir slátrun haft mikil áhrif, t.d. hitastig fyrir dauðastirðnun og meðan á ferlinu stendur. Stærð fiska og hvort fiskur hafi verið í æti eða svelt hefur mikil áhrif ásamt því hvort hann er kynþroska. Helstu áhrifavaldar á dauðastirðnun í fiskholdi eru (Oliveira, 2011):

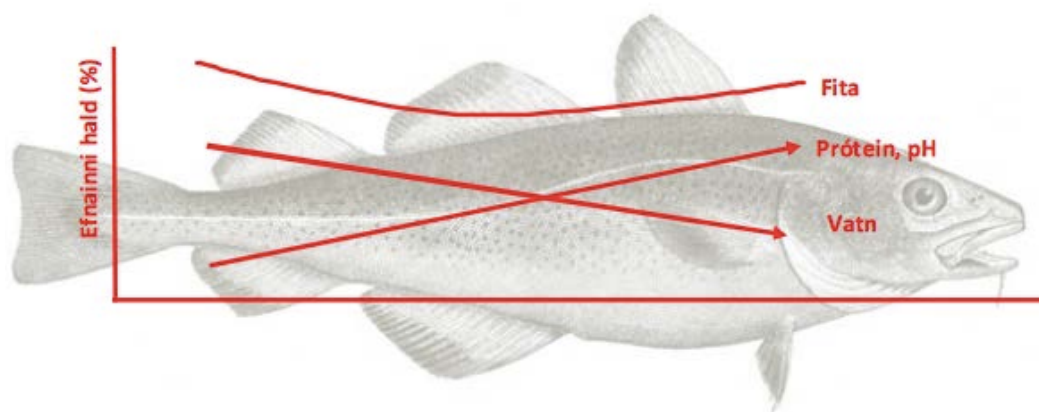
- ✓ Tegundir
- ✓ Stærð
- ✓ Ástand
- ✓ Sláturaðferð
- ✓ Seinkun á blæðingu
- ✓ Kynþroski
- ✓ Meðhöndlun eftir veiði/slátrun
- ✓ Kæling eftir dauða og við geymslu
- ✓ Hitastig sjávar
- ✓ Holdafar

Áhrif dauðastirðnunar á fiskvöðva eru í fyrstu samdráttur, sem orsakar stífleika og getur valdið losi í flökum og vökvatapi sem aftur veldur seiglu og þannig ólystugri afurð. Samdrátturinn getur verið hátt í 30% og er breytilegur eftir tegundum og ástandi, en spenna myndast milli vöðva og hryggs. Ef samdráttur er hraður eða kröftugur, t.d. vegna hærra hitastigs, þá geta þessir kraftar myndað los í vöðvum sem kemur til af átökum milli vöðva og hryggs (Páll G. Pálsson & Margeir Gissurarson, 2016). Þekking á þessu ferli er því mikilvæg þar sem með réttri stýringu hráefnis í gegnum dauðastirðnunarferlið er hægt að lágmarka neikvæð áhrif á gæði afurða, bæta nýtingu og afurðaskiptingu. Venjulega bíða framleiðendur fiskafurða eftir því að dauðastirðnunarferlinu ljúki og seinka vinnslu frá veiðum/slátrun um 2-4 daga. Það getur skipt miklu máli að hefja vinnslu sem fyrst eftir slátrun þegar um ferskar afurðir er að ræða þar sem mikið óhagræði hlýst af styttingu geymsluþols vöru. Þekkt er í laxavinnslu að pakka fiskinum slægðum og ísuðum í frauðplastkassa fyrir dauðastirðnun og nota flutninginn til að klára ferlið

fyrir framhaldsvinnslu. Miklu máli skiptir að lágmarka meðhöndlun á fiski meðan á dauðastirðunarferlinu stendur þar sem hann er sérlega viðkvæmur fyrir öllu hnjaski meðan stífleiki varir og því óskynsamlegt að vinna fiskinn í því ástandi. Þekkt er að fiskur er unninn fyrir dauðastirðnun; á frystitogurum og í þorskeldi. Um borð í frystitogurum er fiskurinn unninn í frost áður en dauðastirðunarferli hefst og fer dauðastirðnun fram í frosti á u.þ.b. sex til átta vikum. Kaupendur sjófrýstra afurða þekkja þetta vel og gæta þess að geyma hann a.m.k. þennan tíma áður en hann er tekinn í áframvinnslu, þar sem flökin fara í kröftugan samdrátt við uppþíðingu eða eldun. Í þorskeldi lentu framleiðendur í miklum vandræðum með gæði afurða þar til þeir uppgötvuðu að slátra fiski snemma morguns og ljúka frystingu fyrir dauðastirðnun.

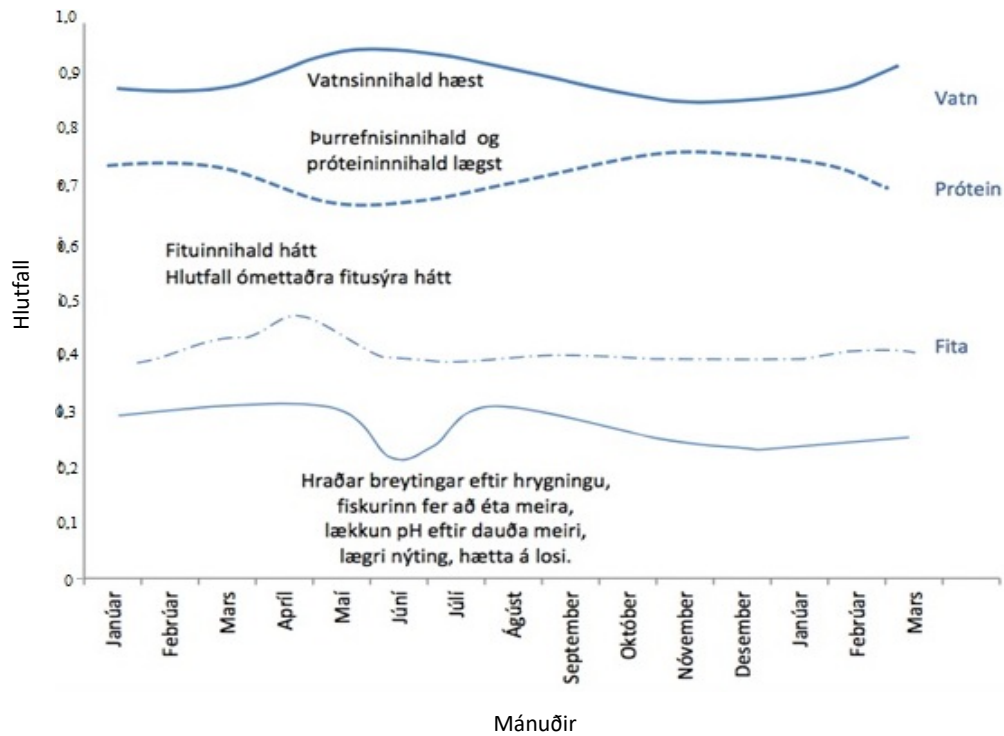
Þorskur er botnfisktegund sem má finna á ýmsu dýpi við landið, frá nokkrum metrum og niður á 600 metra og fer hrygning hans fram í apríl-maí (Gunnar Jónsson & Jónbjörn Pálsson, 2013). Þorskur er sú fisktegund landsins sem skapar mest afurðaverðmæti og var aflaverðmæti hans rúmlega 55 miljarðar króna, rúmlega 220 þúsund tonn, árið 2015 (Hagstofa Íslands, 2015).

Efnasamsetning og næringarinnihald þorsks er breytilegt og hefur það áhrif á ástand þorsksins. Aðrar breytur sem hafa áhrif á ástand þorsksins eru m.a. árstíðir, hitastig sjávar, hrygningartími, veiðisvæði, holdastuðull o.fl. getur haft mikil áhrif. Próteininnihald þorsks er á bilinu 16-20% en fituinnihald er á bilinu 0,5-1%. Þorskurinn telst því vera magur fiskur og er vatnsinnihald hans á bilinu 80-83% (Kristín A. Þórarinsdóttir, Helga Gunnlaugsdóttir, Jónas R. Viðarson, & Sigurjón Arason, 2012). Á mynd 1 sést hvernig efnainnihald þorsks breytist eftir staðsetningu.



Mynd 1. Breytingar á efnasamsetningu í þorski, frá sporði fram í haus (Kristín A. Þórarinsdóttir o.fl., 2012).

Mynd 2 sýnir breytingar vatns-, prótein- og fituinnihalds þorsks eftir árstíma (Kristín A. Þórarinsdóttir o.fl.,2012).



Mynd 2 Efnainnihald þorsks miðað við árstíma (Kristín A. Þórarinsdóttir o.fl., 2012).

Út frá myndinni má því gera ráð fyrir að vatnsinnihald þorsks sé á milli 80-84% í mars og í ágúst, sem er árstími rannsókna verkefnisins, og að fyrstu ískristalar myndist við $-0,8^{\circ}\text{C}$ á þessum tíma. Ástand þorskins er lakast í maí til júlí en það er sá tími sem hann er að jafna sig eftir hrygningu og fer að éta meira sem getur haft mikil áhrif á dauðastirðunarferlið.



Mynd 3 Flök af sama fiski, neðra flakið var á beinagarði í gegnum dauðastirðnun en það efra var flakað fyrir ferlið.

Óflakaður fiskur styttist takmarkað þar sem hryggur heldur við samdrátt í flökum, en þau dragast hins vegar saman, þ.e.a.s styttast ef hann er flakaður fyrir dauðastirðnun. Þegar dauðastirðnun lýkur hefur flakið tekið umtalsverðum breytingum vegna samdráttar; bæði hefur það styst og breytt um lögun (Matís, Aðalsíða Matís, 2016) og sú breyting gengur ekki til baka eftir dauðastirðnunarferlið.



Mynd 4 Laxaflök af sama fiski, vinstra flakið var á beinagarði við dauðastirðnun en hægra var flakað fyrir ferlið.

Ef fiskur er flakaður áður en dauðastirðnun hefst og hitt flakið skilið eftir á hryggnum, þá má sjá mikinn mun á lögum flaka ef fiskurinn er flakaður eftir að dauðastirðnun lýkur. Á myndum 3 og 4 má sjá mun á flökum af sama fiski, lengra flakið var skilið eftir á hryggnum yfir dauðastirðnunarferli en það styttra var flakað fyrir ferlið og fór þannig í gegnum það.

Tvær megin gerðir holds eru í fiskvöðva; ljós (white muscle) og dökkur vöðvi (dark muscle). Uppsjávarfiskar flokkast undir feitan fisk sem safna fitu sem orkuforða í vöðvanum, t.d. síld, makrill og loðna, en magrir fiskar safna orku í lifur og flokkast flestir botnfiskar þar undir, t.d. þorskur, ufsi og ýsa. Vöðvinn er byggður upp á trefjum, eins konar strokklega sellum sem ganga saman og sundur og mynda þannig hreyfingu vöðvans, sem aftur mynda hreyfiorku fisksins. Hreyfiorka vöðvans myndast með því að umbreyta efnaorku í hreyfiorku. Vöðvinn þarf þannig samdráttarvirkni til að mynda hreyfiorku og koma fiskinum áfram í sjónum. Þessi orka er kölluð

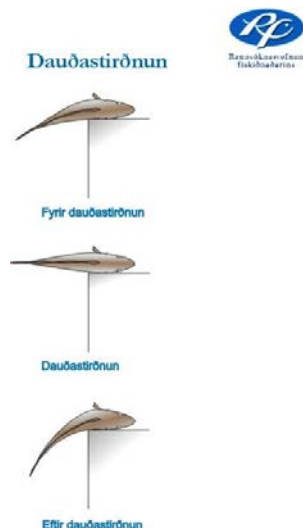
adenosine triphosphate (ATP) (Atkinson & Walton, 1967) og er kölluð orkuhleðsla vöðvans (energy charge). Það er einmitt lágt stig ATP í vöðvanum sem veldur dauðastirðnun, en vöðvinn gengur á þessar birgðir um leið og dauða ber að, eða einskonar afneitun hans á því óumflýjanlega þar sem sellurnar vilja ekki deyja (Sörensen, Arason, & Nielsen, 1995). Til þessa nota þær glýkólgen og framleiða orku sem er kölluð glýkólýsa, sem síðan er notuð til að mynda ATP. Þetta er ástæða þess að vöðvi fyrir dauðastirðnun hefur hærra sýrustig (pH) en vöðvi eftir dauðastirðnun (e. *post-rigor*), en ein aðferðin til að mæla dauðastirðnunarferli er að mæla sýrustig (pH-gildi) vöðvans. Erlendar rannsóknir hafa byggst á mælingu pH, en við dauðastirðnun breytist glýkólgen í mjólkursýru, sem hefur áhrif á sýrustig holdsins. Fræðilega er sýrustig þorsks í kringum 6.1 en við dauðastirðnun getur það farið í 7.2 til 7.4 og þegar henni lýkur lækkar það í u.þ.b. 6 (Matís, Aðalsíða Matís, 2016) (Oliveira, 2011). Um 3% af fiskholdi er myndað af kollagenum, sem er styrktarkerfi vöðvans. Mun hærra hlutfall er í landdýrum, en fiskar lifa við þyngdarleysi og þurfa því mun minni vöðvastyrk og fiskurinn notar kollagen aldrei sem orkuforða.



Mynd 5 Rammi úr myndbandsupptöku af dauðastirðnunarferli.

Með betri þekkingu á ferli dauðastirðnunar má bæta gæði sjávarfangs t.d. í botnfisk- og laxvinnslu. Stilla má saman dauðastirðnunarferli og framleiðslu þannig að sem réttustu flakagæði náist. Við rannsóknir á ofurkælingu hefur komið í ljós að samdráttur í flökum þorsks

og lax virðast vera mun minni við dauðastirðnun en með hefðbundinni kælingu. Með ofurkælingu er verið að kæla fiskinn niður fyrir það hitastig sem fyrstu ískristalar myndast og jafnvel það neðarlega að um 20% af vatnsinnihaldi hans er þá frosið. Þessi kæling veldur lítilli kristalsmyndun og takmörkuðum skemmdum á frumuveggjum, en virðist hafa góð áhrif á flakagæði. Frostmark hvítfisks eins og þorsks er um $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en í laxinum er það um $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en nokkur munur er á hvenær kristalmyndun hefst og fer það eftir vatns- og fituinnihald vöðvans. Eftir dauða fisks verða miklar breytingar í vöðvum hans. Þessar breytingar eru hins vegar mikið háðar stærð og gerð, ásamt líkamlegu ástandi, s.s. hversu orkuríkur hann er og hvernig dauðann ber að. Einnig hefur stress fyrir dauða umtalsverð áhrif á feril dauðastirðnunar, þar sem hann notar sömu orku við átök fyrir dauða og við að viðhalda ástandi áður en dauðastirðnun hefst.



Mynd 6 Myndræn framsetning á dauðastirðnunarferli (Matis, Fræðsluvefur Matis, 2015).

Hér er um mikilvægar niðurstöður að ræða þar sem skemmdaferlar hefjast ekki af alvöru fyrr en dauðastirðnun lýkur og því mikilvægt, sérstaklega í ferskum afurðum, að vita hvenær hægt er að hefja vinnslu. Mikilvægt er að hefja ekki vinnslu meðan á dauðastirðnun stendur þar sem fiskurinn er mjög viðkvæmur og meðhöndlun getur valdið miklu losi í flökum. Rétt meðhöndlun, hitastig og stýring á dauðastirðnunarferlinu getur því haft mikil áhrif á gæði og geymslupól vöru í ferskum afurðum, sem er eitt af lykilatriðum í framleiðslu, dreifingu og sölu (Páll G. Pálsson & Margeir Gissurarson, 2016).

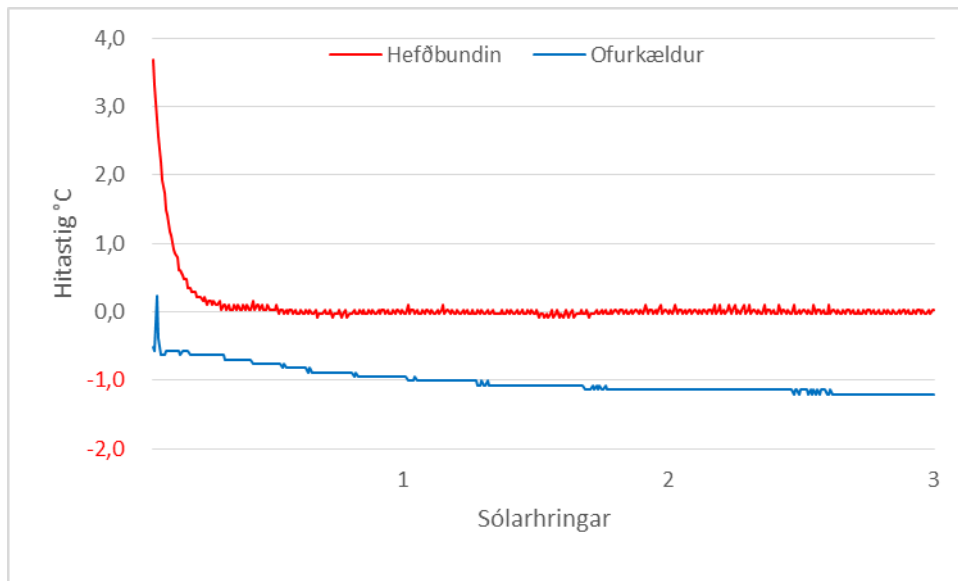
3 FRAMKVÆMD

Tilgangur rannsóknarinnar var að bera saman samdrátt við dauðastirðnun (rigor) í flökum við hefðbundna kælingu og flökum úr ofurkældu hráefni. Hér eftir verður talað um hefðbundið hráefni sem kælt er með ís í 0 °C, og ofurkælingu þar sem lax er kældur niður í -1,5 °C og þorskur í -0,8 °C. Hefðbundið hráefni er kælt með ís í um 0 °C eftir dauða og blæðingu en ofurkælt hráefni, t.d. þorskur, er kældur strax eftir dauða og blæðingu í -0,8 °C og lax í -1,3 til -1.5 °C. Samdráttur þorsks var rannsakaður á mismunandi árstíma, til að kanna áhrif hitastigs sjávar og hvort munur væri á dauðastirðnun þorsks eftir árstímum.



Mynd 7 Þorskur flakaður fyrir rannsókn.

Sex fiskar voru flakaðir (flak tekið af öðru megin en hitt skilið eftir á hryggnum) og flökunum skipt upp í tvo hópa, hefðbundin- og ofurkældan. Samdráttur var mældur (gagnaöflun) í báðum hópum til að skoða breytileika milli hópa og eins innan þeirra. Flökum var komið fyrir í kælum sem annars vegar voru stilltir á hitastig til að ná ofurkælingar ástandi og hins vegar fyrir hefðbundna kælingu. Fiskar með hinu flakinu voru geymdir í 0 °C í sama tíma. Flökin voru lengdarmæld strax eftir flökun eftir um 2-3 tíma kælingu. Þau voru síðan geymd í fimm sólahringa í viðeigandi hitastigi og síðan lengdamæld aftur og mismunur skráður. Þorskur var mældur tvisvar sinnum til að skoða áhrif árstíða á dauðastirðnun, annars vegar í mars og hins vegar í ágúst. Í marsrannsókninni var notast við gögn úr lokaverkefni Antons Helga Guðjónssonar frá Háskólanum á Akureyri (Anton H. Guðjónsson, 2016), en það var skipulagt og framkvæmt með sama hætti og þessi rannsókn.



Mynd 8 Hitastig í kælihermum við þorskrannsóknir.

Hins vegar var gerð myndbandsupptaka af vöðvasamdrætti hjá báðum tegundum og hópum. Flökum var komið fyrir á rúðustrikuðu blaði (hver reitur var 2x2 cm) og þau látin liggja í viðeigandi hitastigi í sex sólahringa og ferlið myndað með GoPro myndavélum. Markmiðið var að ná hágæða myndum af dauðastirðnunarferlinu og ná samdrætti og góðri tímaskráningu á ferlinu hjá flökum beggja hópa. Niðurstöður verða síðan notar sem kynningar- og kennslufni.

3.1 Tilraunaskipulag

Laxinn var fengin úr vinnslu Arnarlax á Bíldudal, tekinn strax eftir dauða, og kældur í flutningi til Ísafjarðar, fyrst í maí 2016 og síðan í júlí 2016. Þorskur var veiddur í troll í Ísafjarðardjúpi og haldið lifandi í 300 ltr. fiskikeri þar til honum var slátrað, blæddur, kældur og flakaður. Þorskur var fenginn í mars og í ágúst 2016 til að fá hráefni úr köldum og hlýjum sjó og kanna þannig áhrif mismunandi árstíma á dauðastirðnunarferlið. Í öllum tilfellum var iButton hitasíritum komið fyrir í kjarna fiska til að skrá hitastig á meðan á tilraunum stóð. Við tilraunina voru frystikistur sem útbúnar voru með nákvæmri hitastýringu.

3.1.1 Lax

Fimm laxar, um sex kíló að þyngd, voru teknir í maí 2016 fyrir hvorn hóp fyrir sig, hefðbundna- og ofurkælingu. Laxinum var dælt úr brunnbáti í laxavinnslu Arnarlax á Bíldudal. Sjávarhiti var um 8 °C þegar hann var drepinn með Baader rotara og síðan slægður og settur í kælingu. Fyrir

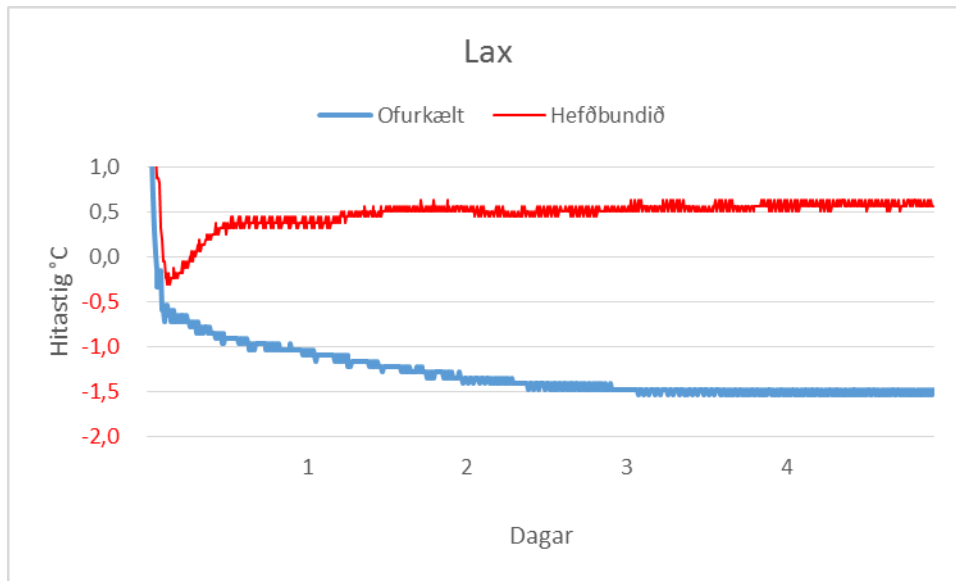
ofurkælingu var útbúin saltblanda (5,26% salt upplausn) í 460 ltr. ker og ís settur út í til að halda -3 °C meðan á kælingu stóð. Eftir 2,5 tíma var kjarnahiti kominn niður undir -1 °C. Hefðbundnum fiski var pakkað strax eftir dauða og slægingu í 30 ltr. frauðplast kassa (gataðan) ásamt 5-6 kg. af ís og eftir rúmlega tvo tíma var kjarnahiti komin niður fyrir 1 °C. Þá var fiskurinn flakaður öðru megin en hitt var skilið eftir á hryggnum. Flökum var pakkað í plastpoka og gengið frá þeim í viðeigandi hitastigi en beinagarði með hinu flakinu var komið fyrir í 0 °C. Flökin voru síðan lengdarmæld tvisvar á dag í sex daga. Að loknum þeim tíma var flakið borið saman við réttan beinagarð til myndatöku, til að sjá myndrænan samdrátt dauðastirðunar. Seinna flakið var síðan skorið af og flökin borin saman og teknar myndir.



Mynd 9 Rotex kælibúnaður hjá Arnarlaxi á Bíldudal.

Í júlí voru tveir laxar, um sex kíló að þyngd, úr hvorum hópi, hefðbundnum og ofurkældum, sóttir til Arnarlax á Bíldudal. Ofurkældum laxi var komið fyrir í 70 ltr. ker með saltblöndu sem var stillt af í um -3 til -4 °C, strax eftir dauða, blæðingu og slægingu. Hefðbundnum laxi var komið fyrir í 30 ltr. frauðplastkassa með 5-6 kg. af ís, strax eftir dauða, blæðingu og slægingu. Laxinn var látin kólna í rúmlega tvo klukkutíma þar til sá sem var í hefðbundinni kælingu hafði náð 0 °C og sá ofurkældi kominn í um -1 °C í kjarna. Laxar voru flakaðir úr báðum hópum, annar hægra megin og hinn vinstra megin en hálfflökuðum fiskum haldið til haga og þeir geymdir við 0 °C meðan tilraun fór fram. Flökum var komið fyrir í viðeigandi hitastigi (mynd 10) og GoPro myndavélum komið fyrir ásamt lýsingu í kælum. Flökin voru látin liggja á rúðustrikuðum flötum

(hver rúða 2x2 cm) og samdráttur myndaður í sex daga. Myndatakan var síðan notuð til að mæla samdrátt og hraða dauðastirðunarferlisins.



Mynd 10 Hitastig við tilraun, ofurkældur og hefðbundinn lax.

Eftir sex sólarhringa voru flökin tekin, mæld og mynduð fyrir báða hópa. Hverju flaki fyrir sig var síðan komið fyrir á háflökuðum fiski til að sýna myndrænt, samdrátt vegna dauðastirðunar. Seinna flakið var síðan tekið af hrygg og flök af hverjum fiski borin saman, mæld og mynduð.

3.1.2 Þorskur

Tveir hópar voru teknir; fjórir fiskar ofurkældir niður í $-0,5$ °C í kjarna og fjórir fiskar kældir hefðbundið með ís við 0 °C. Þorski var landað lifandi þar sem hann var blóðgaður og látinn blæða í 20 mínútur og síðan komið fyrir í viðeigandi kælingu, á ís við 0 °C og ofurkælingu við -3 °C (5,26% saltupplausn). Að kælingu lokinni voru fiskarnir flakaðir (2 flök hægra megin og 2 flök vinstra megin) og hvorum hóp komið fyrir í viðeigandi kælum; ofurkældur var geymdur við -1 °C en hefðbundinn við 0 °C.



Mynd 11 Kjarnahiti í ofurkældum þorski við flökun (-0,8 °C).

Flökin voru lengdarmæld strax eftir flökun (fyrir dauðastirðnun) og síðan eftir 6 daga. Reiknaður var út samdráttur í flökum og staðalfrávik innan hópa reiknað til að sjá breytileika. Tveir þorskar voru teknir úr hvorum hóp; ofurkældur strax eftir slátrun og sá hefðbundni á ís. Við ofurkælingu var fiski komið fyrir í krapa -3 °C og kældur þar til kjarnahiti náði -0,5 °C. Fiskur með hefðbundni kælingu var tekinn strax eftir slátrun/blæðingu og ísaður. Úr báðum hópum var hægra flakið tekið af öðrum fiskinum og það vinstra af hinum; sett í myndatöku í hermi, hvor hópur í viðeigandi hitastig (ofurkæling -1 °C og hefðbundni kæling 0 °C). Hin flökin voru skilin eftir á hryggnum og geymd við 0 °C í kælihermi. Haldið var nákvæmt bókhald yfir hvern fisk og hvert flak fyrir sig og þau merkt sérstaklega.



Mynd 12 Kælihermar sem voru notaðir við tilraunina.

Þegar myndatöku lauk eftir 6 daga þá voru hálfflökuðu fiskarnir flakaðir úr báðum hópum og þessi flök síðan borin saman við flök úr myndatökunni. Skoðaður var sérstaklega lengdarmunur eftir dauðastirðnun. Myndupptökur voru síðan notaðar til að mæla samdrátt og hraða dauðastirðunarferlisins.

Þorskur (3 til 5 kg) var veiddur í Ísafjarðardjúpi í maí og í Fljótavík í ágúst 2016. Fiski var haldið á lífi í sérútbúinni lest á veiðiskipi fyrir þorskeldi. Honum var landað í 300 ltr. keru og haldið á lífi þar til hann var blóðgaður og síðan slægður, áður en hann var kældur fyrir tilraunina. Ofurkældur fiskur var kældur í 5,26% saltupplausn og ís sem haldið var í -3 °C meðan fiskur var kældur niður í -0,5 °C í kjarna (1,5 klukkutíma). Fiskur kældur á hefðbundinn hátt var settur á ís í jafn langan tíma, þar til kjarnahiti náði +1 °C. Fylgst var með hitastigi með stungumæli og einnig var komið fyrir iButton-síritum í kjarna í báðum hópum til að skrá hitaferla. Tvær mismunandi tilraunir voru gerðar, gagnaöflun og myndataka, fyrir báða hópa í bæði skiptin. Fyrir gagnaöflun voru 4 fiskar úr hvorum hópi flakaðir, tvö hægri flök og tvö vinstri flök, og flökin mæld og mynduð. Flök af hverjum fiski voru sett í plastpoka og þau síðan geymd í viðeigandi hitastigi og síðan lengdarmæld eftir sex daga.

Fyrir myndatöku voru teknir tveir lifandi fiskar úr hvorum hópi, slátrað, blóðgaðir, slægðir og síðan kældir. Fiskurinn var flakaður öðrum megin, hvor fiskur sitt hvorum megin. Flökin merkt, lengdarmæld og mynduð og þeim komið fyrir á rúðustrikuðu fleti (2x2cm hver rúða) í viðeigandi hitastigi og GoPro myndavélum komið fyrir til að kvikmynda ferlið. Flök á hrygg voru geymd í kæli við 0 °C meðan á upptöku stóð. Upptaka fór fram í sex sólarhringa og að því loknu

voru flökin lengdarmæld og mynduð. Flökin voru síðan lögð á upprunalegan fisk til myndatöku og síðan var seinna flakið skorið af og bæði flökin borin saman, mæld og mynduð.

4 NIÐURSTÖÐUR

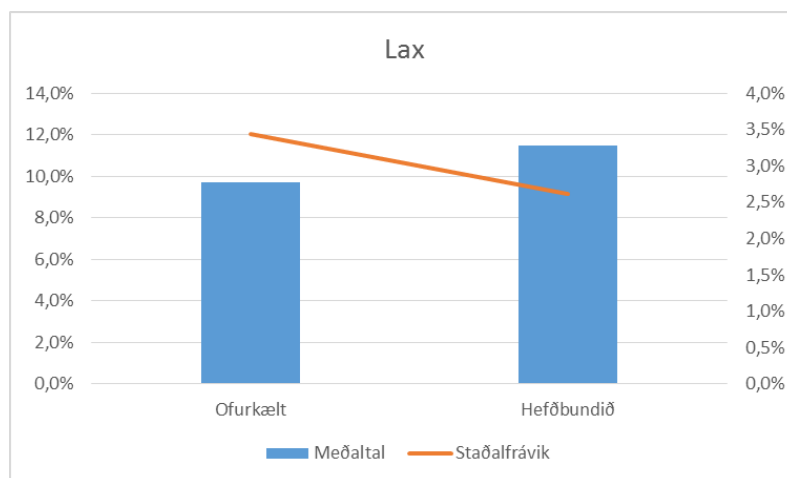
Niðurstöður rannsóknanna verða hér dregnar saman, annars vegar fyrir lax og hins vegar fyrir þorsk. Tekinn verður saman munur á samdrætti milli hópa og eins borinn saman mismunur innan hópa.

4.1 Lax

Samdráttur í laxi var mældur í maí og júlí, en ekki var gert ráð fyrir árstíðabundnum mun á ástandi hans eins og í þorski.

4.1.1 Samdráttur í flökum

Teknir voru átta fiskar í hvorn hóp, ofurkældan og hefðbundinni kælingu, fjórir til gagnaþælinga (maí) og tveir í myndatöku (júlí). Hér er dregin saman heildarútkoma úr öllum fiskum. Í gagnaöflun voru flök mæld á hverjum degi en engin breyting varð eftir fyrsta sólarhring til loka tilraunar eftir sex daga. Því er aðeins notast við fyrstu og síðustu mælingu í öllum tilvikum.



Mynd 13. Mismunur á samdrætti í laxaflökum milli tveggja hópa; ofurkælds og hefðbundni kælingu.

Niðurstaðan er afgerandi eins og sést á mynd 13. Á vinstri ás má lesa meðaltal samdráttar í báðum hópum og á þeim hægri má lesa staðalfrávik innan hópa. Ofurkæld flök drógust saman að meðaltali um 9,7% en með hefðbundni kælingu um 11,5%. Staðalfrávikkið var 3,4% í ofurkælda hópnum en 2,6% í hefðbundna hópnum. Ef einn útlagi væri tekinn út úr ofurkælda

hópnum þá myndi samdráttur í honum vera 9,3% og staðalfrávik 3,3%, sem myndi gera mismun innan hópa mun einsleitnari. Allar mælingar á samdrætti laxaflaka má sjá í viðauka I.

4.1.2 Myndataka

Eins og sjá má á mynd 14 hefur flakið dregist umtalsvert saman en flakið var skorið af fiskinum fyrir dauðastirðunarferli.



Mynd 14 Hægra flak lagt á fiskinn eftir dauðastirðunarferlið.

Á mynd 15 hér að neðan má sjá samdrátt í flökunum þegar þau voru flökuð fyrir og eftir dauðastirðnun. Styttri flökin á myndunum voru flökuð fyrir dauðastirðnun og þau lengri voru á hryggnum í gegnum ferlið. Mismunurinn á lengd og lögun flaka er vegna samdráttar við dauðastirðnun.



Mynd 15 T.v. eru ofurkæld flök og t.h. eru flök sem kæld voru á hefðbundinn hátt með ís. Styttri flökin eru flök sem voru laus frá beingarði áður en dauðastirðnun hófst.

Myndataka gekk mjög vel með GoPro myndavélum, sem tekin var í kælihermum af öllu dauðastirðnunarferlinu, í sex daga. Upptökur vour settar inn á YouTube og eru aðgengilegar á netinu. Myndir 16 og 17 eru af flökum sem voru í myndatöku. Efri myndirnar eru af hefðbundnum laxaflökum (Gunnar Þórðarson, Albert Högnason, & Anton Helgi Guðjónsson, Hefðbundinn lax, 2016) og þau neðri af ofurkældum laxaflökum (Gunnar Þórðarson, Albert Högnason, & Anton Helgi Guðjónsson, Ofurkældur lax, 2016).



Mynd 16 Flök sem voru í myndatöku fyrir hráefni með hefðbundni kælingu. Línurnar sýna upphafs- og lokapunkt samdráttar



Mynd 17 Flök sem voru í myndatöku fyrir ofurkælt hráefni. Línurnar sýna upphafs- og lokapunkt samdráttar

Mismunandi var hversu lengi flökin voru að ná hámarks samdrætti en þar spila margir áhrifaþættir inni, svo sem ástand fisks við slátrun, stress og hitastig. Á myndunum marka gulu línurnar upphafspunkt og lok samdráttar við dauðastirðnun.

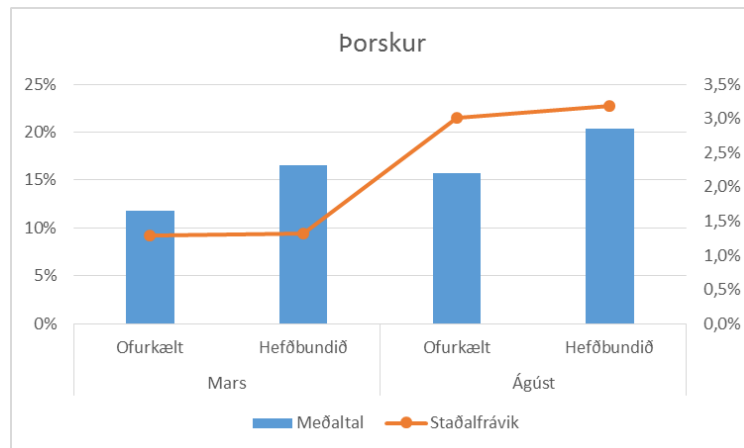
Hraði samdráttar var mismunandi eftir hitastigi, ofurkælt eða hefðbundið kælt, þar sem ofurkældur lax var fljótari að ná hámarks samdrætti, sem einnig var minni. Ofurkældu flökin voru um 16 tíma að ná fullum samdrætti meðan flökin með hefðbundni kælingu voru 16 – 36 tíma að ná fullum samdrætti.

4.2 Þorskur

Samdráttur var mældur tvisvar á þorski, vetur og sumar, til að skoða árstíðabundinn mun á dauðastirðunarferlinu.

4.2.1 Samdráttur í flökum

Töluverður munur reyndist vera á samdrætti eftir árstíðum. Í mars mældist samdráttur í ofurkældum flökum 11,8% en 15,7% í ágúst. Staðalfrávik reyndist vera 1,3% í mars en 3% í ágúst. Flök með hefðbundinni kælingu drógust saman um 16,5% í mars en 20,3% í ágúst. Staðalfrávik var 1,3% í mars en 3,2% í ágúst hjá flökum með hefðbundinni kælingu. Þannig var breytileiki (staðalfrávik) innan beggja hópa töluvert meiri í ágúst en í mars. Sjá mynd 18.



Mynd 18 Samdráttur og staðalfrávik í báðum hópum um vetur og sumar.

Allar mælingar hvað varða samdrátt þorsklaka má sjá í viðauka II.

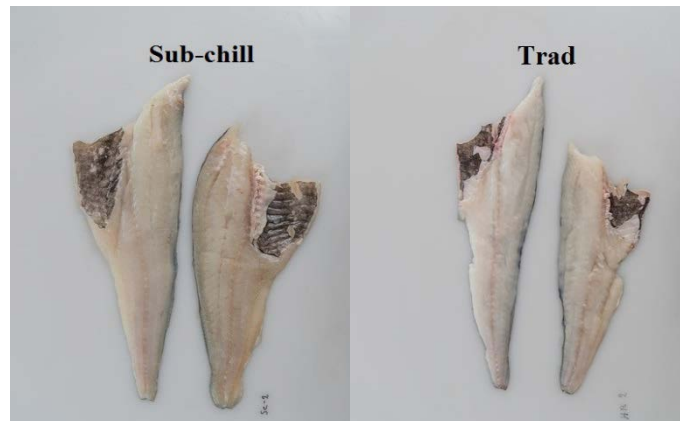
4.2.2 Myndataka



Mynd 19 Þorsklak ofan á fiski sem flakað var fyrir dauðastirðnun.

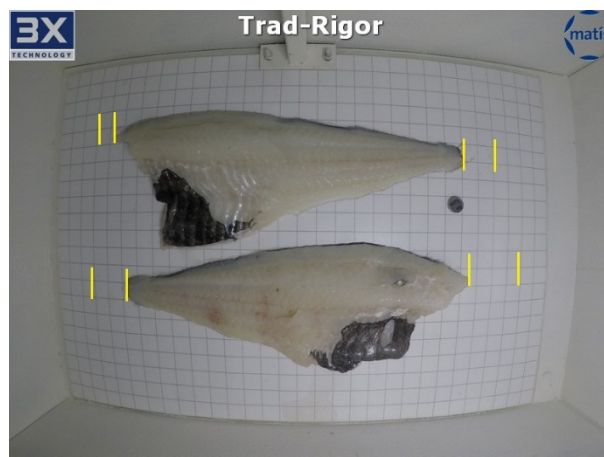
Flak af þorski sem skorið var af fyrir dauðastirðnun og borið saman við flak af sama fiski sem skorið var af eftir að ferlinu lauk, varð umtalsvert styttra (mynd 19). Þannig hélt hryggurinn við flakið sem er á honum gegnum ferlið og kom í veg fyrir samdrátt. Á mynd 20 má sjá samanburð

á flökum, fyrir báða hópa, þar sem hægra flakið var skorið af hryggnum fyrir dauðastirðnun en það vinstra var flakað eftir að ferlinu lauk.

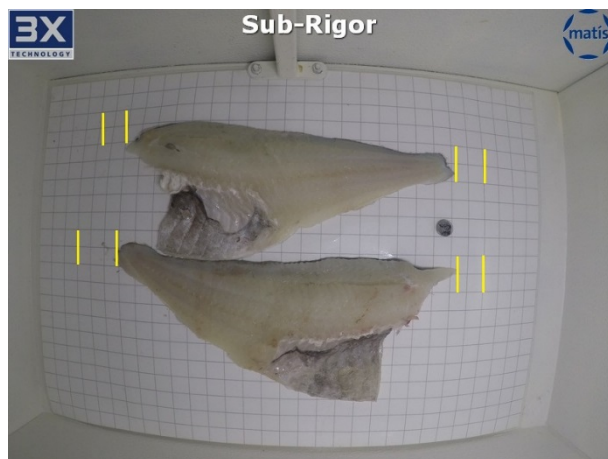


Mynd 20 Þorsflök þar sem annað flakið var skorið af fyrir dauðastirðnun en það neðra eftir að ferlinu lauk.

Myndataka gekk mjög vel með GoPro myndavélum, sem tekin var í kælihermum af öllu dauðastirðnunarferlinu, í sex daga. Mynbönd af tilrauninni eru aðgengileg á YouTube. Myndir 21 og 22 eru af flökum sem voru í myndatöku. Á mynd 23 eru hefðbundin þorsflök (Gunnar Þórðarson, Albert Högnason, & Anton Helgi Guðjónsson, Hefðbundinn þorskur, 2016), og á mynd 24 eru ofurkæld þorsflök (Gunnar Þórðarson, Albert Högnason, & Anton Helgi Guðjónsson, Ofurkældur þorskur, 2016).

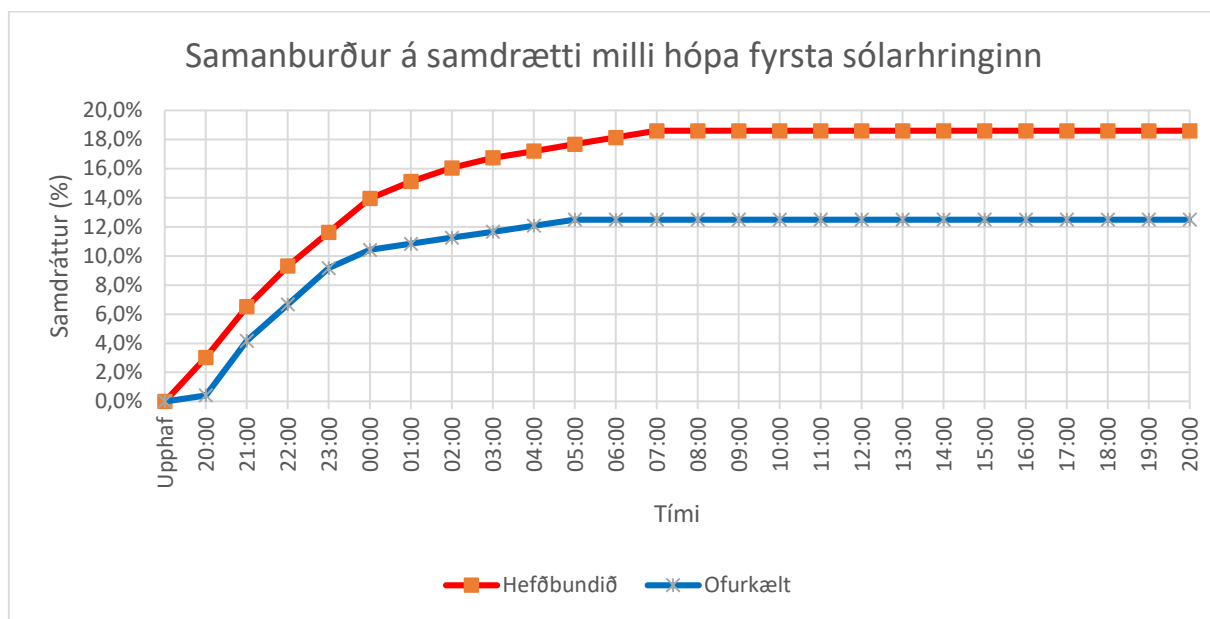


Mynd 21 Myndataka af þorsflökum í hefðbundni kælingu. Línurnar sýna upphafs- og lokallengd flaks, samdráttar.



Mynd 22 Myndataka af ofurkældum þorskflökum. Línurnar sýna upphafs- og lokallengd flaks, samdráttar.

Gulu línurnar marka upphafs- og lokallengd flaka þ.e. samdrátt flaka. Í rannsókn Antons (2016) voru ofurkæld flök tæplega 10 tíma að ná fullum samdrætti en flök með hefðbundni kælingu um 12 tíma. Í ágústtilrauninni voru ofurkældu flökin um 12 -15 tíma að ná fullum samdrætti en flök með hefðbundinni kælingu um 17 – 23 tíma.



Mynd 23 Tími samdráttar beggja hópa á þorskflökum úr GoPro upptöku.

Á mynd 23 er sýndur tími samdráttar í ofurkældum og þorskflökum með hefðbundinni kælingu í mars rannsókn.

5 UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Fram hafa komið niðurstöður sem sýna mikinn mun á flakagæðum í afurðum úr ofurkældu hráefni í samanburði við flök með hefðbundinni kælingu (Gunnar Thordarson o.fl, 2015) Sú ályktun var dregin að ein helsta ástæða þess sé mun öflugri samdráttur hjá fiski með hefðbundinni kælingu samanborið við ofurkæld flök sem fara í gegnum dauðstirðnun. Mikill samdráttur getur valdið spennu á milli vöðva og hryggs og sem getur valdið losi í flaki og um leið dregið úr gæðum. Ef hægt er að stýra dauðastirðnun með því að kæla fiskinn meira fyrir ferlið þá er hægt að bæta flakagæði umtalsvert. Það er einnig merkileg niðurstaða að ofurkæld flök, bæði af laxi og þorski, ná fullum samdrætti á skemmri tíma en flök við hefðbundna kælingu, þó samdrátturinn sé minni í þeim fyrrnefndu. Full ástæða er til að skoða þetta betur þar sem þessi tími er mikilvægur í framleiðslu á fersk fiskflökum þar sem hægt er að stytta framleiðslutíma ef dauðastirðnun lýkur fyrr.



Mynd 24 Samanburður á ofurkældu og hefðbundnu kældu laxaflaki.

Til vinstri á mynd 24 má sjá laxaflak af ofurkældum fiski og til hægri er flak sem kælt var með hefðbundinni kælingu. Fiskarnir voru teknir úr sömu slátrun, á sama tíma og voru af sömu stærð (Gunnar Thordarson o.fl, 2015).

Niðurstöður þessarar rannsóknar sýna mun á samdrætti milli ofurkældra fiskflaka og flaka við hefðbundna kælingu sem gæti haft umtalsverð áhrif á flakagæði. Mikilvægt er að miðla þessum upplýsingum til aðila í sjávarútvegi en það er skoðun höfunda að áhrif dauðastirðnunar á afurðagæði séu vanmetin í íslenskum sjávarútvegi. Ástæða þess gæti verið að erfitt er að tengja saman orsök og afleiðingar, en dauðastirðnun birtist helst sem stífur

fiskur skömmu eftir veiðar/slátrun og orsakasamhengi við léleg flakagæði eru ekki augljós. Hlutlæg niðurstaða þessara rannsókna ætti að bæta þar úr og gera framleiðendum grein fyrir mikilvægi þess að stýra dauðastirðnunarferlinu. Myndir af ferlinu eru ekki síður mikilvægar og sýna svo ekki verður um villst hversu öflugt þetta ferli er. Bæði ljósmyndir og ekki síður myndbandsupptökur af ferlinu eru mjög áhrifaríkar og munu nýtast vel sem kennsluefni og einnig sem hluti fræðslu fyrir fiskimenn og framleiðendur, t.d. sem myndefni á ráðstefnum og fundum.

Frekari rannsókna er þörf þar sem sýnt yrði fram á bein tengsl flakagæða við stýringar á dauðastirðnunarferlinu og flakagæða. Hver áhrif kælingar fyrir ferlið er á flakagæði og hversu mikilvægt er að lágmarka meðhöndlun á meðan á ferlinu stendur. Hér er aðeins sýnt fram á mun milli hópa, ofurkældur annars vegar og hefðbundinn hins vegar, og dregnar ályktanir um áhrif á afurðagæði.

Í niðurstöðum rannsókna kom fram töluverður munur á dauðastirðnunarferli í þorski sem veiddur var í mars og í ágúst, í báðum hópum; ofurkældum og hefðbundin kæling. Frekari rannsókna er þörf til að skoða þetta betur en það var utan umfangs þessa verkefnis. Í þessu verkefni var lok dauðastirðnunar (post-rigor) ekki metið en nauðsynlegt gæti verið að skoða sérstaklega hvort ofurkældur fiskur lýkur ferli á öðrum tíma en hefðbundinn.

6 ÞAKKARORÐ

Höfundar vilja þakka stuðning frá AVS – Rannsóknarsjóði í sjávarútvegi. Án hans hefði ekki verið mögulegt að ráðast í þessar rannsóknir og gerð kynningarefnis. Höfundar vilja jafnframt þakka Arnarlaxi á Bíldudal sem hefur útvegað hráefni og aðstöðu til rannsókna á laxi. Davíð Kjartanssýni er þakkað fyrir að útvega lifandi þorsk til rannsókna í þessu verkefni.

7 HEIMILDASKRÁ

- Anton Helgi Guðjónsson. (2016). *Áhrif mimunandi kælingar og geymsluhitastigs á dauðastirðnuarferli þorskflaka*. Akureyri: Háskólinn á Akureyri.
- Atkinson, D. E., & Walton, G. M. (1967). *Adenosine triphosphate conservation in metabolic regulation*. Los Angeles: The Journal of Biological Chemistry.
- Gunnar Þórðarson, Albert Högnason & Anton Helgi Guðjónsson. (16. 9 2016). *Ofurkældur lax*. Sótt frá <https://www.youtube.com/watch?v=NE8JNG8esWA>
- Gunnar Jónsson & Jónbjörn Pálsson. (2013). *Íslenskir fiskar*. Reykjavík: Mál og menning.
- Gunnar Þórðarson, Albert Högnason & Anton Helgi Guðjónsson. (16. 09 2016). *Hefðbundinn lax*. Sótt frá https://www.youtube.com/watch?v=0mKYQ_CFC_A
- Gunnar Þórðarson, Albert Högnason & Anton Helgi Guðjónsson. (16. 9 2016). *Hefðbundinn þorskur*. Sótt frá <https://www.youtube.com/watch?v=k2U3RYDAFic>
- Gunnar Þórðarson, Albert Högnason & Anton Helgi Guðjónsson. (16. 9 2016). *Ofurkældur þorskur*. Sótt frá <https://www.youtube.com/watch?v=IYPbtkRogJ4>
- Gunnar Thordarson, Magnea Karlsdóttir, Roger Petersen, Magnus Johannsson & Albert Hognason (2015), *Sub-chilling of salmon*, Reykjavík: Matís
- Hagstofa Íslands*. (10. febrúar 2015). Sótt frá Afli og verðmæti eftir fisktegundum og veiisvæðum, janúar 2005:
http://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Atvinnuvegir/Atvinnuvegir__sjavarutvegur__afla_tolur__afli_verdmaeti/SJA02201.px/?rxid=de74b7a5-a3dc-4b3c-962d-16bf7ea1b7c2
- Kristín Anna Þórarinsdóttir, Helga Gunnlaugsdóttir, Jónas R. Viðarson & Sigurjón Arason. (2012). *Breytileiki í fituinnihaldi og eiginleikum þorsks eftir árstíma*. Reykjavík: Matís.
- Matís. (20. 11 2015). *Fræðsluvefur Matís*. Sótt frá *Dauðastirðnun í þorski* .
- Matís. (20. 11 2015). *Fræðsluvefur Matís*. Sótt frá *Dauðastirðnun í fiski*:
<http://fraedsluvefur.rf.is/Undirflokkur/gaedi/daudastirdnun/>
- Matís. (15. 08 2016). *Aðalasiða Matís*. Sótt frá *Gæði - Dauðastirðnun*:
<http://fraedsluvefur.rf.is/Undirflokkur/gaedi/daudastirdnun/>
- Oliveira, A. (2011). *Rigor Mortis in Fish*. Kodiak: Fishery Industrial Technology Center.
- Páll Gunnar Pálsson & Margeir Gissurarson. (2016). *Frysting og þíðing*. Reykjavík: Matís.
- Sörensen, N. K., & Brataas, R. (1997). *Influtence of early processing (pre-rigor) on fish quality*. Tromsø: Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture.

Sörensen, N. K., Arason, S., & Nielsen, J. (1995). *Figor í fisk 1992 - 1994*. Köbenhavn:
TemaNord.

8 VIÐAUKAR

8.1 Viðauki I – niðurstöður mælinga í laxi

Mynd 27 sýnir niðurstöður samdráttar í laxi. Flök í töflu sem skilgreind eru „hægra“ og „vinstra“ eru flök sem voru notuð í myndatöku með GoPro myndavélum. Flök 1 til 6 eru flök úr gagnaöflun.

	Hefðbundið	Ofurkælt
	Samdráttur	Samdráttur
Flak 1	9%	11%
Flak 2	10%	12%
Flak 3	11%	11%
Flak 4	11%	14%
Flak 5	15%	10%
Flak 6	14%	11%
Hægra	8%	3%
Vinstra	13%	6%
Meðaltal	11,5%	9,7%
Staðalfrávik	2,6%	3,4%

Mynd 25 Samdráttur laxaflaka.

8.2 Viðauki II – niðurstöður mælinga í þorski

Mynd 28 sýnir niðurstöður samdráttar í laxi. Flök í töflu sem skilgreind eru „hægra“ og „vinstra“ eru flök sem voru notuð í myndatöku með GoPro myndavélum. Flök 1 til 6 eru flök úr gagnaöflun.

	Hefðbundið	Ofurkælt
	Samdráttur	Samdráttur
Flak 1	24%	12%
Flak 2	18%	12%
Flak 3	21%	16%
Flak 4	21%	18%
Hægra	16%	18%
Vinstra	22%	17%
Meðaltal	20,3%	15,7%
Staðalfrávik	3,2%	3,0%

Mynd 26 Samdráttur þorskflaka.