

Auðlindir & afurðir  
Resources & Products

Öryggi, umhverfi & erfðir  
Food Safety, Environment  
& Genetics

Viðskiptaþróun  
Business Development

Líftækni & lífefni  
Biotechnology & Biomolecules

Mælingar & miðlun  
Analysis & Consulting



# Áhrif hitasveiflna við geymslu og flutning á gæði og stöðugleika frystra makrílafurða

**Magnea G. Karlsdóttir**  
**Paulina E. Romotowska**  
**Sigurjón Arason**  
**Ásbjörn Jónsson**  
**Magnús V. Gíslason**  
**Arnljótur B. Bergsson**

**Auðlindir og afurðir**

**Skýrsla Matís 14-15**

**Desember 2015**  
**ISSN 1670-7192**  
**DOI 10.5281/zenodo.12205980**

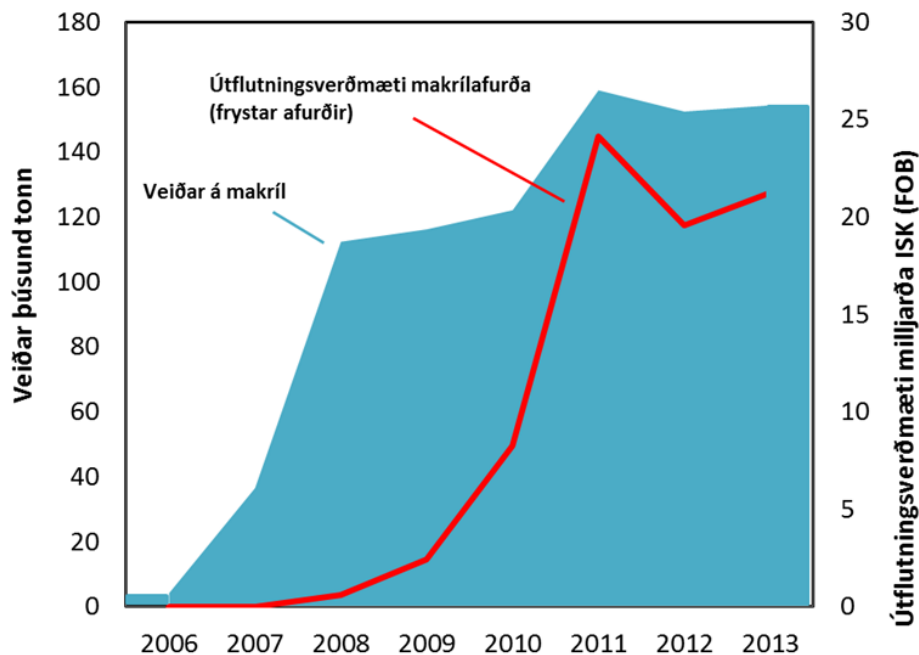
<i>Titill / Title</i>	<b>Áhrif hitasveiflna við geymslu og flutning á gæði og stöðugleika frystra makrílafurða / Effects of temperature fluctuations during storage and transportation on quality and stability of frozen mackerel products</b>		
<i>Höfundar / Authors</i>	Magnea G. Karlsdóttir, Paulina E. Romotowska, Sigurjón Arason, Ásbjörn Jónsson, Magnús V. Gíslason, Arnljótur B. Bergsson		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	14-15	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Desember 2015
<i>Verknr. / Project no.</i>	20022166		
<i>Styrktaraðilar /Funding:</i>	AVS Rannsóknarsjóður í sjávarútvegi (R 040-12)		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Markmið verkefnisins „Hámörkun gæða frosinna makrílafurða“ er að rannsaka gæði og stöðugleika makrílafurða í frosti eftir árstíðum og áhrif mismunandi forkælingar, frystingar og geymsluaðstæðna. Með því að skoða samspil þessara þátta er hægt að hámarka gæði og nýtingu makrils og því um leið verðmæti hans.</p> <p>Þetta er fyrsta skýrslan úr verkefninu og fjallar hún um áhrif hitastigsveiflna við geymslu og flutning á gæði og stöðugleika frystra makrílafurða. Matsþættir voru m.a. los, ensímvirkni og þránun. Hermdir voru gámaflutningar til Japans. Heilfryst hráefni sem veitt var í lok júlí og byrjun september var fryst og geymt við -25 °C í einn mánuð. Við „flutning“ var afurðin sett í geymslu við -18 °C ±5 °C í einn mánuð. Sýnin voru mæld fyrir frystingu, eftir „flutninginn“, og eftir það á 3ja mánaða fresti í geymslu við -25 °C. Til samanburðar voru sýni geymd við stöðugt hitastig (-25 °C). Þessu til viðbótar voru heilfrystar makrílafurðir geymdar í allt að 12 mánuði við -18 °C sem og -15 °C til þess að leggja mat á áhrif mismunandi geymsluaðstæðna.</p> <p>Greinilegur munur var á gæðum og stöðugleika frosinna makrílafurða sem voru geymdar við lágt og stöðugt hitastig samanborið við afurðir sem urðu fyrir hitaálagi t.d. vegna gámaflutnings. Niðurstöðurnar sýna að ekki ætti að geyma makríl við hærri hitastig en -25 °C.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	<i>Makrill, frostgeymsla, flutningur, stöðugleiki, gæði, ensímvirkni</i>		
<i>Summary in English:</i>	<p>The aim of the project “Quality optimization of frozen mackerel products” is to study the quality and stability of mackerel products during frozen storage as affected by season, different pre-cooling methods, freezing techniques and storage conditions.</p> <p>This is the first report from the project and describes the effects of temperature fluctuations during storage and transportations on quality and stability of frozen mackerel products. The main attributes investigated were e.g. gaping, enzymatic activity and rancidity. Container shipment were simulated. Whole mackerel caught late July and early September was frozen and stored at -25 °C for one month. During “transportation”, the products was heat abused at -18 °C ±5 °C for one month. Samples were analysed after freezing, the transportation and with 3 months interval during subsequent storage at -25 °C. For comparison, samples were stored at stable temperature (-25 °C). Additionally, frozen mackerel products were stored for up to 12 months at -18 °C and -15 °C to evaluate further the effects of storage temperature.</p> <p>A significant difference in quality and stability were detected between products stored at stable and low temperature and products that underwent heat abuse during e.g. transportation. The results demonstrates that frozen mackerel products should not be stored at higher temperature than -25 °C.</p>		
<i>English keywords:</i>	<i>Mackerel, frozen storage, transportation, stability, quality, enzymatic activity</i>		

## EFNISYFIRLIT

1	Inngangur .....	1
2	Markmið .....	7
3	Framkvæmd.....	7
3.1	Hráefni og tilraunaskipulag.....	8
3.2	Gæðamælingar .....	9
3.3	Efnamælingar.....	9
3.4	Niðurbrot fitu.....	10
3.4.1	Fríar fitusýrur (FFS) - ensímvirkni .....	10
3.4.2	Peroxíð gildi (PV) .....	10
3.4.3	Thiobarbituric reactive substances (TBARS) .....	10
3.5	Úrvinnsla gagna .....	10
4	Niðurstöður .....	10
5	Ályktanir .....	15
6	Þakkarorð .....	15
7	Heimildir .....	16
	VIÐAUKI I .....	18

# 1 INNGANGUR

Makrill hefur lengi verið mikilvægur nytjastofn og hafa stærstu veiðipjóðirnar verið Norðmenn og Bretar. Árið 2005 var fyrst skráður makrilaflí í íslenski lögsögu en þá fór makrill að slæðast með í veiðarfæri við síldveiðar. Magnið var þó óverulegt eða í heildina um 360 tonn. Árið 2007 jókst veiðin svo til muna (36.510 tonn) þannig að ljóst var að makrill væri ekki einungis meðafli og auðveldlega væri hægt að nýta stofninn með beinum hætti. Árið 2013 var makrilaflinn um 154 þúsund tonn (Mynd 1) sem er tæplega tvö þúsund tonna aukning frá árinu 2012 (Hagstofa Íslands<sup>1</sup>). Mikil reynsla hefur skapast við veiðar, vinnslu og markaðssetningu á makríl, eins og greinilega sést á Mynd 1. Af einstökum afurðum skilaði heilfrystur makrill mestum útflutningsverðmætum í fyrra, en þá fóru um 95% af lönduðum afla til manneidis. Þetta er gífurleg aukning frá 2009 þegar aðeins 20% af aflanum fór til manneidis.



Mynd 1. Veiðar Íslendinga á makríl og útflutningsverðmæti frosinna makrílafurða (heill makrill og hausauður og slægður makrill). Heimild: Hagstofa Íslands<sup>1</sup> og Fiskistofa<sup>2</sup>.

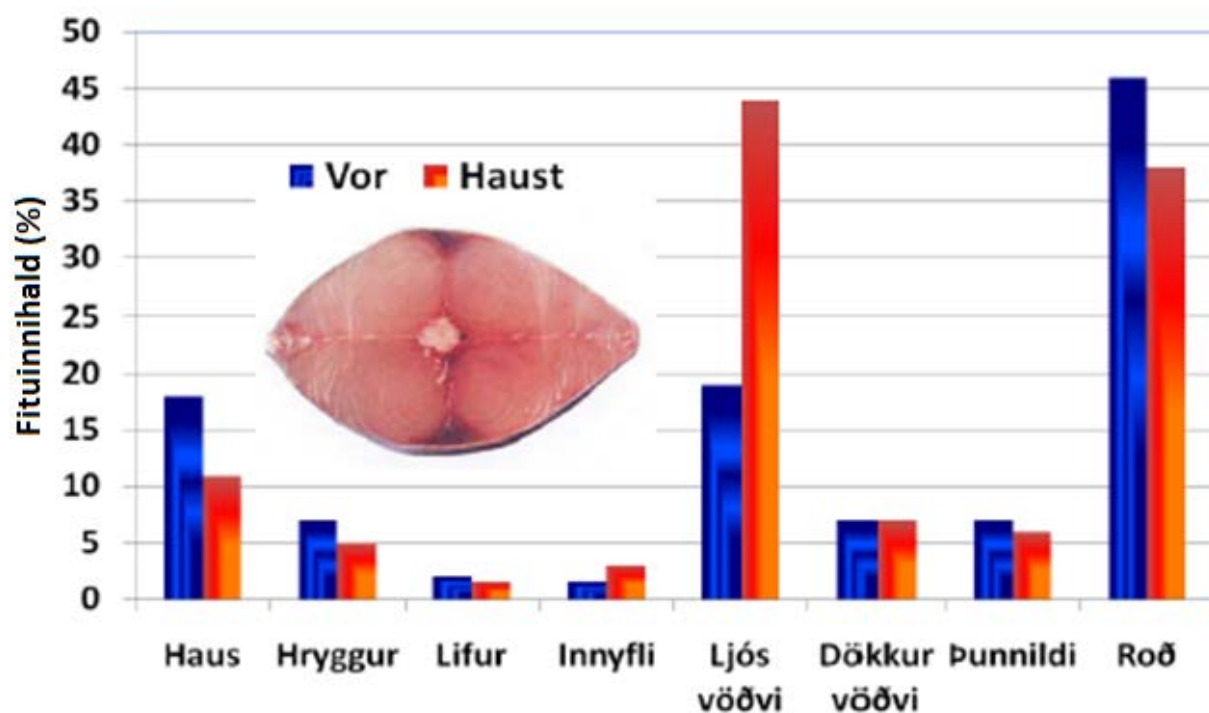
Þekkt er að gæðaeiginleikar hráefnis ráðast meðal annars af líffræðilegum þáttum (svo sem lengd, þyngd, kyni og kynþroska) og umhverfispáttum (svo sem árferði, hitastigi, árstíma, veiðisvæðum og æti) (Ríkharðsson & Birgisson 1996). Gæðaeiginleikar hráefnis eru til dæmis áferð, los og vatnsheldni (Love 1975). Los hefur einnig afgerandi áhrif á hversu verðmætar

<sup>1</sup> [www.hagstofa.is](http://www.hagstofa.is)

<sup>2</sup> [www.fiskistofa.is](http://www.fiskistofa.is)

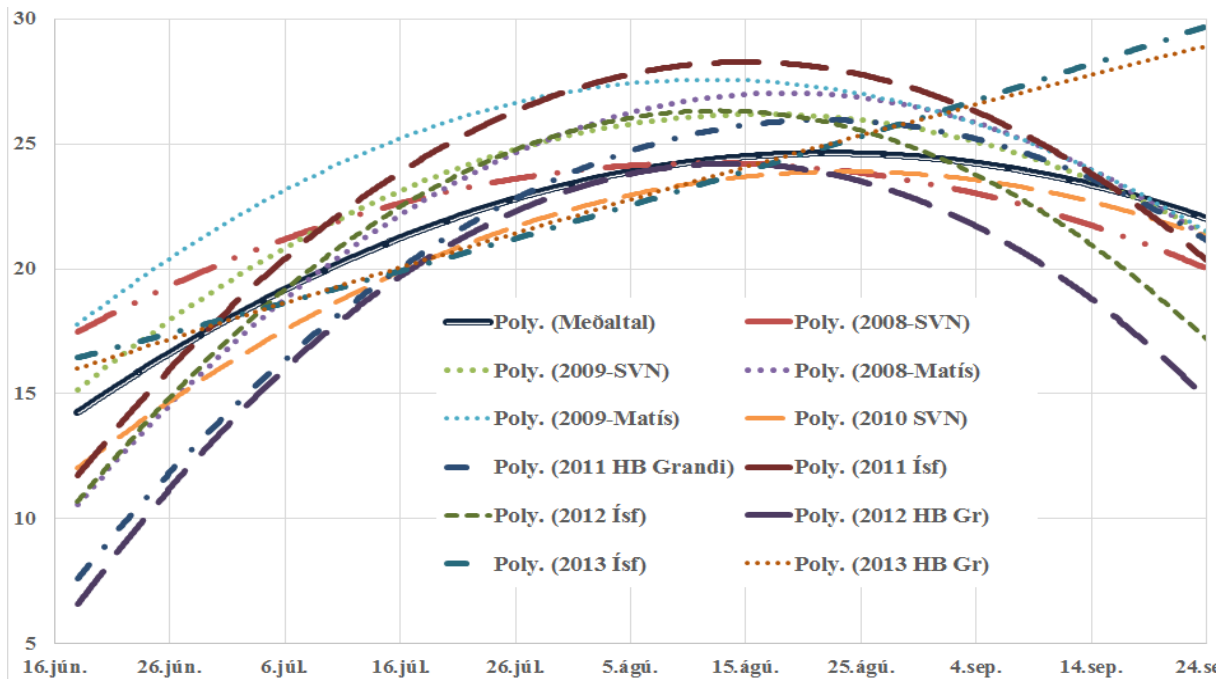
afurðir má framleiða úr fiskinum. Reynsla manna hefur sýnt að þorskhöld virðist lausara í sér um eða eftir hrygningu sem og fiskur sem hefur verið í miklu æti (Margeirsson *et al.* 2007).

Náttúrulegur breytileiki makrils er háður árstímum, uppruna fisksins og aldri ásamt umhverfisþáttum (Mynd 2) (Huss 1995). Makrill er feitur fiskur og sýna mælingar á efnainnihaldi makrils að fituhlutfallið og ástand holds er breytilegt eftir árstíðum og veiðisvæðum. Þessir þættir hafa umtalsverð áhrif á hráefnisgæði fisksins og koma áhrifin fram meðal annars í losi, áferð, útliti, bragði og afurðanýtingu (Ríkharðsson & Birgisson 1996; Keay 2001).



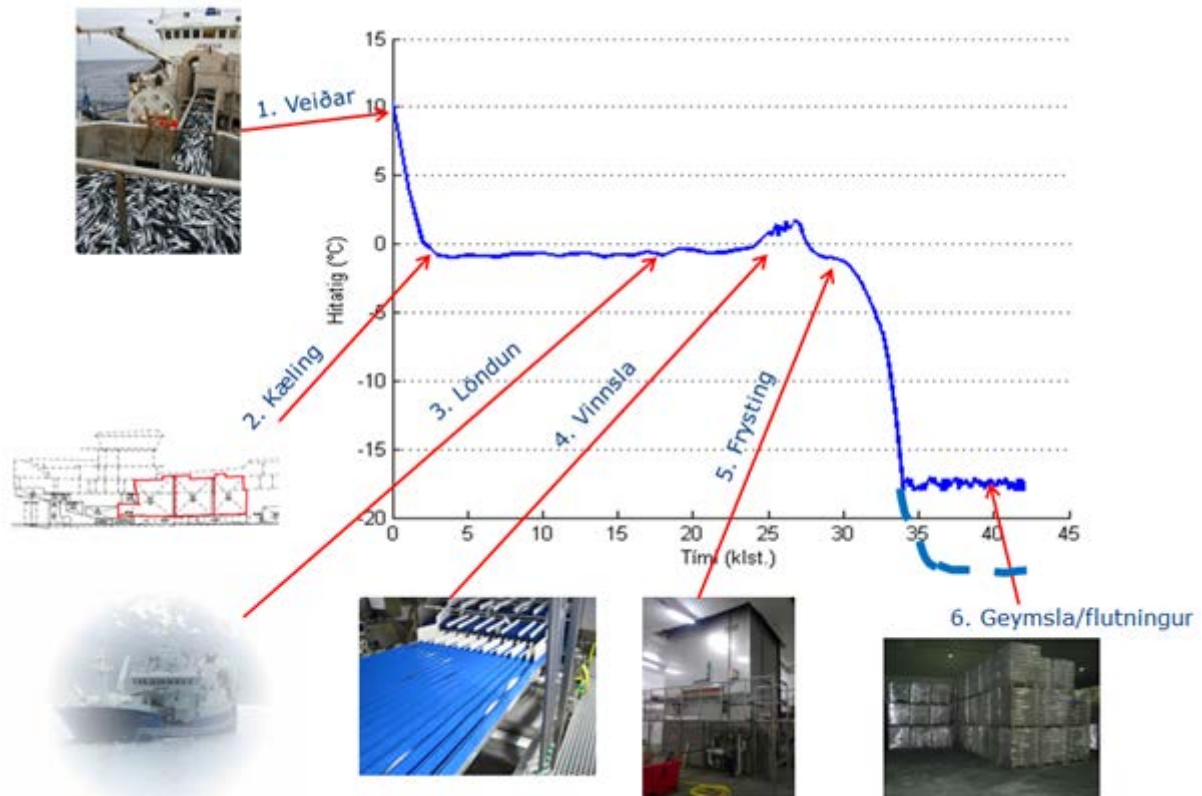
Mynd 2. Fitudreifing makrils eftir árstíðum (Huss 1995).

Makrillinn gengur inn í íslenska lögsögu í fæðisleit, en yfir sumarið safnar hann sér upp forða fyrir vetursetuna. Í vetursetunni er fituinnihald makrils um 10% en fer upp í 25 - 30% í júlí og ágúst þegar hann er í íslenskri lögsögu (Mynd 3). Þessi mikla og hraða fitusöfnun veldur því að fiskholdið verður mjög laust í sér og því er makrill viðkvæmt hráefni til vinnslu frystra afurða. Fituinnihald makrils skiptir því miklu máli fyrir vinnslu á fiskinum (Keay 2001). Talið er að makrillinn sé í bestu ásigkomulagi út frá markaðslegu sjónarmiði á haustmánuðum og fram á vor, en þá er fituinnihald í kringum 10 - 12% (Sveinbjörnsson *et al.* 2008).



Mynd 3. Fitueinnihald (%) makrils á Íslandsmiðum 2008 - 2013, fitan nær hámarki í byrjun ágúst öll árin en fitueinnihaldið var lægst árið 2013. Gögnin sem eru notuð við gerð þessarar myndar eru fengin úr gagnasafni Matis og sjávarútvegsfyrirtækjanna.

Til að viðhalda hráefnisgæðum er nauðsynlegt að kæla aflann hratt þegar hann er kominn um borð. Eins og fram hefur komið er makrill mjög feitur fiskur, og er talið að fitumagnið sé í hámarki þegar hann er innan íslenskrar lögsögu. Á þessum tíma er stór hluti fæðu hans áta, þar með talin rauðáta. Í rauðátu eru afar virk ensím sem geta étið sig út úr maganum og skemmt fiskholdið. Til þess að hægja á vikni rauðátunnar er mjög mikilvægt að kæla makrílafla niður fyrir  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  til að koma í veg fyrir að makrillinn leysist hreinlega upp. Ofurkæling matvæla er kæling niður fyrir frostmark vatns, en það hefur ekki í för með sér frystingu matvæla þar sem ískristallar í matvælum myndast ekki fyrir en við hitastig á milli  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  og  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ofurkælingin hefur líka í för með sér að aflinn er stífari og þolir betur hnjask við frekari meðhöndlun og dregur úr losi fiskvöðvans. Makrill safnar sínum orkuforða í holdið (andstætt þorski sem safnar forðanum í lifrina), sem veldur því að þegar fiskurinn er sem feitastur verður meira los í vöðvunum. Með réttri forkælingu fyrir frystingu er hægt að lágmarka þessa skemmdarferla á holdinu, en með forkælingu er hægt að koma í veg fyrir að fitan renni til í holdinu (storknun á fitu). Til þess að varðveita gæði makrils er því nauðsynlegt að vel sé staðið að kælingu frá veiðum til vöru (Mynd 4).

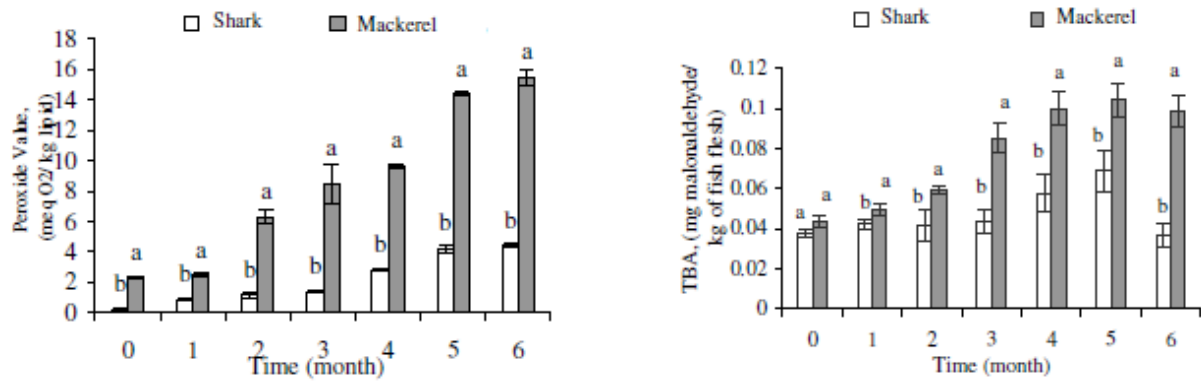


Mynd 4. Hitastigsferill makrils frá veiðum til afurðar.

Lágt og stöðugt hitastig við geymslu og flutning frosinna afurða er ekki síður mikilvægt. Það er því mikilvægt að viðhalda lágu hitastigi í öllu ferlinu, til þess að varðveita sem best gæði afurðanna og tryggja þannig að verðmæti þeirra haldist.

Makrill er mjög góð uppspretta af ómega-3 fjölómettuðum fitusýrum (Hardy & Keay 1972; Leu *et al.* 1981), sem eykur verðmæti hans út frá sjónarmiðum heilsuverndar. Aftur á móti er hann mjög óstöðugur í frosti og hefur þar af leiðandi stutt geymsluþol (3 - 5 mánuðir við -18 °C) (Mynd 5). Rannsóknir á makríl hafa sýnt mikla þráhvatavirkni í fiskholdinu (Decker & Hultin 1990; Saeed & Howell 2001) og þar af leiðandi mikið gæðatap í frosti (Jia *et al.* 1996; Saeed & Howell 2002) og áframhaldandi vinnslu (Zotos. *et al.* 1995). Niðurbrot fitu eru megin ástæðan fyrir lélegu geymsluþoli feitra fiska vegna sikhækkandi þránunar og ensímatísks niðurbrots á fjölómettuðum fitusýrunum, en hlutfall lífsnauðsynlegra fitusýra rýrnar mikið í hlutfalli við lengd tíma í frosti við -18 °C. Erfitt er að koma í veg fyrir þránun, en lækun hitastigs við frystingu, útilokun ljóss og lofts (súrefnis), notkun andoxunarefna og efna sem hvarfast við málma, ásamt góðum umbúðum, geta dregið allverulega úr henni (Olcott 1962).





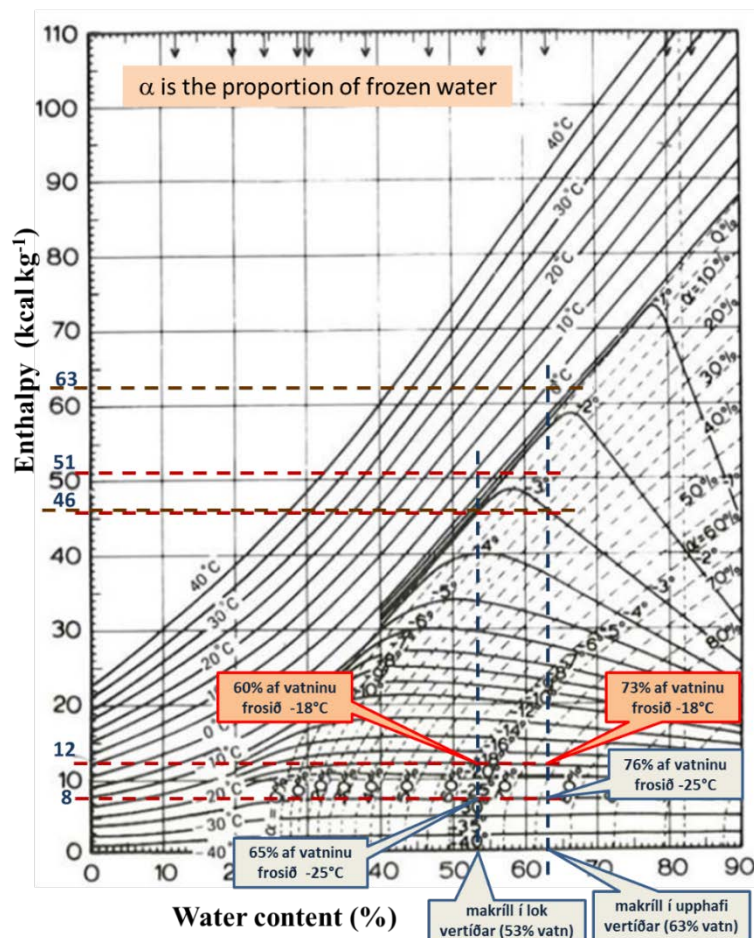
Mynd 5. Hér sést myndun 1. stigs (t.v.) og 2. stigs (t.h.) þrúnunarefna í spænskum makríl sem var geymdur í 6 mánuði við -18°C (Nazemroaya *et al.* 2011).

Hraði frystingar og hitastig í geymslu hafa áhrif á virkni ensímanna sem brjóta niður fitu, sér í lagi himnubundna fitu og mynda meðal annars fríar fitusýrur sem hafa neikvæð áhrif á gæði afurða (Karlsdóttir *et al.* 2014a; Karlsdóttir *et al.* 2014b). Virkni ensímanna eykst á ákveðnu hitastigsbili við frystingu vegna aukins styrks uppleystra efna í ófrosna hluta vöðvans. Virknin er mest í upphafi geymslu en minnkar eftir því sem líður á geymslutímum vegna afmyndunar á ensímunum. Mörg ensím, eins og TMAO-ase og Phospholipase, eru mjög virk þar til storknunarhitastigi salts (NaCl) sem er -21,6 °C, er náð. Styrkur salts í upplausn eykst með lækkandi hitastigi og vegur að einhverju leyti upp minnkandi virkni vegna lækkandi hitastigs. Sé verið að hugsa um sem besta geymslu á fiski, ætti að miða við -25 °C sem hámarkshitastig (Arason & Ásgeirsson 1984; Karlsdóttir *et al.* 2014a; Karlsdóttir *et al.* 2014b). Ekki er síður mikilvægt að velja rétt geymsluhitastig og að viðhalda stöðugu hitastigi í geymslu og við flutninga á frosinni vöru. Hitasveiflur geta haft mjög neikvæð áhrif á gæði og geymsluþol frosinna afurða. Frosin vara er mun viðkvæmari fyrir hitasveiflum en ófrosin vara, þar sem varmaleiðni ófrosins fiskholds er ekki nema 25 - 30% af varmaleiðni frosins fiskholds. Sveiflur í hitastigi við frostgeymslu hafa verulega áhrif á ensímvirkni og þar af leiðandi myndun frírra fitusýra og þrúnun fitu, en það skiptir máli hversu miklar sveiflurnar eru og á hvaða hitastigsbili (Bilinski *et al.* 1981). Hitastigssveiflur um og fyrir ofan storknunarhitastig salts eru taldar hafa alvarlegri áhrif á gæði og stöðugleika frosinna sjávarafurða samanborið við hitastigssveiflur sem eiga sér stað við lægra hitastig (<-25 °C).

Grundvallarmunur er á hlutfalli frosins vatns í feitum fiski á borð við makríl annars vegar og í mögum fiski á borð við þorsk hins vegar. Við -25 til -18 °C er um 90-92% af vatnsinnihaldi þorsks (miðað við 82% vatnsinnihald) frosið (Mynd 7). Á sama hitabili er hins vegar einungis um 60 - 76% af vatnsinnihaldi markíls frosið (miðað við 53 - 63% vatnsinnihald). Þetta má setja



Í samhengi við styttra geymsluþol frosins makrils meðal annars vegna hærri vatnsvirkni en í frosnum þorski. Minna frosin afurð gerir einnig að verkum að brettastafli af makríl er viðkvæmari fyrir hnjaski en þegar um þorsk er að ræða. Ef við skoðum til dæmis makríl sem er veiddur undir lok veiðitímabilsins þá er vatnsinnihald hans í kringum 53% sem þýðir að við -25 °C er um 65% af vatninu frosið. Þetta segir okkur að aðeins um 46% af öllum vökva (fitan þar með talin) er frosinn við þetta hitastig. Þetta undirstrikar enn frekar hversu viðkvæmt hráefni makrill og annar feitur fiskur er.



Mynd 6. Orkuinnihald (Enthalpy) fisks fall af vatnsinnihaldi (Water content) og hlutfalli frosins vatns í fiskholdi ( $\alpha$ ). (Rha 1975).

Hitastýring í nokkrum frystigeymslum á Íslandi var rannsökuð fyrir nokkrum árum (Björnsson 2005) og kom í ljós að bæði er hitastig of hátt og að hitasveiflur eru sums staðar miklar. Hátt hitastig og hitasveiflur í frystigeymslum auka hrímmyndun sjávarafurða sem dregur úr verðmæti afurðanna. Í sama verkefni voru 15 mismunandi gámategundir rannsakaðar og voru niðurstöðurnar á sömu leið, það er miklar hitasveiflur og mikill breytileiki á milli gáma. Þessu til viðbótar þá geta frosnar vörur orðið fyrir töluverðu hitaálagi til dæmis við uppskipun. Þegar

frosnum afurðum er skipað upp úr frystiskipum stendur frystilestin oft opin upp á gátt. Mikið magn afurða getur því staðið við umhverfishita í langan tíma á meðan á flokkun og röðun í frystigáma stendur. Þetta hefur þau áhrif, að afurðin stendur við mun hærra hitastig en henni er ætlað. Af þessu er ljóst að víða er þörf á bættri hitastýringu fyrir afurðir framleiðenda.

## 2 MARKMIÐ

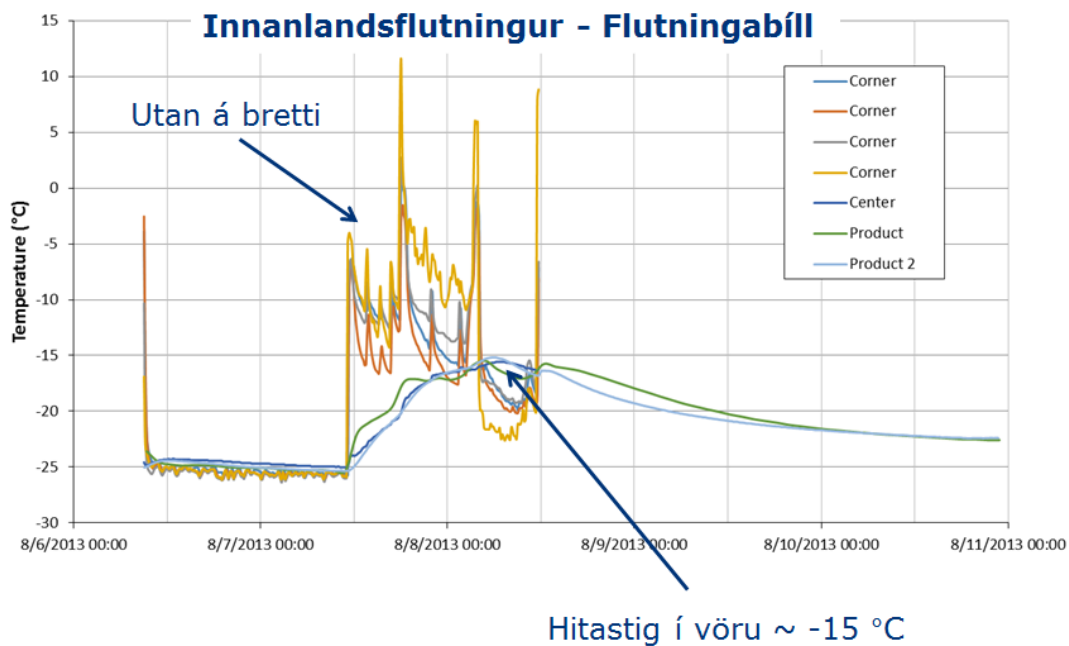
Markmið verkefnisins *Hámörkun gæða frosinna makrílafurða* er að rannsaka gæði og stöðugleika makrílafurða í frosti eftir árstíðum og áhrif mismunandi forkælingar, frystingar og geymsluaðstæðna. Með því að skoða samspil þessara þátta er hægt að hámarka gæði og nýtingu makríls og því um leið verðmæti hans.

Þetta er fyrsta skýrslan úr verkefninu og fjallar hún um áhrif hitastigsveiflna við geymslu og flutning á gæði og stöðugleika frystra makrílafurða. Matsþættir voru meðal annars los, ensímvirkni og þránun.

## 3 FRAMKVÆMD

Í verkefninu *Hámörkun gæða frosinna makrílafurða* hefur sýnum verið safnað jafnt og þétt yfir þann tíma sem makrill veiðist innan íslenskrar lögsögu (júlí-september), sér í lagi á þeim tíma þegar hann er hvað viðkvæmastur. Sýnin voru ýmist heill makrill sem og hausaður og slógdreginn makrill og fryst með mismunandi frystibúnaði. Sýnin voru metin strax eftir löndun, eftir frystingu og eftir geymslu við mismunandi aðstæður og tíma. Í þessari skýrslu er farið yfir niðurstöður tilrauna þar sem hermt var eftir gámaflutningi til dæmis til Japans.

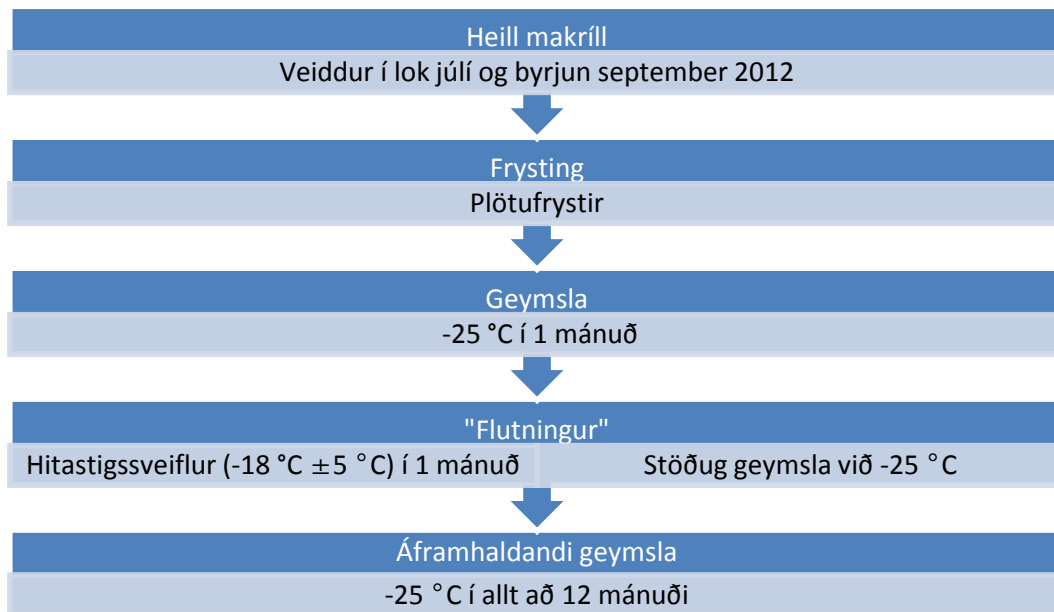
Hitastig var mælt í gegnum allt ferlið, það er frá veiðum að afurð. Auk þess var fylgst með hitastigi við geymslu og við flutning sýna til Matís. Hitastigsveiflur við geymslu og flutning á frosnum sjávarafurðum er staðreynd. Á Mynd 7 má sjá dæmi um hitastigsveiflur sem áttu sér stað við flutning sýna innanlands frá framleiðanda til Matís með flutningabíl. Á tæpum sólarhring hækkaði kjarnhiti afurðar í miðju bretti upp í -15 °C úr -25 °C.



Mynd 7. Dæmi um þær hitastigssveiflur sem áttu sér stað við flutning makríl sýna innanlands frá framleiðanda til Matís með flutningabíl. Jafnvel þótt flutningur hafi verið tiltölulega stuttur (tæpur sólarhringur) þá hækkar kjarnhitastigið í afurðinni úr -25 °C upp í -15 °C.

### 3.1 Hráefni og tilraunaskipulag

Settar voru upp tilraunir til þess að herma gámaflutning til Japans sem getur tekið um mánuð í flutningi (Mynd 8). Heilfryst hráefni sem veitt var í lok júlí og byrjun september (2012 og 2013) var fryst niður í -20 °C í plötufrysti, flutt til Matís og geymt við -25 °C í einn mánuð. Við hermun gámaflutnings var afurðin sett í geymslu við -18 °C ±5 °C í einn mánuð. Sýnin voru mæld fyrir frystingu, eftir „flutning“, og eftir það á 3ja mánaða fresti í geymslu við -25 °C. Til samanburðar voru sambærileg sýni geymd við stöðugt hitastig (-25 °C) allan tímann. Þessu til viðbótar voru heilfrystar makrílafurðir geymdar í allt að 12 mánuði við -18 °C og við -15 °C til þess að leggja mat á áhrif mismunandi geymsluaðstæðna, alls fjórar meðferðir.



Mynd 8. Tilraunaskipulag fyrir hermun (stýrðar aðstæður) á gámaflutningi til Japans.

### 3.2 Gæðamælingar

Gæðaeiginleikar makrílafurðanna voru metnir með tilliti til ferskleika, skemmda á roði, losi, blóðbletta og ástands lífhimnu (SINTEF 2012). Nánari lýsingu er að finna í Viðauka I aftast í skýrslunni.

### 3.3 Efnamælingar

Vatnsinnihald (g/100g) var metið út frá massatapi við þurrkun sýnis í fjórar klukkustundir við 105 °C (ISO, 1983). Fituúrdráttur var framkvæmdur skv. aðferð Bligh & Dyer (1959). Klóróformfasinn var notaður til þess að meta fituinnihald sýnanna, magn fosfólípíða, fitusýrusamsetningu, magn frírra fitusýra sem og til þess að ákvarða þriðjastigs myndefni þránunar.

Mælingar á heildarmagni reikulla basa (TVN) og trimethylamine (TMA) voru gerðar samkvæmt aðferð Malle & Tao (1987).

### **3.4 Niðurbrot fitu**

#### **3.4.1 Fríar fitusýrur (FFS) - ensímvirkni**

Fríar fitusýrur (g/100g af fitu) voru metnar samkvæmt aðferð Lowry & Tinsley (1976) með breytingum frá Bernardez *et al.* (2005). Styrkur FFS var reiknaður út frá staðalkúrfu af oleic sýru á styrkbilinu 2 - 22  $\mu\text{mól}$ .

#### **3.4.2 Peroxíð gildi (PV)**

Fyrstastigs myndefni þránunar (peroxíðgildi, PV) var ákvarðað með ferric thiocyanate aðferð Santha & Decker (1994) með breytingum (Karlsdóttir *et al.* 2014b). Peroxíðgildi sýnanna (mmol PV/kg sýnis) var ákvarðað út frá staðalkúrfu af cumene hydroperoxides.

#### **3.4.3 Thiobarbituric reactive substances (TBARS)**

Til að mæla annarstigs myndefni þránunar (TBARS) var notuð aðferð Lemon (1975) með breytingum (Karlsdóttir *et al.* 2014b). TBARS gildi ( $\mu\text{mol MDA/kg sýni}$ ) var ákvarðað út frá staðalkúrfu af tetraethoxypropane.

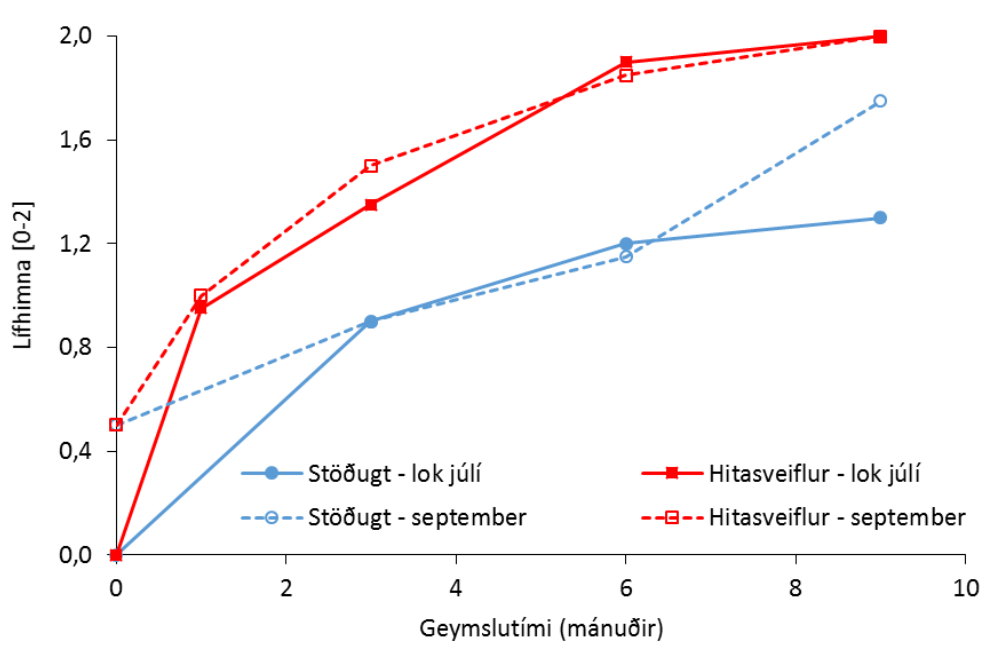
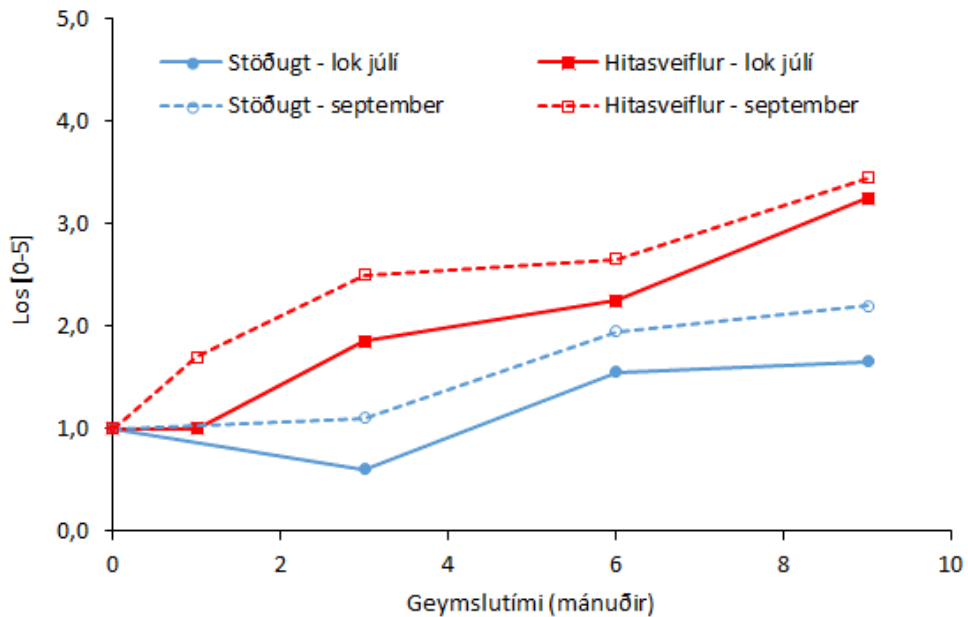
### **3.5 Úrvinnsla gagna**

Tölfræðileg úrvinnsla var framkvæmd með Microsoft Excel 2010 og SigmaStat 3.5. ANOVA (one way variance analysis) ásamt samanburðarprófi Duncan's voru notuð til að meta marktækan mun á milli hópa. Í úrvinnslu var miðað við 95% öryggismörk ( $p < 0,05$ ).

## **4 NIÐURSTÖÐUR**

Í þessari tilraun voru gámaflutningar til Japans hermdir, en slíkur flutningur getur tekið allt að mánuð. Niðurstöður rannsóknarinnar sýna greinilega að hitastigssveiflur í flutningi frosinna makrílafurða hefur mjög mikil áhrif á gæði og stöðugleika afurðanna. Helstu gæðaeinkenni makrílafurða, eins og los og ástand lífhimnu, rýrnuðu töluvert í þessari tilraun í þeim afurðum sem urðu fyrir hitastigssveiflum við flutning (Mynd 9). Til samanburðar voru þessar breytingar marktækt minni hjá afurðum sem voru geymdar við stöðugar aðstæður ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ástæðuna fyrir auknu losi í afurðunum má rekja til þess að vatnið í vöðvunum þiðnar og frýs svo aftur þegar hitastigið sveiflast eins og raunin var hér. Við þetta myndast stórir ískristallar í

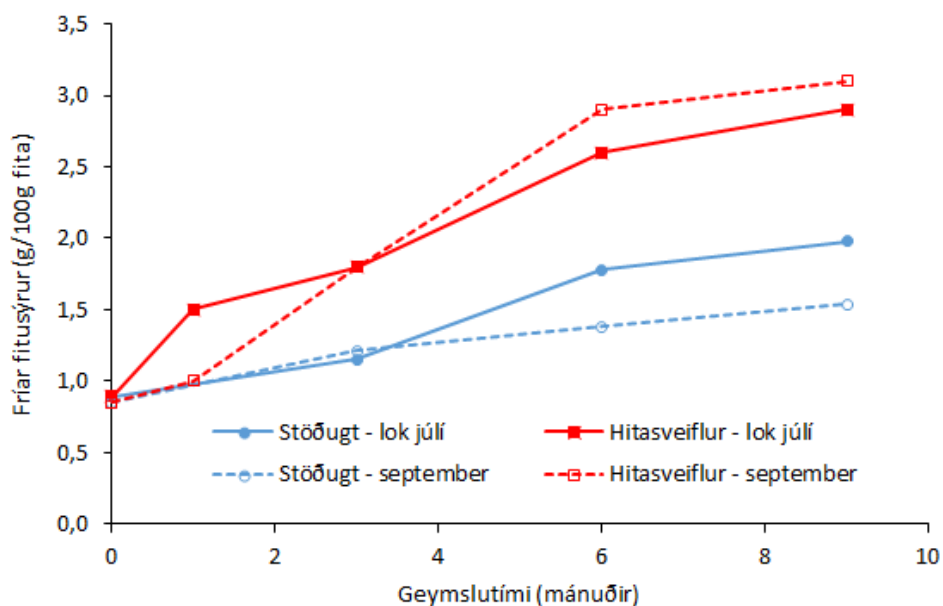
vöðvunum sem veldur því að vöðvafrumurnar skemmast með þeim afleiðingum að meira los gerir vart við sig auk þess sem vökvatap við þíðingu (drip) hækkar.



Mynd 9. Los (efri mynd) og ástand lífhimnu (neðri mynd) í frosnum makrílafurðum við hermun á gámaflutningi til dæmis til Japans. Heill markill, veiddur í lok júlí og byrjun september 2012, var frystur niður í -20 °C í plötufrysti, fluttur til Matís og geymdur við -25 °C í einn mánuð. Við „flutning“ var afurðin sett í geymslu við -18 °C ±5 °C í einn mánuð og eftir það geymd aftur við -25 °C. Til samanburðar voru sýni geymd við stöðugt hitastig allan geymslutímann (-25 °C).

Ástand lífhimnu (e. peritoneum) er mikilvægur gæðastuðull fyrir frystar makrílafurðir. Ástandi lífhimunnar er almennt lýst í þremur stigum. Á fyrsta stiginu (einkunn 0) er lífhimnan sterk og föst fyrir, það er skemmist ekki við léttu snertingu, og er því það sem framleiðendur leita

eftir. Á öðru stiginu (einkunn 1) losnar himnan auðveldlega frá við snertingu en er að öðru leyti góð gæðalega séð. Á þriðja og síðasta stiginu (einkunn 2) er himnan eyðilögð og upphleypt, ásamt því að bein eru farin að stingast út og er slíkur fiskur ekki talinn góður. Talið er að helsta ástæðan fyrir því að lífhimnan eyðileggist við geymslu sé vegna ensímvirkni, annars vegar í fiskholdinu og hins vegar frá rauðátu í maga fisksins. Seinni þátturinn á sérstaklega við ef um er að ræða heilfrystan fisk. Eins og komið var inn á í inngangi skýrslunnar, þá er virkni þessara ensíma mjög virk að storknunarhitastigi salts (NaCl) sem er  $-21,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Auk þessa eru hitastigssveiflur um og fyrir ofan storknunarhitastig salts taldar hafa alvarlegri áhrif á gæði og stöðugleika frosinna sjávarafurða samanborið við hitastigssveiflur sem eiga sér stað við lægra hitastig ( $<-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Mælingar á fríum fitusýrum (FFS) styðja vel við þessar ályktanir (Mynd 10). Makrílafurðir sem lentu í hitasveiflum vegna flutnings ( $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) í einn mánuð voru með marktækt hærri ensímvirkni samanborið við afurðir sem voru geymdar við stöðugar aðstæður ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) allan geymslutímamann. Ekki reyndist marktækur munur á milli veiðitíma.

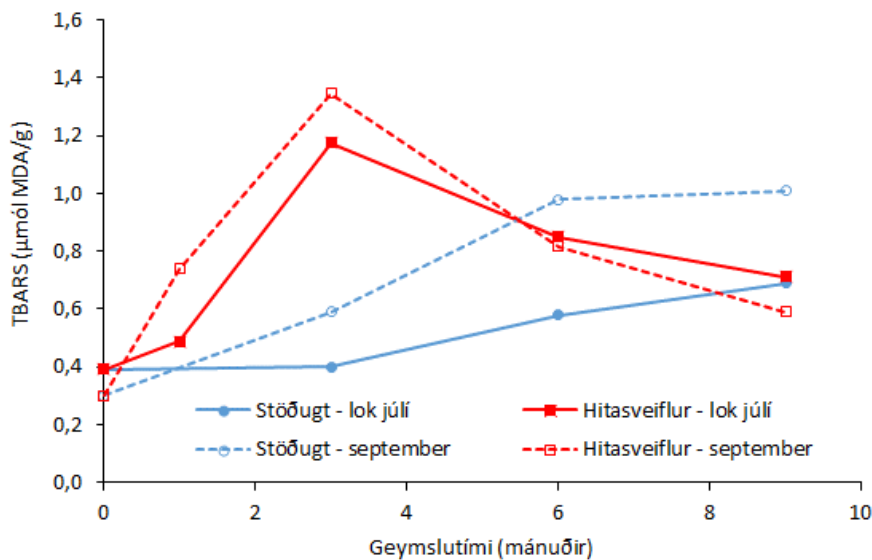
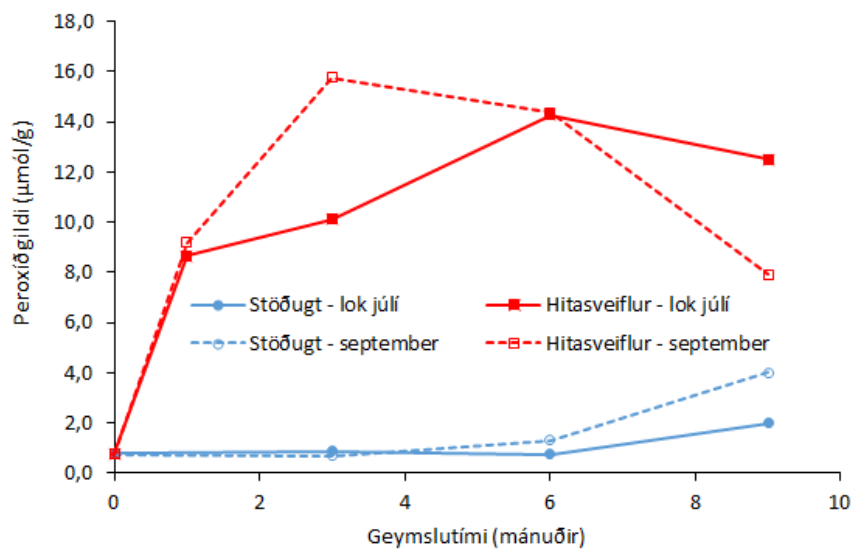


Mynd 10. Magn frírra fitusýra (g FFS/100 g fita) í frosnum makrílafurðum við hermun á gámaflutningi til dæmis til Japans. Heill markill, veiddur í lok júlí og byrjun september 2012, var frystur niður í  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  í plötufrysti, fluttur til Matís og geymdur við  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  í einn mánuð. Við „flutning“ var afurðin sett í geymslu við  $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  í einn mánuð og eftir það geymd aftur við  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Til samanburðar voru sýni geymd við stöðugt hitastig allan geymslutímamann ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Mælingar á 1. stigs (PV) og 2. stigs (TBARS) myndefnum þránunar sýndu sömu niðurstöður þar sem þær makrílafurðir sem urðu fyrir hitaálagi vegna flutnings, þránuðu mun hraðar samanborið við þær afurðir sem geymdar voru við stöðugar aðstæður (Mynd 11). Lífsferlar þessara þránunarafléiða (PV og TBARS) eru þess eðlis að þær myndast í upphafi vegna hvata

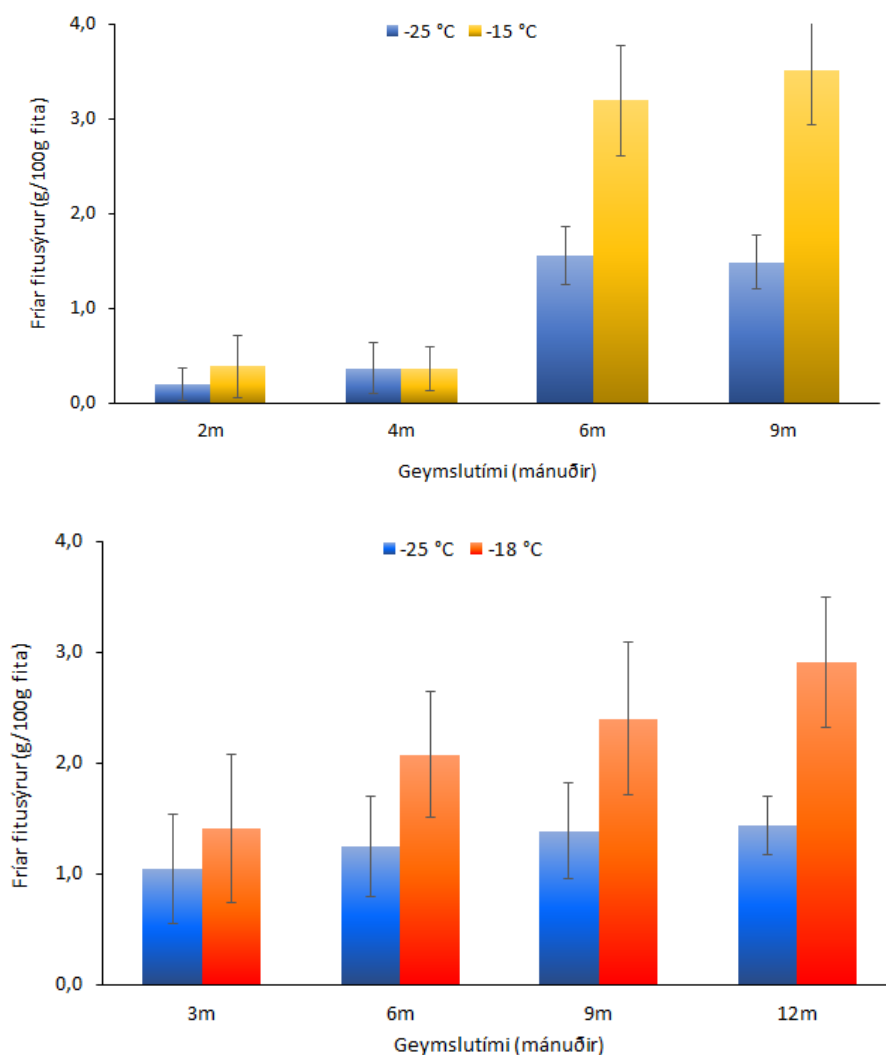


sem eru til staðar í umhverfinu, til dæmis fitusamsetningar, súrefnis, ensíma og annarra hvata. Magn þeirra nær ákveðnu hámarki þangað til þær fara að brotna niður og mynda önnur þrúnunarefnasambönd sem gefa af sér óæskileg efni sem gefa til dæmis frá sér þrúnunarlykt. Niðurstöður tilraunarinnar gefa til kynna að myndun þessara efna nær hámarki eftir þrjá mánuði frá frystingu, sem er um mánuði eftir að flutningi líkur. Hjá þeim afurðum sem voru geymdar við stöðugar aðstæður er myndun þessara efna rétt að fara af stað eftir 6 mánuði í geymslu.



Mynd 11. Myndun fyrststigs (PV; efri mynd) og annarsstigs (TBARS; neðri mynd) myndefna þrúnunar í frosnum makrílafurðum við hermun á gámaflutningi til dæmis til Japans. Heill markíll, veiddur í lok júlí og byrjun september 2012, var frystur niður í -20 °C í plötufrysti, fluttur til Matís og geymdur við -25 °C í einn mánuð. Við „flutning“ var afurðin sett í geymslu við -18 °C ± 5 °C í einn mánuð og eftir það geymd aftur við -25 °C. Til samanburðar voru sýni geymd við stöðugt hitastig allan geymslutímann (-25 °C).

Val á viðeigandi geymsluhitastigi hefur einnig afgerandi áhrif á gæði og stöðugleika frosinna makrílafurða. Til þess að leggja mat á áhrif mismunandi geymsluaðstæðna voru heilfrystar makrílafurðir geymdar í allt að 12 mánuði, bæði við -18 °C og -15 °C og til samanburðar voru makrílafurðir geymdar við -25 °C. Á Mynd 12, sem sýnir myndun frírra fitusýra, sést greinilega að val á hitastigi hefur marktæk áhrif á ensímvirkni afurðanna í frosti. Niðurstöðurnar sýna að makrílafurðir geymdar við -25 °C hafa marktækt minni ensímvirkni samanborið við afurðir geymdar við -15 °C og -18 °C. Samanburður á milli -15 °C og -18 °C gefa til kynna ekki mikinn mun á milli þessara geymsluhitastiga með tilliti til ensímvirkni. Út frá þessum niðurstöðum má eindregið mæla með því að frystar makrílafurðir ætti ekki að geyma við hærra hitastig en -25 °C.



**Mynd 12.** Myndun frírra fitusýra (g FFS/100 fita) í heilfrystum makrílafurðum geymdar við mismunandi geymsluhitastig í allt að 12 mánuði. Efri myndin sýnir niðurstöður sýna, veidd á 2013 vertíðinni, geymd við -15 °C og -25 °C. Neðri myndin sýnir niðurstöður sýna, veidd á 2012 vertíðinni, geymd við -18 °C og -25 °C.

## **5 ÁLYKTANIR**

Hitastigssveiflur við geymslu og flutning á frosnum sjávarafurðum er staðreynd. Niðurstöður tilraunarinnar sýna hversu mikilvægt er að geyma frosnar makrílafurðir við stöðugt hitastig til að varðveita gæði afurðanna og um leið verðmæti þeirra. Talsvert mikið er flutt af frystum makrílafurðum til Japans, en þar fæst að jafnaði mjög gott verð fyrir afurðirnar. Gámaflutningur til Japans tekur oft um það bil mánuð og skiptir miklu máli að hitastigi sé haldið stöðugu í flutningnum. Niðurstöðurnar sýna að hitaálag í tæpan mánuð (-18 °C ±5 °C) hefur afgerandi áhrif á gæði og stöðugleika frosinna makrílafurða. Auk þess er mikilvægt að vandað sé til verka við langvarandi geymslu þessara afurða, þar sem stöðugleiki og lágt hitastig ( $\leq -25$  °C) spila lykilhlutverk.

## **6 ÞAKKARORÐ**

Höfundar skýrslunnar þakka AVS rannsóknarsjóði í sjávarútvegi (R 040-12) fyrir veittan styrk til verkefnisins. Fyrirtækjunum sem tóku þátt í þessu verkefni er sérstaklega þakkað fyrir þeirra framlag.

## 7 HEIMILDIR

- Arason, S. and L. Ásgeirsson (1984). "Um frystingu sjávarafurða." Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík.
- Bernardez, M., L. Pastoriza, et al. (2005). "Modified method for the analysis of free fatty acids in fish." J. Agric. Food Chem. **53**: 1903-1906.
- Bilinski, E., R. E. F. Jonas, et al. (1981). "Treatment affecting the degradation of lipids in frozen Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*)." Canadian Institute of Food Science and Technology Journal **14**: 123-127.
- Björnsson, H. P. (2005). "Geymslu- og flutningastýring lausfrystra sjávarafurða." Meistararitgerð í iðnaðarverkfræði, Háskóli Íslands.
- Bligh, E. G. and W. J. Dyer (1959). "A rapid method of total extraction and purification." Can. J. Biochem. Physiol. **37**: 911-917.
- Decker, E. A. and H. O. Hultin (1990). "Factors Influencing Catalysis of Lipid Oxidation by the Soluble Fraction of Mackerel Muscle." Journal of food science **55**(4): 947-950.
- Hardy, R. and J. N. Keay (1972). "Seasonal variation in the chemical composition of Cornish mackerel, *Scomber scombrus* (L.), with detailed reference to the lipids." J Food Technol **7**: 125-137.
- Huss, H. H. (1995). Quality and quality changes in fresh fish, FAO Fisheries Technical Paper - T348, pp.
- Jia, T., S. D. Kelleher, et al. (1996). "Comparison of quality loss and changes in the glutathione antioxidant system in stored mackerel and bluefish muscle." J Agric Food Chem **44**: 1195-1201.
- Karlsdóttir, M. G., S. Arason, et al. (2014a). "Lipid degradation of cod liver during frozen storage as influenced by temperature, packaging method and seasonal variation." Aquatic Food Product Technology (accepted for publication).
- Karlsdóttir, M. G., K. Sveinsdóttir, et al. (2014b). "Effects of temperature during frozen storage on lipid deterioration of saithe (*Pollachius virens*) and hoki (*Macrurus novaezelandiae*) muscles." Food Chemistry **156**(0): 234-242.
- Keay, J. N. (2001). "Handling and processing mackerel." Torry Advisory Notes -No. 66, from <http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5938e/x5938e01.htm>.
- Lemon, D. W. (1975). "An improved TBA test for rancidity." New Series Circular No. 51, Halifax Laboratory, Halifax, Nova Scotia.
- Leu, S., S. Jhaveri, et al. (1981). "Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*, L.): Seasonal variation in proximate composition and distribution of chemical nutrients." Journal of Food Science **46**: 1635-1638.
- Love, R. M. (1975). "Variability in Atlantic cod (*Gadus morhua*) from Northeastern Atlantic. A review of seasonal and environmental influence on various attributes of the flesh." J. Fish. Res. Bd. Can. **32**: 2333-2334.
- Lowry, R. and I. Tinsley (1976). "Rapid colorimetric determination of free fatty acids." JAACS **53**: 470-472.
- Malle, P. and S. H. Tao (1987). "Rapid quantitative determination of trimethylamine using steam distillation." J Food Protect **50**(9): 756-760.
- Margeirsson, S., G. R. Jonsson, et al. (2007). "Influencing factors on yield, gaping, bruises and nematodes in cod (*Gadus morhua*) fillets." J Food Engineering **89**: 503-508.
- Nazemroaya, S., M. A. Sahari, et al. (2011). "Identification of fatty acids in Mackerel (*Scomberomorus commerson*) and Shark (*Carcharhinus dussumieri*) fillets and their changes during six months of frozen storage at -18°C." J Agric Sci Tech **13**: 553-566.
- Olcott, H. S. (1962). Oxidation of fish lipids. Fish in nutrition. E. Heen and R. Kreuzer. London, Fishing News (Books): 112-116.




- Rha, C. (1975). Theory, determination and control of physical properties of food material. Boston, Reidel Publishing Dordrecht, pp. 311-355.
- Ríkharrðsson, J. H. and Birgisson (1996). "Aflabót." Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins, júní 1996.
- Saeed, S. and N. K. Howell (2001). "12-lipoxygenase activity in the muscle tissue of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) and its prevention by antioxidants." J Sci Food Agric **81**: 745-750.
- Saeed, S. and N. K. Howell (2002). "Effect of lipid oxidation and frozen storage on muscle protein of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*)." J Sci Food Agric **82**: 579-586.
- Santha, N. C. and E. A. Decker (1994). "Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids." Association of Official Analytical Chemists International **77**: 421-424.
- SINTEF (2012). "Kvalitetshåndbok for pelagisk fisk." from <http://www.fargisinfo.com/KvalitetPelagiskFisk/Mottak.html>.
- Sveinbjörnsson, S., Á. Guðmundsdóttir, et al. (2008). "Makríl í NA-Atlantshafi." [http://www.hafro.is/malstofa\\_video/2008/malstofa-31okt08.wmv](http://www.hafro.is/malstofa_video/2008/malstofa-31okt08.wmv).
- Zotos., A., M. Hole, et al. (1995). "The effect of frozen storage of mackerel (*Scomber scombrus*) on its quality when hot-smoked." J Sci Food Agric **67**: 43-48.

## **VIÐAUKI I**

*Gæðamælingar fyrir makríl*







## Verkunarviðmið






- Miða við að 30 sýni séu tekin við hverja gæðaskoðun
- Hver fiskur skal vigtaður og lengdarmældur og skráður í töflu í skráningarblaði.
- Áður en flakað er skal athuga með sjáanlega áverka og ferskleika.
- Þegar flakað er skal skera frá sporði og draga hnífinn upp að haus (lágmarkar „skemmdir“ sem verða við flökun).
- Magi hvers fisks skal skorinn frá og safnað í bakka sem er síðan vigtaður í hverri lotu og skráður (fyrir átumælingu). Aðeins framkvæmt á fersku hráefni, það er fyrir frystingu.
- Í athugasemdum má nefna atriði sem ekki koma fram, til dæmis fitublettir eða aðrir sjáanlegir gallar.
- Hver sýnalota er síðan mynduð sér eftir gæðaskoðun.

<b>1. Mat á roðskemmdum</b> - Skoða fisk að utan og skima eftir skemmdum eins og skurðum o.fl.		
<i>Lýsing</i>	<i>Einkunn</i>	<i>Dæmi</i>
Engar roðskemmdir	0	
Sýnilegir áverkar, en þó smávægilegir	1	
Stór sár, um það bil meira en þriðjungur af breidd búks	2	
<b>2. Ferskleiki – Pota í kvið fisks</b>		
<i>Lýsing</i>	<i>Einkunn</i>	<i>Dæmi</i>
Stinnur	0	Ekkert far eftir fingur 2 sekúndum eftir að álagi er hætt
Meðal stinnur	1	Ekkert far eftir fingur 2-4 sekúndum eftir að álagi er hætt
Linur	2	Ennþá far eftir fingur 5 sekúndum eftir að álagi er hætt



**3. Los -** Skoða fisk að utan og skima eftir skemmdum eins og skurðum o.fl.

<i>Lýsing</i>	<i>Einkunn</i>	<i>Dæmi</i>
Samfelld áferð á holdi. Engar sjáanlegar sprungur	<b>0</b>	
Sprungur eru færri en 5	<b>1</b>	
Sprungur eru færri en 10 eða fáar stórar	<b>2</b>	
Sprungur eru fleiri en 10 en þó litlar	<b>3</b>	
Mjög margar stórar samfelldar sprungur	<b>4</b>	
Mjög margar stórar sprungur og holdið losnar mjög auðveldlega frá	<b>5</b>	

<b>4. Blóðblettir (mar)</b>		
<i>Lýsing</i>	<i>Einkunn</i>	<i>Dæmi</i>
Engir blóðblettir	<b>0</b>	
Fáir litlir blóðblettir, minni en 5.	<b>1</b>	
Mjög stórir blóðblettir eða margir litlir blóðblettir, fleiri en 5	<b>2</b>	
<b>5. Lífhimna</b>		
<i>Lýsing</i>	<i>Einkunn</i>	<i>Dæmi</i>
Sterk himna og föst fyrir	<b>0</b>	
Himnan losnar auðveldlega frá við snertingu	<b>1</b>	
Himnan er eyðilögð og upphleypt	<b>2</b>	