



Hitastigsbreytingar við vinnslu, flutning og geymslu á frosinni síld

Temperature profiles during processing, transportation and storage of frozen herring products

Magnea Karlsdóttir, Matis

Huong Thi Thu Dang, Matis, University of Iceland

María Guðjónsdóttir, University of Iceland

Ásbjörn Jónsson, Matis

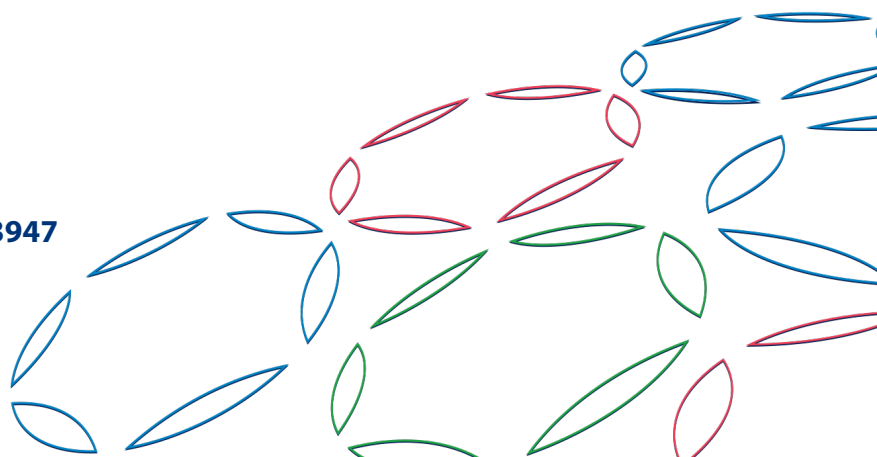
Sigurjón Arason, Matis ohf, University of Iceland

Skýrsla Matis 15-19

Ágúst 2019

ISSN 1670-7192

DOI 10.5281/zenodo.3383947



Report summary

<i>Titill / Title</i>	Hitastigsbreytingar við vinnslu, flutning og geymslu á frosinni síld / Temperature profiles during processing, transportation and storage of frozen herring products		
<i>Höfundar / Authors</i>	Magnea Karlsdóttir ¹ , Finnur Jónasson ² , Ásbjörn Jónsson, Sigurjón Arason ^{1,2} ¹ Matís ohf.; ² Háskóli Íslands		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	15-19	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Ágúst 2019
<i>Verknr. / Project no.</i>	2283		
<i>Styrktaraðilar /Funding:</i>	AVS R&D Fund (R 069-14)		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Markmið verkefnisins var að hámarka einsleit gæði og verðmæti íslenskra síldarafurða. Gæði og stöðugleiki síldarafurða í frosti eftir árstíðum og áhrif mismunandi forkælingar, frystingar og geymsluaðstæðna voru könnuð. Niðurstöður munu ekki bara leiða af sér minni gæðarýrnun sem verður vegna geymslu og flutninga, heldur einnig að auka skilning á tengslum milli afurðagalla og þeirra áhrif sem hráefnið verður fyrir frá veiðum og út á markað. Niðurstöður verkefnisins sýndu að frýstar síldarafurðir voru ekki að fá nauðsynlega kælingu gegnum allt ferlið, frá framleiðslu til enda útflutnings, og í sumum tilvikum voru frávik of mikil. Frostgeymslan á Íslandi var til fyrirmyndar, og öll brettin sem komu þaðan út voru geymd við rétt hitastig. Vandamálið var að eftir að þau voru tekin úr frostgeymslunni hér á landi fengu þau aldrei aftur þá kælingu sem nauðsynleg var til þess að viðhalda lágu hitastigi. Erfitt er að koma í veg fyrir hitaálag við útflutning á frosinni afurð. Niðurstöður verkefnisins sýndu að hitastigið í frystiskipinu var nokkuð stöðugt á meðan siglingunni stóð. Niðurstöður verkefnisins gáfu einnig til kynna að einnig er þörf á úrbótum í frostgeymslunni í Póllandi, þar sem hitastigi í frostgeymslum er hærra en á Íslandi. Flutningar með gámum kom betur út en með frystiskipunum, en sá flutningsmáti er mun dýrari.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	Hitastigsbreytingar, flutningur, geymsla, gámar, frystiskip.		

<p><i>Summary in English:</i></p>	<p>The main objective of the project was to maximize the quality and value of herring products. Quality and stability of frozen herring products seasonally and impact of pre-cooling, freezing and storage condition were explored. The results will not only lead to a less decrease in quality due to storage and transportation, but also increase understanding on connection between product defect and their influence on the raw material from catch to market. The results showed that frozen herring products didn't get enough cooling through the process, from production to export, and in some cases the variation was too much. The freezing plant in Iceland was good, and all the pallets were kept at right temperature. The problem is, when they were taken out of the freezing storage in Iceland, the cooling was not sufficient, which was necessary to maintain low temperature. It is difficult to prevent heat stress when exporting frozen product.</p> <p>The results of the project indicated that the temperature in freezing trawls was stable during the sailing. Also the results indicated that it is a need for improvements in the freezing plant in Poland, where the temperature in freezing storage is higher compared to Iceland. Transportation in containers was much better than in freezing trawlers, but much more expensive.</p>
<p><i>English keywords:</i></p>	<p>Temperature variation, transport, storage, containers, freezing trawlers.</p>

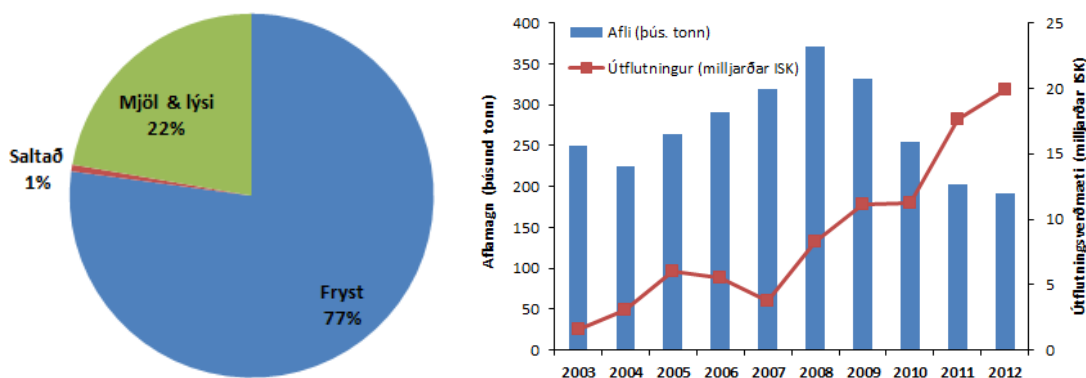
TABLE OF CONTENTS

1	Inngangur.....	5
1.1	Atlantshafs síld (Clupea harengus)	6
1.2	Áhrif frystingar og hitastigs.....	7
1.3	Kælikeðjan	9
1.4	Varmaflutningur	13
2	Markmið	14
3	Framkvæmd.....	14
3.1	Hráefni	15
3.2	Landvinnsla	16
3.3	Sjófrakt með frystiskipi	17
3.4	Frystigámur	18
3.5	Orkunotkun kælikerfa.....	19
4	Niðurstöður og umræður	21
4.1	Landvinnsla á síldarflökum	21
4.2	Sjófrakt með frystiskipi	23
4.3	Flutningur með frystigám	34
5	Samantekt og ályktanir	37
6	Þakkir	37
7	Heimildir	38

1 INNGANGUR

Fiskveiðar er ein elsta atvinnugrein Íslendinga og þær hafa færð okkur gríðarlega fjármuni sem hafa hjálpað okkur að byggja upp það þjóðfélag sem við þekkjum í dag. Fiskiðnaðurinn hefur þróast gríðarlega hratt á síðustu árum þar sem krafan um betri gæði er alltaf að aukast. Nútíma matvælavinnsla krefst stöðugs hráefnis en það hefur í för með sér að auka þarf þekkingu og skilning á eðlis- og efnaeiginleikum hráefnisins og þeim breytingum sem eiga sér stað við frumvinnslu og geymslu. Kröfur vinnslufyrirtækja eru að gæði hráefnis séu ætíð jöfn þannig að unnt sé að bjóða neytendum upp á stöðug matvæli allan ársins hring.

Íslenskur sjávarútvegur hefur skapað sér mikla reynslu og þekkingu við veiðar, vinnslu og markaðssetningu á síld. Talsverð útflutningsverðmæti hafa skapast af frystum síldarafurðum síðastliðin ár (Mynd 1), en árið 2012 voru landfryst síldarflök í sjöunda sæti yfir verðmætustu afurðarflokkana (Hjaltason, 2013). Sú aukning sem á sér stað upp úr 2008 verður að mestu til vegna aukinnar eftirspurnar frá mörkuðum, en einnig spilar þar inn í t.d. hrun á öðrum fiskstofnum eins og hesta makríl (horse mackerel). Þrátt fyrir þessa jákvæðu þróun síðastliðin ár, þá er staða framleiðanda farin að harðna töluvert á mörkuðum, þar sem gæðakröfur kaupenda eru sífelld að aukast.



Mynd 1. Til vinstri: Hlutfallsleg skipting þeirra síldarafurða sem flutt voru út árið 2012. Til hægri: Aflamagn og útflutningsverðmæti frystra síldarafurða á árunum 2003-2012. (Heimild: Hagstofa Íslands).

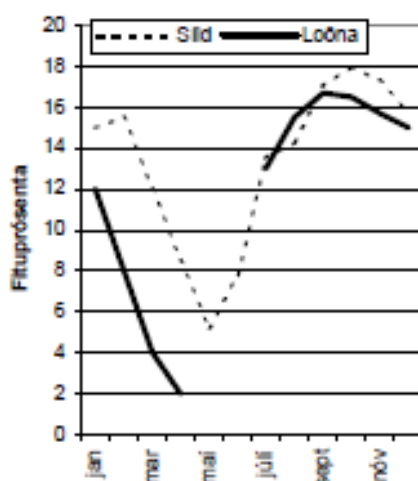
Ferlið frá veiðum til kaupanda getur verið langt þar sem margir þættir geta haft áhrif á gæði og stöðugleika afurða. Með hnattvæðingu hefur vegalengd milli landa orðið minna vandamál en áður fyrr, en þrátt fyrir það er þessi vegalengd mikilvæg þegar flytja þarf viðkvæmar afurðir sem hafa takmarkað geymsluþol. Því lengri og flóknari sem virðisikeðjan er, því meiri líkur eru á að varan skemmist eða verði

fyrir hnjaski á leiðinni. Tafir í ferli eða veikir punktar geta haft gríðarleg áhrif á gæði afurða þar sem hitasveiflur í flutningsferlinu, sem og í geymslu, hafa neikvæð áhrif á geymsluþol matvæla. Geymsluþol afurðar er ekki hægt að bæta heldur er aðeins hægt að viðhalda gæðunum. Því er nauðsynlegt að leggja áherslu á góða vörustjórnun strax frá veiðum og halda markvissri ferlavöktun í gegnum allt ferlið. Þetta á sérstaklega við um frysta síld þar sem fita í vöðvum hennar er viðkvæm fyrir þránun, ef ekki er haldið réttu og stöðugu hitastigi.

Til þess að standast vaxandi kröfur neytenda og hámarka aflaverðmæti á frystri síld þarf að kanna þá þætti sem hafa áhrif á gæði síldar og fá yfirlit yfir þá ferla sem eiga sér stað í dag

1.1 Atlantshafs síld (*Clupea harengus*)

Síld er uppsjávarfiskur sem hægt er að finna um öll höf og eru til yfir 15 tegundir af síld. Algengasta tegundin er Atlantshafs síldin (An, 2008) sem finnst beggja vegna Norður-Atlantshafsins. Síld er skilgreind sem feitur fiskur en hún safnar holdfitu en ekki lifrarfitu líkt og magur fiskur gerir (Stevenson & Scott, 2005). Fituinnihald vöðvans er mjög breytilegt eftir árstíma. Á hrygningartímabili notar síldin fituforðann til að næra sig, til æxlunar og hrygningar. Meðalfituinnihald hjá sumargotssíldinni sem veiðist við Ísland er yfirleitt með fituinnihald undir 20% (Mynd 2). Vorgotssíldin sem hrygnir við strendur Noregs er feitari og er meðalfituinnihald hennar í kringum 25% þegar hún er veidd. Til þess að síld sé hæf til vinnslu þarf hún að hafa fituinnihald yfir 12%. Sumargotssíldin er því ekki veidd fyrr en í september en vorgotssíldin hrygnir fyrr á árinu og er því byrjað að veiða hana í júlí (Gunnarsson, 2001).



Mynd 2. Meðalfituinnihald sumargotssíldar og loönu (Gunnarsson, 2001).

1.2 Áhrif frystingar og hitastigs

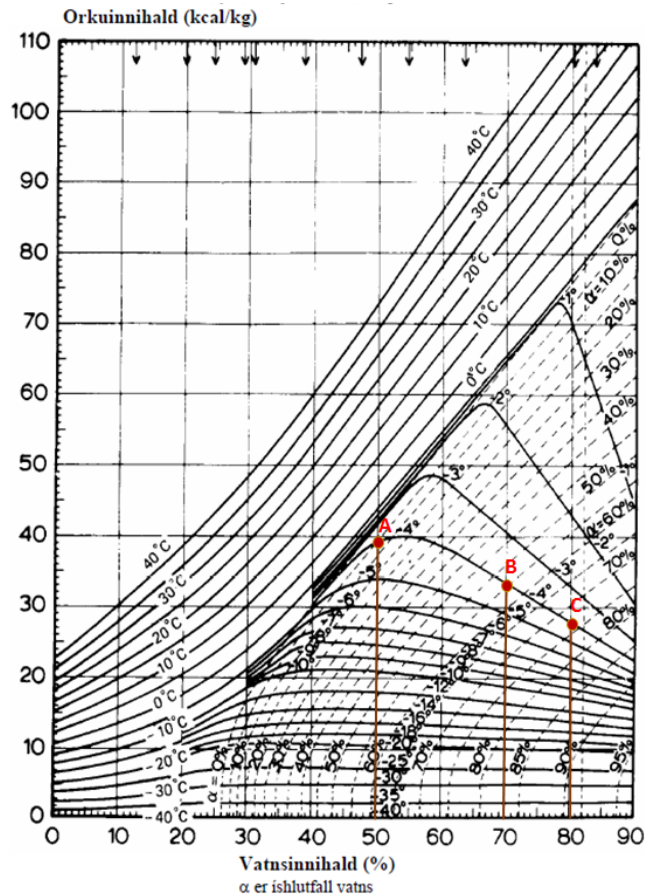
Frysting er algengasta geymsluaðferðin í matvælaíðnaði. Við frystingu er örveruvöxtur heftur og hægt er á ensímvirkni og efnahvörfum. Frysting stoppar hins vegar ekki algjörlega efnahvörf og breytingar sem verða á matvælum við frystigeymslu, sérstaklega í feitum matvælum eins og síld. Fyrir utan þráabragð og lykt hefur þránun á fitu neikvæð áhrif á matvæli, sérstaklega áferð þeirra sem veldur því að matvælin verða þurr og seig. Þrátt fyrir góðan árangur í vinnslu síldar til manneldis eru enn þó nokkrar hindranir í veginum sem lúta að framleiðslu á frystum síldarafurðum, þar sem geymsluþol hennar virðist vera tiltölulega stutt.

Síld er mjög góð uppspretta af ómega-3 fjölómettuðum fitusýrum (Hamre *et al.*, 2003b), sem gerir hana mjög mikilvæga út frá sjónarmiðum heilsuverndar. Á móti er hún mjög óstöðug í frosti og hefur þ.a.l. stutt geymsluþol (allt að 3 mánuðir við -18 °C). Rannsóknir á síld hafa sýnt mikla þráahvatavirkni í fiskholdinu (Undeland *et al.*, 1998a) og þar af leiðandi mikið gæðatap í frosti (Undeland *et al.* 1998b) og áframhaldandi vinnslu (Zotos. *et al.*, 1995). Rannsóknir hafa gefið til kynna að frosin síldarflök geymd við -18 °C hafi að hámarki 14 vikna geymsluþol (Hamre *et al.*, 2003) og allt að 9 mánaða geymsluþol ef geymt við -24 °C (Geirsdóttir, 2003). Niðurbrot fitu eru megin ástæðan fyrir lélegu geymsluþoli feitra fiska vegna stighækkandi þránunar og ensímatískra niðurbrota á fjölómettuðum fitusýrum en hlutfall lífsnauðsynlegra fitusýra rýrna mikið með 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).

Gæðum fisks er aðeins hægt að viðhalda en ekki bæta. Ef meðhöndlun hráefnis er slæm í byrjun vinnsluferils er ekki hægt að bæta þau gæði sem glatast. Þess vegna er mikilvægt að hitastigið í vörunni haldist stöðugt gegnum alla virðiskeðjuna til að viðhalda gæðum og auka þ.a.l. geymsluþol afurða (Ghaly *et al.*, 2010).

Fiskur hefur ekkert sérstakt frostmark. Þegar fiskur er kældur er varmi fjarlægður úr honum og vatnið í vöðvanum byrjar að kristallast. Eftir því sem stærra hlutfall af vöðvanum er frosið þarf meiri orku til að fjarlægja vatnið sem eftir er. Það er vegna þess að styrkurinn af salti og öðrum efnasamböndum eykst í ófrosna vatninu sem lækkar frostmark þess (Johnston *et al.*, 1994). Afurð er talin frosin þegar 50% af vatninu er frosið en það hitastig er háð efnasamsetningu afurðar. Á Mynd 3 er hægt að sjá hlutfallið á frosnu vatni að gefnu vatnsinnihaldi afurðar og hitastig. Við -4 °C er 75% af vatninu frosið í þorski, sem er magur fiskur með um 80% vatnsinnihald, en aðeins 55% af vatnsinnihaldinu er frosið í

síld við sama hitastig. Til þess að frysta jafn mikið vatn þarf því hitastig síldar að vera -10°C . Erfiðara er að geyma makríl þar sem hann hefur aðeins 50% vatnsinnihald þegar hann veiðist innan íslenskrar lögsögu sem gerir það að verkum að aðeins 6% af vatninu er frosið við -4°C . Þessi mismunur veldur því að feitur fiskur er mun viðkvæmari fyrir hitasveiflum og dýrara er að flytja og geyma þá afurð þar sem þörf er á meiri kælingu og betri stýringu.



Mynd 3. : Graf sem sýnir varmaorku hvers kg af afurð að gefnu hitastigi og vatnsinnihaldi. Mismunandi tegundir merktar inn við -4°C : Makrill (A), síld (B) og þorskur (C).

Almennt er ekki þörf á því að fara neðar en -25°C þar sem natríum klóríð myndar ískristala við $-21,6^{\circ}\text{C}$ og er ekki lengur uppleyst og þar af leiðandi hægist mikið á öllum skemmdarhvörfum (Arason & Ásgeirsson, 1984). Reynt er að hafa hraða frystingu til þess að lágmarka skemmdareinkenni sem ensím, þránun og bakteríur valda en ekki það hraðann að það rýri gæði afurðar. Með því að kæla afurðina hratt niður myndast smáir ískristallar í vöðvanum og helst lögun fiskvöðans næstum óbreytt. Ef frystihraðinn er hægur streymir hluti vatns út úr frumunum og myndar ískristala á milli frumanna. Við þetta verða til stórir ískristalar sem skemma frumuveggi og afmynda prótein. Þetta getur flýtt fyrir

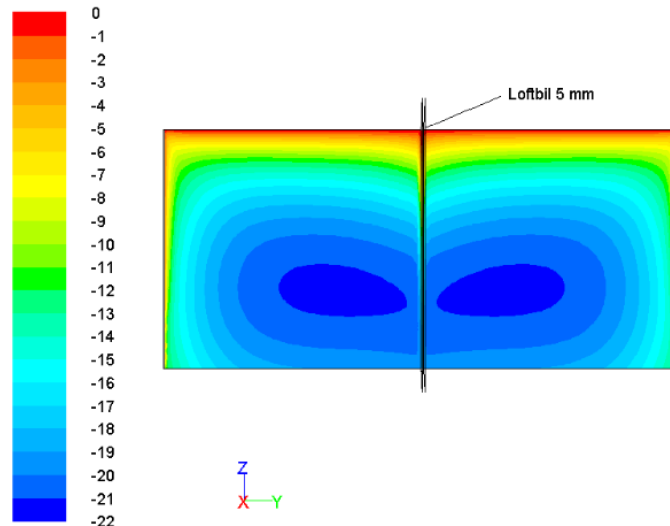
óæskilegum efnabreytingum sem hafa áhrif á gæði afurðar. Hæg ískristalsmyndum hefur einnig áhrif á vatnsbindieiginleika fiskholdsins þar sem mýósín, sem er eitt af megin vöðvapróteinunum, afmyndast. Þegar afurð sem hefur stóra ískristalla þiðnar missir hún mikinn vökva, það kallast drip og rýrir það bragðgæði og nýtingu (Arason & Stefánsson, 1999).

1.3 Kælikeðjan

Kælikeðjan er gríðarlega mikilvægur hlekkur í heildarferli vöru, frá framleiðslu til viðskiptavinar, en kælikeðjan er birgðakeðja þar sem hitastigi er stjórnað til þess að viðhalda gæðum vörunnar. Geymslupól vöru er mjög háð hitastigi í flutningi og því er mikilvægt að vera meðvitaður um hvernig hitaferlar í flutningi eru, sérstaklega í lengri flutningum, t.d. á erlenda markaði. Nýleg rannsókn á gæðum og stöðugleika frosinna síldarflaka sýndi að geymslupól afurðarinnar rýrist töluvert ef hún er geymd við óstöðugt hitastig, þó það sé ekki nema í stuttan tíma (Dang *et al.*, 2017). Það er því nauðsynlegt að fyrirtæki hafi gott eftirlit með kælikeðjunni og tryggi að afurðin sé alltaf geymd við rétt hitastig og að hitastigsveiflur séu lágmarkaðar í ferlinu. Kæling getur aðeins viðhaldið gæðum afurðarinnar en ekki bætt hana og því er mikilvægt að halda keðjunni óbrotinni frá veiðum til neytanda.

1.3.1 Hitastigsbreytingar í frosinni afurð á bretti

Þegar afurð er flutt og geymd á bretti er mismunandi hvernig hitasveiflurnar verða eftir staðsetningu hennar á brettinu. Þar sem varminn kemur frá ytra umhverfi í vöruna, verður mesta hitaálagið við yfirborðið. Á hornunum á brettinu þar sem þrjár hliðar mætast verður því mesta hitaálagið á meðan miðjan á brettinu verður fyrir minnstu hitasveiflunum (Margeirsson *et al.*, 2009; Moureh & Derens, 2000; Löndahl, 1977). Rannsókn Margeirsson *et al.*, (2009) þar sem bretti af grálúðu var látið standa í 12 °C umhverfishita til þess að líkja eftir því þegar bretti bíða við hafnarbakkann við útskipun og uppskipun, sýndi greinilega hvað ysta lagið á brettinu verður fyrir miklum hitastigbreytingum á meðan miðjan á brettinu viðheldur upphaflega hitastiginu lengur (Mynd 4).



Mynd 4. Hitastigsdreifing (°C) í lóðréttu þversniði gegnum miðju grálúðustafla eftir 3 klukkustundir af hitaálagi. Upphaflegur vöruhiti var -22,5 °C (Margeirsson o.fl., 2009).

Sambærilegar niðurstöður hafa fengist m.a. fyrir frosið spínat (Löndahl, 1977). Þessar tilraunir sýna hversu fljót varan er að hitna á tilteknum stöðum á brettinu ef hún er ekki meðhöndluð rétt. Ef brettið stendur út í rigningu eða sól verða þessar hitasveiflur meiri þar sem vatn hefur hærra varmaleiðni en loft og varmageislun frá sólinni á sér einnig stað. Þegar hitastig í ferlum er mælt er því nauðsynlegt að setja hitanema á veikustu staði brettisins til að tryggja að öll varan á brettinu fylgi þeim gæðakröfum sem lofað er.

1.3.2 Frostgeymsla

Gæði afurðar fyrir frystingu hefur mikil áhrif á geymsluþol hennar en helstu breytingarnar verða í frostgeymslunni þar sem hún er oft geymd í langan tíma. Þar skiptir hitastig miklu máli. Frostgeymslur eru ekki hannaðar til þess að kæla afurð heldur til þess að viðhalda jöfnu hitastigi. Ef afurð sem hefur of hátt hitastig er sett inn í frostgeymslu getur það tekið langan tíma að ná hitastiginu í afurðinni niður. Geymsluþol afurðar getur því verið skert til muna við of hátt hitastig í nokkurn tíma en einnig er hættu að stórir ískristallar myndist þar sem um er að ræða hæga frystingu (Arason & Ásgeirsson, 1984).

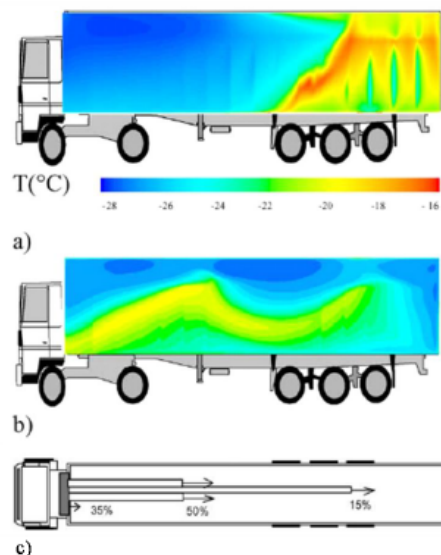
Þegar hanna á frostgeymslu þarf að gera sér grein fyrir þeim varma sem þarf að fjarlægja á tiltekinni tímaeiningu. Sá varmi sem fjarlægja þarf er fræðilega séð nær eingöngu vegna umhverfispáttu. Helstu varmatöpin eru:

- Varmatap í gegnum gólf, vegg og loft.
- Varmatap vegna loftskipta.
- Varmi frá mótorum, fólki og lífrænum efnahvörfum.

Er þá gert ráð fyrir að afurð komi inn við rétt hitastig. Því er nauðsynlegt að athuga ferilinn og mæla hitastig afurðar áður en hún fer inn í frostgeymsluna og frostgeymsluna sjálfa til þess að hægt sé að stilla frostgeymsluna rétt. Eftirsótt hitastig vöru fer síðan eftir efna- og eðliseiginleikum afurðarinnar.

1.3.3 Frystigámur

Flutningar með gámum er mikilvægur hlekkur í kælikeðjunni og hafa þeir verið rannsakaðir í þaula. Rannsóknir hafa sýnt að ójöfn kæling á sér stað eftir því hvar afurð er staðsett í gámnum (Tanner & Amos, 2003; Moureh & Flick, 2004). Loftstreymið á erfitt með að komast út í enda gámsins hjá hurðinni og getur þ.a.l. ekki myndað góða loftringrás. Mesta hitaálagið er því í enda gámsins og við veggina vegna varmastreymis frá ytra umhverfi (Mynd 5).



Mynd 5. Hitastigsdreifing í frystigámi fyrir og eftir að loftrásur var komið fyrir til að bæta loftstreymi (Moureh & Flick, 2004).

Mismunandi uppraðanir breyta á gáma hefur ekki teljanleg áhrif á loftstreymi í gámum (Montsman *et al.*, 2011). Tilraunir sýndu þó að ójöfn kæling fékkst í gámnum. Líkt og í fyrrnefndum rannsóknum var hitaálagið mest við hurð og með veggjum. Lofthraðinn var mjög lítill 6 metrum frá kælikerfinu og myndaðist því ekki nægileg loftringrás inni í gámnum (Moureh & Flick, 2004). Montsman *et al.* (2011) prófuðu því að loka fyrir fyrstu 6 metrana á T-laga gólfinu til þess að þvinga loftflæðið út í enda gámsins auk þess að hafa rifurnar næst veggjum opnar til þess að vinna gegn varmaflutningi í gegnum veggina. Með þessu móti var hægt að fá fram jafnari hitastigsdreifingu í gámnum (Montsman *et al.*, 2011).

Varmaleiðni í gegnum vegg gámsins hefur einnig mjög mikil áhrif á hitastigið inni í honum. Með tímanum versnar einangrunin bæði vegna aldurs og ytri þátta eins og meðhöndlunar og veðurs. Rannsókn sýndi að tveggja ára gamall gámur hafði einangrunarstuðul $46 \text{ W/}^\circ\text{C}$ á meðan fjögurra ára gamall gámur hafði 20% hærri stuðull eða $55 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (Montsman *et al.*, 2011). Þessi munur gæti valdið því að hitastigið inni í gámnum verður hærra en ætlast er til, eða að orkukostnaðurinn verði hærri þar sem kælikerfið þarf að fjarlægja meiri varma.

1.3.4 Flutningaskip

Frystiskip, í almennu tali kallaðir tramparar, eru stór flutningaskip þar sem bretti eru ekki sett fyrst í gám heldur eru þau geymd í stórum frostgeymslum í skipinu sem kallaðar eru lestar (Mynd 6). Þessar geymslur eru stórar og eru þessi skip byggð til þess að flytja yfir 2500 tonn af afurðum. Hættan hér er að loftringrásin verði ekki nægilega góð vegna stærðar líkt og gerist í frystigámum, og að ójafnt hitastig verði í lestinni. Þegar verið er að landa afurð getur ferlið tekið einn til tvo daga þar sem bretti eru tekin upp tvö í einu gegnum hlera efst í hverri lest. Þegar tramparar koma að landi er slökkt á kælikerfinu til þess að starfsfólk geti unnið niðri í lestinni. Sól og rigning kemst inn um hlerann þegar hann er opnaður og hitastigið í lestinni hækkar. Algengt er að bretti standi í stutta stund út á hafnarbakkanum þegar þeim er skipað út og landað, en þessi tími getur farið upp í 20-30 mínútur. Umhverfishitinn skiptir því miklu máli þegar afurðin er flutt þar sem varmaflutningurinn í gegnum veggina og inn um hlera, þegar þeir eru opnir getur valdið hitaálagi. Því skiptir máli hvenær á árinu flutningarnir eiga sér stað. Frystiskip hafa lítið verið rannsökuð, en mikil þörf er á því þar sem þau flytja mikil verðmæti á milli landa.



a)



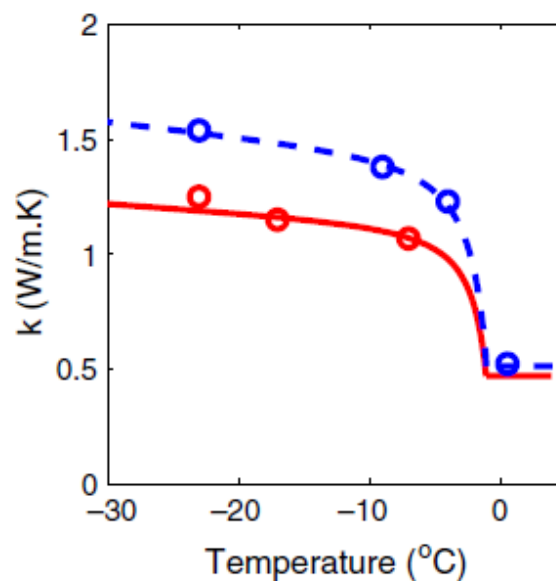
b)

Mynd 6. a) Frystiskip b) Inni í einni af fjórum lestum frystiskipsins.

1.4 Varmaflutningur

Varmaflutningur getur átt sér stað með varmaleiðni, varmaburði og varmageislun. Varmaleiðni er þegar varmaorka fer milli fastra efna með snertingu, varmaburður er þegar varmaorka berst með vökva eða gasi og varmageislun er þegar varmaorka berst með geislum sem geta farið í gegnum tómarúm, t.d. varmi frá sólinni. Með varmaleiðni og varmaburði fer varmaorkan frá heitari hlut til þess kaldari. Varmaburðarstuðull segir til um eiginleika efnis til þess að bera varma og er hann mismunandi eftir efni og hitastigi þess. Ef efni hefur háan varmaburðarstuðull ber það varmann hratt og ef hann er lágur þá ber efnið varman hægt (Çengel & Boles, 2001).

Við flutninga á frosnum fisk er helsta áskorunin að lágmarka varmaflutning yfir í vöruna. Varmaflutningur er meira vandamál þegar verið er að flytja frosna afurð samanborið við ferska afurð þar sem varmaleiðni frosinnar afurðar er meira en tvöfalt hærri en hjá ferskri afurð sem veldur því að varminn berst mun hraðar í gegnum vöruna og því verða hitastigssveiflur meira vandamál (Sman, 2008). Varmaleiðni fersk fisks er $0,46 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ á meðan fiskur við $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hefur varmaleiðni $1,22 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$. Auk þessa þá er hitastigsmunurinn á milli afurðar og umhverfis mun meiri þegar verið er að flytja frosna afurð sem veldur því að varmaflutningurinn verður hraðari. Efnasamsetning afurðar hefur einnig áhrif á varmaleiðni hennar. Rannsóknir hafa sýnt að afurð með hátt vatnsinnihald hefur hærri varmaleiðni en afurð með lægra vatnsinnihald sbr. þorsk og lax, en Mynd 7 sýnir varmaleiðni hjá þorski og laxi við mismunandi hitastig.



Mynd 7. Varmaleiðni hjá þorski (blá lína) og laxi (rauð lína) við mismunandi hitastig (Sman, 2008).

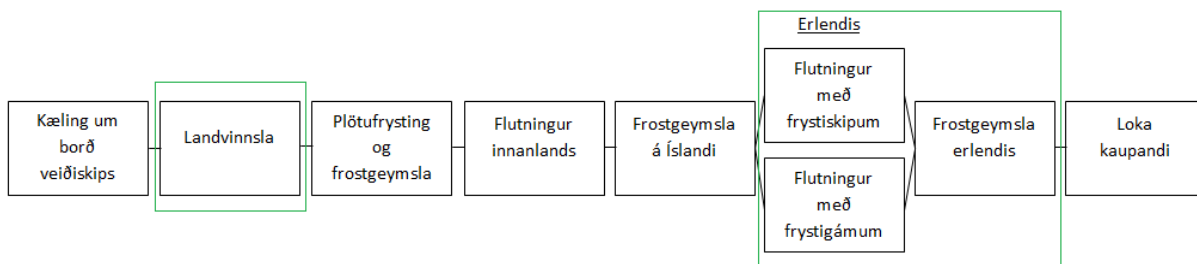
2 MARKMIÐ

Kaupendur og neytendur eru sífellt að herða kröfur hvað varðar gæði og stöðugleika frosinna sjávarafurða. Hitastig er einn lykilþátturinn sem hefur áhrif á gæði og geymsluþol afurða, og því er nauðsynlegt að taka út stöðuna eins og hún er í dag, þ.e. að kortleggja hitastigsferil síldar í gegnum kælikeðjuna. Megin markmið þessa verkefnis var því að mæla hitastigsferil við flutning blokkfrystra síldarflaka frá Íslandi til Póllands, bæði með frystiskipum og gámaskipum. Flutningar með stórum frystiskipum, sem almennt eru kallaðir „tramparar“ hafa lítið verið rannsakaðir og hefur því verið haldið fram að þau séu veiki hlekkurinn í kælikeðjunni.

Eins og vitað er þá er aðeins hægt að viðhalda upphaflegum gæðum en ekki bæta. Ef illa er farið með afurð í byrjun er ekki hægt að bæta þau gæði sem glötuðust fyrr í ferlinu. Annað markmið verkefnisins var því að skoða hitastigsferil síldar við vinnslu, þ.e. frá löndun og þar til hún hefur verið fryst. Mælingar voru gerðar þegar afli frá 3600 tonna nóta- og togveiðiskipi fór í gegnum vinnsluna þar sem rannsakað var hvar í ferlinu síldin verður fyrir mesta hitastigsálaginu.

3 FRAMKVÆMD

Verkefnið takmarkast við landvinnslu hér á Íslandi og flutningum frá frostgeymslu í Reykjavík yfir í frostgeymslu erlendis með bæði frystiskipum og frystigámum. Ekki voru gerðar mælingar í tönkum skipsins á meðan á veiðum stóð heldur var landvinnslan mæld sem byrjar á því að aflanum er dælt upp úr skipinu. Mælingum á landvinnslu líkur áður en afurð er plötufryst og sett í frostgeymslu. Flutningur og frostgeymsla hér á landi er ekki mæld en mælingar byrja aftur þegar afurð er tekin úr frostgeymslunni hér á landi og send erlendis. Frostgeymslan í Póllandi er mæld, en þar sem brettunum er skipt upp í Póllandi og afurð send á marga mismunandi staði er flutningar til endalegs kaupanda ekki mældir. Á Mynd 8 má sjá einfalt yfirlit fyrir virðisikeðju blokkfrystrar síldar og umfang verkefnis merkt með grænum kössum. Verkefnið afmarkast við hitastigsmælingar á afurð í gegnum ferlið og tap á gæðum metið út frá rannsóknum sem hafa verið gerðar á geymsluþoli síldar.



Mynd 8. Einfalt yfirlit fyrir virðiskeðju blokkfrystrar síldar. Umfang verkefnis er afmarkað með grænum kössum.

3.1 Hráefni

Hráefni rannsóknarinnar voru blokkfryst síldarflök (*Clupea harengus*). Síldarblokkinn var fryst í plötufrystir. Stærð blokkar og fjöldi blokka á bretti er breytilegur en í þessari tilraun var hver blokk 59 cm á lengd, 39 cm á breidd, 6,3 cm á hæð og umvafin lituðu plasti sem hindrar varmaflutning. Raðað var 60 blokkum á hvert bretti sem jafngildir 800 kg af afurð. Kringum brettið var síðan settur bylgjupappír en hann hefur varmaleiðni 0,21 W/mK sem er sexfalt lægri en varmaleiðni síldar við -25 °C (Sman, 2008) og er hann notaður til að verja afurð fyrir varma. Því næst voru sett plastbönd og filmuplast til að hindra vöruna frá því að falla af brettinu, en plastfilman hjálpar einnig til við að hindra varmaflutning. Mynd 9 sýnir eitt af brettunum sem fylgt var eftir í flutningsmælingunum. Þar sem afurðin er frosin og ekki var hægt að koma fyrir hitanemum inni í blokkunum var ákveðið að klemma hitanema inn á milli tveggja blokka. Þar sem blokkirnar eru mjög þéttar gefur það svipaðar niðurstöður og ef neminn væri inni í sjálfri blokkinni.

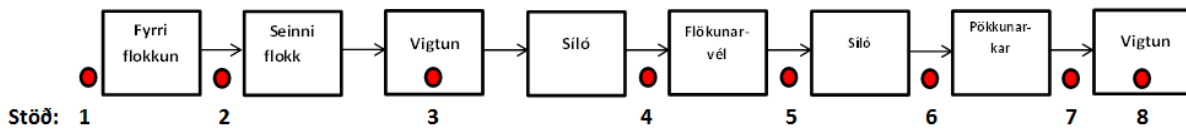


Mynd 9. Eitt af brettunum sem fylgt var eftir í hitastigmælingunum.

Hitastigmælingar fyrir bretti voru gerðar með LogTag Trix-16 nemum. Nemarnir eru 86 mm á hæð 54,5 mm á breidd og 8,6 mm á þykkt. Nemarnir eru í laginu eins og kreditkort og því auðvelt að koma þeim fyrir milli blokka og ekki of litlir til þess að tynast í flutningum. Hægt er að mæla 16159 gildi eða 32 kb minni. Nemarnir hafa 0,1 °C upplausn og $\pm 0,8$ við -40 °C til $+80$ °C.

3.2 Landvinnsla

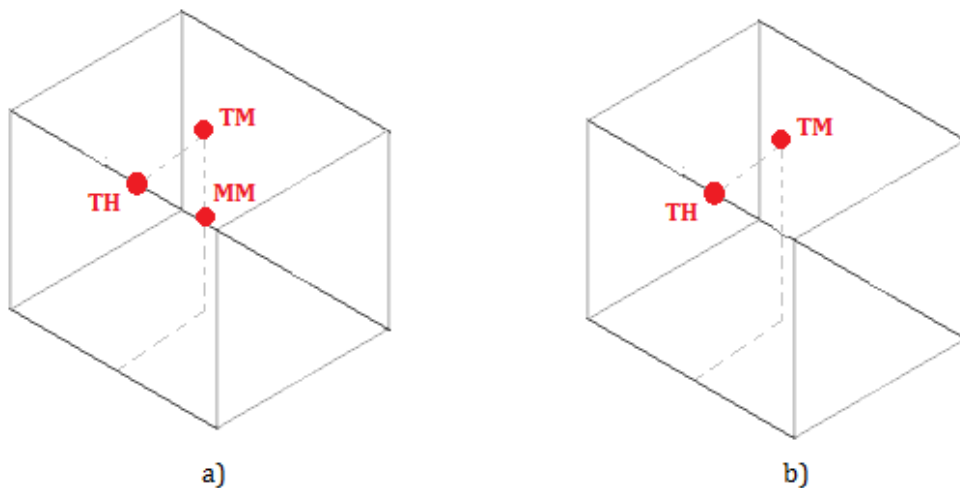
Mælingar í landvinnslu fóru fram í október 2014 á afla frá 3600 tonna nóta- og togveiðiskipi. Vinnslunni má skipta upp í átta stöðvar (Mynd 10). Hitastigið var mælt með hitamæli sem stungið var í holdið á síldinni og var þetta gert á átta stöðvum í vinnslunni. Teknar voru 6 mælingar á hverri stöð. Út frá þessum mælingum var hægt að sjá hitaálagið sem síldin varð fyrir eftir hverja stöð og hvar mestu hitastigsbreytingarnar voru.



Mynd 10. Yfirlit yfir landvinnslu þar sem staðsetning mælinga er merkt með rauðum punktum.

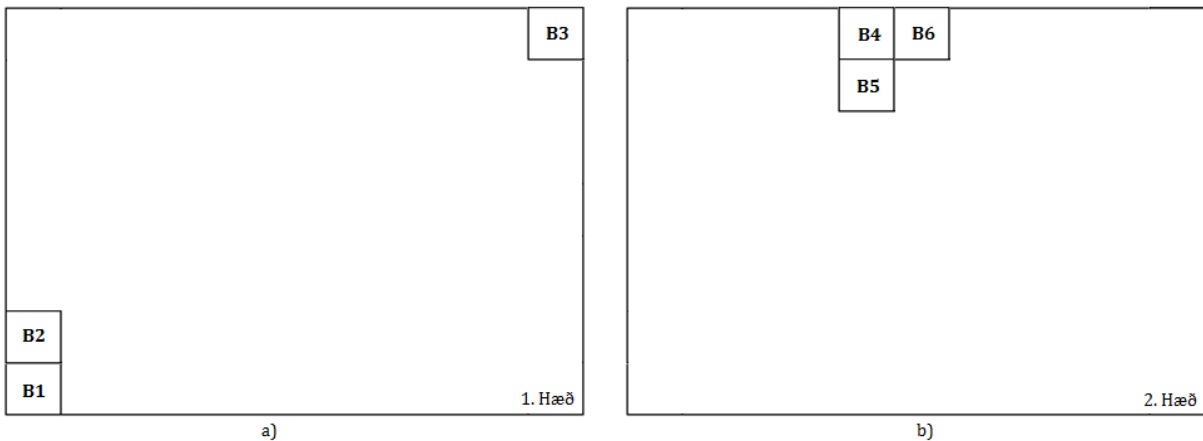
3.3 Sjófrakt með frystiskipi

Framkvæmdar voru tvær hitastigsmælingar við flutning á blokkfrystum síldarflökum með frystiskipi. Fyrri mælingin fór fram í nóvember 2014 og sú seinni í nóvember 2015. Hitastignemum var komið fyrir á sex brettum í bæði skiptin (Mynd 11).

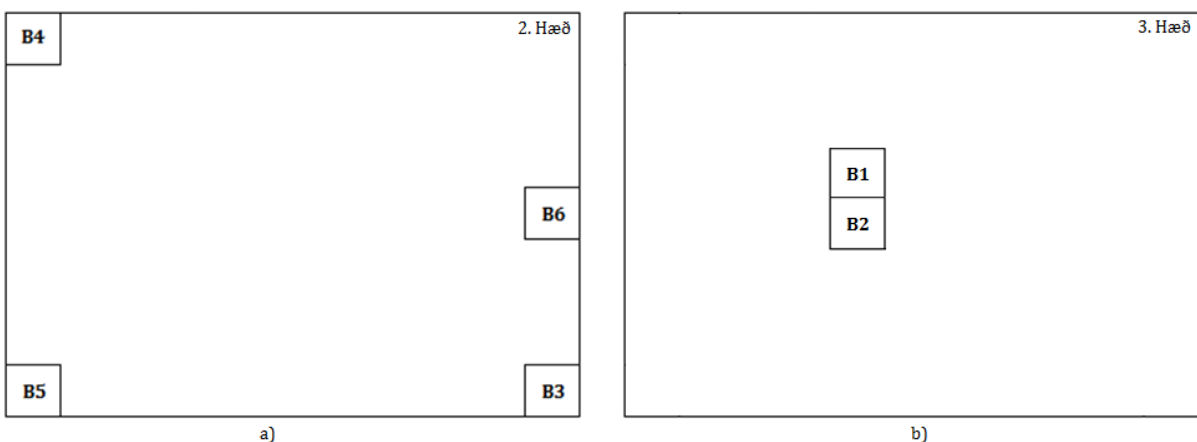


Mynd 11. Staðsetning hitanema á brettum flutt út með frystiskipi í nóvember 2014 (a) og nóvember 2015 (b). TM: topp miðja, TH: topp hlið og MM: miðja.

Brettunum var komið fyrir á mismunandi stöðum í frystiskipinu, en reynt var að velja staði þar sem talið var að mesta hættan væri á hitastigssveiflum. Voru brettin því sett út í horn og undir hlera (Mynd 13 og Mynd 14). Þessar mælingar voru gerðar til þess að fá hitastigsferil af flutningsferlinu frá frostgeymslu á Íslandi yfir í frostgeymslu í Póllandi, auk þess að sjá hvernig geymslan er eftir flutningana.



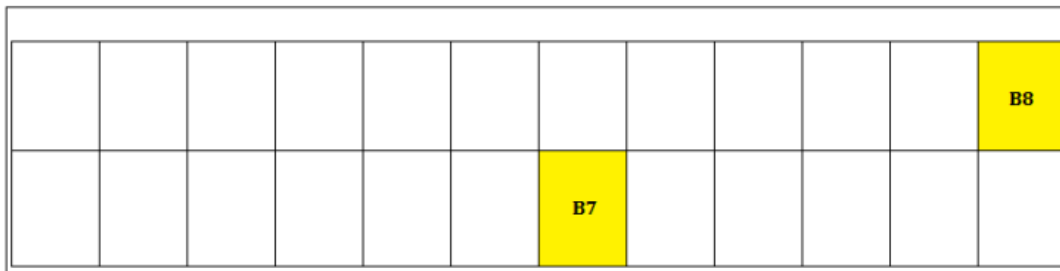
Mynd 12. Staðsetning bretta í lest frystiskips við fyrri mælingu í nóvember 2014. a) ofanvarp á 1. hæð lestarinnar og b) ofanvarp á 2. hæð lestarinnar.



Mynd 13. Staðsetning bretta í lest frystiskips við seinni mælingu í nóvember 2015. a) ofanvarp á 2. hæð lestarinnar og b) ofanvarp á 3. hæð lestarinnar.

3.4 Frystigámur

Hitastig í sjóflutningi með gámum var mælt í nóvember 2014. Hitastignemum var komið fyrir á tveimur brettum sem sett voru í frystigám sem fór frá Íslandi til Frakklands. Fyrir framan frostgeymsluna hjá framleiðanda er annað rými þar sem hægt er að koma fyrir frystigámum. Með þessu er hægt að keyra brettin beint út úr frostgeymslunni inn í gáminn án þess að setja brettin niður. Brettin eiga því ekki á hættu að standa út á hafnarbakkanum þar sem rigning og sól getur haft áhrif á hitastigið. Hitanemar voru settir út í hliðarnar og undir efstu blokkina á brettunum (Mynd 11b). Við ákvörðun á staðsetningu bretta í gámnum var horft til fyrri rannsókna (Tanner & Amos, 2003; Moureh & Flick, 2004; Montsman *et al.*, 2011). Einu bretti var komið fyrir í miðjum gámnum (Mynd 14) þar sem rannsóknir hafa sýnt að þar hægist á loftflæðinu (Moureh & Flick, 2004). Seinna brettinu var komið fyrir þar sem mesta hitaálagið verður sem er fremst í gámnum vegna fjarlægðar frá kælieiningu.



Mynd 14. Staðsetning bretta í gámi, ofanvarp á 12 metra háþekju frystigám.

3.5 Orkunotkun kælikerfa

Orkunotkun gáma, trampara og frostgeymslu eykst eftir því sem þeir þurfa að halda lægra hitastigi. Til þess að reikna þá auka orku sem þarf til að halda hitastigi T_2 í stað T_1 er notuð jafnan

$$Q = U * A * \Delta T \quad (3.1)$$

og fundið hlutfallið milli beggja tilvika þar sem

- $Q = \text{Varmaburður [W]}$
- $U = \text{Heildar varmaflutningsstuðull [W/(m}^2\text{K)]}$
- $A = \text{Flatarmál varmaflutnings [m}^2\text{]}$
- $\Delta T = \text{Hitastigsmunur milli umhverfis og rýmis verið er að kæla [K]} .$

Sömu skilyrði eru fyrir kerfin nema að hitastigið er lægra og fæst með því að finna hlutfallið milli beggja tilvika:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2}{U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \frac{(T_{\text{umhverfis}} - T_2)}{(T_{\text{umhverfis}} - T_1)} \quad (3.2)$$

sem gefur hlutfallslegan mun á orkuþörf kerfanna.

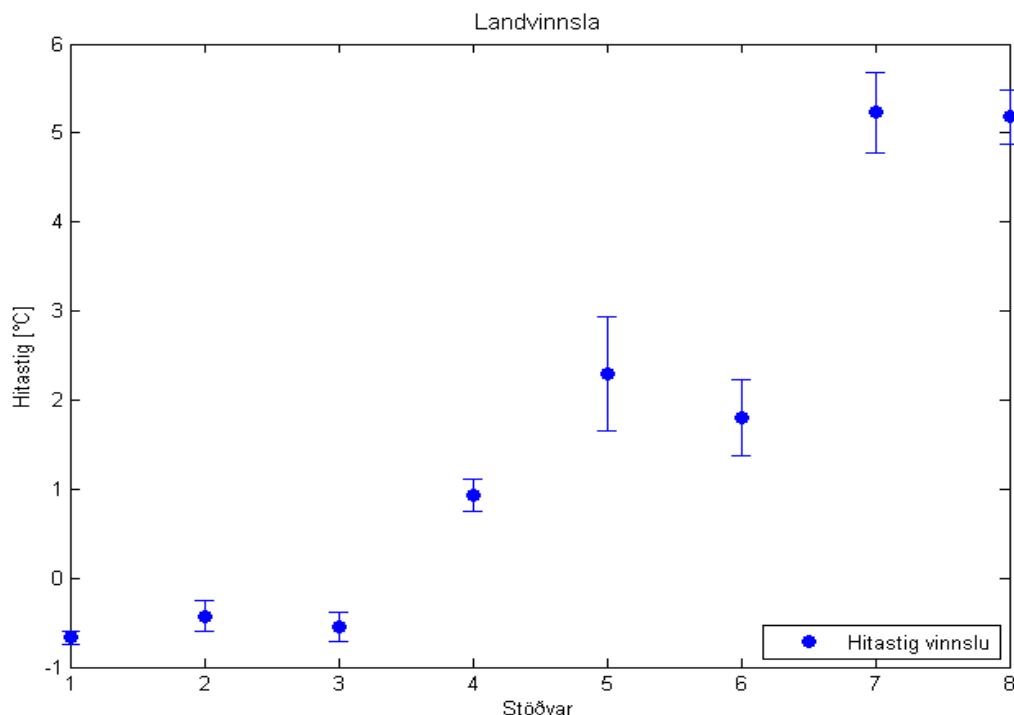
Kælieiningar nota sér ástand vinnuvökva (kælimiðils) til þess fjarlægja varma úr rými og láta hann út í umhverfið með því að hringrásu vinnuvökvanum. Hlutfallið milli varmaorkunnar sem er fjarlægð og orkunnar sem sett er inn í kerfið kallast nýtingarstuðull. Með hærri nýtingarstuðli lækkar orkukostnaðurinn sem þarf til að kæla kerfið. Stuðullinn getur verið hærri en 1 þar sem ekki er aðeins

verið að nota orku til að kæla kerfið heldur er varmanum skilað út í umhverfið sem kælir kerfið enn frekar. Kælikerfi með nýtingarstuðul = 2 fjarlægir tvöfalt meiri varma en orkan sem sett er í kerfið (Çengel & Boles, 2001; Sonntag *et al.*, 1998).

4 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐUR

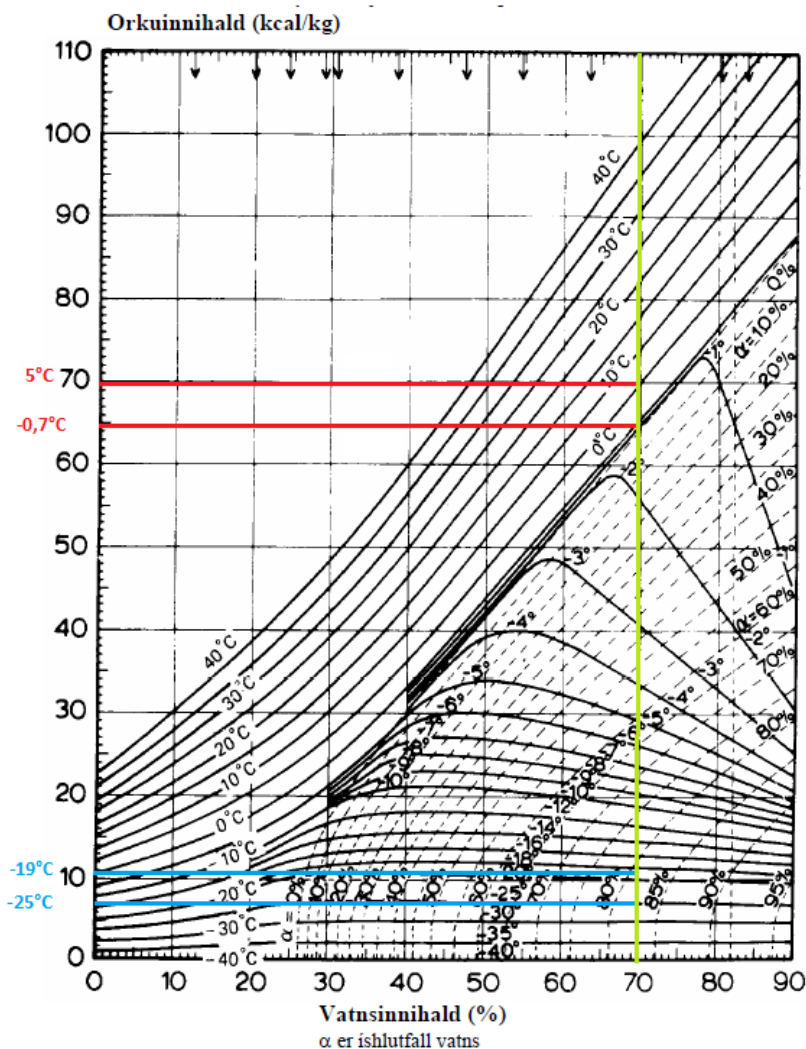
4.1 Landvinnsla á síldarflökum

Hitastigsmælingar síldar í gegnum landvinnslu sýndu að hitastigið hækkaði þrisvar sinnum (Mynd 15). Síldin kom inn í vinnsluna við $-0,7\text{ °C}$ og hækkaði hitastigið lítillega við flokkun og vigtun en hækkaði um $0,8\text{--}2\text{ °C}$ áður en hún fór í flökun. Í vinnslunni eru svokallaðir bufferar (síló fyllt af sjó) sem hafa það hlutvek að vera biðstöð síldarinnar á milli stöðva í vinnsluferlinu. Fyrsta hitastigshækkunin var á milli stöðva þrjú og fjögur en þar var fyrsta sílóíð í vinnslunni. Hitastig sjávarins í sílóinu var $3,9\text{ °C}$ og var því $4,6\text{ °C}$ hitastigsmunur á afurðinni og vökvanum sem hún var geymd í. Þegar svona mikill hitastigsmunur á sér stað verður varmaburðurinn hraður og hitastigið í afurðinni hækkar fljótt. Hitastigið tók næst stökk eftir stöð fimm sem var flökun. Þar hækkaði hitastigið að meðaltali um $1,2\text{ °C}$. Milli stöðva 6 og 7 fóru síldarflökin í annað síló fullt af sjó við $5,8\text{ °C}$ og varð afurðin aftur fyrir hitaálagi. Þar sem búið var að flaka síldina og afurðin orðin þynnri var hún fljótari að hitna og var hitastigsbreytingin að meðaltali $3,4\text{ °C}$. Þegar síldarflökin komu úr vinnslunni og fóru í plötufyrstingu voru þau að meðaltali 5 °C .



Mynd 15. Hitastigsferill síldar í gegnum landvinnslu. Hitastig aflans við löndun er $-0,7\text{ °C}$. (Stöð 1: Fyrir fyrri flokkun; Stöð 2: Fyrir seinni flokkun; Stöð 3: Vigtun; Stöð 4: Eftir fyrri síló og fyrir flökun; Stöð 5: Eftir flökun og fyrir seinna síló; Stöð 6: Eftir seinna síló og fyrir pökkunarkar; Stöð 7: Eftir pökkunarkar og Stöð 8: Vigtun. Sjá yfirlit fyrir landvinnslu á Mynd 10).

Þetta hitaálág sem síldin verður fyrir í vinnslunni hefur ekki eingöngu áhrif á gæði afurðarinnar, heldur einnig á magn þess varma sem plötufrystirinn þarf að fjarlægja úr vörinni, og þar að leiðandi eykst orkukostnaðurinn. Eðlisvarmi síldar er bæði breytilegur eftir fituinnihaldi og hitastigi. Hægt er að einfalda útreikninga fyrir þá varmaorku sem þarf að fjarlægja úr síldinni með því að nota orkugraf (Mynd 16). Með því að teikna inn hitastig afurðar fyrir og eftir vinnslu, gefið að síldin hafi 70% vatnsinnihald, er hægt að reikna út þá auka varmaorku sem þarf að fjarlægja úr afurðinni. Samkvæmt orkugrafinu þarf að fjarlægja aukalega 5 kcal/kg aukalega vegna hitaálagsins. Auka orkan sem þarf að fjarlægja þegar 500 tonna afli fer í gegnum vinnsluna er því 2.500 þús. kcal. Ef síldin yrði ekki fyrir neinu hitaálagi væri varmaorkan sem plötufrystirinn þyrfti að fjarlægja 29.000 þús. kcal. Því þarf 8,6% meiri orku við að blokkfrysta síldina vegna hitaálags.



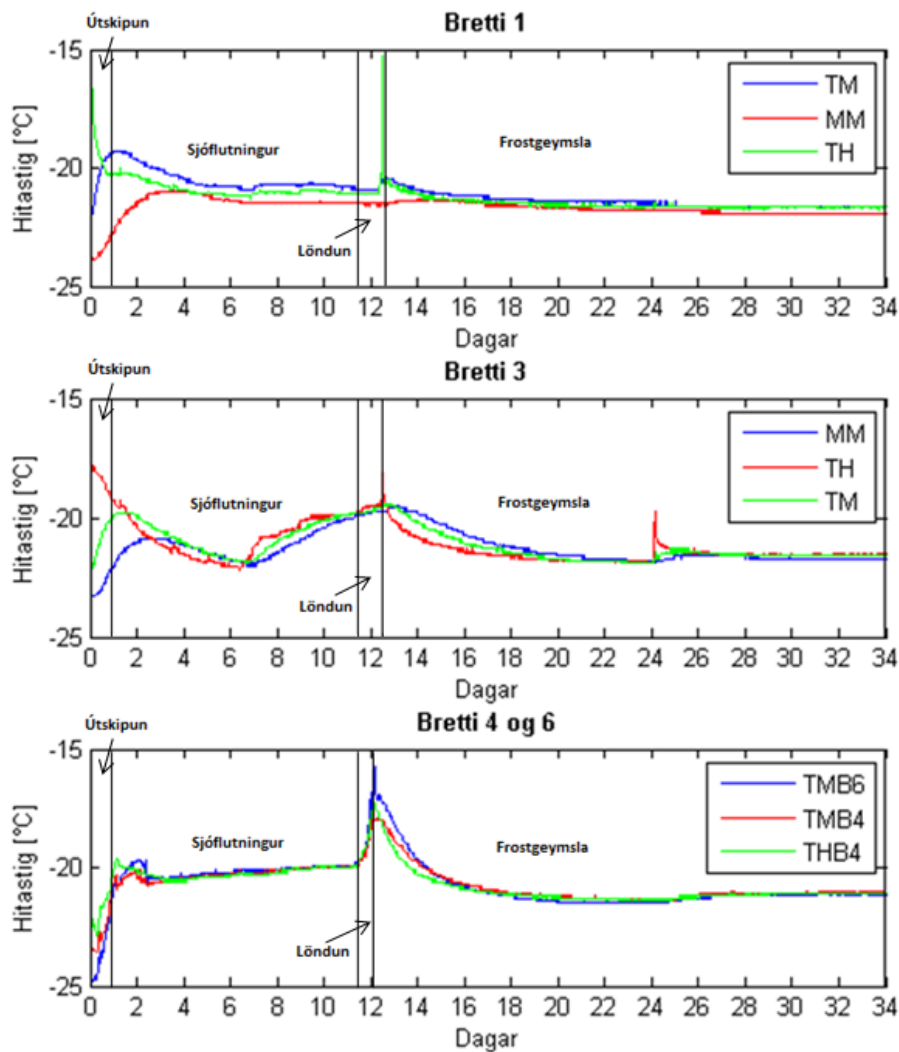
Mynd 16. Orkugraf. Vatnsinnihald afurðar merkt með lóðréttri grænni línu og lárétt lína dregin frá skurðpunkti vatnsinnihalds og hitastigs sem gefur orkuinnihald afurðar við þær aðstæður. Rauðu línurnar er dregnar hjá hitastigi fyrir og eftir landvinnslu og bláu línurnar er fyrir og eftir frostgeymslu.

Vandamálið í vinnslunni eru þeir tveir bufferar sem eru í ferlinu, en einnig hækkar hitastigið um 1 °C þegar síldin fer í flökun. Þrátt fyrir að umhverfishitinn væri hærri en hitastigið í sílóunum er varmaleiðni vatns meira en tuttugufalt hærri en í lofti. Það veldur því að hitastigið hækkar hratt í vökvanum á meðan afurðin hitnar lítið milli stöðva þegar hún liggur á færriböndunum. Einn möguleiki til þessa að koma í veg fyrir þetta hitaálag væri að kæla sjóinn sem er í sílóunum og nota hann til þess að viðhalda lágu hitastigi í gegnum vinnsluna. Annar möguleiki væri að taka sílóin burt og setja upp fleiri færribönd þannig að síldin væri aðeins í snertingu við loft, en niðurstöðurnar sýndu að afurðin hitnaði lítið þegar hún var færriböndunum. Kanna þyrfti hver kostnaðurinn væri við að setja upp þannig kerfi á móti því að kæla niður sjóinn í sílóunum. Breyta þarf núverandi kerfi þar sem hitaálagið í gegnum vinnsluna er bæði að rýra gæði afurðarinnar og auka orkukostnað þar sem fjarlægja þarf þann varma aftur úr afurðinni þegar hún er fryst.

4.2 Sjófrakt með frystiskipi

4.2.1 Nóvember 2014

Í fyrri mælingunni týndust nokkrir hitanemar þar sem óveður var á leiðinni frá Íslandi til Póllands sem orsakaði að bretti brotnuðu. Hitastigsferill við flutning bretta af frosinni síld, frá frostgeymslu hér á Íslandi yfir í frostgeymslu í Póllandi með frystiskipi (trampara), má sjá á Mynd 17. Flestir hitanemar sýndu að afurðin á brettunum var við -25 °C þegar brettin voru tekin út úr frostgeymslunni á Íslandi sem sýnir að engin þörf er á úrbótum þar. Þegar nemarnir voru settir í brettin þurftu brettin að standa nokkra stund ókæld út á hafnarbakka og við það hitnaði afurðin næst yfirborðinu nokkuð hratt. Þetta er í samræmi við rannsókn Löndahl (1977) þar sem hitastig í horni á bretti hækkaði frá -25 °C upp í -15 °C á einni klukkustund, á meðan hitastigið í miðju brettinu hækkaði aðeins um eina gráðu. Þessar niðurstöður sýna hversu fljótt hitastigið í afurðinni er að hækka og mikilvægi þess að leggja áherslu á góða og markvissa hitastigsstjórnun í gegnum allan flutningaferilinn.

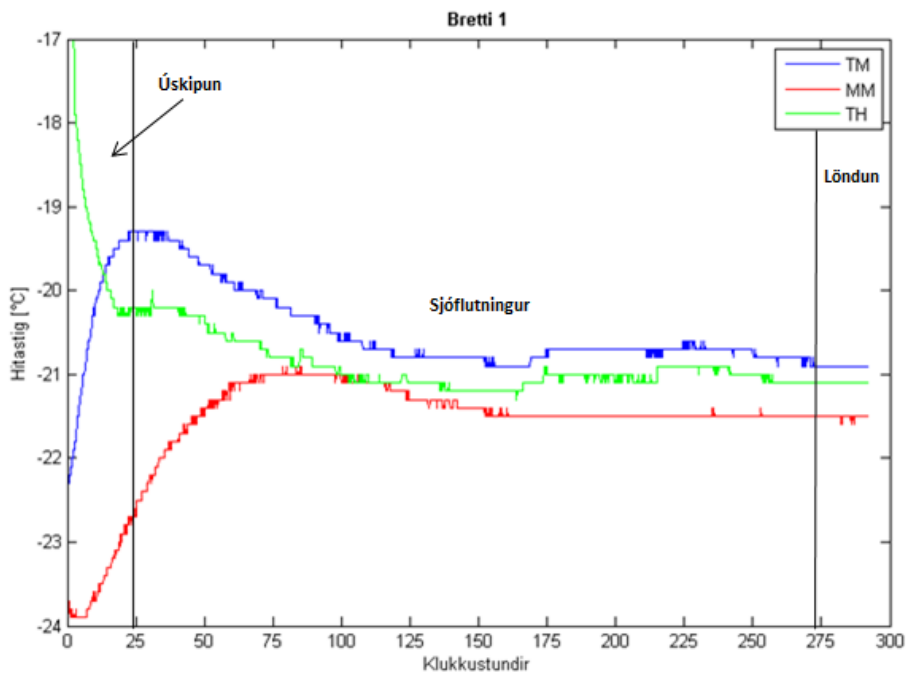


Mynd 17. Hitastigsferill við flutning bretta af frosinni síld frá frostgeymslu á Íslandi yfir í frostgeymslu í Póllandi með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti TM: topp miðja; MM: miðja; TH: topp hlið; TMB4: topp miðja bretti 4; THB4: topp hlið bretti 4 og TMB6: topp miðja bretti 6).

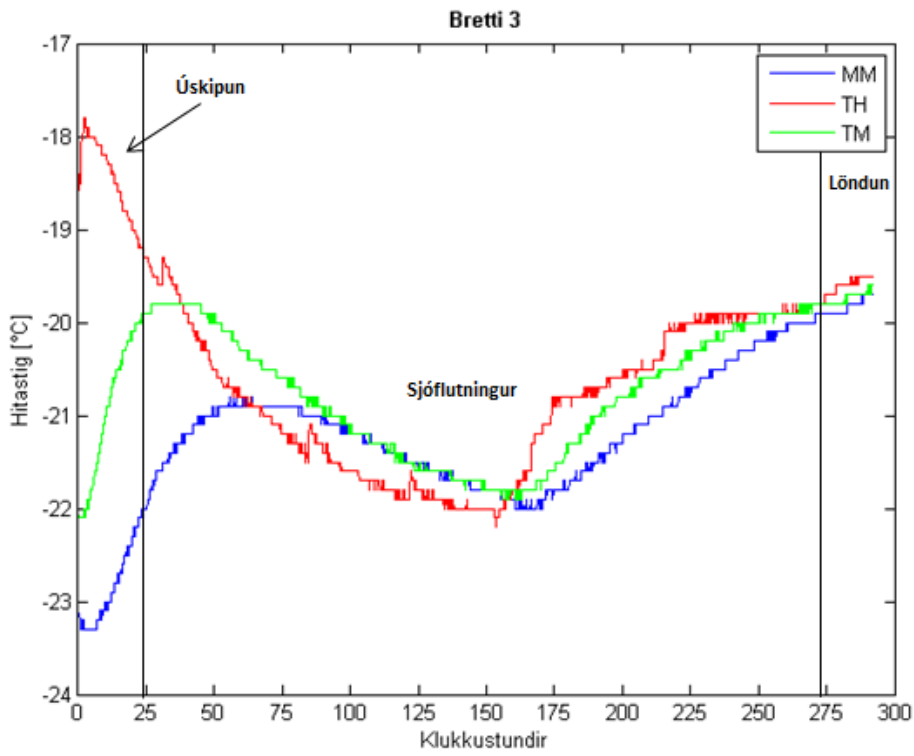
Bretti 1 og 3 voru fyrst til að vera útskipuð, þá höfðu brettin orðið fyrir hitaálagi eftir að hafa staðið úti í klukkustund. Hitastigið í miðju brettinu fór upp í -21 °C og hitastigið ofan á miðju brettinu í $-19,3\text{ °C}$ þegar verið var að útskipa á Íslandi. Kælingin fyrir bretti 1 og 3 fór í gang þegar hlerinn var lokaður á þeirri hæð sem þau voru sett á. Eins og sést á, þá tók það afurðina u.þ.b. fimm daga að ná því hitastigi sem lestin var stillt á, en hitastigið í lestinni var aðeins -20 °C til -22 °C (Mynd 18 og 19). Hitastigið í miðju bretti 1 og 3 hélt áfram að hækka þrátt fyrir að kælingin í lestinni hafði farið af stað. Eftir þrjá sólarhringa byrjaði hitastigið í miðju brettinu að lækka aftur.

Við útskipun kom upp vandamál sem olli töfum og ekki náðist að skipa út á einum degi og halda þurfti áfram daginn eftir. Brett 4 og 6 var skipað út daginn eftir og voru þau þá tekin úr frostgeymslunni og

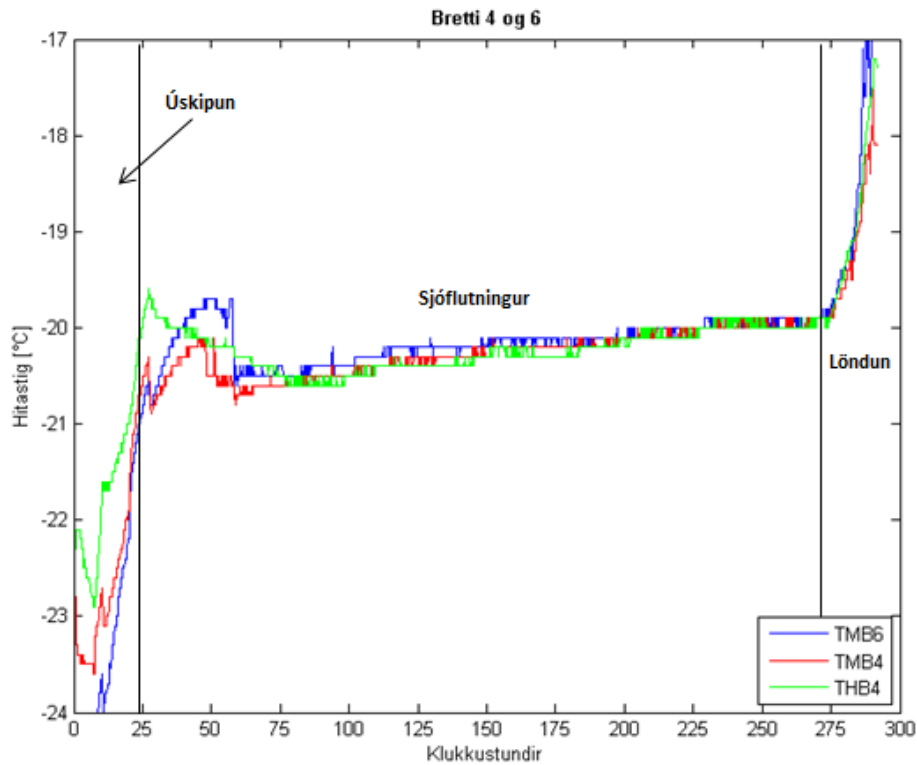
sett beint inn í lestina þar sem búið var að setja hitanemana í brettin daginn áður. Líkt og fyrir bretti 1 og 3, þá hækkaði hitastigið í vörunni þangað til að kerfið hafði náð nægilegri kælingu til þess að kæla vöruna og fór afurðin upp í $-19,7\text{ °C}$ ofan á miðju brettinu áður en hitastigið byrjaði að lækka aftur (Mynd 20).



Mynd 18. Hitabreytingar við útskipun og sjóflutning að löndun á bretti 1 með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti TM: topp miðja; MM: miðja og TH: topp hlið.



Mynd 19. Hitabreytingar við útskipun og sjóflutning að löndun á bretti 3 með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti MM: miðja; TH: topp hlið og TM: topp miðja.



Mynd 20. Hitabreytingar við útskipun og sjóflutning að löndun á brettum 4 og 6 með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti TMB6: topp miðja á bretti 6; TMB4: topp miðja á bretti 4 og THB4: topp hlið á bretti 4).

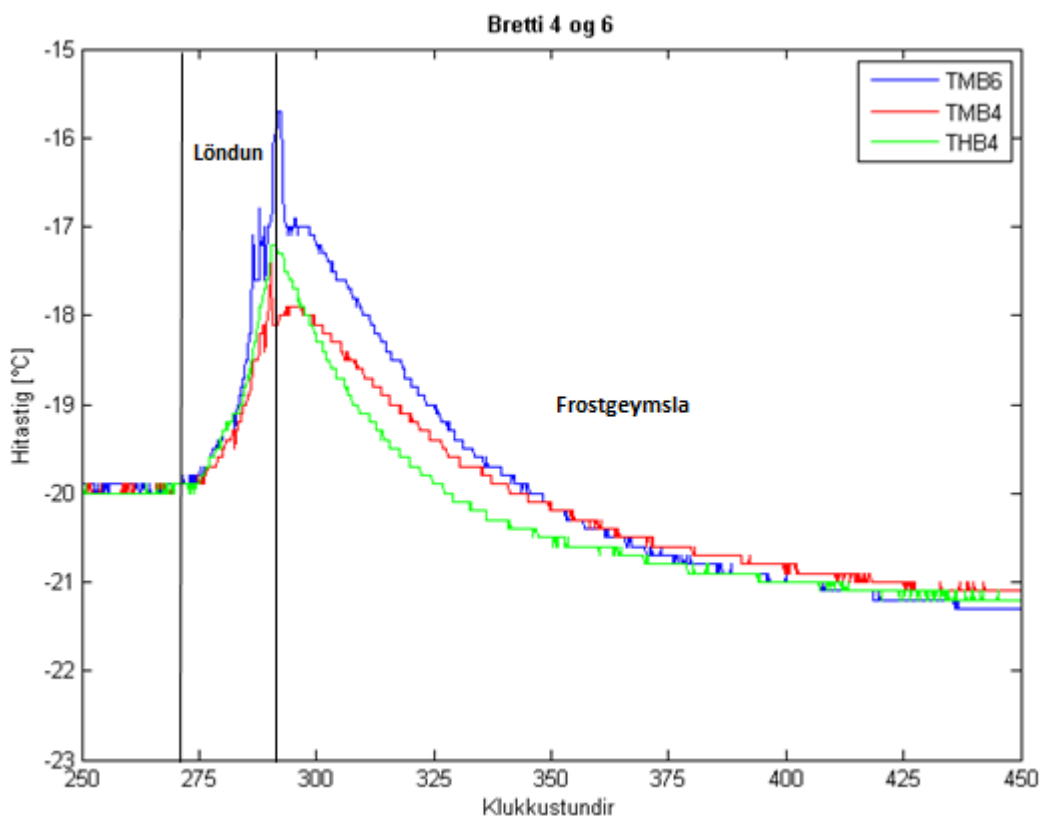
Hitastigið í brettunum í sjóferðinni var nokkuð stöðugt nema hjá einu bretti (bretti 3; Mynd 19), sem tók eina niðursveiflu. Ástæðan fyrir því var að brettið var staðsett nálægt kælieiningunni. Sjóferðin tók tíu daga og voru ekki jafn miklar sveiflur á hitastigi og búist var við þegar framkvæmdaáætlun var gerð. Hitastigið í skipinu var aftur á móti ekki nægilega lágt þar sem afurðin var milli -20°C og -22°C , en þekkt er að það hitastigsbil hefur slæm áhrif á geymsluþol fiskafurða. Á þessu hitastigsbili eru ensím mjög virk sem veldur m.a. fituniðurbroti (Arason & Ásgeirsson, 1984) auk þess sem fiskvöðvinn veður seigur og gúmmíkenndur (Ghaly *et al.*, 2010).

Hitaálag varð við löndun í Póllandi og hækkaði hitastigið talsvert í sumum brettum (Mynd 21). Hitastigið byrjaði að hækka þar sem slökkt var á kælingunni í frystilestinni og lestin opnuð. Frá því að hitastig byrjaði að hækka liðu 24 klukkustundir þangað til afurðin fór aftur í kælingu og fór hitastigið upp í $-15,7^{\circ}\text{C}$ ofan á miðju bretti 6 og $-17,2^{\circ}\text{C}$ hjá bretti 4.

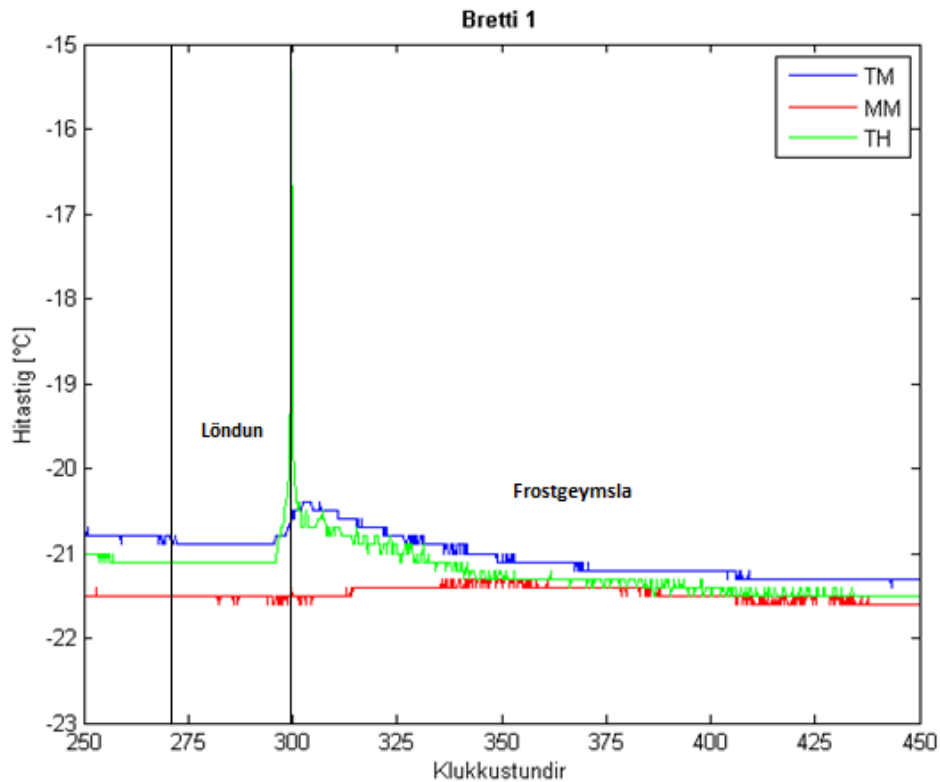
Bretti 1 og 3 urðu ekki fyrir sömu hitastigssveiflum við löndum og bretti 4 og 6 (Mynd 22 og Mynd 23).

Ekki er augljóst af hverju bretti 1 og 3 urðu fyrir svona litlum hitasveiflum við löndun miðað við bretti 4 og 6. Mjög breytilegt er hversu lengi lestar eru opnar og hvernig starfsfólk vinnur en eins og gerðist í útskipuninni á Íslandi þá geta komið upp alls konar vandamál. Bretti 1 og 3 hafa líklegast verið keyrð beint inn í frostgeymslu og ekki beðið lengi í ókældri lestinni eða á bakkanum.

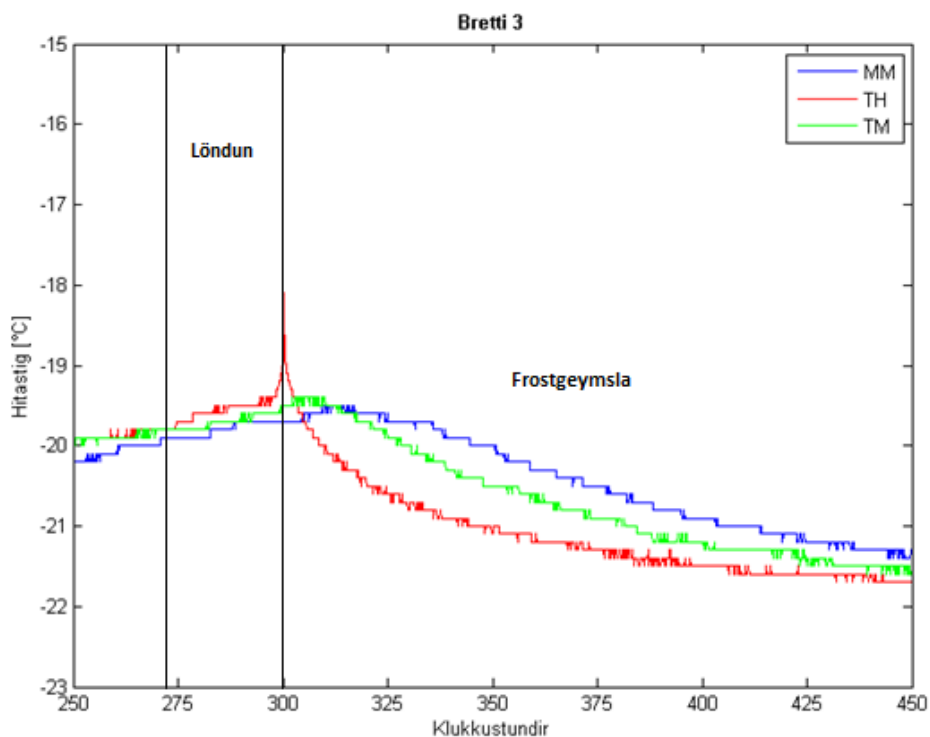
Brettin voru síðan sett í frostgeymslu, en þær eru ekki hannaðar til að kæla niður afurð heldur aðeins til að viðhalda hitastigi vöru. Það tók því 50 klukkustundir fyrir afurðina að komast undir -20 °C og var því hitastig afurðar yfir -20 °C í 74 klukkustundir útaf löndunarferlinu. Þegar vara er fryst svona hægt er hætta á að stórir ískristallar myndist og rýri gæði afurðar (Arason & Stefánsson, 1999). Í frostgeymslunni var vörunni haldið stöðugt við -21 °C til -22 °C (Mynd 24), en eins og áður var nefnt eru ensím mjög virk á þessu hitastigi sem skerða geymslupól afurðar og því er nauðsynlegt að lækka hitastigið.



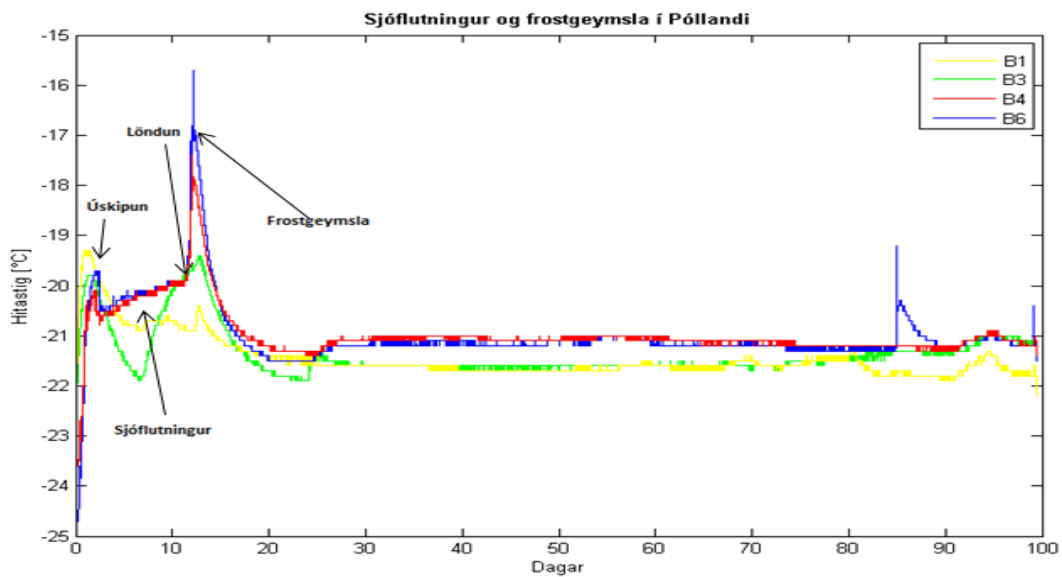
Mynd 21. Hitastigbreytingar á brettum 4 og 6 við löndun og frostgeymslu í Póllandi flutt með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti TMB6: topp miðja á bretti 6; TMB4: topp miðja á bretti 4 og THB4: topp hlið bretti 4).



Mynd 22. Hitastigbreytingar á bretti 1 við löndun og frostgeymslu í Póllandi flutt með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti TM: topp miðja; MM: miðja og TH: topp hlið).



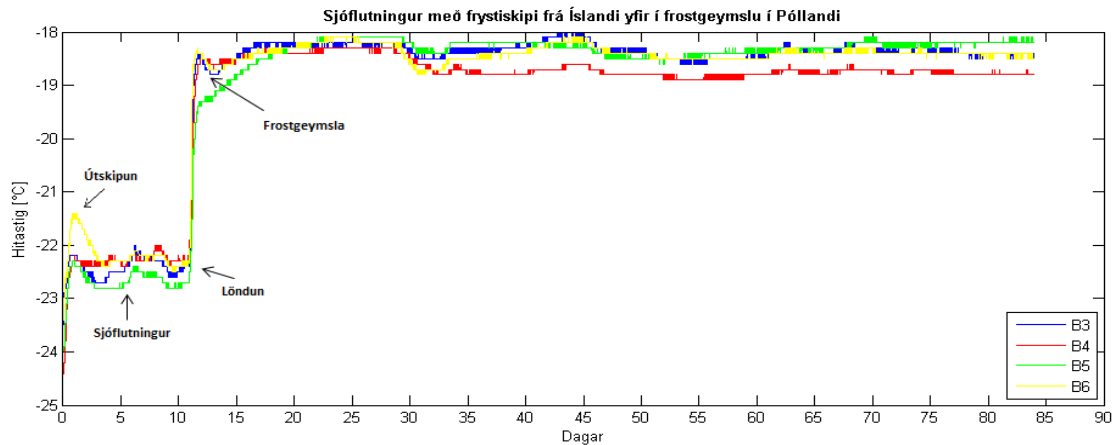
Mynd 23. Hitastigbreytingar á bretti 3 við löndun og frostgeymslu í Póllandi flutt með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti MM: miðja; TH: topp hlið og TM: topp miðja).



Mynd 24. Yfirlit yfir allan flutningsferilinn frá frostgeymslu á Íslandi yfir í frostgeymslu í Póllandi með frystiskipi, ásamt 88 daga geyslu í frostgeymslu í Póllandi. Topp-miðju hitanemar notaðir frá brettum B1: bretti 1; B3: bretti 3; B4: bretti 4 og B6: bretti 6.

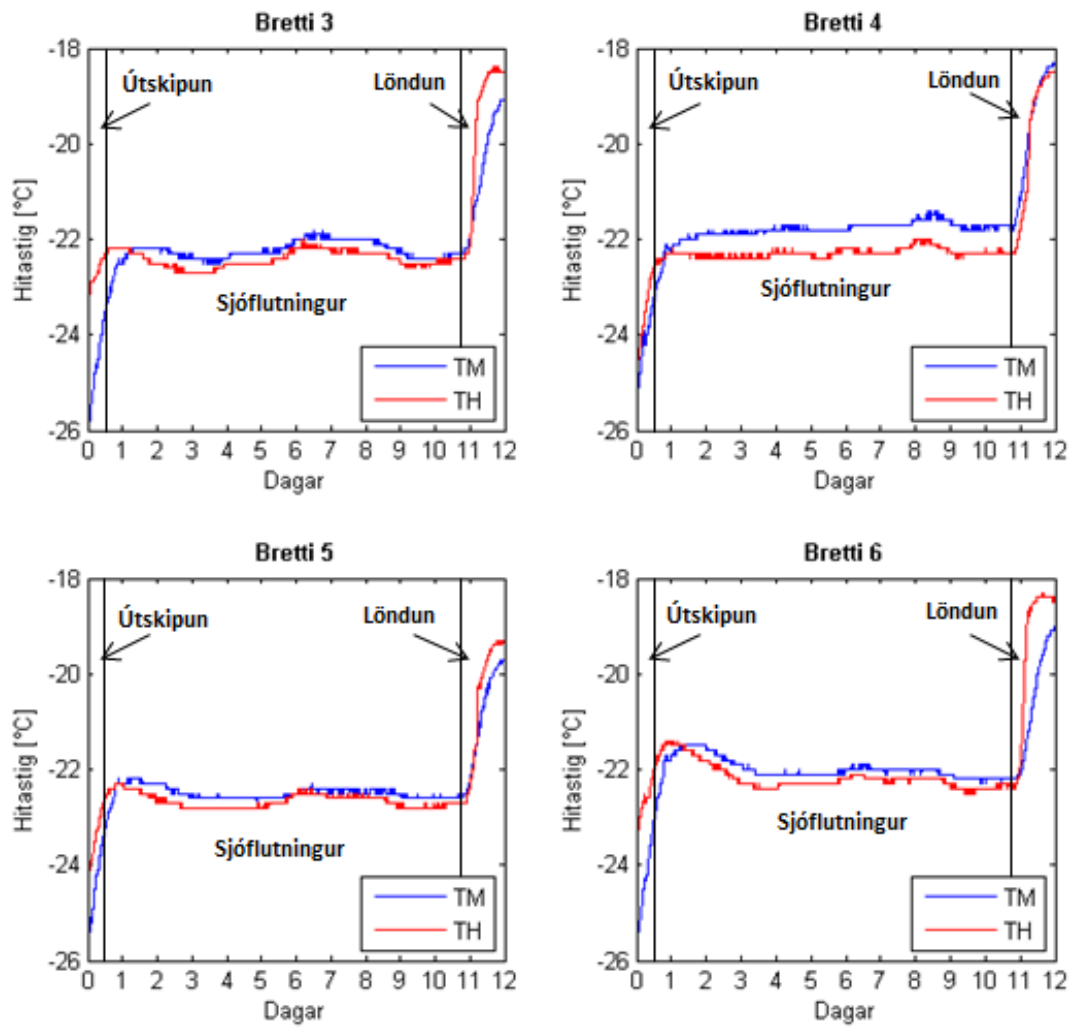
4.2.2 Nóvember 2015

Tvö af þeim sex brettum sem send voru til Póllands týndust og vantaði því bretti númer 1 og 2. Heildarferlið má sjá á Mynd 25. Eins og í fyrri flutningum í nóvember 2014, voru brettin í kringum -25 °C þegar þau komu út úr frostgeymslunni hér á Íslandi en núna stóðu þau á bakkanum í aðeins 10-20 mínútur á meðan nemarnir voru settir í þau.

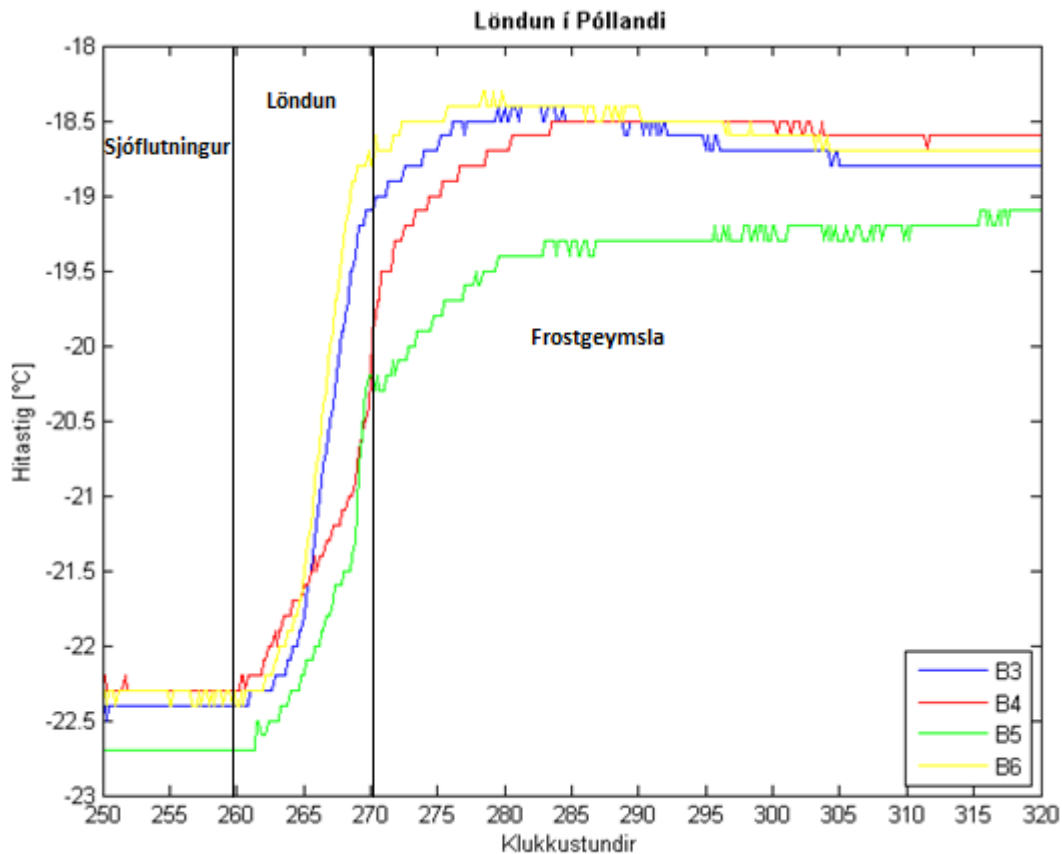


Mynd 25. Yfirlit yfir allan flutningsferilinn frá frostgeymslu á Íslandi yfir í frostgeymslu í Póllandi með frystiskipi, ásamt 73 daga geymslu í frostgeymslu í Póllandi. Topp-miðju nemar notaðir frá brettum B3: bretti 3; B4: bretti 4; B5: bretti 5 og B6: bretti 6.

Við útskipun hækkaði hitastigið hægt upp í geymsluhitastig lestarinnar og aðeins lítill hitatoppur myndaðist hjá einu bretti (Mynd 26). Sjóferðin tók 11 daga og var hitastigið nokkuð stöðugt. Brettin voru nær allan tímann við -22 °C. Við komuna til Póllands liðu 12 tímar frá því að slökkt var á kælikerfi frystiskipsins og þangað til brettunum var komið fyrir í frostgeymslu (Mynd 27). Hitastigið í brettunum fór mest upp í -18,5 °C áður en þau voru kæld aftur.

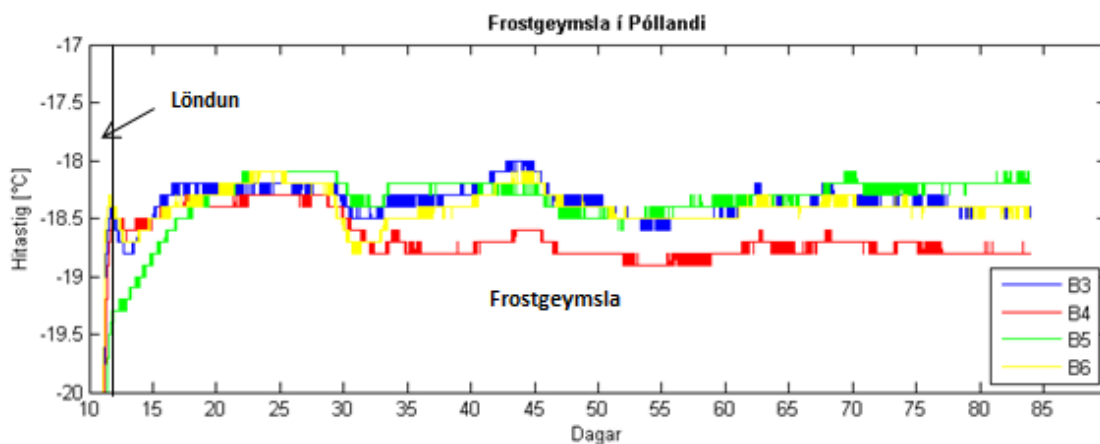


Mynd 26. Hitabreytingar á brettum 3, 4, 5 og 6 við útskipun og sjóflutning að löndun í Póllandi með frystiskipi. (Staðsetning hitanema á bretti TM: topp miðja og TH: topp hlið).



Mynd 27. Hitastigbreytingar á brettum 3, 4, 5 og 6 við löndun og frostgeymslu í Póllandi flutt með frystiskipi. Topp miðju hitanemar notaðir frá brettum B1: bretti 1; B3: bretti 3; B4: bretti 4 og B6: bretti 6.

Það sem virtist vera veiki hlekkurinn í ferlinu var frostgeymslan í Póllandi (Mynd 28). Afurðin var geymd við -18 °C til -19 °C í 72 daga.



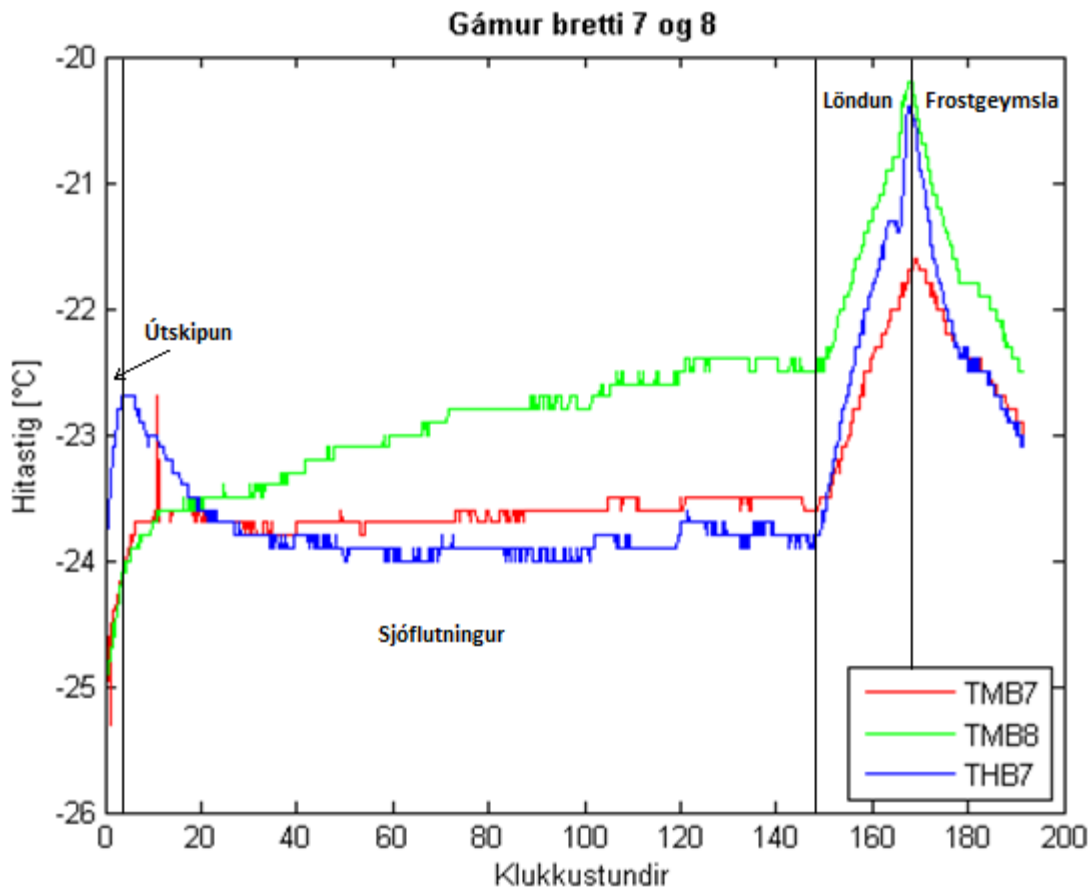
Mynd 28. Hitabreytingar í brettum 3, 4, 5 og 6 í frostgeymslu í Póllandi eftir flutning með frystiskipi. Topp miðju hitanemar notaðir frá brettum B1: bretti 1; B3: bretti 3; B4: bretti 4 og B6: bretti 6.

Hitastigið í frostgeymslunni var mjög stöðugt sem gefur til kynna að geymslan ráði við það magn sem sett var í hana. Aftur á móti var geymslan ekki stillt á nægilega lágt hitastig sem olli því að hitastigið í afurðinni hækkar í stað þess að lækka. Eins og fram hefur komið er geymsluþol síldar við -18 °C kringum átta mánuðir á meðan síld geymd við -25 °C getur haft geymsluþol yfir 16 mánuði. Orkukostnaðurinn við að lækka hitastigið í frostgeymslunni frá -18,5 °C niður í -25 °C var aðeins 6,2% en gæti bætt geymsluþolið um nokkra mánuði. Þetta gæti borgað sig upp með betri gæðum, hærra afurðarverði, meiri möguleikum í vörustjórnun og minnkað líkur vöru sé hafnað á markaði.

Helsta vandamálið við þetta ferli er ekki að kælingin hjá frystiskipunum væri ójöfn eins og gert var ráð fyrir í byrjun rannsóknarinnar, heldur að kælieiningarnar í kerfinu voru stilltar á rangt hitastig. Þegar hitastigið í frostgeymslunni hefur verið lækkað þarf svo að rannsaka hvort kælikerfið ráði við aukið álag sem það verður fyrir þegar afurð við of heitt hitastig er sett inn í geymsluna. Álagið sem frostgeymslan verður fyrir þegar 2.500 tonn af síld við -18,5 °C er sett í kerfið er 97,22 kW. Ef fleiri eða stærri sendingar eru settar inn í kerfið eykst álagið sem frostgeymslan þarf að geta staðið undir.

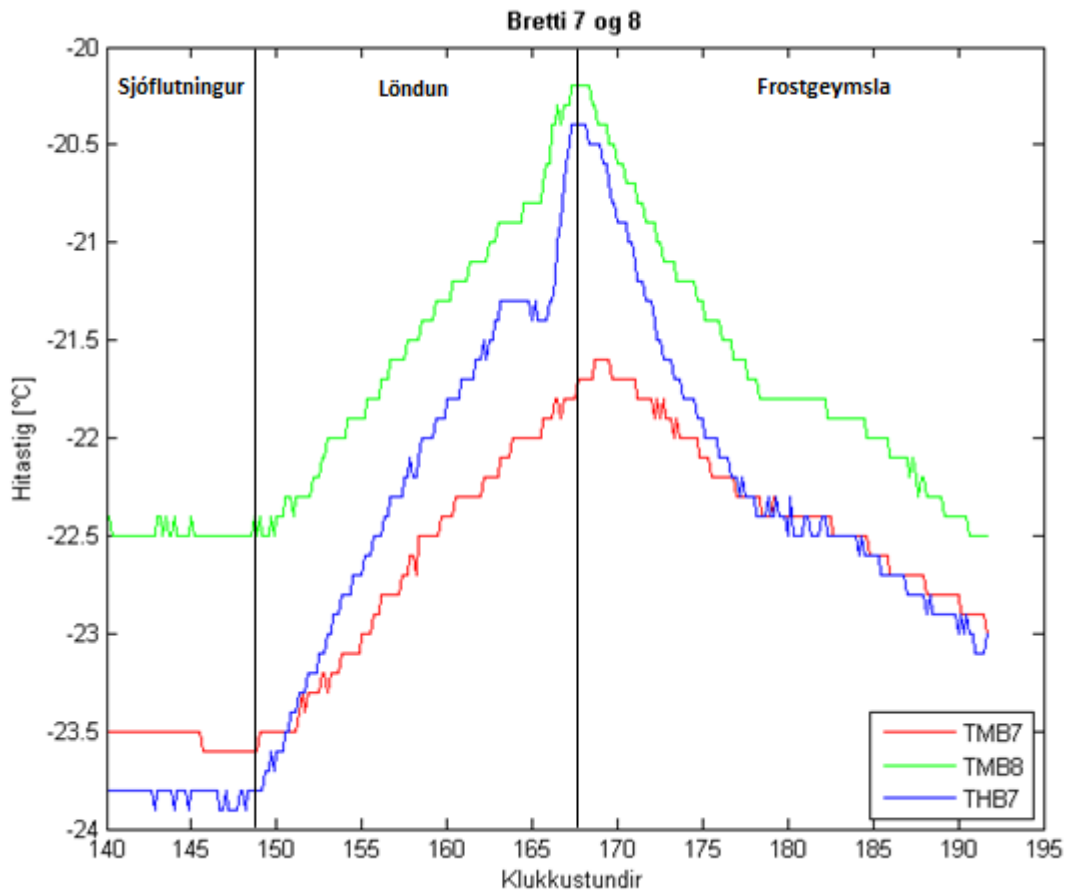
4.3 Flutningur með frystigám

Hitastigsferill við flutning frosinna síldarflaka með gámi frá frostgeymslu á Íslandi að lok löndunar í Frakklandi má sjá á Mynd 29. Þessi bretti voru tekin í sundur stuttu eftir að þeim var komið fyrir í frostgeymslu og send á mismunandi staði og því fengust ekki lengri mælingar frá frostgeymslunni í Frakklandi. Eins og búast mátti við þá varð bretti átta sem var fremst í gámnum fyrir meiri hitastigsbreytingum og eru þær niðurstöður í samræmi við fyrri rannsóknir (Moureh & Flick, 2004; Tanner & Amos, 2003). Ástæðan er sú að loftflæðið minnkaði verulega eftir sex metra og náði ekki að mynda hringrás sem fór út í enda gámsins. Bretti sjö náði því hitastigi sem gámurinn var stilltur á, 20 klukkustundum eftir að brettið var sett í gáminn, á meðan bretti 8 náði aldrei því hitastigi sem gámurinn var stilltur á og hækkaði hitastigið því alla sjóferðina. Þrátt fyrir það fór hitastigið ekki yfir -22,2 °C, fyrr en gámnum var landað. Bretti sjö hélst stöðugt í -23,7 °C til -24 °C þar til því var landað en það var staðsett í miðjum gámnum.



Mynd 29. Hitastigsferill yfir allt ferlið frá frostgeymslu á Íslandi yfir í frostgeymslu í Frakklandi með frystigámi. (Staðsetning hitanema á bretti TMB7: topp miðja bretti 7; TMB8: topp miðja bretti 8 og THB7: topp hlið bretti 7).

Við löndun var gámurinn tekinn úr sambandi en við það hækkaði hitastigið (Mynd 30). Það liðu 20 klukkustundir milli þess að gámurinn var tekinn úr sambandi við löndun þangað til gámurinn var settur aftur í samband að löndun lokinni, eða að bretti voru sett aftur í frostgeymslu. Við það hækkaði hitastigið í vörunni upp í -20,3 °C gráður.



Mynd 30. Hitastigbreytingar á brettum 7 og 8 við tæmingu frystigáms og útjöfnunarhitastig í frostgeymslu í Frakklandi. (Staðsetning hitanema á bretti TMB7: topp miðja bretti 7; TMB8: topp miðja bretti 8 og THB7: topp hlið bretti 7).

Niðurstöðurnar sýndu að loftringrásin í gámnum var ekki nógu góð þar sem mismunandi kæling átti sér stað í miðjum gámnum og í enda hans. Hitastigið í brettinu sem var í miðjum gámnum hélst stöðugt í -24 °C en hitastigið í brettinu sem var fremst í gámnum var $-22,5\text{ °C}$ þegar gámnum var landað. Brettid sem var við -24 °C var 6 metrum frá kælieiningunni á meðan brettið fremst í gámnum var u.þ.b. 12 metrum frá henni. T-laga gólf hjálpar til við að hringrás loftinu lengra inn í gáminn en náði ekki að mynda góða hringrás sem náði fremst í gáminn. Hægt væri að loka fyrir rifurnar í miðju gólfinu fyrstu 6 metrana þannig að rákir væru aðeins opnar næst veggjum og eftir 6 metra frá kælieiningunni. Þetta myndi hjálpa til við að hringrás loftinu og að fá jafnari kælingu í öllum gámnum (Montsma *et al.*, 2011). Eimskip gefur upp á heimasíðu sinni að viðmiðunarhitastig í flutningum á frosnum fisk sé -24 °C (Eimskip, e.d.). Bæta þarf loftringrásina eða stilla gáminn á lægra hitastig til þess að geta uppfyllt það að hitastigið í vörunni sé -24 °C eða lægra.

5 SAMANTEKT OG ÁLYKTANIR

Niðurstöðurnar verkefnisins sýna að frystar síldarafurðir eru ekki að fá nauðsynlega kælingu gegnum allt ferlið, frá framleiðslu til enda útflutnings, og í sumum tilvikum eru frávik of mikil. Strax við vinnslu verður afurðin fyrir óþarfa hitastigsaukningu þar sem síló full af sjó í vinnslunni eru að valda hitaálagi á afurðina sem skilar sér bæði í lakari gæðum og auknum orkukostnaði. Með því að kæla niður sjóinn í vinnslusílóunum, eða skipta þeim út fyrir færribönd, væri hægt að minnka hitaálagið sem afurðin verður fyrir.

Frostgeymslan á Íslandi var til fyrirmyndar, en öll brettin sem komu þaðan út voru geymd við rétt hitastig. Vandamálið var að eftir að þau voru tekin úr frostgeymslunni hér á landi fengu þau aldrei aftur þá kælingu sem nauðsynleg var til þess að viðhalda lágu hitastigi. Erfitt er að koma í veg fyrir hitaálag við útflutning á frosinni afurð. Hvort sem varan sé flutt út með frystiskipi (trampara) eða í gám, þá koma alltaf þeir tímapunktur að slökkva þarf á kælikerfunum t.d. við útskipun og löndun. Niðurstöður verkefnisins sýndu að hitastigið í frystiskipinu var nokkuð stöðugt á meðan siglingunni stóð. Aftur á móti mætti lækka hitastigið í lestunum þar sem það er þekkt að hitastigsbilið -20 til -22 °C hefur slæm áhrif á gæði og stöðguleika frosinna fiskafurða.

Niðurstöður verkefnisins gefa einnig til kynna að einnig er þörf á úrbótum í frostgeymslunni í Póllandi þar hitastigið var stillt um 6,5 °C hærra en í frostgeymslunni á Íslandi. Þessi hitastigsmunur getur skert geymsluþol afurðar um nokkra mánuði. Flutningar með gámum kom betur út en með frystiskipunum, en sá flutningsmáti er mun dýrari. Líkt og í öðrum rannsóknum sem hafa verið gerðar á flutningi með gámum kom fram ójöfn kæling í gámunum. Þessi munur var þó aðeins 1°C. Til þess að fá betri lofthringrás væri hægt að loka fyrir fyrstu 6 metrana í gólfinu frá kælieiningunni til þess að tryggja að loftið eigi betri aðgang út í enda gámsins.

6 ÞAKKIR

Höfundar þakka AVS rannsóknarsjóði í sjávarútvegi (R 069-14) fyrir veittan styrk til verkefnisins.

7 HEIMILDIR

- Amos, B. (2007). Analysis of quality deterioration at critical steps/points in fish handling in Uganda and Iceland and suggestions for improvement. *Fisheries training programme*. The United Nations University.
- An, W.S. (2008). Effect of chilled temperature and salt concentration on shelf life of herring (*Clupea harengus*). Fisheries Training Programme. United Nations University.
- Arason, S. & Ásgeirsson, L. (1984). Um frystingu sjávarafurða. *Rannsóknarstofnun Fiskiðnaðarins*. Tæknitíðindi, 157.
- Arason, S. & Stefánsson, G. (1999). Frysting og geymsla frystra sjávarafurða. Skoðað 21. janúar 2016 á vef Menntanet sjávarútvegsins: http://menntanet.is/media/uploads/2016/03/17/ma48_Pistill-13_frysting.pdf
- Ásgrímsson, Þ. (2013, 21. mars). Breytum ekki skít í gull. *Morgunblaðið*. Sótt 12. mars 2016 af http://www.mbl.is/vidskipti/frettir/2013/04/21/breytum_aldrei_skit_i_gull/.
- Benedikt Sigurðsson, Birgir Sigurðsson, Guðni Th. Jóhannesson, Hjörtur Gíslason, Hreinn Ragnarsson Jakob Jakobsson, Jón Þ. Þór & Steinar J. Lúðvíksson. (2007). *Silfur hafsins – Gull Íslands* (1. bindi). Reykjavík: Nesútgáfan.
- Çengel, Y. A. & Boles, M. A. (2001). *Thermodynamics: An engineering approach*. Boston: McGraw-Hill.
- Eimskip. (e.d.) Viðmiðunarhitastig í flutningum. Sótt 15. mars 2016 af http://eimskip.is/IS/Innflutningur/hagnytar_upplýsingar/Vi%C3%B0mi%C3%B0unarhitastig-%C3%AD-flutningum.html.
- Ghaly, A.E., Dave, D., Budge, S. & Brooks, M.s. (2010). *Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review*. American Journal of Applied Sciences 7 (7): 859-877.
- Gunnarsson, V.I. (2001). *Meðhöndlun á fiski um borð í fiskiskipum*. Reykjavík. Sjávarútvegsþjónustan.
- Hafrannsóknarstofnun. (2015). Nytjastofnar sjávar 2014/2015 og aflahorfur fiskveiðiárið 2015/2016. *Hafrannsóknir*, 182:217.
- Hagstofa Íslands. (2015). Útflutningur og útflutningsframleiðsla sjávarafurða 2014. *Hagtíðindi*, 100(21):2.
- Johnston, W.A., Nicholson, F.J., Roger, A. & Stroud, G.D. (1994). Freezing and refrigerant storage in fisheries. *FOA fisheries technical paper*, 340. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Jónsson, Á., Hafsteinsson, H., Klonowski, I. & Gunnlaugsson, V.N. (2007). Improved Quality of Herring for Human Consumption. *Skýrsla Matís*, 46-07.

- Löndahl, G. (1977) How to maintain a sufficiently low temperature in frozen food distribution. Proc. Int. Inst. Refr. Vom C2. Ettlingen.
- Margeirsson, B., Þorvaldsson, L. & Arason, S. (2009). Frysting og þíðing grálúðu – tilraunir og CFD hermun. Skýrsla Matís, 33-09.
- Montsma, M., Staal, M.G. & Lukasse, L. (2011). Optimizing shipment of lily bulbs in 40ft reefer containers. Wageningen UR Food & Biobased Research.
- Moureh, J. & Derens, E. (2000). Numerical modelling of the temperature increase in frozen food packaged in pallets in the distribution chain. *International Journal of Refrigeration*, 23(7), 540-552.
- Moureh, J. & Flick, D. (2004). *Airflow pattern and temperature distribution in a typical refrigerated truck configuration loaded with pallets*. *International Journal of Refrigeration*, 27(2004), 464-474.
- Sman, R.G.M. (2008). Prediction of enthalpy and thermal conductivity of frozen meat and fish products from composition data. *Journal of Food Engineering*. 83(3), 400-412.
- Sonntag, R. E., Borgnakke, C., Van, W. G. J. & Van, W. G. J. (1998). *Fundamentals of thermodynamics*. New York: Wiley.
- Stevenson, D.k. & Scott, M.L. (2005). Atlantic Herring, *Clupea harengus*, Life History and Habitat Characteristics. Department of Commerce. NOAA Technical Memorandum, 126:48.
- Tanner, D. J. & Amos, N.D. (2003). Temperature variability during shipment of fresh produce. *Acta Horticulturae*, 599, 193-203.
- Tolstorebrov, I., Eikevik, T.M. & Indergård E. (2013). *The influence of long-term storage, temperature and type of packaging materials on the lipid oxidation and flesh color of frozen Atlantic herring fillets (Clupea harengus)*. *International Journal of Refrigeration*, 40(2014), 122-130.
- Tingman, W., Jian, Z. & Xiaoshuan, Z. (2010). Fish product quality evaluation based on temperature monitoring in cold chain. *African Journal of Biotechnology*. 9(37), 6146-6151.
- Dang, H. T. T., Gudjónsdóttir, M., Karlsdóttir, M. G., Van Nguyen, M., Romotowska, P. E., Tómasson, T., & Arason, S. (2017). Influence of Temperature Stress on Lipid Stability of Atlantic Herring (*Clupea harengus*) Muscle During Frozen Storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(12), 1439-1449.
- Bilinski, E., Jonas, R. E. F. and Peters, M. D. (1981). "Treatment affecting the degradation of lipids in frozen Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*)." *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 14: 123-127.

- Einarsson, S. (1988). "Fitumælingar á síld 1987 og janúar 1988 ásamt yfirliti fitumælinga frá 1979." 16. Rit Rf, 31 s.
- Geirsdóttir, M. (2003). "Stöðugleiki frystrar síldar sem hráefni fyrir matvælavinnslu." Verkefnaskýrsla RF, 15-03.
- Hamre, K., Lie, Ö. and Sandnes, K. (2003a). "Development of lipid oxidation and flesh colour in frozen stored fillets of Norwegian spring-spawn herring (*Clupea harengus* L.). Effect of treatment with ascorbic acid." Food Chemistry 82: 447-453.
- Hamre, K., Lie, Ö. and Sandnes, K. (2003b). "Seasonal development of nutrient composition, lipid oxidation and colour of fillets from Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.)." Food Chemistry 82: 441-446.
- Hjaltason, K. (2013). "Hefur verðmæti afla aukist?" Sjávarútvegsráðstefnan 2013, Grand hótel 21.-22. nóvember.
- Kolbe, E. and Kramer, D. (2007). "Planning for seafood freezing. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks." Fairbanks, Alaska, USA.
- 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.
- Margeirsson, S., Jonsson, G. R., Arason, S. and Thorkelsson, G. (2007). "Influencing factors on yield, gaping, bruises and nematodes in cod (*Gadus morhua*) fillets." J Food Engineering 89: 503-508.
- Olcott, H. S. (1962). "Oxidation of fish lipids". In Fish in nutrition. Heen, E. and Kreuzer, R. London, Fishing News (Books). pp. 112-116.
- Rha, C. (1975). Theory, determination and control of physical properties of food material. Boston, Reidel Publishing Dordrecht.
- Undeland, I., Ekstrand, B. and Lingnert, H. (1998a). "Lipid oxidation in herring (*Clupea harengus*) light muscle, dark muscle, and skin, stored separately or as intact fillets." JAOC 75(5): 581-590.
- Undeland, I., Hall, G. and Lingnert, H. (1999). "Lipid Oxidation in Fillets of Herring (*Clupea harengus*) during Ice Storage." Journal of Agricultural and Food Chemistry 47(2): 524-532.
- Undeland, I., Stading, M. and Lingnert, H. (1998b). "Influence of skinning on lipid oxidation in different horizontal layers of herring (*Clupea harengus*) during frozen storage." Journal of the science of food and agriculture 78(3): 441-450.

Valtýsdóttir, K. L., Margeirsson, B., Arason, S., Lauzon, H. L. and Martinsdóttir, E. (2010). "Guidelines for precooling of fresh fish during processing and choice of packaging with respect to temperature control in cold chains." Matís report 40-10.

Zotos., A., Hole, M. and Smith, G. (1995). "The effect of frozen storage of mackerel (*Scomber scombrus*) on its quality when hot-smoked." J Sci Food Agric 67: 43-48.