

Nýsköpun & neytendur
Innovation & Consumers

Vinnsla, virðisaukning & eldi
Value Chain, Processing
& Aquaculture

Mælingar & miðlun
Analysis & Consulting

Líftækni & lífefni
Biotechnology & Biomolecules

Öryggi, umhverfi & erfðir
Food Safety, Environment
& Genetics



Aukið verðmæti uppsjávarfisks Lokaskýrsla

Lárus Þorvaldsson
Björn Margeirsson
Ásbjörn Jónsson
Sindri Sigurðsson
Ásgeir Gunnarsson
Sigurjón Arason

Vinnsla, virðisaukning og eldi

Skýrsla Matís 08-11
Maí 2011

ISSN 1670-7192

Report summary

| | | | |
|----------------------------------|---|----------------------------|----------|
| <i>Titill / Title</i> | Aukið verðmæti uppsjávarfisks – LOKASKÝRSLA / Increased value of pelagic species | | |
| <i>Höfundar / Authors</i> | Lárus Þorvaldsson, Björn Margeirsson, Ásbjörn Jónsson, Sindri Sigurðsson (SVN), Ásgeir Gunnarsson (SP), Sigurjón Arason | | |
| <i>Skýrsla / Report no.</i> | 08-11 | <i>Útgáfudagur / Date:</i> | Maí 2011 |
| <i>Verknr. / project no.</i> | 1851 | | |
| <i>Styrktaraðilar / funding:</i> | AVS rannsóknasjóður í sjávarútvegi | | |
| <i>Ágríp á íslensku:</i> | <p>Meginmarkmið verkefnisins Aukið verðmæti uppsjávarfisks – bætt kælitækni, sem hófst í júní 2008, var að leggja grunn að nýrri aðferð við kælingu og geymslu uppsjávarfisks um borð í nótaskipum. Afleiðing bættrar kælingar er að herra hlutfall aflans er nýtilegt til manneldisvinnslu. Samstarfsaðilar í verkefninu voru Matís, Síldarvinnslan (SVN) og Skinney Þinganes (SP).</p> <p>Í þessari skýrslu er helstu niðurstöðum og afurðum verkefnisins lýst. Dæmi um afurðir eru varmaflutningslíkön af uppsjávarafli á skipslest og geymslutanki í landi og samþætting varmaflutningslíkana og gæðaspálíkana, sem gera kleift að spá fyrir um hráefnisgæði út frá umhverfishitasögu. Hitadreifing í lestum uppsjávarskipa með mismunandi útfærslum kælikerfa var kortlögð og geymsluhiti tengdur við gæðamælingar, sem gerðar voru við löndun. Af hita- og gæðamælingum er ljóst að gallatíðni í lönduðum afla eykst með hækkandi geymsluhita. Helsti kostur MCS kælikerfis (e. Mixed Cooling System), sem samtvinnar CSW (Chilled Sea Water) og RSW (Refrigerated Sea Water) kælikerfin, er að með kerfinu má draga úr þeirri óumflýjanlegu hitahækkun, sem verður í forkældri skipslest í kjölfar dælingar afla í lestina. Á meðan á verkefninu stóð stórkjúst makrílveiðar Íslendinga og má fullyrða að niðurstöður verkefnisins hafi nýst mjög vel til að bæta árangur við manneldisvinnslu á makríl hér við land og hækka þannig afurðaverð verðmætrar tegundar.</p> | | |
| <i>Lykilorð á íslensku:</i> | <i>Uppsjávarfiskur, kæling, RSW, blandað kælikerfi, hráefnisgæði, gæðaspálikan, varmaflutningslíkan</i> | | |
| <i>Summary in English:</i> | <p>The main aim of the research project Increased value of pelagic species – improved chilling methods, which was initiated in June 2008, was to develop a new method for chilling and storing pelagic species on board purse seiners resulting in more valuable products.</p> <p>This report describes the main results and products of the project. Examples include heat transfer models of pelagic fish stored in a ship hold and a storage tank onshore and coupling of the heat transfer models and quality forecasting models, which makes it possible to predict spoilage of pelagic species as a function of ambient temperature history. Temperature distributions in ship holds with different cooling systems were mapped and storage temperature related to quality measurements conducted during landing. The fault ratio of landed raw material clearly increased, indicating lower quality, with higher storage temperature. The main advantage of a mixed cooling system (MCS), which combines RSW and CSW systems, compared to using only RSW is a lower temperature increase in a precooled ship hold caused by loading of the catch in the hold. During the project, the emphasis on mackerel fishing increased significantly around Iceland. It can be stated that the results of this project have been widely exploited in order to improve the yield of the mackerel and thereby increase the profitability of that valuable species.</p> | | |
| <i>English keywords:</i> | <i>Pelagic fish, cooling, RSW, MCS, raw material quality, quality forecasting, heat transfer model</i> | | |

EFNISYFIRLIT

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INNGANGUR | 1 |
| 2 | FRAMKVÆMD | 2 |
| 2.1 | Þétt varmarýmdarlíkan | 2 |
| 2.2 | Tenging varmafræðilíkans og gæðaspálíkans | 3 |
| 2.3 | Gæðaspálíkan | 7 |
| 2.4 | Hita- og gæðamælingar um borð í uppsjávarskipum | 9 |
| 3 | NIÐURSTÖÐUR | 11 |
| 3.1 | Þétt varmarýmdarlíkan | 11 |
| 3.2 | Tenging varmafræðilíkans og gæðaspálíkans | 14 |
| 3.3 | Stöðugt hitastigsálag | 15 |
| 3.4 | Þróun TMA og NH ₃ í hráefni | 18 |
| 3.5 | Hita- og gæðamælingar um borð í uppsjávarskipum | 21 |
| 3.6 | Notkun íblöndunarefna | 29 |
| 4 | UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR | 30 |
| 5 | ÞAKKARORÐ | 31 |
| | BIRTINGAR | 31 |
| | HEIMILDIR | 33 |

1 INNGANGUR

Verkefnið hófst þar sem þeir orkuferlar sem hafa áhrif á niðurkælingu aflans og geymslu um borð voru skilgreindir. Kælikerfin RSW (Refrigerated Sea Water), CSW (Chilled Sea Water) og MCS (Mixed Cooling System) voru borin saman og ljósi varpað á þá þætti, sem helst hafa áhrif á kælingu um borð í uppsjávarskipum. Þessi hluti verkefnisins fólst fyrst og fremst í heimildavinnu þar sem niðurstöðurnar voru teknar saman í skýrslunni „Skilgreining á orkuferlum um borð sem hafa áhrif á niðurkælingu afla“.

Næsti hluti verkefnisins fólst í að þróa tölvuvætt varma- og straumfræðilíkan (e. computational fluid dynamics, CFD) af geymslu uppsjávarafla við breytilegan umhverfishita og kúpla það saman við gæðaspálíkan. Niðurstöður þess verkþáttar voru teknar saman í skýrslu Matís 12-09 „CFD Modelling and Quality Forecasting for Cooling and Storage of Pelagic Species“. Inntak CFD líkansins er tímaháður umhverfishiti sem aftur skilar hitastigsdreifingu þeirrar blöndu uppsjávarafla og sjávar sem geymd er í tönkunum. Það líkan var svo samtvinnnað gæðaspálíkani sem segir til um þróun skemmdareinkennandi efna svo sem TMA og NH_3 út frá þeirri hitastigssögu sem fæst úr varmafræðilíkaninu. Afrakstur þess verkþáttar var því þróun og beiting tækni sem gerir mögulegt að spá fyrir um skemmdarferla uppsjávarafla við gefna umhverfishitasögu.

Þétt varmarýmdarlíkan (e. lumped heat capacitance model) var sett upp í því skyni að spá fyrir um orkunotkun RSW kerfis í uppsjávarskipi miðað við gefnar forsendur. Með þeim hætti var einnig mögulegt að spá fyrir um hitastig og heildarvarmaorku kerfisins. Niðurstöður verkþáttarins voru teknar saman í skýrslunni „Líkan fyrir heildarorkunotkun uppsjávarskips“ sem leiddi í ljós að vel var mögulegt að nota áður nefnt líkan til að spá fyrir um varma og hitastig í lestum uppsjávarskips. Þannig samræmast niðurstöður þessa verkþáttar vel þeim mælingum sem framkvæmdar hafa verið um borð í uppsjávarskipinu Berki NK-122 á árunum 2008-2009 en það var notað sem fyrirmynd við prófanir á líkaninu sem smíðað var.

Unnin var kostnaðargreining fyrir mismunandi kælikerfi, þar sem borin var saman hagkvæmni RSW, CSW og MCS kælikerfa og tekin saman í skýrslunni „Kostnaðargreining kælikerfa“.

Sumarið 2008 voru fyrstu mælingar framkvæmdar um borð í Jóni Kjartanssyni SU-111. Þá var hitasíritum komið fyrir í nokkrum af lestum Jóns og lesið af þeim að þremur veiðiferðum loknum. Verklag við þrif lesta var kannað ásamt geymslu og löndun afla. Niðurstöðurnar voru teknar saman í skýrslunni „Úttekt á kælingu uppsjávafisks í Jóni Kjartanssyni SU-111“, en hún leiddi í ljós góða kælingu um borð þó svo ýmsar endurbætur mætti gera á verklagi og stýringu kælingar. Þá voru einnig settir hitasíritar um borð í Börk NK-122 og hitastýring afla þar könnuð allt frá september 2008 til nóvember 2009.

Loks var lagt mat á notkun íblöndunarefna með því að skoða stöðu núverandi þekkingar og kom í ljós að notkun ósons er mögulegur kostur til að lágmarka niðurbrot og skemmdir uppsjávarafila.

2 FRAMKVÆMD

2.1 Þétt varmarýmdarlíkan

Í verkefninu eru kæliafköst RSW kerfis reiknuð út frá þéttu varmarýmdarlíkani (e. lumped heat capacitance model). Þar er gert ráð fyrir að heildarvarmaorka hráefnis (Q_h) og sjós (Q_s) sé fundin þannig:

$$Q_{tot} = Q_h + Q_s = V_h \rho_h c_h \Delta T_h + V_s \rho_s c_s \Delta T_s$$

Þar sem V er rúmmál, ρ er eðlismassi og c er eðlisvarmi hvors efnis fyrir sig. Þá er ΔT munur á hita hráefnis og viðmiðunarhitastigs.

Gert er ráð fyrir að varmi sé fjarlægður úr kerfinu á sama hraða og kæliafköst RSW kerfisins \dot{Q}_{RSW} . Að sama skapi streymir varmi inn í kerfið frá síðum skipsins þannig:

$$\dot{Q}_{in} = \frac{k}{\Delta x} A \Delta T$$

Heildarvarminn í kerfinu sem fall af tíma má finna þannig:

$$Q(t) = Q_{tot} + \int \dot{Q}_{in} dt - \int \dot{Q}_{RSW} dt \approx Q_{tot} + \sum \dot{Q}_{in} \Delta t - \sum \dot{Q}_{RSW} \Delta t$$

Þar sem Δt er tímaskrefið sem notað er í líkaninu. Þessi nálgun gerir ráð fyrir föstum afköstum RSW kerfisins óháð hitastigi eða öðrum þáttum sem gætu orðið til að breyta uppgefnum afköstum. Þá gerir jafnan ráð fyrir því að varmaviðnámið vegna leiðni gegnum skipsþilið sé mun hærra en vegna varmaburðar báðu megin þilsins.

Hvert hal kemur inn í líkanið þannig að tiltekið magn massa m_i bætist við kerfið á tímaskrefi t_i . Sú massaaukning skiptist aftur í hlutfall hráefnis r_h og hlutfall sjós $r_s = (1-r_h)$ þannig að í hali m_i á tímaskrefi t_i bætist massinn $m_{h,i} = r_h m_i$ við heildarmassa hráefnisins og massinn $m_{s,i} = (1-r_h)m_i$ við massa sjós um borð í lestum skipsins.

Finna má heildarrúmmál aflans þannig að $V=m/\rho$, sem aftur má nota til að ákvarða hámarks magn afla í hverri veiðiferð. Ef V_l er hámarksrúmmál lestarinnar og r_m lágmarkshlutfall sjós í hráefni má finna hámarks magn afla í lest á hverjum tímapunkti þannig:

$$V_h = \min(V_h, (1 - r_m)V_l)$$

Þegar lestin er orðin full er umframvatni fleytt frá borði, þannig að meiri afli komist fyrir. Þetta má tákna þannig að á hverjum tímapunkti er magn sjós í lest aldrei meira en sem nemur heildarrúmmáli lestarinnar að frádregnu rúmmáli hráefnisins, eða:

$$V_s = \min(V_s, V_l - V_h)$$

Með því að setja V_h og V_s inn í jöfnu heildarvarmaorku kerfisins hér að ofan er þá mögulegt að ákvarða hitastig kerfisins á hverjum tímapunkti þannig:

$$\Delta T = Q / (m_s c_s + m_h c_h)$$

2.1.1 Forsendur líkans

Tafla 1. Eðliseiginleikar mismunandi fisktegunda og sjós

| | ρ (eðlismassi) [kg/m ³] | c_p (eðlisvarmi) [J/kg/°C] |
|-------------|---|---------------------------------|
| Síld | 1054 | 3974 |
| Loðna | 1054 | 3765 |
| Kolmurni | 1054 | 3472 |
| Sjór (3,5%) | 1025 | 3987 |

Við prófun á líkaninu var lest Barkar höfð til hliðsjónar. Þannig er heildarrúmmál lestanna $V_l=1694,5 \text{ m}^3$ og afköst kælikerfisins 2,34 MW. Þá er gert ráð fyrir 12 °C heitum sjó og markhitastigi í lest -0,5 °C. Hvað varðar varmainnstreymi gegnum skipspilin er gert ráð fyrir 200 mm þykkri einangrun og varmaleiðnistuðli upp á $k=0.04 \text{ W/m/K}$. Tímabilið sem tekið er til athugunar er 72 klst. langt og með upplausn upp á eina mínútu.

Tafla 2. Tímasetningar og stærð hala

| # | tími [klst] | stærð hals [m ³] |
|---|-------------|------------------------------|
| 1 | 10 | 200 |
| 2 | 18 | 300 |
| 3 | 26 | 500 |
| 4 | 34 | 300 |
| 5 | 42 | 400 |
| 6 | 50 | 200 |
| 7 | 58 | 300 |
| 8 | 66 | 200 |

Tafla 2 sýnir tímasetningar og stærð hala. Stærð hvers hals er gefið upp í rúmmetrum og er gert ráð fyrir að hvert hal skiptist að 80% í hráefni og 20% í sjó. Þá er lestin fyllt að 1/5 hluta í upphafi veiðiferðar.

2.2 Tenging varmafræðilíkans og gæðaspálíkans

Smíðuð voru líkön af geymslutönkum Skinneyjar Þinganness á Höfn í Hornafirði. Tankarnir voru líkangerðir sem tvívíðir, öxulsamhverfir hlutir. Hver tankur getur geymt allt að 400 m³, hefur innri radíus $r_i = 5 \text{ m}$ og $h_t = 5.1 \text{ m}$ hár. Hver tankur hefur $t_t = 15 \text{ cm}$ þykka steinsteypuveggi sem gerir ytri radíus tankanna $r_o=5.15 \text{ m}$. Ískrapi var líkangerður þannig að hluti geymslutanksins var fastur ís, þar sem það er ekki reiknilega fýsilegt að líkangera hverja ögn íss.

Í þessari tilraun var bæði kannað hvaða áhrif stöðugur og óstöðugur umhverfishiti hefði á gæði hráefnisins. Gert var ráð fyrir að varminn bærst með leiðni gegnum 15 cm þykkun steypuvegginn þar sem eðliseiginleikar steypunnar væru eftirfarandi: $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 880 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$ og $k=0.63 \text{ W/m/K}$.

Eðliseiginleikar sjóvatnsins voru fengnir frá Seton Bennett (2008) þar sem gert var ráð fyrir 3.5% seltu og má sjá þá í töflu 3.

Tafla 3. Eðliseiginleikar sjóvatns

| T [°C] | 0 | 10 | 20 |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| P [kg/m ³] | 1028.1 | 1026.96 | 1024.75 |
| c _p [J/kg/°C] | 3985 | 3989 | 3993 |
| k [W/m/K] | 0.563 | 0.5795 | 0.596 |
| μ [kg/m/s] | 1.88·10 ⁻³ | 1.48·10 ⁻³ | 1.08·10 ⁻³ |

Gert var ráð fyrir að varmafræðilegir eiginleikar uppsjávarfisks væru svipaðir og hvítfisks og voru fengnir frá J. Zueco (2004), sjá töflu 4.

Tafla 4. Eðliseiginleikar uppsjávarfisks

| T [°C] | 0 | 10 | 20 |
|--------------------------|------|--------|--------|
| P [kg/m ³] | 1070 | 1069.2 | 1067.7 |
| c _p [J/kg/°C] | 4144 | 3683 | 3222 |
| k [W/m/K] | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| μ [kg/m/s] | - | - | - |

Í þessu tilfalli var einnig gert ráð fyrir að líta mætti á blöndu fisks og sjóvatns sem einsleitan vökva þar sem varmafræðilegir eiginleikar blöndunnar voru ákvarðaðir þannig að þeir voru vigtaðir í hlutfalli við massa hvers þáttar, sjá töflu 5.

Tafla 5. Eðliseiginleikar blöndu sjós og uppsjávarfisks

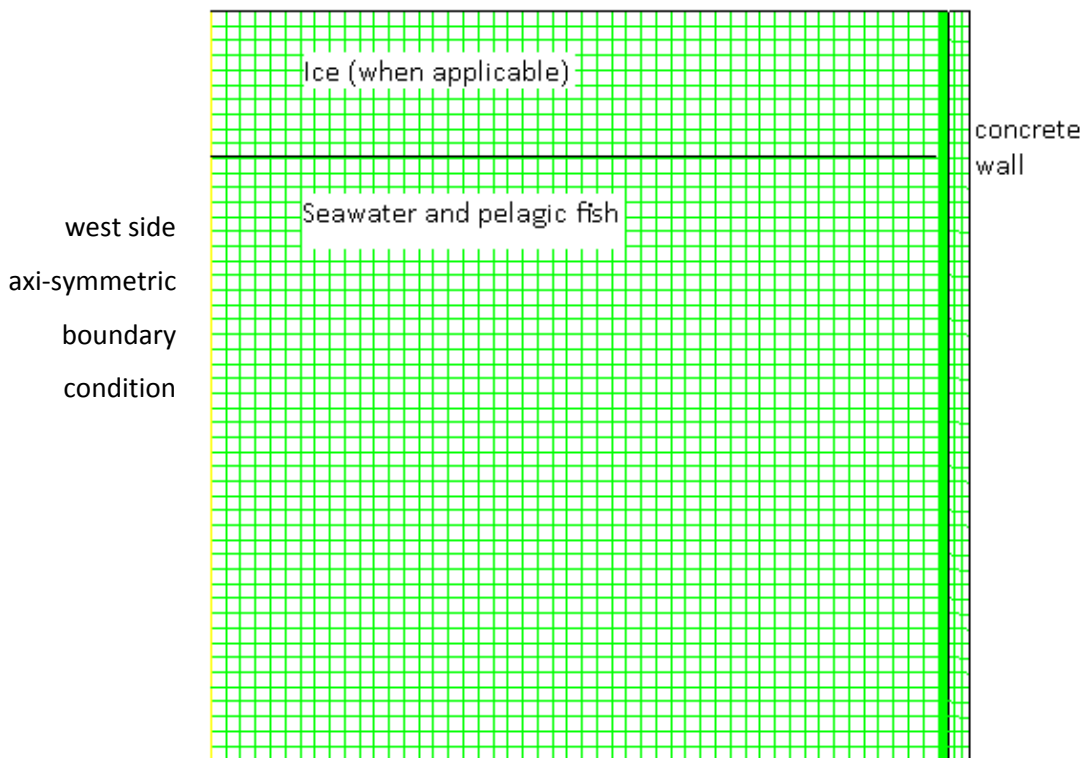
| T [°C] | 0 | 10 | 20 |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| P [kg/m ³] | 1053.24 | 1052.31 | 1050.49 |
| c _p [J/kg/°C] | 4080 | 3805 | 3530 |
| k [W/m/K] | 0.4832 | 0.4898 | 0.4964 |
| μ [kg/m/s] | 1.88·10 ⁻³ | 1.48·10 ⁻³ | 1.08·10 ⁻³ |

Við lausn líkansins eru eðliseiginleikarnir í töflunum hér að ofan brúaðir línulega sem föll af hitastigi.

Til að finna ákjósanlega stærð tímaskrefs og reikninets er nauðsynlegt að ákvarða þykkt jaðarlags fyrir lóðrétta plötu með frjálsum varmaburði en hún var fundin út frá Holman (2002) þannig:

$$\frac{\delta}{x} = 3.93 \text{Pr}^{-\frac{1}{2}}(0.952 + \text{Pr})^{1/4} \text{Gr}_x^{-1/4}$$

þar sem við $x=0.5$ m gefur þykkt jaðarlags upp á $\delta=8.1$ mm. Því var þéttleiki netsins valinn sem $\Delta x=2.0$ mm við jaðarlagið, sjá Mynd 1 og Mynd 2.

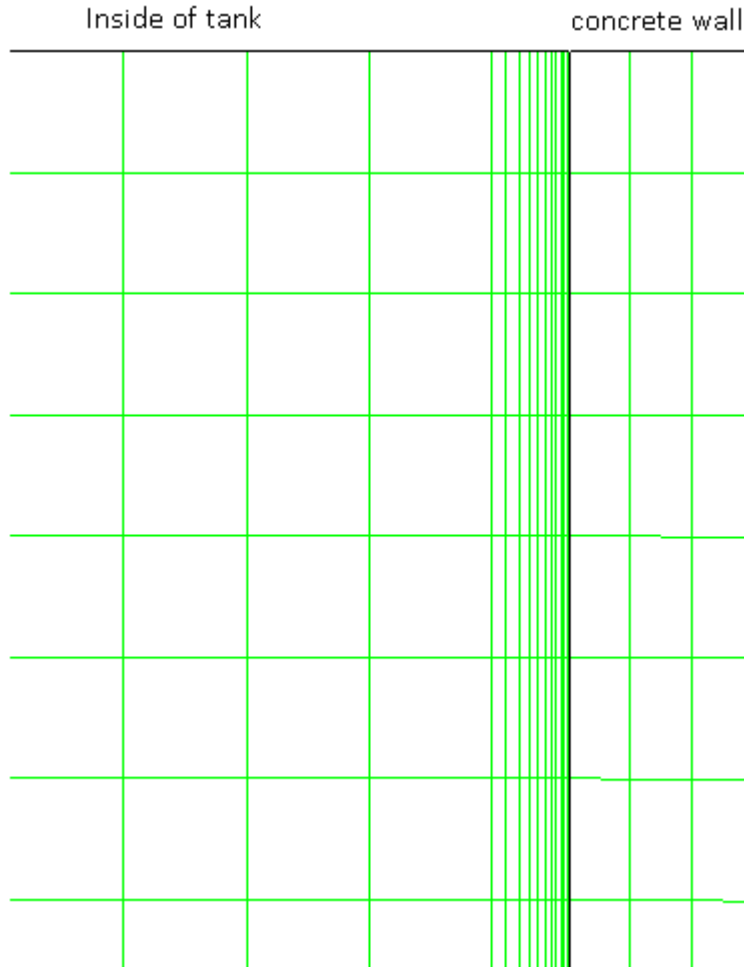


Mynd 1. Reikninet líkansins þar sem öxulsamhverft jaðarskilyrði er notað á vinstri hlið.

Jafnvel þó að fólgin lausnaraðferð sé notuð í þessu tímaháða vandamáli þarf að velja Courant tölu nálægt 1 þannig að

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{u} Cu$$

Með ítrun fæst hámarkshraði í líkaninu upp á $u_{\max}=0.015$ m/s sem gefur ákjósanlegt tímaskref upp á $\Delta t = 15$ s.



Mynd 2. Reikninet líkansins í jaðarlaginu við steypuvegginn.

Gert er ráð fyrir varmaburðarstuðli upp á $h=10 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ á yfirborði blöndu fisks og sjóvatns, sem er miðað við varmaburð milli vatnsyfirborðs og kyrrstæðs lofts (Williams, 1963). Gert er ráð fyrir að botn tanksins sé einangraður. Þá er gert ráð fyrir tímaháð hitastig sé til staðar utan við vegg tanksins.

2.2.1 Samanburður við fræðilega lausn

Varmastreymi í marglaga sívalningslaga kerfi er gefið í Holman (2002) með jöfnunni

$$q = \frac{2\pi k_c h_t (T_1 - T_0)}{\ln \left[\frac{r_0 + t_t}{r_0} \right]} + h\pi r_0^2 (T_1 - T_0)$$

þar sem T_1 er umhverfishitastig, T_0 er hitastig kerfisins og varmaburðarstuðullinn er h . Þá er unnt að finna hitastigið í tímaskrefi t_i , frá síðasta tímaskrefi t_{i-1} þannig:

$$T_{0,i} = T_{0,i-1} + \frac{q}{c_p \rho V} t_i$$

Þannig er unnt að finna þróun hitastigs með því að nota þétt varmarýmdarlíkan. Í þess háttar kerfum er gert ráð fyrir einsleitri hitastigsdreifingu gegnum allt kerfið. Hér er auðvitað um nálgun

að ræða því til að einhver varmi berist með leiðni inn í efni þarf hitastigsmunur að vera til staðar í efninu. Þessa nálgun má aftur á móti nota til að gefa vísbendingu um hvort niðurstöður úr tölulegu líkani séu raunhæfar.

2.3 Gæðaspálíkan

Þróun skemmdareinkennandi efnasambanda (TVN) fyrir síld og kolmunna hefur verið mæld af Dr. Eyjolf Langmyre hjá Sildolje- og Sildemelindustriens Forskningsinstitut, nú hluti af NOFIMA (Magnússon, 2009). Í þeim rannsóknum var umhverfi skipslestar hermt við fast hitastig á meðan myndun TMA og NH₃ var mæld. Samband hitastigs og myndunar þeirra efna var síðan lýst með smíði jafna byggðum á þeim mælingum.

Ein af niðurstöðum þeirra rannsókna var að lýsa má myndun TMA í síld og kolmunna með eftirfarandi jöfnu

$$N(t) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot t}}$$

Þar sem stuðlarnir a, b, og c eru gefnir í töflu 6 fyrir síld og töflu 7 fyrir kolmunna, fyrir stakan einstakling annars vegar og safn einstaklinga hins vegar. Stuðullinn a táknar upphafsgildi TMAO-N.

Tafla 6. Stuðlar fyrir jöfnu TMA myndunar í síld fyrir þrjú hitastig

| | TMA í síld (í magni, e. bulk) | | | TMA í síld (stök) | | |
|--------|-------------------------------|-------|------|-------------------|--------|------|
| | a | b | c | a | b | c |
| 0 °C | 50 | 79 | 0.42 | 30 | 435 | 0.67 |
| 3.7 °C | 50 | 401 | 0.91 | 30 | 10630 | 1.51 |
| 9.5 °C | 50 | 22411 | 2.25 | 30 | 376823 | 3.08 |

Tafla 7. Stuðlar fyrir jöfnu TMA myndunar í kolmunna fyrir þrjú hitastig

| | TMA í kolmunna (í magni, e. bulk) | | | TMA i kolmunna (stakur) | | |
|--------|-----------------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| | a | b | c | a | b | c |
| 0 °C | 80 | 32.29 | 0.448 | 40 | 12.64 | 0.506 |
| 3.1 °C | 80 | 18.01 | 0.699 | 40 | 43.92 | 0.986 |
| 10 °C | 80 | 58.34 | 1.575 | 40 | 59.17 | 1.764 |

Myndun NH₃ má lýsa með

$$N(t) = a \cdot e^{b \cdot t}$$

Þar sem stuðlarnir a og b eru gefnir í töflu 8 fyrir síld og töflu 9 fyrir kolmunna.

Tafla 8. Stuðlar fyrir jöfnu NH₃ myndunar í síld fyrir þrjú hitastig

| | NH ₃ í síld (í magni, e. bulk) | | NH ₃ í síld (stök) | |
|--------|---|-------|-------------------------------|-------|
| | a | b | a | b |
| 0 °C | 9.4 | 0.077 | 9.4 | 0.081 |
| 3.7 °C | 9.4 | 0.113 | 9.4 | 0.129 |
| 9.5 °C | 9.4 | 0.205 | 9.4 | 0.239 |

Tafla 9. Stuðlar fyrir jöfnu NH₃ myndunar í kolmunna fyrir þrjú hitastig

| | NH ₃ í kolmunna (í magni, e. bulk) | | NH ₃ í kolmunna (single) | |
|--------|---|-------|-------------------------------------|-------|
| | a | b | a | b |
| 0 °C | 9 | 0.112 | 9 | 0.144 |
| 3.1 °C | 9 | 0.186 | 9 | 0.175 |
| 10 °C | 9 | 0.343 | 9 | 0.337 |

Jöfnurnar hér að ofan er ekki unnt að nota beint í varmalíkanið þar sem þær eru aðeins gildar fyrir fast hitastig. Með því að beita annarrar gráðu brúun á mæligögnin er unnt að leiða út eftirfarandi jöfnuhneppi fyrir síld

$$TMA = c \cdot TMA_0 - \frac{c}{a} \cdot TMA_0^2$$

$$c = 79.3687 - 0.8118 \cdot T + 0.0019 \cdot T^2$$

$$a = 30$$

$$NH_3 = v \cdot (NH_3)_0$$

$$v = 38.3817 - 0.29219 \cdot T + 0.00056 \cdot T^2$$

$$TVN = TMA + NH_3$$

og fyrir kolmunna má lýsa TVN myndun sem falli af hitastigi þannig að

$$TMA = c \cdot TMA_0 - \frac{c}{a} \cdot TMA_0^2$$

$$c = 325.3523 - 2.4457 \cdot T + 0.0046 \cdot T^2$$

$$a = 80$$

$$NH_3 = v \cdot (NH_3)_0$$

$$v = -14.83958 - 0.08525 \cdot T + 0.00011 \cdot T^2$$

$$TVN = TMA + NH_3$$

Tímaháða vandamálið er svo leyst með því að leysa venjulegu deildajöfnurnar

$$\frac{d}{dt}TMA = c \cdot TMA - \frac{c}{a} \cdot TMA^2$$

$$\frac{d}{dt}NH_3 = v \cdot NH_3$$

með tölulegum aðferðum á borð við fjórðu gráðu Runge-Kutta með hitastigssögu sem inntak.

2.4 Hita- og gæðamælingar um borð í uppsjávarskipum

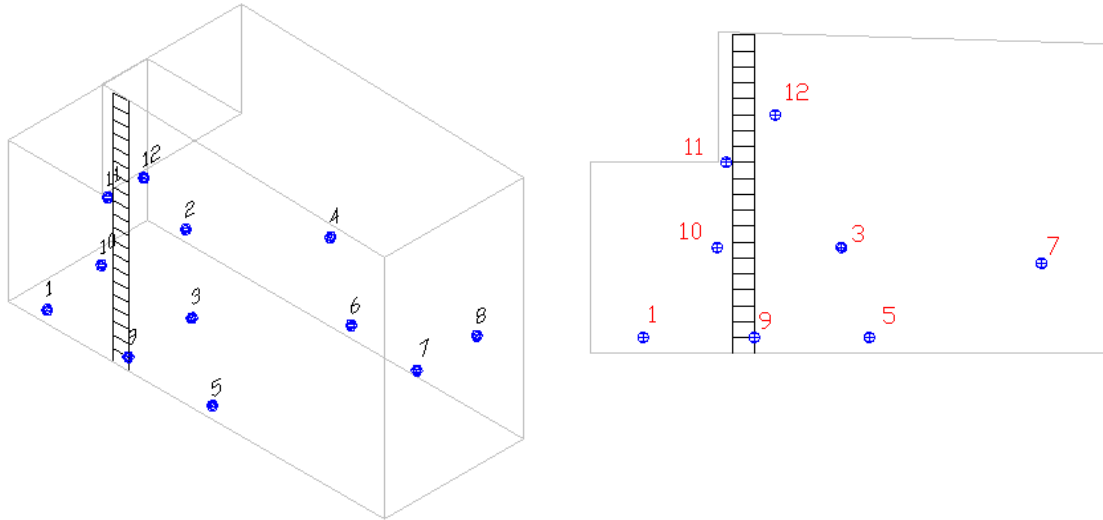
Markmiðið var að bera saman mismunandi útgáfur af kælikerfum fyrir uppsjávarfiska með tilliti til hitastýringar og hráefnisgæða. Lagt var upp með tvær mismunandi útfærslur sem átti að rannsaka:

- RSW kerfi óbreytt
- CSW til að kæla niður og RSW til að viðhalda lágu hitastigi (ný útfærsla, MCS).

Fylgst var með hitastigi um borð í lestum í skipi SVN, Berki NK-122 (Mynd 3), sem útbúið er RSW kælikerfi, í öllum ferðum frá september til desember 2008 og aftur var mælt seinni hluta árs 2009. Mynd 4 sýnir staðsetningar hitasírita í Berki á umræddu tímabili. Í október 2008 var gerð tilraun með útfærslu b) með því að taka með um 10 tonn af flöguís í einni af lestum Barkar frá heimahöfn til veiðisvæðis. RSW kælikerfið var svo notað með flöguískælingunni til að viðhalda lágu hitastigi aflans.



Mynd 3. Börkur NK- 122.



Mynd 4. Staðsetningar hitastignema í lest Barkar í rúmmynd (vinstri) og séð frá hlið (hægri).



Mynd 5. Onset TidbiT v2 hitasíriti.

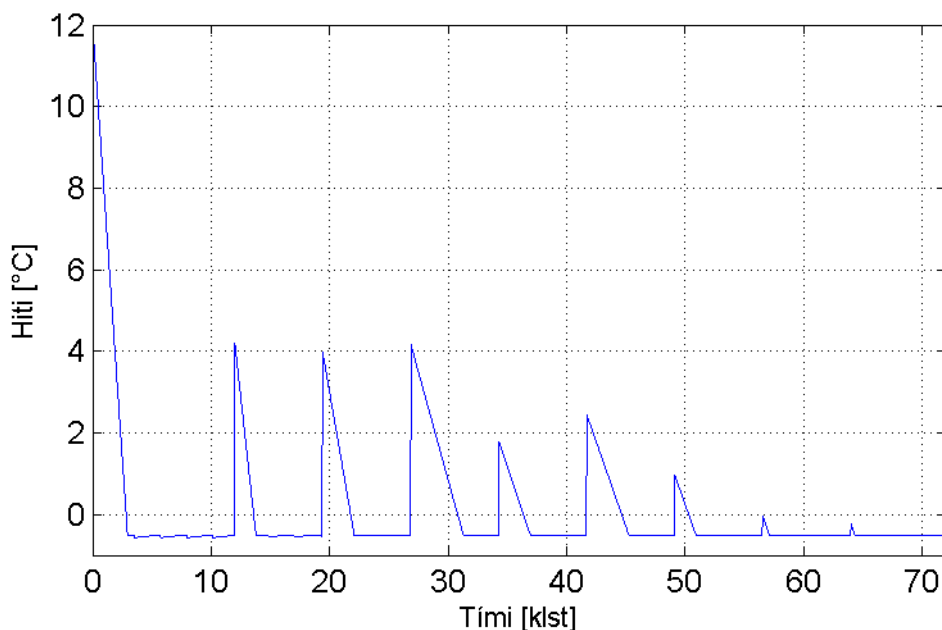
Á Mynd 5 getur að líta TidbiT v2 hitasírita frá Onset og vegna minnisstærðar þessa sírita hentar hann einkar vel ef mæla þarf með mjög stuttu millibili og/eða yfir langt tímabil. Í þessari rannsókn voru Onset hitasíritarnir stilltir þannig að þeir mældu hitann á 5 mín fresti. Mælisvið Onset síritanna er milli -20 og 70 °C, óvissan er ± 0.2 °C og mæliupplausnin 0.02 °C við 0 til 50 °C, þvermálið er 30 mm og þykktin 17 mm (sjá nánar á <http://www.onsetcomp.com>). Hitasíritarnir voru allir kvarðaðir í þykkri blöndu íss og vatns.

Framkvæmdar voru gæðamælingar hjá Síldarvinnslunni við löndun, þar sem mældir voru eftirfarandi gæðapættir: Los, blóð í flökum, flökunargalli, roðgalli (gat í roði) og sködduð flök (fiskur hryggbrottinn eða rifið flak). Gallar voru reiknaðir út sem hlutfall af þyngd hóps sem var mældur. Stærð flaka sem var tekið í gæðamælingar var 125-250 cm.

3 NIÐURSTÖÐUR

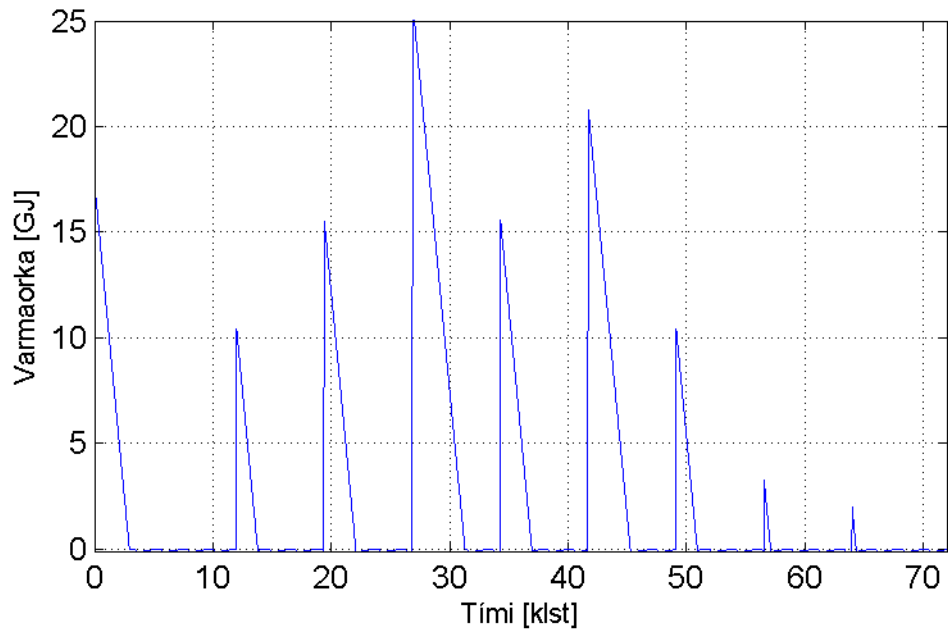
3.1 Þétt varmarýmdarlíkan

Í keyrslu líkansins var miðað við að unnið væri með síld og að forsendur væru að öðru óbreyttu þær sömu og getið er hér að ofan.



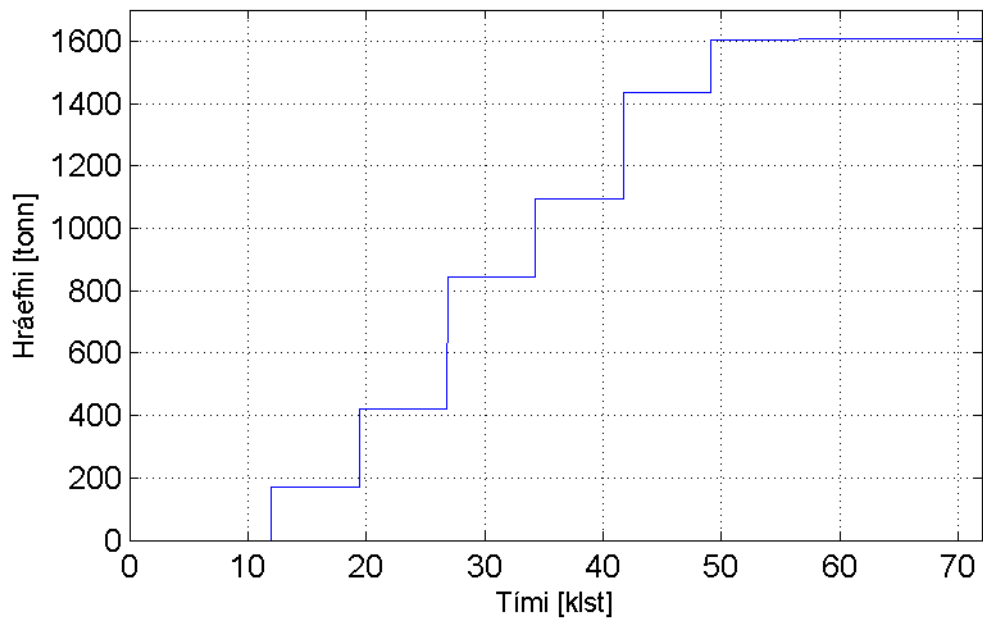
Mynd 6. Hitastig í lest sem fall af tíma

Á Mynd 6 má sjá hitastig í lest sem fall af tíma miðað við að aflinn komi inn 12 °C heitur. Sjá má að kæling sjávar í upphafi veiðiferðarinnar hefur töluverð áhrif á hvernig hitastigið í fyrsta halinu þróast, en hún verður til þess að hitastigið verður hæst 4 °C. Það hámarkshitastig samræmist mjög vel þeim mælingum sem gerðar hafa verið um borð í Berki, en í þeim mælingum var hæsta hitastig sem mældist yfirleitt um 3-5 °C.



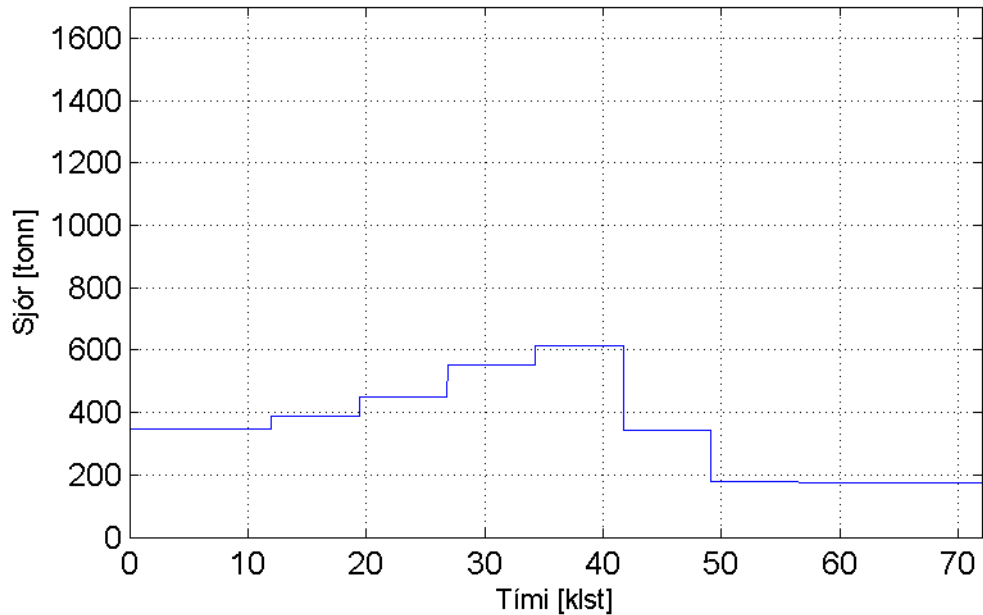
Mynd 7: Heildarvarmaorka í lest sem fall af tíma m.v. viðmiðunarhitastigið $T_v = -0,5^\circ\text{C}$

Á Mynd 7 gefur að líta heildarvarmaorku í lest sem fall af tíma skv. varmarýmdarlíkaninu. Sjá má að RSW kerfið hefur vel undan að fjarlægja orku úr kerfinu og hefur yfirleitt náð markhitastigi eftir um 2-4 klst. Með því að bera myndina saman við Mynd 6 má sjá hvernig sá afli sem var kældur fyrir hefur áhrif til niðurkælingar á nýjum afla, þannig er hitastigið í þriðja hali nokkurn veginn það sama og í fyrsta hali jafnvel þó að mun meiri varma sé þá bætt við kerfið. Hér er þó sú nálgun gerð að líta á lestar skipsins sem eina heild í stað þess að líta á þær sem einangraðar einingar, en gera má ráð fyrir meiri staðbundinni hitastigshækkun blandist aflinn ekki saman við afla sem náð hefur markhitastigi. Að lokum má sjá tvo litla toppa í lokin, en þeir eru tilkomnir vegna þess að þar er í raun búið að fylla skipið af afla svo lítið meira kemst fyrir.



Mynd 8. Magn hráefnis í lest sem fall af tíma.

Mynd 8 sýnir þróun þess hvernig magn hráefnis í lestum skipsins eykst með tíma. Sjá má mismunandi stærð hala og hvernig þau skiptast hlutfallslega milli heildarrúmmáls lestanna. Lokahalið er nokkru minna en hin þar sem á þeim tímapunkti er búið að fylla lestarnar.



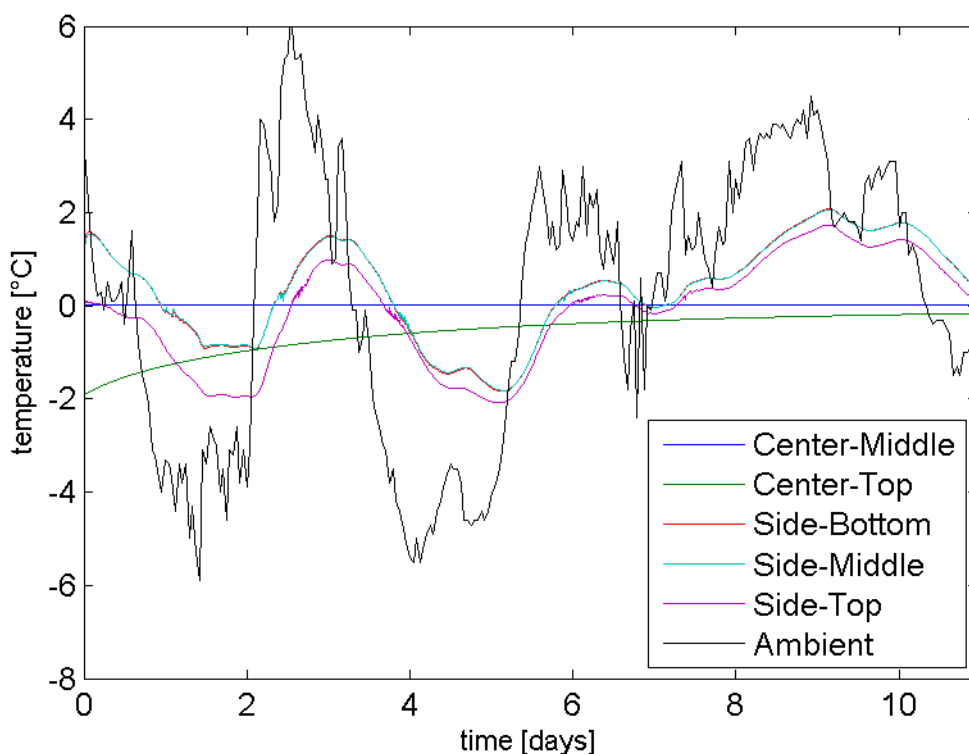
Mynd 9. Magn sjávar í lest sem fall af tíma.

Á Mynd 9 má sjá magn sjávar um borð í lestum skipsins sem fall af tíma. Sjá má að það er stöðugt vaxandi fram að fimmta hali þegar lestarnar rúma ekki meira og er því þó nokkru magni sjávar fleytt frá borði til að rúma það hráefni sem kemur um borð. Hið sama gerist í sjötta hali en að því loknu eru lestar skipsins orðnar fullar af hráefni og svo ekki er mögulegt að fleyta meiri sjó frá borði til að rýma fyrir meiru.

3.2 Tenging varmafræðilíkans og gæðaspálíkans

3.2.1 Tímaháð hitastigsálag

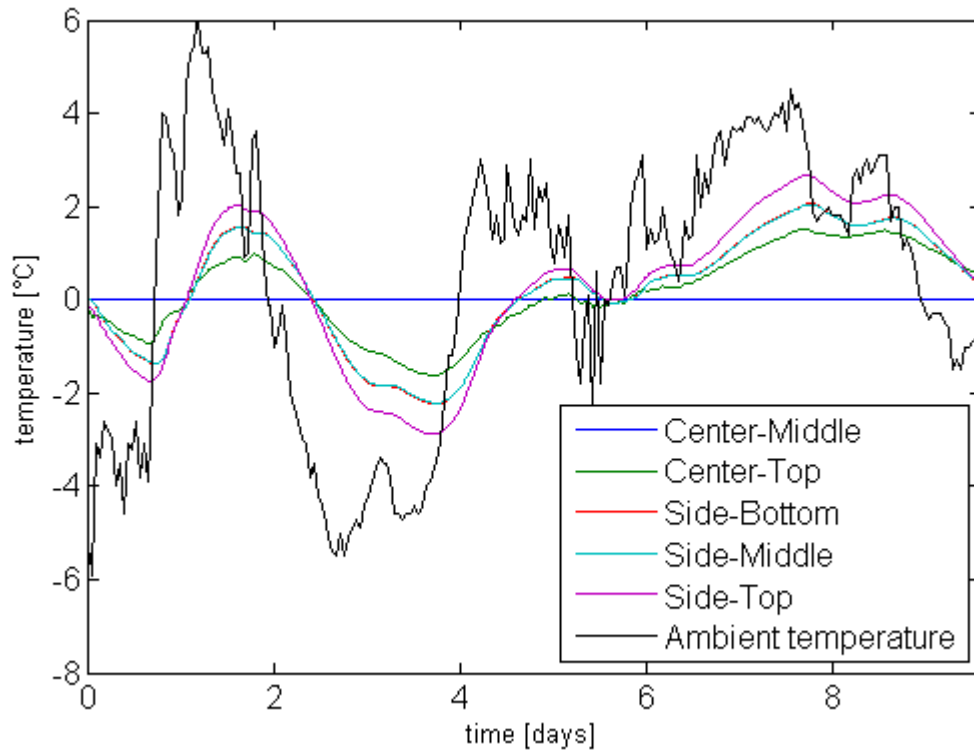
Fyrir tímaháða hitastigsálagið á geymslutankana voru notuð raungögn umhverfishita í Höfn á Hornafirði dagana 21. nóvember til 1. desember 2008. Gert var ráð fyrir 0.5 m þykkum ís við yfirborð geymslutanksins, en þar fyrir neðan var blanda sjávar og uppsjávarfisks.



Mynd 10. Viðbragð kerfisins við tímaháðu hitastigsálagi með ís.

Mynd 10 sýnir hvernig kerfið bregst við tilteknu hitastigsálagi. Hitastigið var kannað í þremur punktum við miðjuna (e. centre), þar sem öxulsamhverfa jaðarskilyrðinu var beitt. Þá var hitastigið við hliðina (e. side), það er skil steypuveggsins og uppsjávarblöndunnar, kannað á þremur stöðum í hæðunum 0 m, 2,5 m og 5 m frá botni. Í öllum tilvikum var hitastigssagan brúuð línulega í þremur víddum, hæð, radíus og tíma. Punktarnir við hliðina voru fljótastir að bregðast við þar sem eina varmaviðnámið milli þeirra og hitastigsálagsins er steypueggurinn. Þegar nær dregur miðju geymslutanksins verður hitastigið einsleitara, þar sem ísinn bráðnar til að bæta upp

fyrir aukinn varma í kerfinu. Hitastigið í miðju tanksins helst óbreytt yfir það tímabil sem var skoðað þar sem hitastigsálagið var ekki nægjanlegt til að bræða ísinn að fullu. Hitastigið efst í tankinum eykst stöðugt yfir tímabilið og nálgast bræðslumark íssins við lok þess.

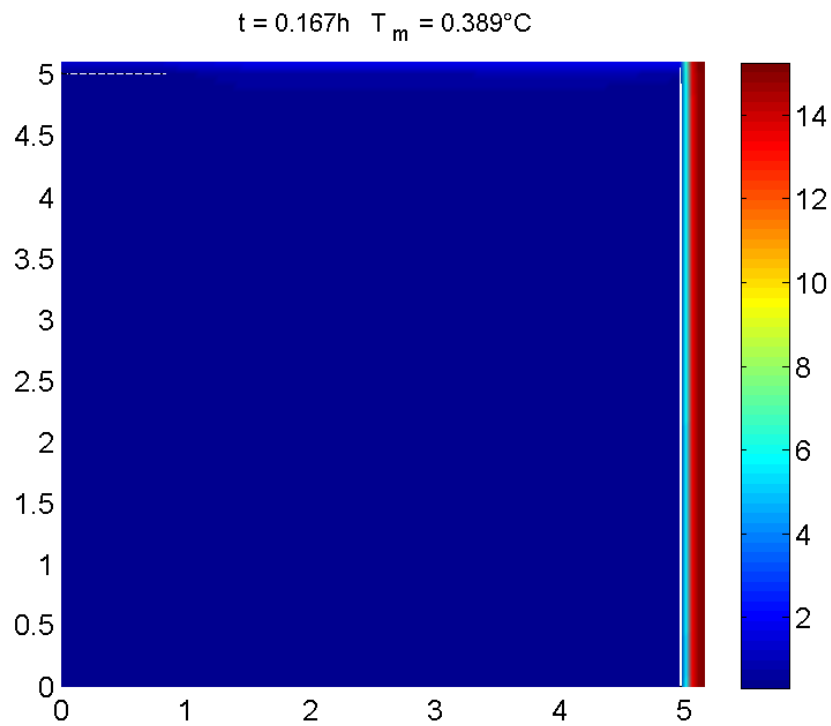


Mynd 11. Viðbragð kerfisins við tímaháðu hitaálagi án ís.

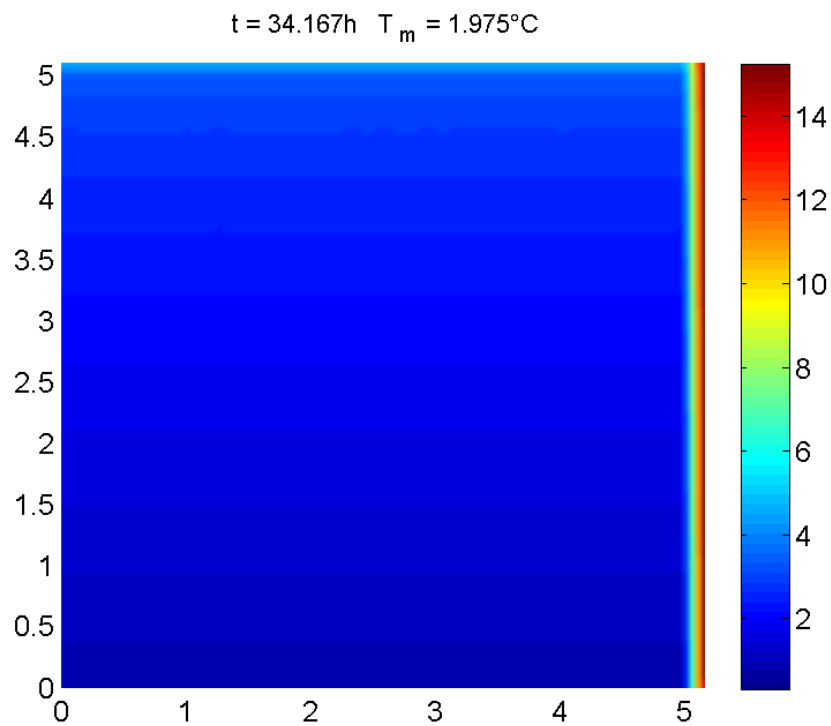
Mynd 11 sýnir viðbragð kerfisins við hitaálagi án þess að ís sé til kælingar. Kerfið bregst nokkru hraðar við hitastigsálaginu en kerfi með ís. Ef hitastigsálagið hefði verið meira mætti búast við því að sá munur yrði meiri.

3.3 Stöðugt hitastigsálag

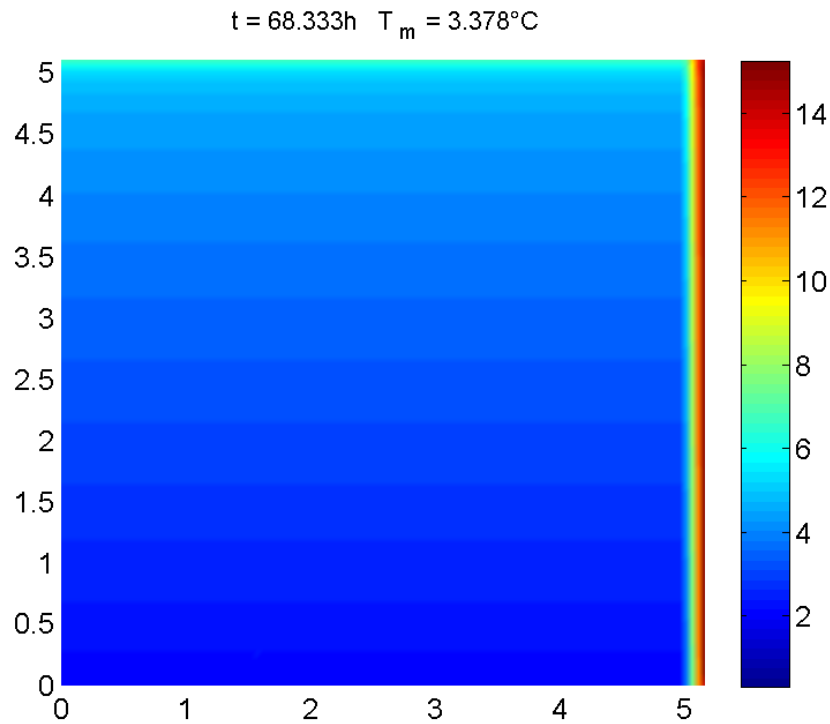
Í þessum hluta var stöðugu hitastigsálagi upp á 15 °C beitt á blöndu uppsjávarafla og sjávar með upphafshitastigi 0,3 °C.



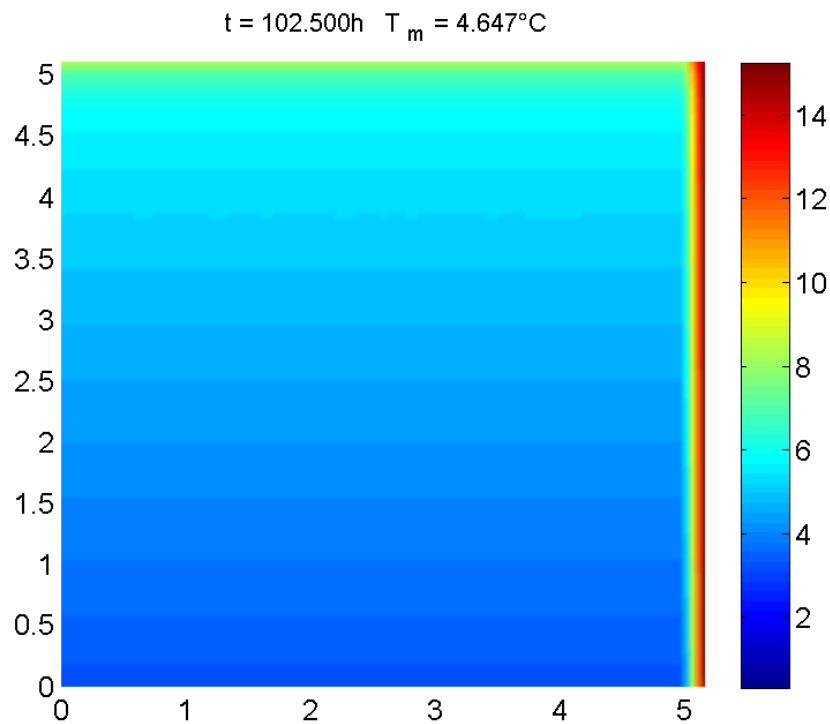
Mynd 12. Hitastigsdreifing geymslutanksins eftir 0,167 klst þar sem 15°C hitastigsálagi er beitt.



Mynd 13. Hitastigsdreifing geymslutanksins eftir 34,167 klst þar sem 15°C hitastigsálagi er beitt.



Mynd 14. Hitastigsdreifing geymslutanksins eftir 68,333 klst þar sem 15°C hitastigsálagi er beitt.



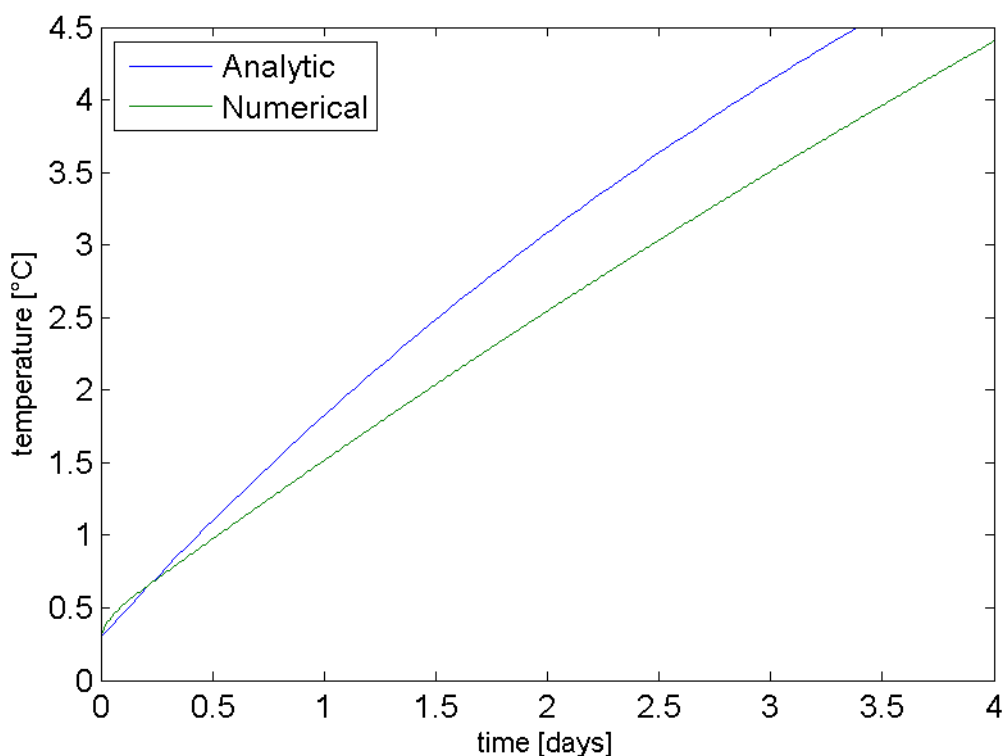
Mynd 15. Hitastigsdreifing geymslutanksins eftir 102,500 klst þar sem 15°C hitastigsálagi er beitt.

Mynd 12 til Mynd 15 sýna þróun hitastigsdreifingar í tankinum þegar stöðugu hitastigsálagi upp á 15°C er beitt. Sjá má að hitastigið efst og næst veggjunum hækkar hraðast, á meðan hitinn neðst í tankinum er nokkuð stöðugur yfir það tímabil sem skoðað var.

Meðalhitastigið (T_m) fer frá 0.4°C í 4.6°C yfir þær 102,5 klukkustundir sem skoðaðar voru. Munurinn á hitastiginu í lóðréttu stefnu virðist vera yfirgnæfandi þar sem Boussinesq nálgunin lætur heitara vatn stíga upp.

Þá má einnig sjá jaðarlag sem myndast við steypuvegginn, en varmainnstreymið skapar hringrás í kerfinu þar sem heitari vökvi rís upp við veggina þar sem hann blandast kaldari vökva og fellur svo aftur þegar hann kólnar við miðju tanksins.

3.3.1 Samanburður við fræðilega lausn

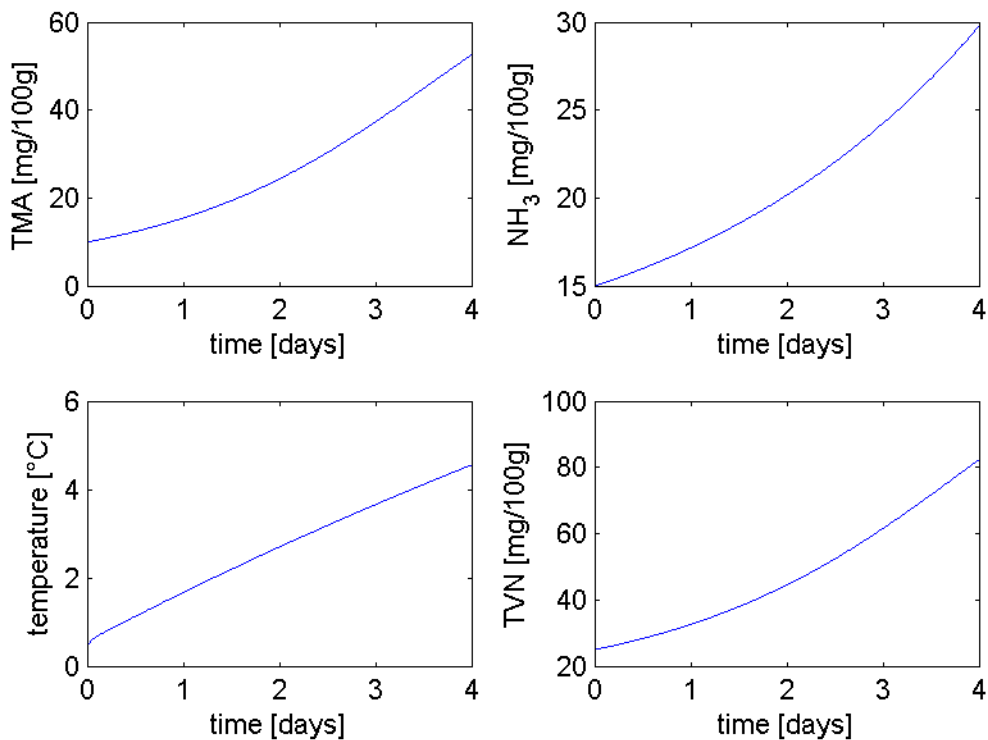


Mynd 16. Samanburður á útreikningum með þéttu varmarýmdarlíkani og þeim tölulegu aðferðum sem beitt er hér.

Mynd 16 sýnir þróun meðalhitastigs þar sem stöðugu 15 °C hitastigsálagi er beitt á blöndu sjávar og uppsjávaraflla við upphafshitastigið 0.3 °C. Annars vegar með því að finna meðalhita tölulegu aðferðarinnar (e. numerical) og hins vegar með aðferð þétts varmarýmdarlíkans (e. analytic). Hitastigsferlarnir virðast fylgja hver öðrum nokkuð vel þó hitastigið sem fengið er með varmarýmdarlíkaninu rísi nokkru hraðar en það sem fengið er með tölulegu aðferðinni. Ástæðan fyrir því er sú að eina varmaviðnámið í varmarýmdarlíkaninu er steypuveggurinn á meðan öll blanda uppsjávarfisksins og sjósins kemur inn í myndina í tölulegu aðferðinni. Þar sem ferlarnir tveir eru svipaðir má geta sér til um að tölulega líkanið gefi raunhæfar niðurstöður.

3.4 Þróun TMA og NH₃ í hráefni

Með því að nota þróun meðalhitastigs fengna frá tölulega líkaninu sem inntak í gæðaspálíkanið má reikna þróun TMA, NH₃ og TVN í hráefni með tíma.

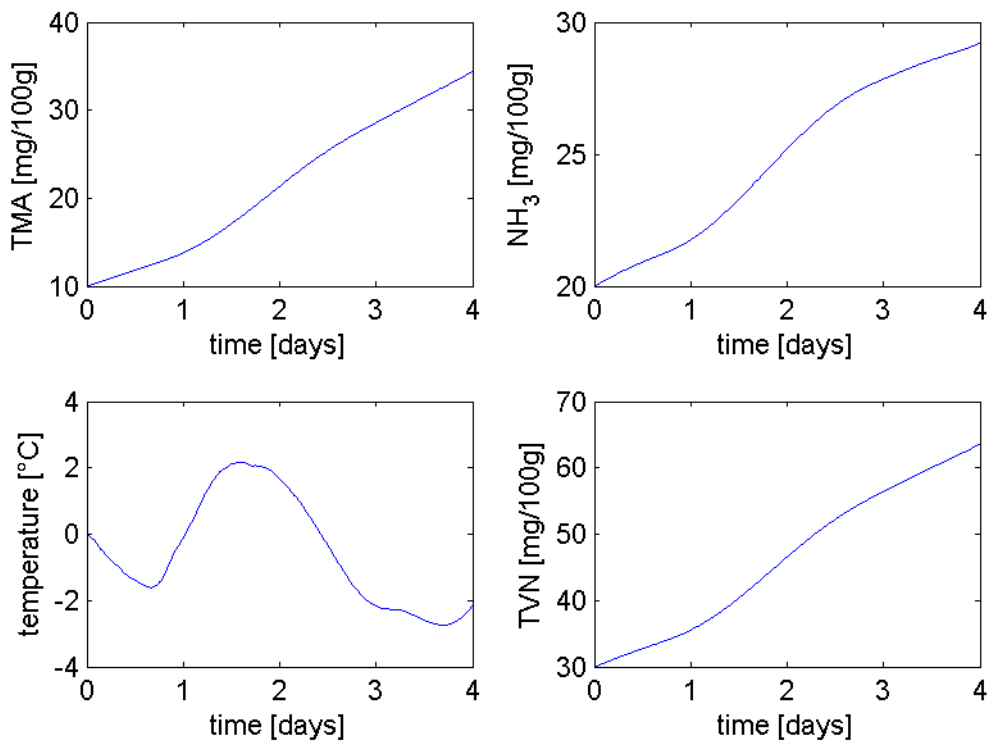


Mynd 17. Myndun TMA, NH₃ og TVN fyrir meðalhitastig í geymslutönkunum þar sem 15 °C hitastigsálagi var beitt.

Mynd 17 sýnir þróun skemmdaeinkennandi efna þar sem hitastigsálagið var 15 °C og upphafsgildi þeirra voru $TMA_0=10$ mg/100g og $(NH_3)_0=20$ mg/100g, í þessu tilfalli var hráefnið kolmunni.

Sjá má að hitastig hráefnisins hækkar stöðugt yfir þá fjóra daga sem skoðaðir eru. Sjá má að myndum TMA og NH₃ er tiltölulega hæg fyrstu tvo dagana en eykst nokkuð eftir það og verður heildarinnihald TVN í lokin um 92 mg/100g.

Til framleiðslu hágæðafiskmjóls má TVN innihald í mesta lagi vera 100-120 mg/100g (Gunnarsson, 1998). Sjá má að lokagildi TVN fyrir þessa tilteknu hitastigssögu verður aðeins lægra en þau mörk.



Mynd 18. Myndun TMA, NH₃ og TVN fyrir hitastig efst í tanki næst vegg fyrir sömu hitastigssögu og sést á Mynd 11.

Það líkan sem hér hefur verið þróað er mjög öflugt að því leyti að unnt er að beita því á sérhvern punkt í varmafræðilíkaninu og þvinga það með tímaháðu hitastigi. Það er gert með því að kúpla varma- og straumfræðiforritið Fluent við MATLAB sem er forritunarmál fyrir tæknilega útreikninga.

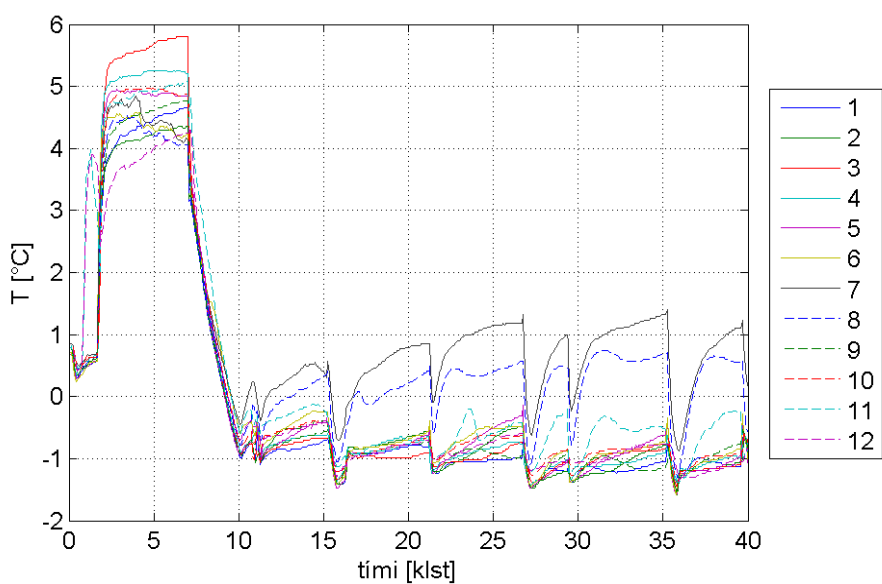
Á Mynd 18 má sjá fjölbærni þeirrar aðferðafræði sem þróuð hefur verið í verkefninu. Sá punktur sem er valinn er efst í tankinum, næst veggnum, en hann er einmitt viðkvæmastur fyrir breytingum á umhverfishita. Þá er sömu tímaháðu hitastigssögu beitt og sjá má á Mynd 11 og þróun skemmdaeinkenni efna svo fundin með gæðaspálíkaninu.

Sjá má greinileg áhrif hitastigs á myndun skemmdaeinkennandi efna á Mynd 18 þar sem hitastigsbreyting frá -1 °C í 2 °C eykur myndun TMA og NH₃ til muna. Þá hægir aftur á hraða myndunar þeirra efna þegar hitastigið lækkar. Þar sem umhverfishitinn er nokkuð lágur á þessum tíma verður heildarmyndun TVN lítil og vel innan þeirra marka sem þarf til að framleiða hágæðamjöl þar sem gildi þess við lok tímabilsins er um 63 mg/100g.

3.5 Hita- og gæðamælingar um borð í uppsjávarskipum

Almennt mældist 2 °C hámarks hitamunur á hverjum tíma í lest Barkar. Meðalhiti var reiknaður þannig að meðaltalhitastig hvers hitanema var reiknað út og svo meðalhitastig í öllum nemunum. Meðalhitinn var reiknaður út eftir að niðurkælingu var lokið sem í flestum tilvikum var 10-12 klst. eftir að afla var dælt í lest.

3.5.1 Veiðiferð 1



Mynd 19. Hitastig í lest 25.09.08 21:00 – 27.09.08. 19:00

Tafla 10. Meðalhitastig í veiðiferð 1

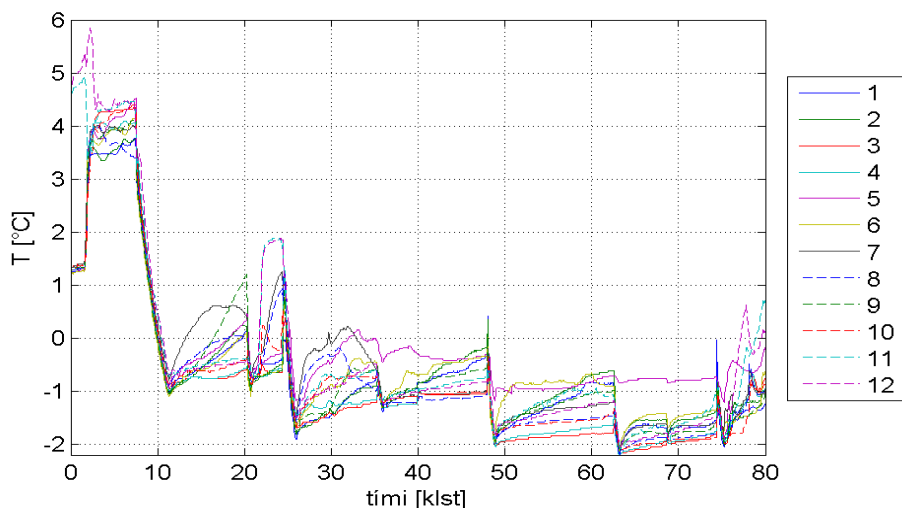
| Hitanemi | Hitastig (°C) |
|-----------|---------------|
| 1 | -0,95 |
| 2 | -0,65 |
| 3 | -0,87 |
| 4 | -0,91 |
| 5 | -0,99 |
| 6 | -0,95 |
| 7 | 0,09 |
| 8 | -0,98 |
| 9 | -0,83 |
| 10 | -1,05 |
| 11 | -0,85 |
| 12 | 0,52 |
| Meðalhiti | -0,70 |

Meðalhiti var reiknaður út frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar (Tafla 10). Meðalhitastig í þessum tús var $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gallar voru eftirfarandi við löndun:

- Los 2,37%
- Roðgallar 1,69%
- Sködduð flök 1,21%

Heildargallatíðni var því 5,27%.

3.5.2 Veiðiferð 2



Mynd 20. Hitastig í lest 15.10.08 21:00 – 19.10.08 00:00

Tafla 11. Meðalhitastig í veiðiferð 2

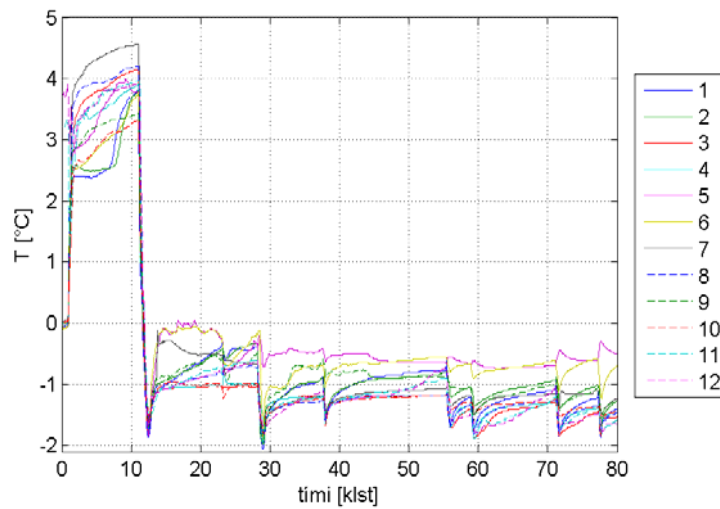
| Hitanemi | Hitastig ($^{\circ}\text{C}$) |
|-----------|---------------------------------|
| 1 | -2,13 |
| 2 | -0,88 |
| 3 | -2,04 |
| 4 | -0,54 |
| 5 | -1,36 |
| 6 | -1,32 |
| 7 | -1,08 |
| 8 | -1,04 |
| 9 | -0,91 |
| 10 | -1,10 |
| 11 | -1,19 |
| 12 | -0,84 |
| Meðalhiti | -1,20 |

Meðalhiti var reiknaður út frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar (Tafla 11). Meðalhitastig í lest var $-1,20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gallar voru eftirfarandi við löndun:

- Flökunargalli 0,86%

Heildargallatíðni var því 0,86%.

3.5.3 Veiðiferð 3



Mynd 21. Hitastig í lest 21.10.08 14:00 – 25.10.08 00:00

Tafla 12. Meðalhitastig í veiðiferð 3

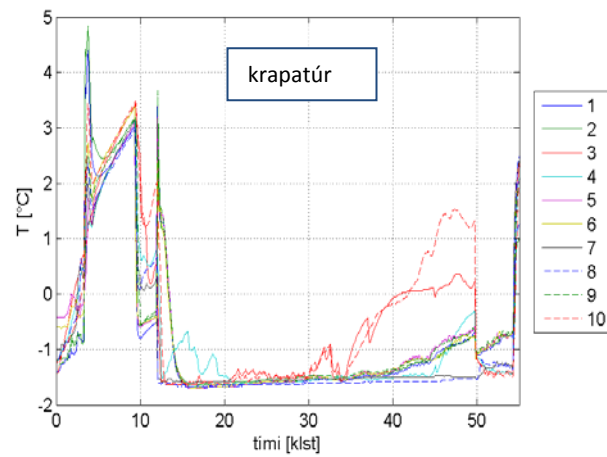
| Hitanemi | Hitastig (°C) |
|-----------|---------------|
| 1 | -0,99 |
| 2 | -1,23 |
| 3 | -1,25 |
| 4 | -0,54 |
| 5 | -1,30 |
| 6 | -1,27 |
| 7 | -1,24 |
| 8 | -0,97 |
| 9 | -0,64 |
| 10 | -1,07 |
| 11 | -1,24 |
| 12 | -1,06 |
| Meðalhiti | -1,07 |

Meðalhiti var reiknaður út frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar (Tafla 12). Meðalhiti í lest var -1,07 °C. Gallar voru eftirfarandi:

- Los 1,53%
- Blóð í flökum 3,45%

Heildargallatíðni var því 4,98%.

3.5.4 Veiðiferð 4



Mynd 22. Hitastig í lest 25.10.08 04:00 – 27.10.08 11:00

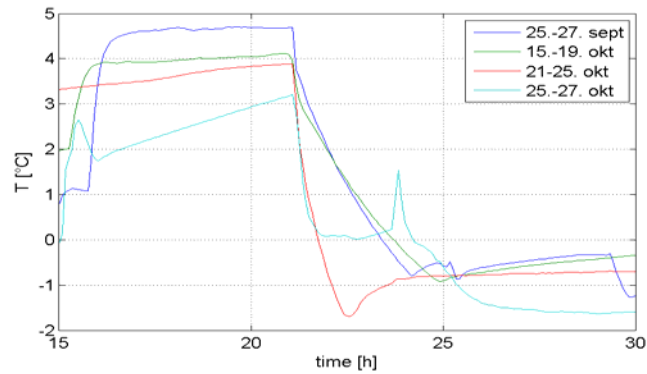
Tafla 13. Meðalhitastig í veiðiferð 4

| Hitanemi | Hitastig (°C) |
|-----------|---------------|
| 1 | -0,74 |
| 4 | -1,33 |
| 6 | -1,36 |
| 7 | -1,58 |
| 8 | -1,30 |
| 9 | -1,35 |
| 10 | -1,38 |
| 12 | -1,51 |
| Meðalhiti | -1,32 |

Meðalhiti var reiknaður út frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar (Tafla 13). Meðalhiti í lest var -1,32 °C. Gallar voru eftirfarandi:

- Blóð í flökum 0,77%
- Sködduð flök 0,86%

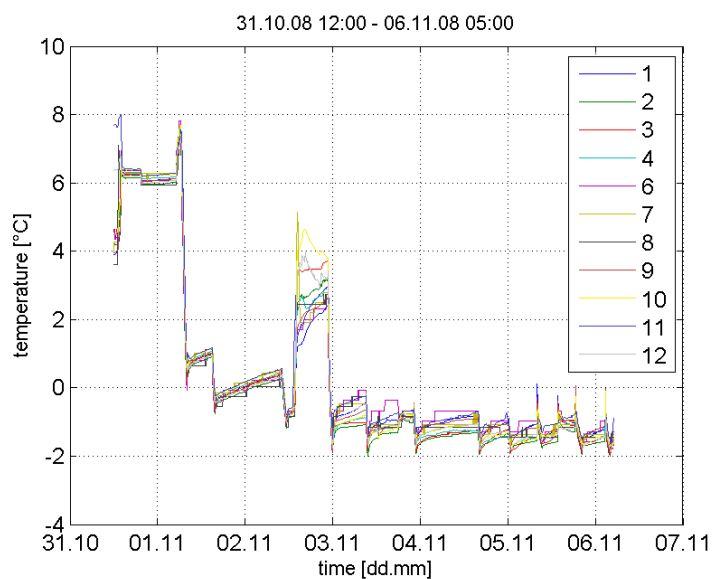
Heildargallatíðni var því 1,63%.



Mynd 23. Niðurkæling í lest Barkar eftir 15 klst.

Mynd 23 Sýnir meðalhitastig í ofangreindum 4 veiðiferðum Barkar. Ljóst er að skv. myndinni mælist lægri hiti í krapatúrnum (25.-27. okt.) eftir niðurkælingu en í RSW túrunum. Ástæðuna fyrir tímabundinni hitahækkun meðan á niðurkælingu stóð var líklega að finna í að viðbótarafli kom í lestina. Það sem ekki síður er mikilvægt, er að hitinn í krapatúrnum hækkaði minna í kjölfar dælingar aflans í lestina en í hinum veiðiferðunum. Þetta má væntanlega skýra með kæligetu flöguíssins, sem fyrir var komið í lestinni.

3.5.5 Veiðiferð 5



Mynd 24. Hitastig í lest Barkar í veiðiferð sem var farin 31.10.08 12:00 – 6.11.08 05:00.

Tafla 14. Meðalhitastig í veiðiferð 5

| Hitanemi | Hitastig (°C) |
|----------|------------------|
| 1 | -1,12 |
| 2 | -1,33 |
| 3 | -1,43 |
| 4 | -1,29 |
| 5 | -1,09 |
| 6 | -1,24 |
| 7 | -1,09 |
| 8 | -0,91 |
| 9 | -1,14 |
| 10 | -0,95 |
| 11 | -1,24 |
| Meðaltal | -1,17 |

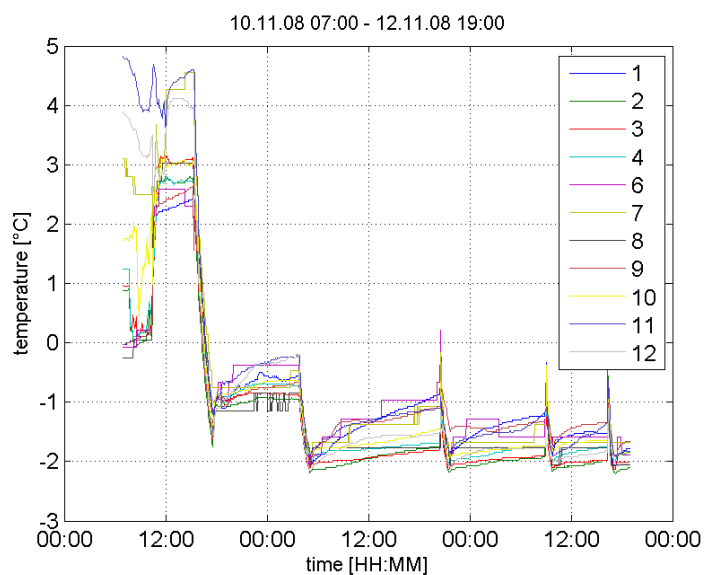
Meðalhitastig var mælt frá lokum annarrar niðurkælingar til löndunar, þ.e. frá 3. nóvember til 6. nóvember (Tafla 14). Meðalhitastig á þessu tímabili var -1,17 °C.

Gallar við löndun voru eftirfarandi:

- Los 0,84%
- Blóð í flökum 0,43%
- Flökunargallar 0,25%
- Sködduð flök 0,22%

Heildargallatíðni var því 1,74%.

3.5.6 Veiðiferð 6



Mynd 25. Hitastig í lest Barkar í veiðiferð sem var farin 10.11. – 12.11.2008.

Tafla 15. Meðalhitastig í veiðiferð 6

| Hitanemi | Hitastig (°C) |
|----------|---------------|
| 1 | -1,39 |
| 2 | -1,94 |
| 3 | -1,80 |
| 4 | -1,45 |
| 5 | -1,71 |
| 6 | -1,54 |
| 7 | -1,41 |
| 8 | -1,78 |
| 9 | -1,46 |
| 10 | -1,77 |
| Meðaltal | -1,63 |

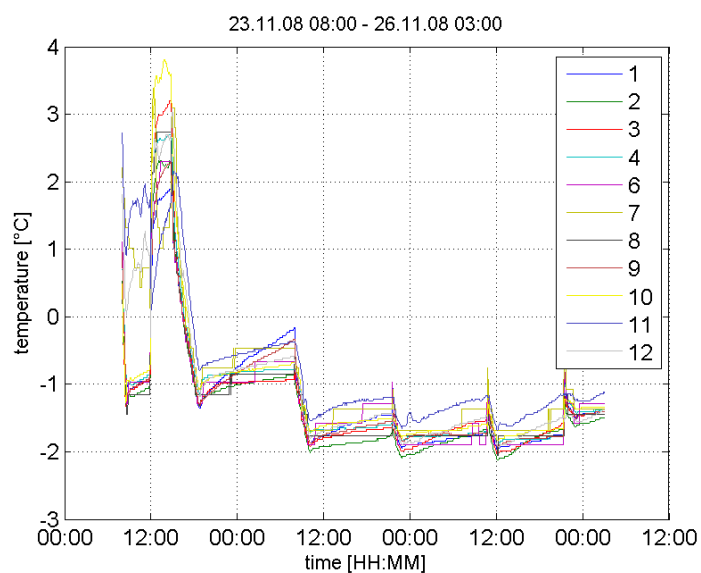
Meðalhiti var reiknaður út frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar (Tafla 15). Meðalhitastig í veiðiferðinni frá 11.11.08 kl. 06:00 til 12.11.08 kl. 19:00 var -1,63 °C.

Gallar í afla við löndun voru eftirfarandi:

- Flökunargalli 1,0%
- Sködduð flök 0,19%

Heildargallatíðni var því 1,19%.

3.5.7 Veiðiferð 7



Mynd 26. Hitastig í lest Barkar í veiðiferð sem farin var 23.11-26.11.08.

Tafla 16. Meðalhitastig í veiðiferð 7

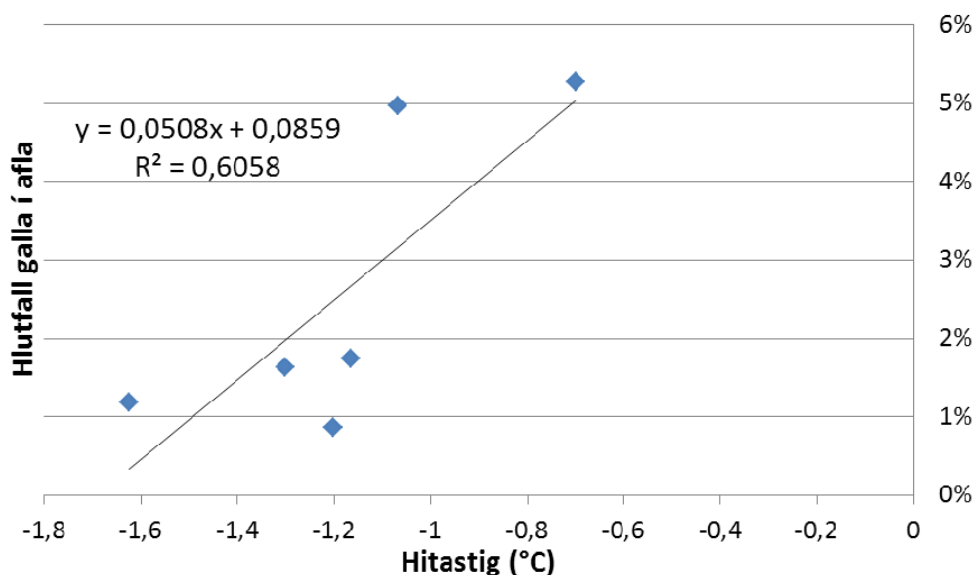
| Hitanemi | Hitastig (°C) |
|----------|---------------|
| 1 | -1,39 |
| 2 | -1,53 |
| 3 | -1,62 |
| 4 | -1,43 |
| 5 | -1,37 |
| 6 | -1,37 |
| 7 | -1,24 |
| 8 | -1,42 |
| 9 | -1,48 |
| 10 | -1,10 |
| 11 | -1,38 |
| Meðaltal | -1,39 |

Meðalhiti var reiknaður út frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar (Tafla 16). Meðalhitastig í lest í veiðiferð frá 23.11. kl. 23:45 til 25.11. kl. 08:10 var -1,39 °C.

Gallar í afla við löndun voru eftirfarandi:

- Los 11,82%

Heildargallatíðni var því 11,82%. Mikið los var í fiski, sem stafaði af sýkingu í honum.



Mynd 27. Meðalhitastig úr og hlutfall galla í uppsjávarafla úr Berki.

Heildarhlutfall galla úr ofangreindum veiðiferðum jókst með hækkandi meðalhitastig í lest Barkar (Mynd 27). Á myndinni er síðasti túrinn ekki tekinn með í reikninginn vegna óvenjulega hárrar gallatíðni vegna sýkingar.

3.6 Notkun íblöndunarefna

Flestar skemmdir í hráefni uppsjávarfisks má rekja til örveruskemmda í hráefninu. Til að sporna við skemmdum hafa ýmis íblöndunarefni verið notuð til íblöndunar í kælimiðla. Má þar nefna ediksýru, óson, vetnisperoxíð og natríumhýpóklóríð. Nú þegar eru á markaði a.m.k. tvær vörutegundir sérstaklega hannaðar til íblöndunar við RSW kælimiðla.

Óson er einn kröftugasti oxunarmiðill sem þekktur er. Óson hreinsar vel lagnakerfi þar sem einhver raki er til staðar og virkar vel við þrif á lögnum RSW/CSW kerfa. Notkun á ósoni til gerilsneyðingar er ekki ný af nálinni, en á síðustu árum hefur búnaður til ósonframleiðslu lækkað í verði og er því orðinn fýsilegur kostur fyrir framleiðendur. Óson er mjög hvarfgyjarnt efni og oxar allt sem það kemst í snertingu við. Þannig drepur það örverur, eyðist fljótt og skilur ekki eftir neinar leifar eða aukabragð, líkt og klór. Notkun ósons hefur lengi verið beitt til að gerilsneyða vatn og notkun þess virðist vera að breiðast út í ýmiskonar matvælavinnslu. Gallinn við óson er hins vegar að það getur oxað viðkvæm efni, eins og fjölómettaðar fitusýrur í fiskafurðum og þannig aukið líkur á þránun við geymslu, sérstaklega í afurðum sem hafa lága vatnsvirkni, eins og t.d. frosinn fiskur, saltfiskur og þurrkaðar fiskafurðir. Rannsóknir á áhrifum ósons í fiskiðnaði hafa m.a. birst í samantekt frá Fiskeriforsknung í Noregi (Sørensen o.fl. 2002). Út frá tækni- og öryggissjónarmiðum mæla höfundar ekki með íblöndun ósons í kælivökva í lestar, einungis er mælt með ósoni í sambandi við þrif og sótthreinsun, en gæta þarf varúðar þar sem óson getur valdið tæringu margra efna.

Í nýjustu heimildum virðist þó vera litið jákvæðari augum á áhrif ósonmeðhöndlunar á matvæli (Clark 2004; Guzel-Seydim o.fl. 2004). Samkvæmt þessum höfundum eru örverudrepandi áhrif ósons víðtæk, geymsluþol margra matvæla eykst og hægt er að nota óson til sótthreinsunar og gerilsneyðingar á flestum stöðum í matvælavinnslu og fiskeldi. Skv. fyrrgreindum höfundum er notkun á ósoni í vinnsluferli matvæla orðinn fýsilegur kostur fyrir matvælaframleiðendur. Nokkur fiskvinnslufyrirtæki hér á landi hafa nú þegar fjárfest í búnaði til að blanda ósoni í þurrkloft í þurrkklefum og draga þannig úr lyktarmyndun. Við rétta notkun getur óson tvímælalaust gagnast til þess að fækka örverum og þannig aukið gæði og geymsluþol fiskafurða og annarra matvæla.

Óson hefur þann kost umfram t.d. klór að engar leifar verða eftir af efninu, því það eyðist fljótt og engin ólykt fylgir því. Ósonbúnaður er því nýr möguleiki fyrir matvælafyrirtæki til þess að tryggja öryggi og gæði matvæla við vinnslu og geymslu.

Food and Drug Administration (FDA) í Bandaríkjunum hefur leyft notkun ósons í matvælavinnslu frá því í júní 2001 og ekki þarf að taka fram á umbúðum viðkomandi matvæla að óson hafi verið notað í vinnsluferlinu. Innan EES er leyfilegt að nota óson í fyrirtækjapakkingar.

4 UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR

Af því sem hér kemur fram má sjá að vel er mögulegt að nota þétt varmarýmdarlíkan til að spá fyrir um heildarorkunotkun uppsjávarskips þrátt fyrir þær nálganir sem slíkt líkan gerir. Það má einna helst sjá af því hversu vel hitastig í lest, ásamt niðurkælingarhraða, samræmist þeim mælingum sem gerðar hafa verið í Berki 2008-2009 en þær voru notaðar við prófanir á líkaninu sem smíðað var í verkþættinum.

Meginniðurstaðan er því að þrátt fyrir að líkanið sé í grundvallaratriðum einfalt er unnt að spá fyrir um þróun hitastigs og heildarvarma í lestum uppsjávarskips út frá gefnum forsendum um stærð hala, hráefni og afköst kælikerfis. Þá getur líkan þetta nýst við frekari líkanagerð af lestum uppsjávarskipa með þeim verkfærum sem tölvuvædd varma- og straumfræði hefur upp á að bjóða.

Einnig kom í ljós að mögulegt er að herma varmaflutning í geymslutönkum uppsjávarfisks með tölvuvæddri varma- og straumfræði. Unnt er að nota bæði stöðugt og tímaháð umhverfishitastig og gera ráð fyrir ísnotkun. Tölulega aðferðin gaf svipaða niðurstöðu og þétt varmarýmdarlíkan en er að öllum líkindum nákvæmari þar sem hún tekur varmaflutning innan kerfisins inn í myndina, fremur en að gera ráð fyrir einsleitri hitastigsdreifingu.

Þá var gæðaspálíkanið kúplað inn í varmaflutningslíkanið með því að samþætta niðurstöðurnar úr varma- og straumfræðiforritinu Fluent við forritunarmálið MATLAB. Þannig verður mögulegt að spá beint fyrir um gæði afla út frá umhverfishita eingöngu. Þetta gæti reynst mjög notadrjúgt við meðhöndlun og skipulagningu vinnslu uppsjávarafla.

Í framtíðarrannsóknum má bæta líkanið á nokkra vegu. Sú forsenda að gera ráð fyrir einsleitri blöndu uppsjávarfisks og sjóvatns er líkleg til að skapa einhverja ónákvæmni í útreikningum. Ítarlegri lausn á því vandamáli gæti verið mjög notadrjúg í frekari rannsóknarvinnu þar sem tölvuvæddri varma- og straumfræði er beitt í matvælavinnslu.

Þá mætti einnig taka yfirborðsflatarmál flöguíssins inn í myndina sem gæfi að öllum líkindum raunsærrí mynd af því á hvaða hátt flöguíssinn gerir hitastig geymslutankanna stöðugra. Þá mætti einnig taka tillit til varmaburðar lofts utan við tankana. Þannig væri mögulegt að taka vindhraða inn sem einn af þeim þáttum sem ákvarða þróun hitastigs aflans í tönkunum.

Þá mætti einnig framkvæma frekari tilraunir með myndun TMA og NH₃ í síld og kolmunna út frá tímaháðu hitastigsálagi, en grunnurinn að þeim reiknilíkönunum sem hér eru notuð miðast við fast hitastigsálag. Þannig væri mögulegt að bæta gæðaspálíkanið og auka áreiðanleika þess.

Af hita- og gæðamælingum um borð í Berki var ljóst að gallatíðni í lönduðum afla jókst með hækkingu meðalgeymsluhita. Almennt má segja að hitastýring í veiðiferðunum sjö hafi tekist vel

Þar sem meðalhitinn frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar var á bilinu -1.6 til -0.7 °C. Meðalhiti í krapatúrnum skar sig ekki úr með tilliti til tímabilsins frá lokum fyrstu niðurkælingar til löndunar en sjá mátti talsverðan mun á hitahækkun í kjölfar dælingar afla í lest. Í tilviki krapatúrsins var hitinn um 1-2 °C lægri á umræddu tímabili þegar RSW kælingar naut ekki við, sem endurspeglar kæligetu íssins. Með herra íshlutfalli fæst betri kæling og það dregur úr þeirri óumflýjanlegu hitahækkun sem á sér stað í lest í kjölfar þess að afla er dælt í hana.

5 ÞAKKARORÐ

AVS rannsóknasjóði í sjávarútvegi er þakkað fyrir veittan fjárhagsstuðning.

BIRTINGAR

Skýrslur

2009

Lárus Þorvaldsson, Björn Margeirsson, Sigurjón Arason. 2009. *CFD Modelling and Quality Forecasting for Cooling and Storage of Pelagic Species*. Skýrsla Matís 12-09.

2008

Sveinbjörn Pálsson, Björn Margeirsson, Sigurjón Arason. 2008. *Úttekt á kælingu uppsjávarfisks í Jóni Kjartanssyni SU 111*. Skýrsla Matís 24-08.

Erlend tímarit

Hanne Digre, Henrik Haugh Nielsen, Ingrid Undeland, Ásbjörn Jónsson, Ivar Storrö, Ida Grong Aursand. 2011. Emphasis on pelagic fish as food products. *Eurofish Magazine* (1):48-52.

Innlend tímarit

Lárus Þorvaldsson. 2009. Nýjar aðferðir til að spá fyrir um gæði uppsjávarafla. *Ægir* 102 (8):14 – 15.

Vefsíður

2010

Heimasíða Matís 17. apríl 2010. Matís á vorráðstefnu FÍF. <http://www.matis.is/um-matis/frettir/nr/2842>

2009

Heimasíða AVS, 15. sept. 2009. „Spá fyrir um gæði uppsjávarafla“ <http://avs.is/frettir/nr/1938>

2008

Heimasíða AVS, 15. sept. 2008. „Verðmæti uppsjávarfisks aukið með bættri kælitækni“ <http://avs.is/frettir/nr/1829>

Sjávarútvegssýningin okt. 2008. - einblöðungur

http://matis.is/media/utgafa/matra/Matis_Aukid_verdmaeti_uppsjavarfisks.pdf

Fyrirlestrar á ráðstefnum og fundum

2010

Sigurjón Arason. Advanced chilling techniques for pelagic fish – full scale results. *The Pelagic complex conference. Challenges and possibilities in the pelagic sector. Looking towards the future.* Þórshöfn, Færeyjum, 7.-9. sept. 2010.

Sigurjón Arason. Added value of pelagic catch – optimised handling and chilling methods. *The Nordic workshop: Challenges and possibilities in the pelagic sector. Looking towards the future.* Gardemoen, Noregi, 30. ágúst 2010.

Sindri Sigurðsson, Þórhallur Jónasson, Sigurjón Arason. Iceland – Future Aspects. *The Nordic workshop: Challenges and possibilities in the pelagic sector. Looking towards the future.* Gardemoen, Noregi, 30. ágúst 2010.

Sindri Sigurðsson. Processing and quality in pelagics. *The Nordic workshop: Challenges and possibilities in the pelagic sector. Looking towards the future.* Gardemoen, Noregi, 30. ágúst 2010.

Lárus Þorvaldsson, Björn Margeirsson, Sigurjón Arason. Kæling á uppsjávarfiski til vinnslu í landi. *Félagsfundur Kælitæknilags Íslands.* Reykjavík, Íslandi, 25. maí 2010.

Lárus Þorvaldsson, Sindri Sigurðsson, Sigurjón Arason. Kæling á hráefni til vinnslu í landi. *Vorráðstefna FÍF.* Reykjavík, Íslandi, 8. - 9. apríl 2010.

Sigurjón Arason, Lárus Þorvaldsson, Páll G. Pálsson, Björn Margeirsson, Þorsteinn Ingvarsson, Ragnheiður Sveinþórsdóttir. Samspil manneldisvinnslu og mjöl- og lýsisframleiðslu um nýtingu hráefnis. *Vorráðstefna FÍF.* Reykjavík, Íslandi, 8. - 9. apríl 2010.

2009

Sindri Sigurðsson, Lárus Þorvaldsson. Kæling og gæðamál. *Kynningarfundur Síldarvinnslunnar.* Neskaupstað, Íslandi, 30. desember 2009.

HEIMILDIR

Alhama, F. , González Fernández, C. F. (2002). Transient thermal behaviour of phase-change processes in solid foods with variable thermal properties. *Journal of Food Engineering* , 331-336.

Clark, J.P. (2004). Ozone – cure for some sanitation problems. *Food Technol.*, 58 (4), 75-76.

Gunnarsson, J. W. (1998). *Kæling uppsjávarafla - notkun ísþykkis*. Akureyri: Háskólinn á Akureyri.

Guzel-Seydim, Z. B., Greene, A. K., Seydim, A. C. (2004). Use of ozone in the food industry. *Lebensm-Wiss und-Technol*, 37, 453-460.

Holman, J. (2002). *Heat Transfer*. McGraw Hill.

Magnússon, B.J. (2009). *Bætt meðferð uppsjávarafla – drög að MS ritgerð*. Reykjavík: Háskóli Íslands.

Seton Bennett, M.S. (2008). 2.7.9 Physical properties of sea water. Sótt frá Kaye & Laby Online: http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_7/2_7_9.html den 2 October 2008

Sørensen, N.K., Højgård, S., Liltved, H. (2002). Effekter av ozon i kjølt sjøvann. *Fiskeriforskning*, Skýrsla 12: 1-35.

Williams, G.P. (1963). Heat Transfer Coefficients for Natural Water Surfaces. i C. f. *Evaporation, General Assembly of Berkeley* (ss. 203-212). Gentbrugge: International Association of Scientific Hydrology.

Zueco, J., Alhama, F., Gonzalez Fernández, C.F. (2003). Inverse determination of the specific heat of foods. *Journal of Food Engineering* , 347-353.