

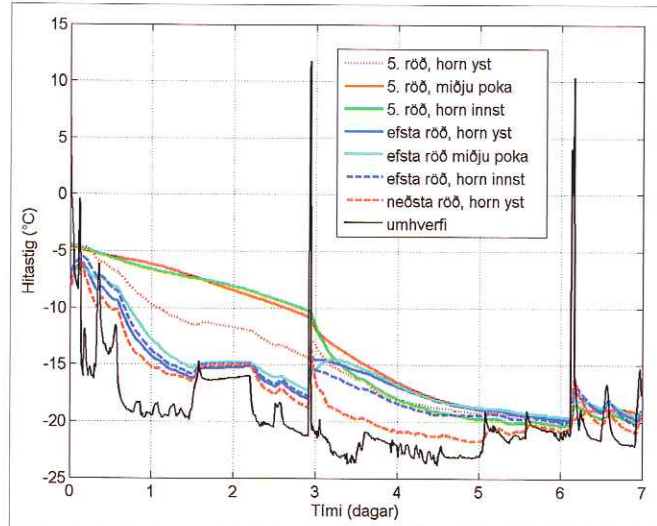
# Frysting og þíðing grálúðu rannsókuð með varmaflutningslíkönum

Í verkefni *Hermun kæliferla* hefur frystihraði og áhrif hitaálags á frosnar sjávarafurðir verið rannsakað með tilraunum og varmaflutningslíkana-gerð. Heilu bretti af hálf frosinni grálúðu var komið fyrir í frystigeymslu og lofthitastig og hitastig grálúðu á mismunandi stöðum á brettinu mælt með hitasíritum. Tíminn, sem tók að frysta grálúðuna frá -10 til -5°C undir -15°C, var allt frá einum og upp í fjóra daga eftir staðsetningu á bretti.

Í þíðingartilraunum voru bæði stakir pokar og tuttugu pokar, sem staflað var á bretti, rannsakaðir í hitastýrðum kæliklefum Matís og HÍ. Upphitun fullfrosinnar vöru var kortlögð við aðstæður, sem komið geta upp við uppskipun úr frystitögurum eða 10 – 20°C lofthita. Við niðurstöður tilraunanna voru bornar saman niðurstöður þrívíðra varmaflutningslíkana og fékkst almennt gott samræmi þar í milli. Við 10 klst. geymslu í 12,6°C lofthita hækkaði hiti í stökum pokum úr um -26°C í u.þ.b. -5°C. Við jafn langt hitaálag hækkaði hiti í pokum á bretti úr -22,5°C í allt frá -17 til -3°C sem sýnir hversu óeinsleit hitadreifingin getur verið við langvarandi hitaálag. Niðurstöður CFD líkansins sýndu að 10 m/s vindur við uppskipun flýtur þíðnun frosins fisks á bretti verulega.

## Inngangur

Hitastýring í lestum íslenskra frystitögara hefur ekki verið mikið rannsökuð hingað til. Það stingur nokkuð í stúf við þá staðreynd að reynslan hefur sýnt að ýmislegt getur farið úrskeiðis við hitastýringu í frystingu og geymslu frystra



Hitapróun á 8 mismunandi stöðum í heilu bretti (með 36 grálúðupoka)



Uppsetning í lok þíðingartilraunar með þrjá staka poka. Pokinn til hægri (P2) er sýnilega þíðinn.

afurða auk þess sem afurða-verðmætið er mikið. Dæmi um það sem getur farið úrskeiðis, er ónæg frysting í frystitækjum (plötufrystum, loftfrystum o.s.frv.) sem verður til þess að treysta þarf á frystilest skips eða frostgeymslu í landi til að klára frystiferlið. Vitneskja um hve langan tíma tekur að fullfrysta í geymslum er nauðsynleg við þess háttar aðstæður. Annað

áhættuatriði í hitastýringu frystra afurða er uppskipun á afla úr frystiskípum. Þekking á áhrifum hitaálags (sem er m.a. háð hita- og rakastigi loftsins, tíma, vindi og þakkingum) á frystar fiskblokkir getur nýst til ákvarðanatöku við löndun á bryggju, t.d. um mögulega hleðslu í frystigáma á bryggju eða frostgeymslu. Þá getur aukin þekking á áhrifum umhverfishita á hita



Björn Margeirsson

Höfundur  
starfar hjá  
Matís ohf.



frosinnar vöru einnig nýst við hönnun á lestum með að markmiði að besta hitastýringu í lestinni og þar með hámarka gæði vörunnar.

Niðurstöður eldri rannsóknna hafa sýnt að staðsetning kassa á brettinu getur haft úrslitaáhrif á þróun hitastigs í matvælum sem verða fyrir hitaálagi. Síðastliðin ár hefur mikið vatn runnið til sjávar í tölvutækni og tölvuvæddri varma- og straumfræði samhliða því sem hún hefur sannað notagildi sitt víða í flutningsferlum ferskra- og frosinna sjávarafurða (James et al., 2006, Laguerre et al., 2009, Moureh and Derens, 2000, Moureh et al., 2002). Nú er því unnt að kortleggja hitadreifingu með tíma inni í frosnum fiskþakningum með tilraunum og CFD líkönum.

## Pakkingar, hráefni og hugbúnaður

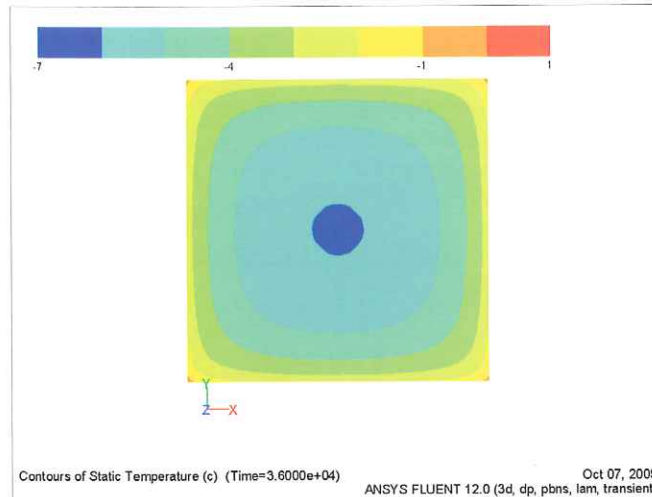
Notast var við frosna grálúðu (*Reinhardtius hippoglossoides*) og var bæði um að ræða staka ferhyrnda strigapoka, sem og fleiri poka á einu bretti. Stærð pokanna var nokkuð mismunandi: breidd og lengd frá u.þ.b. 50 til 57 cm og þykkt frá 9 til 10 cm. Í fyrri þíðingartilrauninni, sem var gerð á tuttugu pokum röðudum á bretti í fimm hæðum, var hitastig kortlagt innan í þremur pokum. Töluverð dreifni var í þyngd pokanna því eftir tilraunina mældist þyngd grálúðu 21,78 kg (P1: poki nr. 1), 23,40 kg (P2) og 23,75 kg, þ.e.a.s. meðalþyngd 23,0 kg og staðalfrávik 1,1 kg.

Meðalþyngd pokans sjálfs reyndist vera 0,27 kg, þ.e. því sem næst hverfandi miðað við þyngd hráefnisins.

Tilraunirnar voru annars vegar framkvæmdar í frostgeymslu og hins vegar í hitastýrðum kæli- og frystiklefum Matís ohf. og Háskóla Íslands. Stuðst var við varma- og straumfræðiforritið ANSYS FLUENT (www.fluent.com) við líkanagerðina.

### Frystitilraun með heilt Brett

Á bretti var staflað þrjátíu og sex grálúðupokum í níu röðum með upphafshita u.þ.b. -10 til -5°C. Átta hitasíritum var komið fyrir á mismunandi stöðum innan í pokum; fjórir í poka í efstu röð, þrír í poka í miðjuröðinni (5. röð) og einn nærri útvísandi horni í neðstu röð. Þá var hitasíritum einnig komið fyrir á yfirborði brettisins og einum í u.þ.b. 1 m fjarlægð frá því til að skrásetja lofthitann (umhverfishitann) í frystigeymslunni. Fjar-



Hitadreifing í láréttu plani fyrir miðri hæð í grálúðupoka P1 eftir 10 klst. hitaálag (12,6 °C umhverfishiti) skv. CFD líkani. Upphaflegur vöruhiti var -26,0 °C.

lægð sírita frá yfirborði poka var u.þ.b. 3 til 6 cm líkt og í þíðingartilraununum. Brettinu var komið fyrir í frystigeymslu og geymt í vikutíma. Fjarlægð brettisins frá kæliblásurum í geymslunni var nægjanleg til þess að lofthraðinn kringum

brettið mældist minni en 0,3 m/s.

Niðurstöður frystitilraunarinnar (sjá mynd 1) sýna fram á, svo ekki verður um villst, mikilvægi fullnægjandi virkni og notkun frystitækja á borð við plötufrysta til að fullfrysta

sjávarafurðir áður en þeim er komið fyrir til geymslu í frystigeymslum. Á myndinni sést til dæmis að það tók nærri fjóra daga að lækka hitann á öllu brettinu niður fyrir -15°C, sem er þó ekki fullnægjandi hitastig. Hér ber þó að geta þess að hitastýringu í frystigeymslunni virðist hafa verið ábótavant meðan á tilrauninni stóð því lofthitinn fór ekki undir -20°C fyrr en á þriðja degi þó svo ráðlagt geysluhitastig sé undir -24°C (Árason, 1995).

Þessar niðurstöður eru í góðu samræmi við niðurstöður rannsókna Magnussen (1988) sem sýndu að það tæki rúma þrjú daga að frysta innihald heils brettis niður fyrir -15°C við -28 til -25°C hita. Greinilegt er að einungis 20 mínútna tímabil, þar sem brettið var geymt í rúmlega 10°C hita, hafði sýnileg áhrif sem sáust þó best á útvísandi hornum staflans á brettinu (síritar nr. 408, 443 og 455 á

# Málun og einangrun skipa

## Útgerðarmenn . . . !

Látið okkur sjá um reglulegt viðhald á skipum ykkar og bátum. Sérhæfum okkur í viðhaldi á vinnsludekkjum.

## Fiskvinnslustöðar . . .

Háþrýstipvottur og sandblástur. Alhliða viðgerðir á þökum og veggjum.

Föst verðtilboð --- Margra ára reynsla --- Leitið upplýsinga



**SKIPAFJÓNUSTA EINARS JÓNSSONAR EHF**

Laufásvegi 2a • 101 Reykjavík • Gsm: 892 1565 • Sími: 552 3611 • Fax: 562 4299

Mynd 1). Niðurstöður þessarar tilraunar gefa til kynna að það eigi ekki að treysta á frystigeymslur til að frysta frystivöru. Með þetta í huga má segja að heitið „frostgeymslur“ gefi réttari mynd af sönnu hlutverki geymslna með óskahita -30 til -24°C heldur en hið algengara heiti „frystigeymslur“.

**Varmaflutningslíkan af stökum poka í þíðingu**

Uppsetning tilraunar með þrjá staka poka má sjá á mynd 2. Á myndinni sést að hitaálagið stóð nógu lengi til að grálúðan þiðnaði og bleytti pokana undir lok tilraunarinnar.

Mjög einsleitur -26°C upphafsvörður mældist í upphafi tilraunarinnar og var lofthitinn að meðaltali 12,6°C í miðju klefa yfir allt tímabilið. Mynd 3 sýnir hitadreifingu fyrir miðri hæð í grálúðupoka eftir 10 klst. hitaálág. Mikilvægi staðsetningar hitamælingar í miðju sést glögglega á hitakortinu á myndinni.

Samanburð tilraunaniðurstaðna og varmaflutningslíkansins getur að líta á mynd 4. Bornar eru saman niðurstöður í tveimur stöðum nærri horni og einni í miðju poka. Á myndinni má sjá að mjög góð samsvörun fæst milli líkansins og tilrauna í hornum og í miðju fyrir poka P2, sem gefur til kynna ónákvæma staðsetningu miðjusíritans nr. 488 í poka P1.

**CFD líkan af heilu bretti í þíðingu**

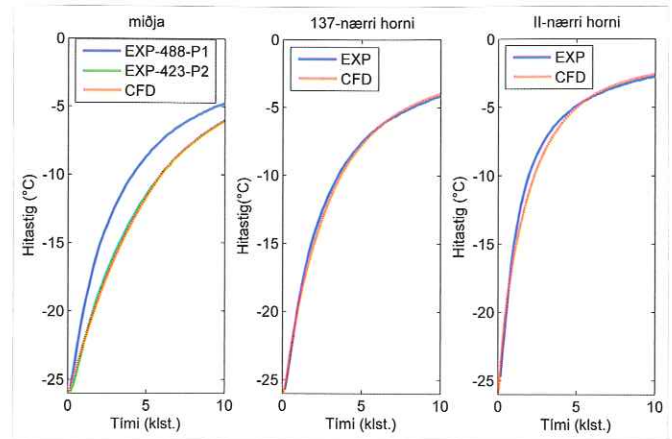
Einnig var gerð tilraun og smíðað varmaflutningslíkan af 20 poka bretti, sem verður fyrir hitaálagi. Meðalumhverfishitinn fyrstu 1,5 klst. var 18,8°C og meðalhitinn næstu 8,5 klst. var 16,5°C. Í varmaflutningslíkaninu var gert ráð fyrir einsleitri hitadreifingu í grálúðu við -22,5°C í upphafi hitunar og varmaflutningur og hitadreifing hermd í samtals 10 klst. Annars vegar var gert ráð fyrir logni og hins vegar að brettið stæði í 10 m/s vindi. Samanburð tilraunaniðurstaðna og hermunar gefur að líta á mynd 5. Bornar eru

saman niðurstöður í átta punktum í þremur pokum á brettinu.

Þegar horft er framhjá skekkju í botni grálúðustafans má fullyrða að góður samanburður hafi fengist milli varmaflutningslíkans og tilrauna, sérlega ef höfð er í huga óvissa staðsetningar síritanna og magn loftrýmis, sem fyrirfinnst milli grálúðupokanna. Þróa mætti líkanið enn frekar þannig að loftflæði kringum staflann væri hermt, sem myndi leiða til þess að varmaburðarstuðullinn allt í kringum staflann væri reiknaður en ekki notaður sem jaðarskilyrði líkt og var gert hér. Þá er vert að geta þess að líkja hefði mátt betur eftir aðstæðum við uppskipun á bryggju með því að gera tilraunina ekki inni í vel eingruðum klefanum heldur í stærra, þó hitastýrðu rými.

**Pakkarorð**

*Verkefnið Hermun kæliferla* er styrkt af AVS rannsóknasjóði í sjávarútvegi, Tæknipróunarsjóði og Rannsóknasjóði Háskóla Íslands. Fyrirgreindum sjóðum er þakkaður stuðningurinn. Þá er Sam-



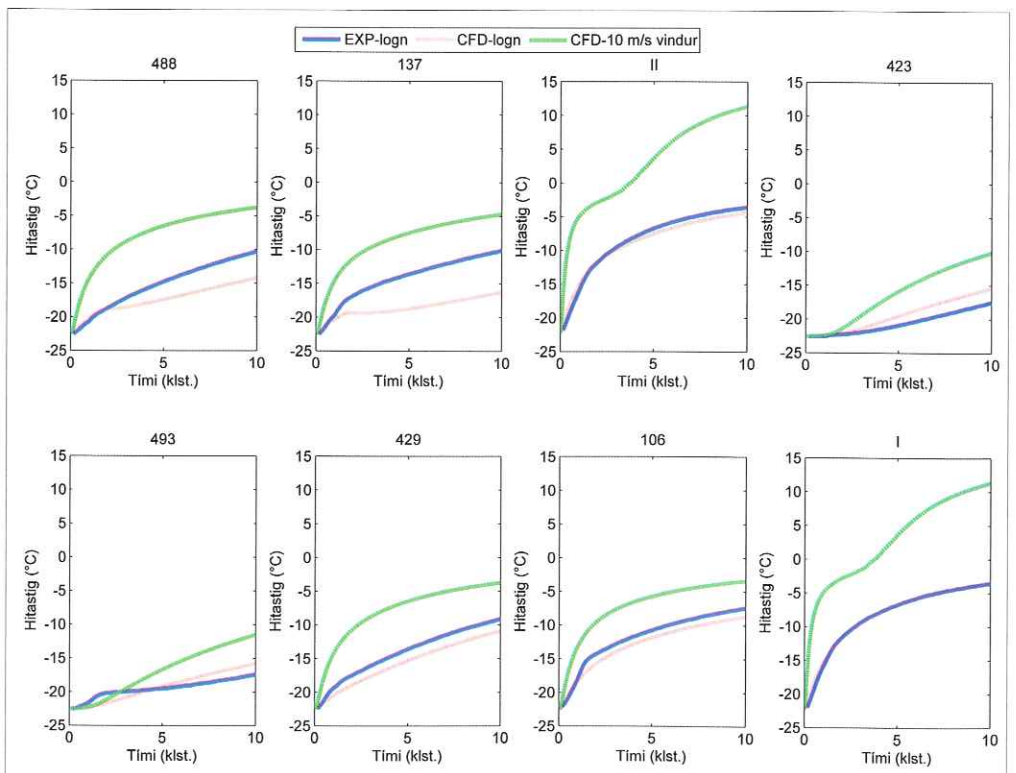
Samanburður niðurstaðna varmaflutningslíkans og tilraunar fyrir staka grálúðupoka.

herja hf. sérstaklega þakkað fyrir að útvega hráefni til tilrauna.

**Heimildir**

ARASON, S. (1995) Rit Rf númer 41: Tvífyrsting - vinnsla á frystu hráefni. Reykjavík, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins.  
 JAMES, S. J., JAMES, C. & EVANS, J. A. (2006) Modelling of food transportation systems - a review. International Journal of Refrigeration, 29, 947-957.  
 LAGUERRE, O., REMY, D. & FLICK, D. (2009) Airflow, heat and moisture transfers by natural convection in a refrigerating cavity. Journal of Food Engineering, 91, 197-210.  
 LIENHARD VI, J. H. & LIENHARD V, J. H. (2005) A Heat Transfer Textbook, Cambridge, MA, USA, Phlogiston Press.  
 MAGNUSSEN, O. M. (1988) Dobbel-

frysning - Process- og Utbytteforhold. Fiskmassa - afsluttende projektrapport. Kaupmannahöfn.  
 MOUREH, J. & DERENS, E. (2000) Numerical modelling of the temperature increase in frozen food packaged in pallets in the distribution chain. Modélisation numérique de l'augmentation de température des produits alimentaires congelés palettisés dans la chaîne de distribution. International Journal of Refrigeration, 23, 540-552.  
 MOUREH, J., LAGUERRE, O., FLICK, D. & COMMERE, B. (2002) Analysis of use of insulating pallet covers for shipping heat-sensitive foodstuffs in ambient conditions. Computers and Electronics in Agriculture, 34, 89-109.  
 ZUECO, J., ALHAMA, F. & GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, C. F. (2004) Inverse determination of the specific heat of foods. Journal of Food Engineering, 64, 347-353.



Hitastig í átta mismunandi staðsetningum í tuttuugu grálúðupoka stalla á bretti, samanburður niðurstaðna varmaflutningslíkans m.v. logni og 10 m/s vind og tilraunar. Upphaflegur vörður var -22,5°C.