

Rannsókn á lagnaðarís við Ísland Lokaskýrsla AVS verkefnis

Halldór Björnsson

Rannsókn á lagnaðarís við Ísland

Lokaskýrsla AVS verkefnis

Halldór Björnsson, Veðurstofu Íslands

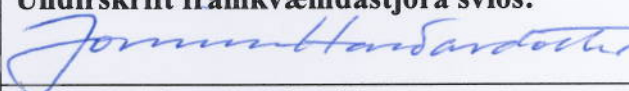
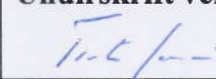
Lykilsíða

Skýrsla nr.: VÍ 2010-011	Dags.: Október 2010	ISSN: 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
------------------------------------	-------------------------------	---------------------------	--

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Rannsókn á lagnaðarís við Ísland – Lokaskýrsla AVS verkefnis	Upplag: 20
	Fjöldi síðna: 31
Höfundar: Halldór Björnsson	Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir
	Verkefnisstjóri: Trausti Jónsson
Gerð skýrslu/verkstig:	Verknúmer: 4865-0-0001

Unnið fyrir: AVS Rannsóknasjóð í sjávarútvegi
Samvinnuaðilar:

Útdráttur:
Lagnaðarís er viðvarandi að vetri í vikum, vogum og á fjörðum víða um land. Þótt hann hafi yfirleitt ekki valdið miklum búsfjum jókst tjón af völdum lagnaðaríss þegar sjókvíaeldi hófst við Ísland. Árið 2008 fengu Veðurstofa Íslands, Hafrannsóknastofnunin, Náttúrustofa Vestfjarða, Matís og fyrirtæki í fiskeldi styrk frá AVS Rannsóknasjóði í sjávarútvegi til að kortleggja tíðni lagnaðaríss í íslenskum fjörðum, meta og mæla áhættuþætti og skipuleggja viðbrögð við myndun lagnaðaríss. Á vegum verkefnisins var heimilda aflað, gögnum safnað og unnið úr þeim. Sérstaklega var athugað hvort beita mætti reikniliíkönnum til að herma eftir lagnaðarísmyndun og spá þannig fyrir um ísmyndun. Einnig var unnið yfirlit um viðbrögð fyrir sjókvíaeldi við lagnaðarísmyndun. Niðurstöður heimildavinnunnar eru birtar annarsstaðar, en þessi skýrsla fjallar um niðurstöður athugana, úrvinnslu, hermireikninga á lagnaðarísmyndun, auk stuttrar umræðu um viðbrögð.

Lykilorð: Lagnaðarís, hafis, ísmyndun, veðurfar, Tálknafjörður, Skutulsfjörður, Álftafjörður	Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 
	Undirskrift verkefnisstjóra: 
	Yfirfarið af: SG

Efnisyfirlit

Myndaskrá	5
Töfluskrá	6
1 Inngangur.....	7
2 Athuganir á lagnaðarís.....	8
2.1 Forathugun á lagnaðarís 2007–2008	8
2.2 Athuganir á lagnaðarís 2007–2008	10
2.2.1 Tálknafjörður	10
2.2.2 Skutulsfjörður	13
2.2.3 Álftafjörður.....	15
2.3 Framhald ísathugana á Tálknafirði veturinn 2009–2010	17
3 Samantekt á athugunum heimildum og frekari úrvinnsla.....	21
3.1 Samantekt	21
3.2 Fræðileg úttekt og niðurstöður líkanreikninga	22
3.2.1 Samband varmataps og hraða ísmyndunar	22
3.2.2 Rek lagnaðaríss og uppbrot	24
3.2.3 Niðurstöður reikninga með hafislíkani.....	26
4 Viðbrögð við hættu á lagnaðarís	30
Heimildir	31

Myndaskrá

Mynd 1. Meðalhiti síðustu 24 tíma (°C) á veðurstöðinni á Patreksfirði og lagnaðarís á Tálknafirði á tímabilinu desember 2007 til febrúar 2008.....	9
Mynd 2. Meðalvindstyrkur síðustu 24 tíma (m/s) á veðurstöðinni á Patreksfirði og lagnaðarís á Tálknafirði á tímabilinu desember 2007 til febrúar 2008	9
Mynd 3. Gögn um hita og lagnaðarís frá Tálknafirði, Skutulsfirði og Álftafirði.....	11
Mynd 4. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Tálknafirði	12
Mynd 5. Tálknafjörður. Línurnar sýna gróflega legu lagnaðarísjaðarsins veturinn 2008–2009	13
Mynd 6. Skutulsfjörður. Línurnar sýna gróflega legu lagnaðarísjaðarsins veturinn 2008–2009	14
Mynd 7. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Ísafirði.....	15
Mynd 8. Álftafjörður	16
Mynd 9. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Súðavík.	17
Mynd 10. Gögn um hita og lagnaðarís frá Tálknafirði veturinn 2009–2010	18
Mynd 11. Tálknafjörður. Línurnar sýna gróflega legu lagnaðarísjaðarsins veturinn 2009–2010	19
Mynd 12. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Tálknafirði	20

Mynd 13. Skýringamynd af ísfleka og ísmyndun	22
Mynd 14. Vöxtur ísfleka á fyrstu sólarhringum eftir að hann fer að myndast	23
Mynd 15. Samband vindálags og innri spennu	25
Mynd 16. Hnitakerfi samsíða ísflekanum	25
Mynd 17. Jafnvægisástand ísþykktar og ísbekjuhluþfalls í kassalaga firði eftir langvarandi 15 gráðu frost og sterkan vind (15 m/s) út fjörðinn	27
Mynd 18. Þróun lagnaðarísmyndunar í firði þar sem hægur en stöðugur 10 m/s vindur blæs út fjörðinn í 15 stiga frosti	28
Mynd 19. Eins og mynd 18, nema hér er 15 stiga frost, 2 m/s vindur og heiðskírt	28
Mynd 20. Ísþykkt og þéttleiki íss á Skutulsfirði eftir 3 daga frostakafla (-7°C) og hægán vind (2 m/s) út fjörðinn	29
Mynd 21. Ísþykkt (efri mynd) og þéttleiki íss (neðri mynd) á Skutulsfirði eftir 3 daga frostakafla (-7°C) og hægán vind (2 m/s) inn fjörðinn	29

Töfluskrá

Tafla 1. Staðir þar sem gögnum um lagnaðarís var safnað veturinn 2008–2009	10
--	----

1 Inngangur

Hafís við Ísland er gjarnan skipt upp í lagnaðarís sem myndast í vikum, vogum og á fjörðum við landið og rekís sem berst til Íslands frá Grænlandi. Af þessum tveimur hefur lagnaðarísinn fengið mun minni athygli, sem m.a. sést á því að bækur um hafís fjalla aðallega um rekís og sama gerði ritröð Veðurstofunnar *Hafís við Ísland* (1968).¹ Ræðst þetta m.a. af þeim búsifjum sem fylgdu gjarnan rekísnum.

Lagnaðarís getur þvælst fyrir við strandsiglingar, sérstaklega þar sem hafnir leggur, en þó sögur séu til um að bátar hafi skemmst við að sigla í lagnaðarís virðist sem tjón af hans völdum hafi lengst af ekki reynst verulegt. Þetta breyttist þegar sjókvíaeldi hófst við Ísland. Í skýrslunni *Reynsla af sjókvíaeldi á Íslandi* kemur fram að á tímabilinu 1979–2007 olli lagnaðarís 10 sinnum tjóni á sjókvíum.²

Árið 2008 fengu Veðurstofa Íslands, Hafrannsóknastofnunin, Náttúrustofa Vestfjarða, Mátis og fyrirtæki í fiskeldi styrk frá AVS Rannsóknasjóði í sjávarútvegi til að kortleggja tíðni lagnaðaríss í íslenskum fjörðum, meta og mæla áhættuþætti og skipuleggja viðbrögð við myndun lagnaðaríss.

Í fyrsta hluta verkefnisins var aflað heimilda um lagnaðarís í fjörðum og niðurstöður birtar í skýrslu.³ Samhliða þessu var aflað gagna um ísmyndun, veður og sjávarhita í nokkrum fjörðum. Það verk hófst með forathugun í Tálknafirði veturinn 2007–2008, áður en AVS styrkurinn fékkst, en eftir að styrkurinn fékkst var ákveðið að safna gögnum frá 8 stöðum á landinu veturinn 2008–2009. Framhald varð síðan á athugunum á Tálknafirði veturinn 2009–2010. Þar sem helstu hvatamenn verkefnisins eru fyrirtæki í fiskeldi var athyglinni einkum beint að fjörðum þar sem sjókvíaeldi er stundað, eða hefur verið stundað. Í þessari skýrslu er farið yfir niðurstöður þessara athugana, auk þess sem niðurstöður hermireikninga með íslíkani eru einnig ræddar.

Jafnframt þessu voru kannaðar þær fyrirbyggjandi aðgerðir sem reyndar hafa verið erlendis til að forðast lagnaðarísmyndun eða hlífa kvíum, og verður hér einnig fjallað um niðurstöðu þessarar könnunnar.

Skipulag þessarar skýrslu er sem hér segir: Á eftir inngangi er í öðrum kafla fjallað um athuganir á lagnaðarís; farið er ítarlega yfir þær aðstæður sem leiddu til lagnaðarísmyndunar, rek og uppbrot íssins. Í þriðja kafla eru niðurstöður annars kafla dregnar saman og þær ræddar með hliðsjón af hermireikningum með íslíkani og niðurstöðum heimildaöflunar um lagnaðarís. Í fjórða kafla er rætt um viðbrögð við lagnaðarís fyrir sjókvíaeldi og hvaða viðbrögð séu líklega haldbest miðað við niðurstöður þessa verkefnis.

¹ Sem dæmi má nefna bækurnar *Hafísinn* (Markús Einarsson, 1969) og *Hafís við Ísland* (Sveinn Víkingur ofl, 1968), en þær fjalla nær einvörðungu um rekís.

² Sjá Valdimar I. Gunnarsson (2008), tafla 3.1.

³ Eiríkur Valdimarsson (2010).

2 Athuganir á lagnaðarís

2.1 Forathugun á lagnaðarís 2007–2008

Veturinn 2007–2008 var fylgst með lagnaðarís á Tálknafirði sem hluta af tilraunaverkefni sem unnið var í samvinnu Hafrannsóknastofnunarinnar, Veðurstofu Íslands og fiskeldisfyrirtækja. Þetta var gert áður en umsókn til AVS var samþykkt, en mikilvægt þótti að prufukeyra upplýsingasöfnum um lagnaðarís, ef til stærra verkefnis kæmi. Á tímabilinu frá byrjun desember 2007 fram undir miðjan febrúar 2008 var nokkrum sinnum vart við lagnaðarís.

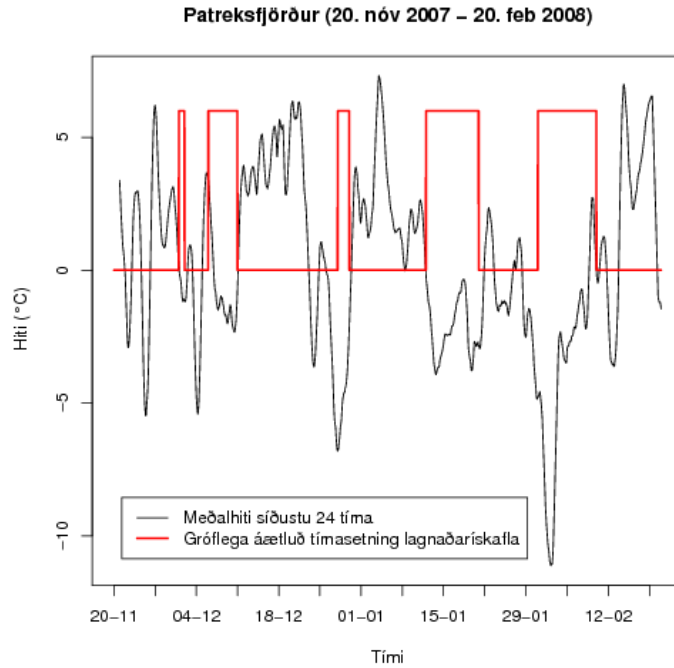
Fyrsti dagurinn þar sem ís er skráður var 2. desember. Næsta dag var ísinn horfinn, en samfelldur lagnaðarískaflí átti sér stað frá 8. til 11. desember. Næst er skráður ís þann 28. desember en hann var horfinn þann 30. Samfellt ístímabil var svo frá 12. til 20. janúar og aftur frá 31. janúar til 9. febrúar.

Auk lagnaðaríss voru hiti og vindur jafnframt skráð. Í öllum tilvikum byrjar ísmyndunin í hægviðri og frosti. Tveimur ískaflanna lýkur í hvassviðri, í einu tilviki er ekki ljóst hvernig ískaflanum lauk. Söfnun hita- og vindgagna var ekki nægilega regluleg, þannig eru einungis 3 sjávarhitamælingar (á bilinu 2.7 til 3.7°C) en mælingar voru gerðar utan þess svæðis þar sem lagnaðarís var að myndast. Athuganir á lofthita og vindi eru ekki eins gisnar, en ekki var hægt að bera þær saman við mælingar á veðurstöð, því sjálfvirk veðurstöð var ekki sett upp á Tálknafirði fyrr en haustið 2008. Athugun leiddi í ljós að mjög gott samræmi var milli hitamælinganna á Tálknafirði og hitamælinga á veðurstöð á Patreksfirði, og sæmilegt samræmi var milli vindstyrks. Frekari könnun á veðurgögnum frá veðurstöðum á Tálknafirði og Patreksfirði fyrir tímabil eftir að báðar voru komnar í fullan rekstur staðfesti að mjög gott samræmi er milli hitamælinga á þessum stöðvum, en ekki jafngott samband fyrir vindhraðamælingar.⁴ Myndir 1 og 2 sýna samanburð á lagnaðarísögögnum í Tálknafirði og hita og vind á Patreksfirði. Bæði hiti og vindur eru meðaltöl síðustu 24 tíma.

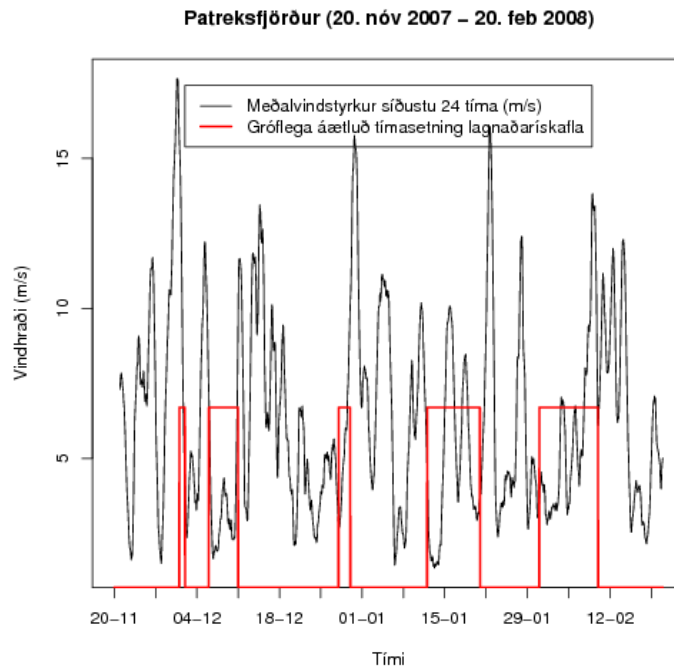
Myndirnar sýna að lagnaðarísinn myndast yfirleitt þegar það er frost og lítill vindur, en eftir að ísinn hefur myndast getur blásið nokkuð áður en hann hverfur.

Niðurstaða forathugunarinnar renndi stoðum undir hugmyndir um hvernig ísinn myndaðist, en erfitt var að greina hvað réði uppbroti hans. Einnig var ljóst að betri kort þyrfti af útbreiðslu íssins svo hægt væri að rekja betur samband vinds og afdrif hans. Í kjölfar þessa verkefnis var athugunareyðublað endurbætt og nýttist það í ísathugunum næsta vetrar.

⁴ Skoðuð var fylgni mælingar á hita og vindstyrk á báðum stöðvum í janúar og í febrúar 2009. Fylgni hitamælinga er mjög há ($r^2 = 0.95$) fyrir báða mánuði en fylgni vindhraðamælinga er lægri ($r^2 = 0.52$ og 0.66). Á þessum tíma ársins er dægursveifla hita mjög lítil auk þess að árstíðahlýnunnar er ekki farið að gæta svo ekki þarf að taka tillit til þessa við túlkun fylgnireikninga.



Mynd 1. Meðalhiti síðustu 24 tíma (°C) á veðurstöðinni á Patreksfirði og lagnaðarís á Tálknafirði á tímabilinu desember 2007 til febrúar 2008.



Mynd 2. Meðalvindstyrkur síðustu 24 tíma (m/s) á veðurstöðinni á Patreksfirði og lagnaðarís á Tálknafirði á tímabilinu desember 2007 til febrúar 2008.

2.2 Athuganir á lagnaðarís 2007–2008

Á vegum AVS verkefnisins var safnað gögnum um myndun lagnaðarís á nokkrum stöðum umhverfis landið veturinn 2008–2009. Skráningarbækur voru sendar á átta staði, og í lok vetrar bárust gögn frá sex þeirra. Tafla 1 sýnir staði þar sem gögnum var safnað. Auk þessara staða voru skráningarbækur sendar á Stöðvarfjörð og Eyjafjörð. Engin gagnaskil voru frá þessum stöðum en upplýsingar bárust þó um að Stöðvarfjörður hafi verið íslaus þennan vetur.

Tafla 1. Staðir þar sem gögnum um lagnaðarís var safnað veturinn 2008–2009.

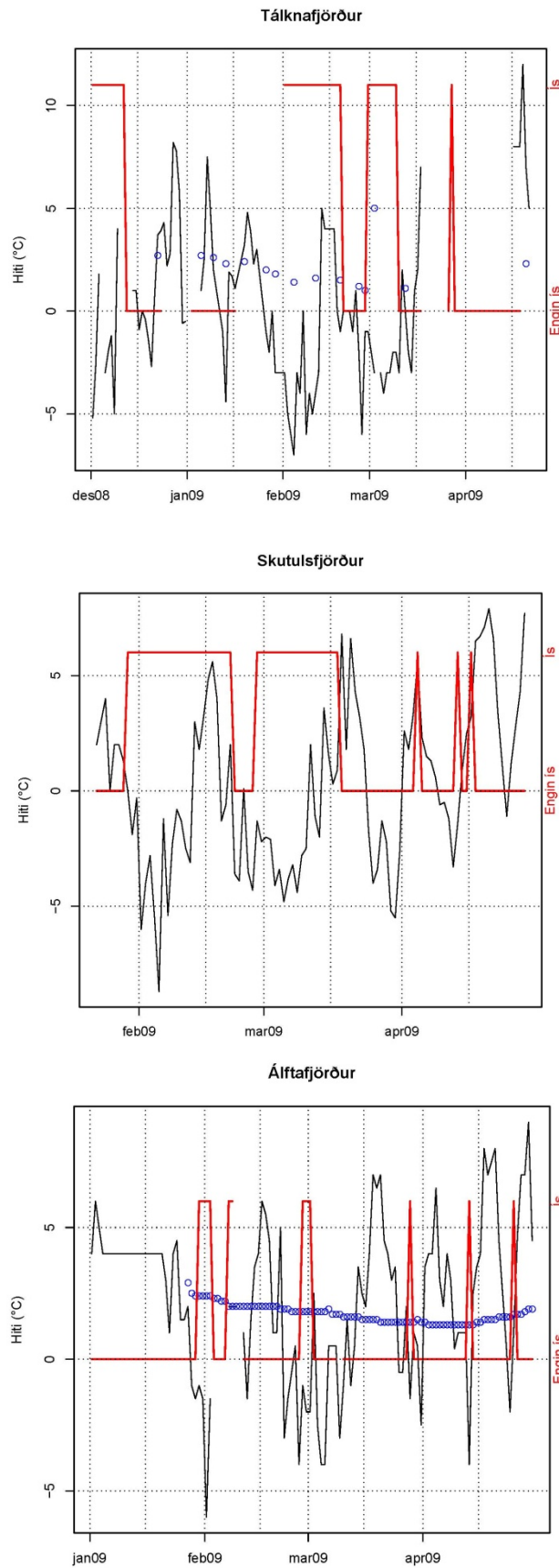
Staður	Ábyrgð	Lagnaðarís veturinn 2008–2009
Tálknafjörður	Þóroddur ehf./Sigurvin Hreiðarsson Hafrannsóknastofnunin/Jón Örn Pálsson	Já
Ísafjarðardjúp - Skutulsfjörður	Veðurstofa Íslands/Eiríkur Gíslason ofl.	Já
Ísafjarðardjúp - Álftafjörður	Hraðfrystihúsið Gunnvör hf/ Barði Ingibjartsson Náttúrfræðistofa Vestfjarða/Böðvar Þórisson	Já
Ísafjarðardjúp - Seyðisfjörður	Hraðfrystihúsið Gunnvör/Þorbergur Jóhannsson Náttúrfræðistofa Vestfjarða/Böðvar Þórisson	Ákaflega lítið
Mjóifjörður	Ingólfur Sigfússon	Hverfandi ísmyndun
Berufjörður	HB Grandi Fiskeldi/Kristján Ingimarsson	Enginn ísmyndun

Veturinn 2008–2009 var hlýr og ísmyndun lítil. Nýtanleg gögn um ísmyndun fengust því einungis á þremur stöðvum. Auk upplýsinga um lagnaðarís var loft- og sjávarhiti skráður ásamt vindhraða og vindátt. Mynd 3 sýnir yfirlit yfir hita- og ísskráningu á Tálknafirði, Skutulsfirði og Álftafirði. Eins og myndin sýnir eru nokkur tímabil með ísmyndun á hverjum stað. Athugunarmenn teiknuðu útbreiðslu íssins á kort sem fylgdu með skráningareyðublöðum og er nánar fjallað um útbreiðsluna á hverjum stað hér á eftir.

2.2.1 Tálknafjörður

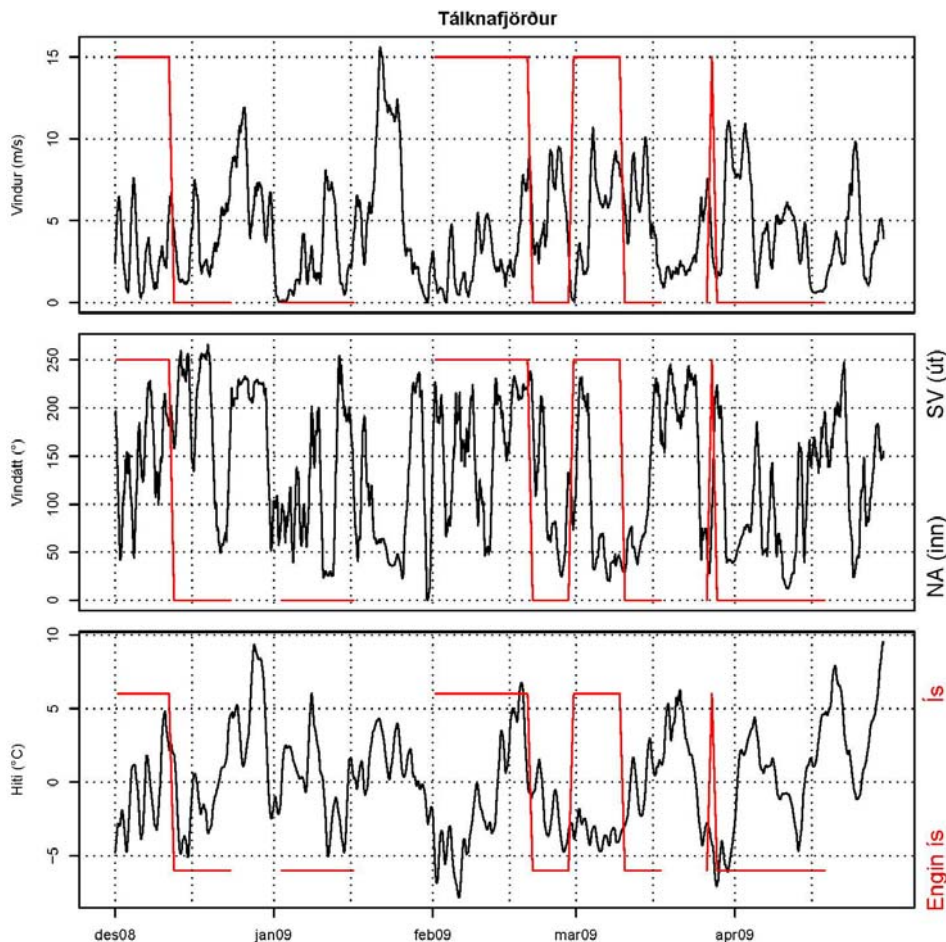
Mynd 4 sýnir 24 tíma meðaltöl fyrir vindstyrk, vindátt og hita á veðurstöðinni á Tálknafirði. Athuganir á lagnaðarís á Tálknafirði hafa einnig verið teiknaðar inn á myndina (rauð lína). Ísferillinn er hliðraður þannig að vindur og hiti eru meðaltöl síðustu 24 tíma (gert er ráð fyrir að ísathugun sé gerð um hádegi).

Kortið á mynd 5 sýnir staðhætti. Sveinseyri, stór eyri skammt framan við þéttbýliskjarnann, skiptir firðinum í innri hluta (sem einnig er nefndur Hópið) og ytri hluta. Hópið þrengist í áttina að botni fjarðarins, sérstaklega innan Búðeyrar, og renna þar nokkrar ár í fjörðinn. Vegna þessara staðhátta má gera ráð fyrir því að sjórinn sé ferskari í Hópinu en í ytri hluta Tálknafjarðar, og lagnaðarísmyndun því algengust þar. Línur merktar A–G á myndinni sýna jaðar lagnaðaríssins frá því í desember 2008 til mars 2009.

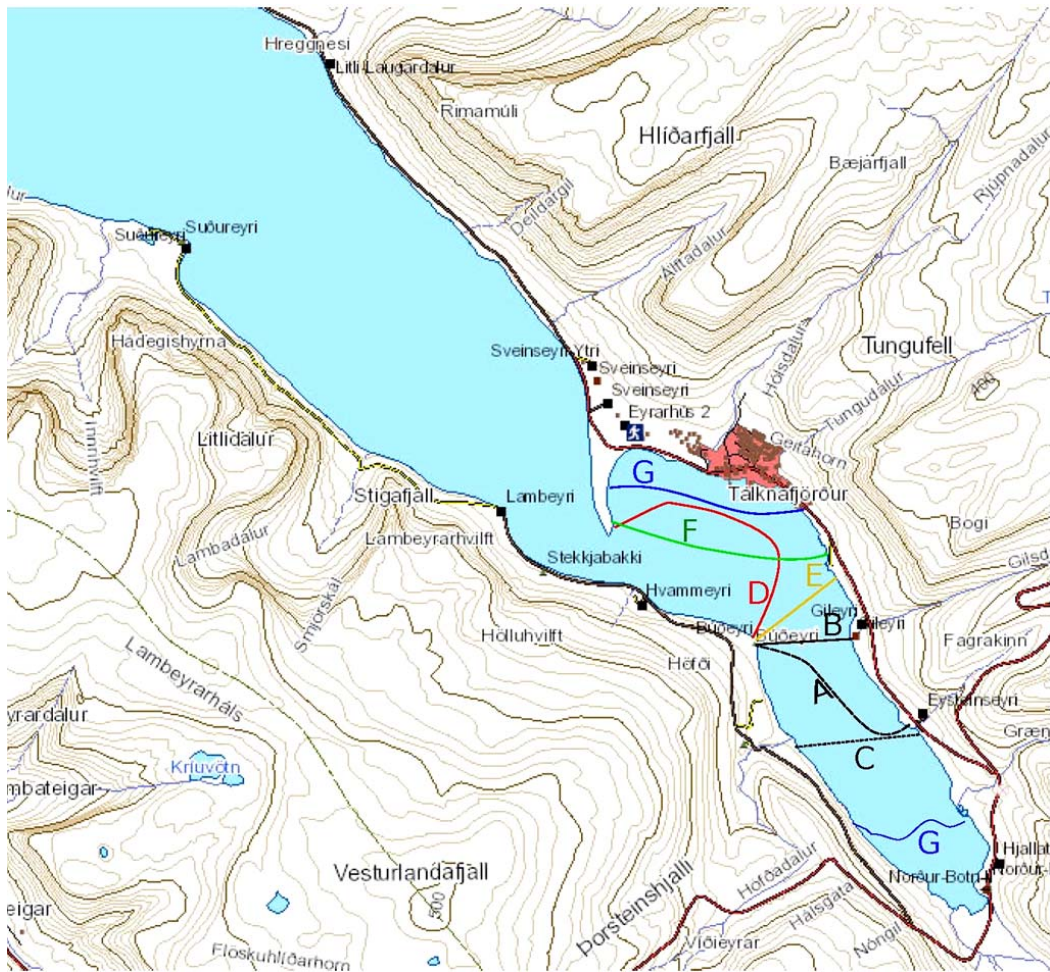


Mynd 3. Gögn um hita og lagnaðaris frá Tálknafirði, Skutulsfirði og Álftafirði. Svört heildregin lína sýnir lofthita, bláir hringir sýna sjávarhita og rauða línan sýnir hvort ís er skráður.

Í upphafi desembermánaðar 2008 var þegar nokkur hafis við botn fjarðarins (sjá línu A á korti). Fyrsta hluta mánaðarins náði ísinn lengst fram undir Búðeyri (lína B), en í kjölfar hlýinda færðist ísjaðarinn nær botni fjarðarins (lína C), og síðan hvarf þessi ís um sama leyti og suðlæggra vinda gætti tímabundið. Þrátt fyrir að næstu vikur hafi stundum farið saman stillur og frost er ekki aftur skráður lagnaðarís fyrr en í byrjun febrúar. Þá tekur við tímabil þar sem ís er samfelldur yfir fjörðinn frá botni að Búðeyri, en þar fyrir utan er ís norðan megin í firðinum að Sveinseyri (lína D). Frá 9. desember hverfur nokkuð af ísnum norðan megin fjarðarins, en ís nær enn yfir fjörðinn frá Búðeyri (lína E). Í hlýindum um miðbik mánaðarins dregur úr ísnum en 17. febrúar er nokkur ís í innsta hluta fjarðarins (jaðarinn milli lína A og B). Suðlægir vindar hröktu svo þennan ís upp að Sveinseyri (lína F) þar sem hann bráðnaði í hlýindum þ. 18. og 19. febrúar. Þann 28. febrúar lagði Hópið aftur og var útbreiðsla íssins sambærileg við það sem var í upphafi mánaðarins (lína D). Suðvestanvindar snemma í mars brutu þennan ís upp og 4.–9. mars safnaðist ís fyrir norðan í Hópinu upp við Sveinseyri auk þess sem einhver ís var í botni fjarðarins (línu G). Ísinn hvarf svo í hlýindum þann 10. mars. Eftir það var næst skráður ís þann 27. mars. Þá varð útbreiðslan álíka og þegar mest var fyrr í mánuðinum (lína D) en ísinn hvarf næsta dag. Eftir þetta var einungis vart við skæni sem hvarf samdægurs. Ekkert er skráð um lagnaðarís eftir miðjan apríl.



Mynd 4. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Tálknafirði. Mælingar frá sjálfvirkri veðurstöð Veðurstofu Íslands. Rauða línan sýnir hvort vart varð við lagnaðarís, sjá merkingar á hitamyndinni. Á vindáttamyndinni er merkt hvaða vindáttir blása inn fjörðinn og hvaða áttir blása út fjörðinn. Ísferlinum er hliðrað þannig að vindur og hiti eru meðaltöl síðustu 24 tíma.



Mynd 5. Tálknafjörður. Línurnar sýna gróflega legu lagnaðarisjaðarsins veturinn 2008–2009. (Grunnkort frá Landmælingum Íslands)

2.2.2 Skutulsfjörður

Skutulsfjarðareyri skiptir firðinum í innri hluta (sem kallaður er Pollurinn) og ytri hluta (sjá kort á mynd 6). Tunguá, Úlfsá og Langá renna í pollinn og er hann því ferskari en ytri hluti fjarðarins, sem opnast í Ísafjarðardjúp. Vegur liggur yfir botn fjarðarins í Engidal og skilur svæðið fyrir frama ósa Langár frá Pollinum. Þetta svæði er því enn ferskara en aðrir hlutar Pollsins. Á Pollinum myndast lagnaðaris og leggur hann stundum alveg.

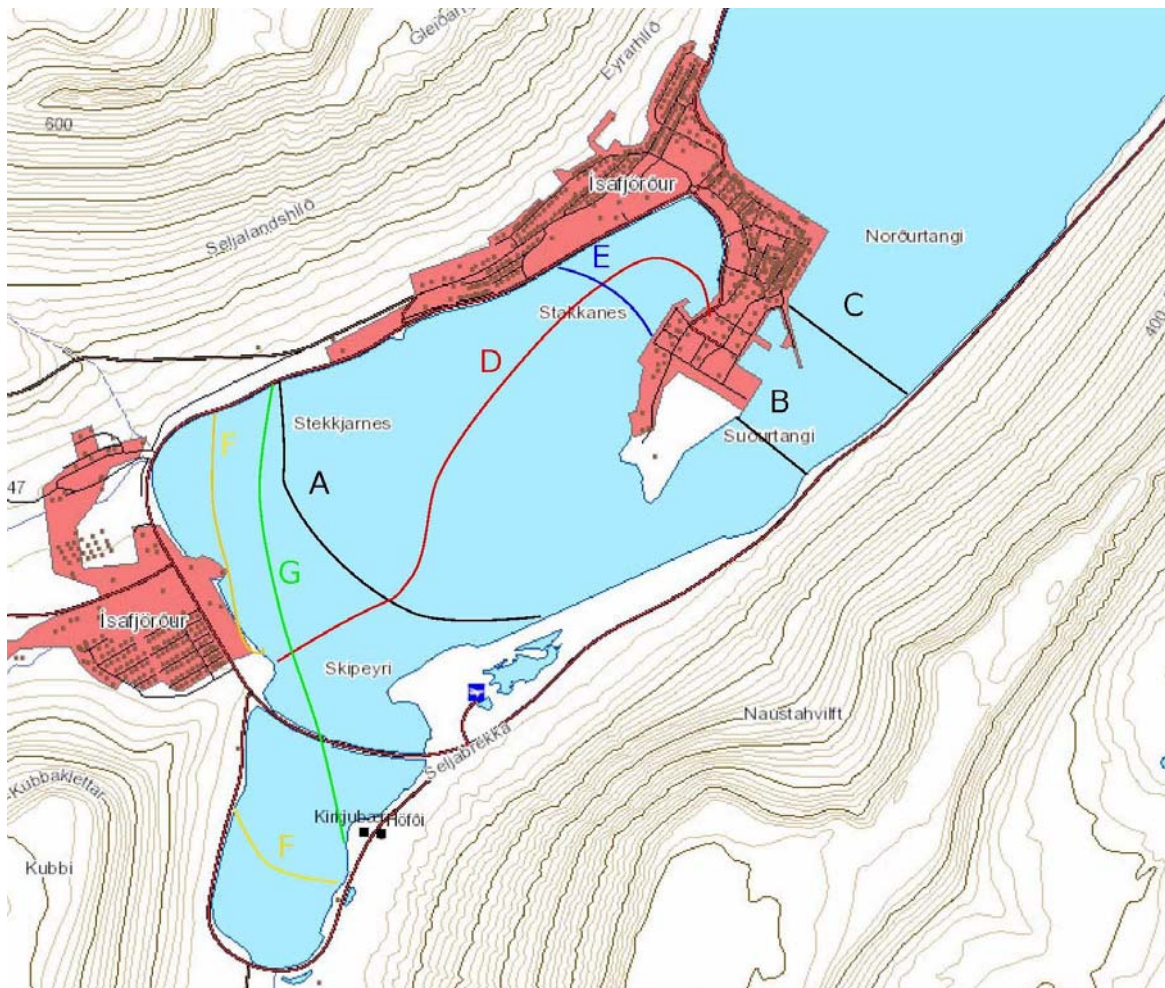
Lagnaðaris var á Pollinum frá því seint í janúar fram í síðari hluta febrúar, og svo aftur frá febrúarlokum fram yfir miðjan mars. Eftir það voru stöku dagar með íshraflí.

Mynd 7 sýnir 24 tíma meðaltöl fyrir vindstyrk, vindátt og hita á veðurstöðinni á Ísafirði. Athuganir á lagnaðaris á Skutulsfirði hafa einnig verið teiknaðar inn á myndina (rauð lína).

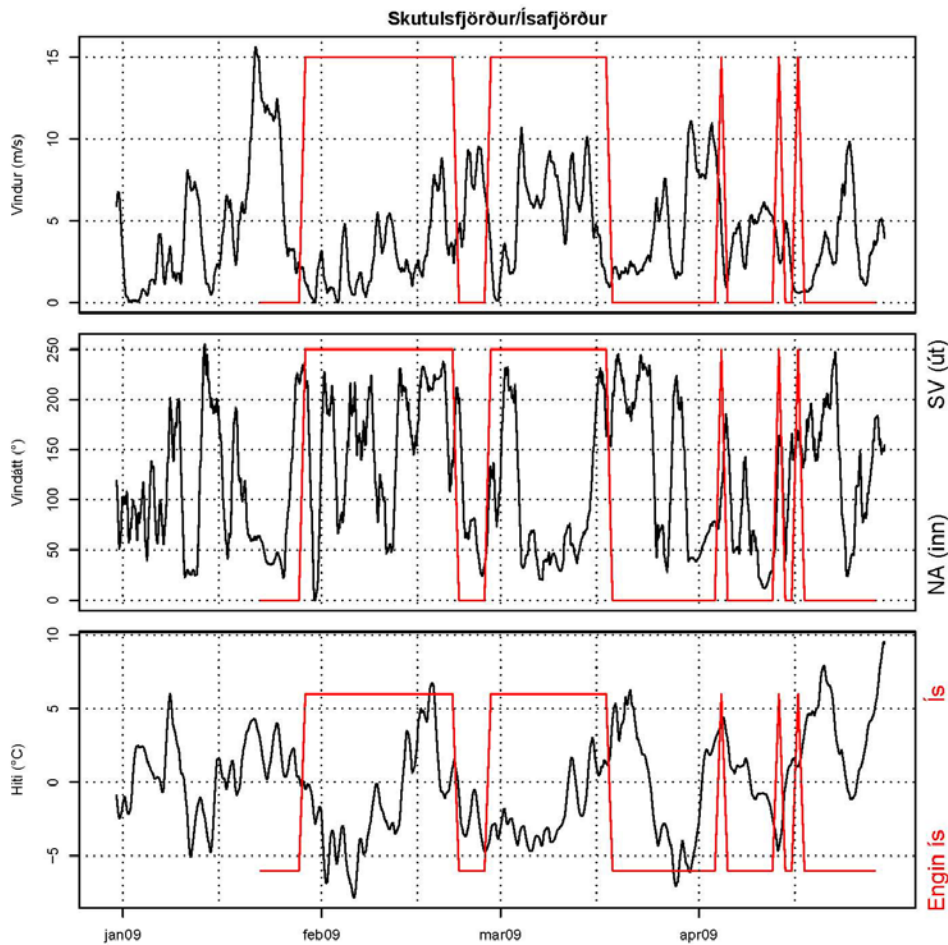
Ísmyndun hófst þann 29. janúar og í frostinu næstu daga lagði pollinn að hluta. Þann 30. rak ísinn að eyrinni en fyrir utan Tungudal var íslaut. Ísinn náði einnig skammt út sundið milli eyrarinnar og Kirkjubólshlíðar (sjá svæði sem afmarkast af línunum merktum A og B á mynd 6). Fyrir utan Engidal var einnig ísilagt. Næstu daga lagði allan pollinn og þann 3. febrúar náði ísinn út fyrir Sundahöfn (sjá línu merкта C). Siglingaleið var brotin í ísinn snemma í febrúar. Í kjölfar hlýinda bráðnaði ísinn verulega og um 12. febrúar var einungis

norðurhluti Pollsins ísi hulinn (sjá svæðið norðan línu D). Sunnanáttir um miðjan mánuðinn ráku ísinn upp að eyrinni og 17. febrúar var lítill ís á Pollinum, aðallega við höfnina (sjá svæðið milli eyrinnar og línu E). Þann 20. febrúar snerist vindur til NA og blés ísinn úr höfninni og molaðist á ströndinni innst í pollinum.

Síðara tímabil ísmyndunar var mun skemmra. Þann 27. febrúar var lítilsháttar ísmyndun innst á Pollinum. Næstu daga var frost og ís sem myndaðist á pollinum safnaðist fyrir upp við ströndina fyrir botni fjarðarins (sjá línu F). Mestri útbreiðslu náði ísinn um 8. mars (lína G), en í kjölfar hlýinda um miðjan mánuðinn minnkaði ísinn verulega. Um miðjan mánuðinn ráku suðlægar áttir ísinn frá botni fjarðarins og var brotinn ís á höfninni. Þann 17. ráku ísflekar út pollinn og sundið. Eftir þetta er ísrafl á stöku daga, sérstaklega inn í fjarðarbotni í Engidal. Síðast er skráð ísskæni þann 16. apríl, en það hvarf um hádegi.



Mynd 6. Skutulsfjörður. Línurnar sýna gróflega legu lagnaðarísjaðarsins veturinn 2008–2009. (Grunnkort frá Landmælingum Íslands)



Mynd 7. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Ísafirði. Mælingar frá sjálfvirkri veðurstöð Veðurstofu Íslands. Rauða línan sýnir hvort vart varð við lagnaðaris á Skutulsfirði, sjá merkingar á hitamyndinni. Á vindáttamyndinni er merkt hvaða vindáttir blása inn fjörðinn og hvaða áttir blása út fjörðinn. Ísferlinum er hliðrað þannig að vindur og hiti eru meðaltöl síðustu 24 tíma (gert er ráð fyrir að ísathugun sé gerð um hádegi).

2.2.3 Álftafjörður

Tvær litlar eyrar Hattareyri, og Langeyri eru í Álftafirði. Sú fyrri er austanmegin fjarðarins um þrjá kílómetra frá botni, sú síðari er vestanmegin í firðinum og stendur Súðavíkurþorp og höfnin skammt utan hennar (sjá kort á mynd 8). Við botni fjarðarins renna í hann ár, en eyrarnar tvær eru ekki nægilega stórar til að takmarka verulega vatnsskipti í firðinum. Lagnaðaris myndast þó helst innst í firðinum og getur rekið upp að eyrunum, en þær safna þó ekki jafn miklum ís og stærri eyrar á Skutulsfirði og í Tálknafirði.

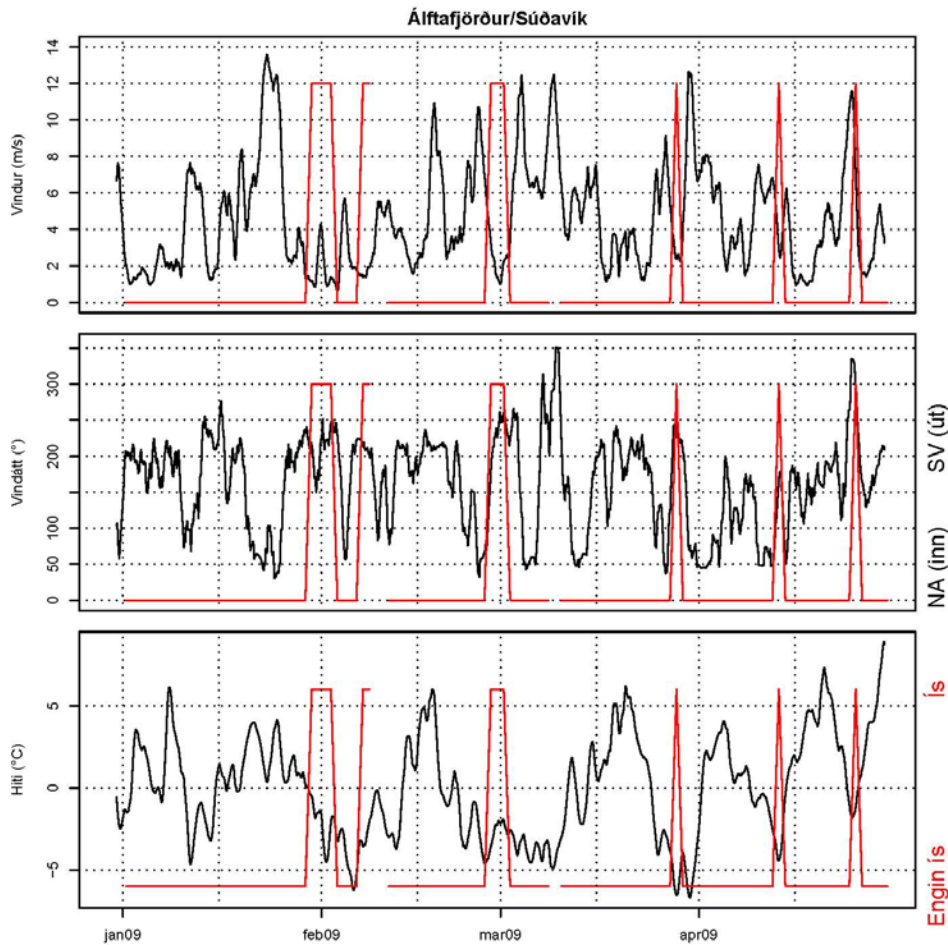
Veturinn 2008–2009 var lagnaðaris skráður sex sinnum. Lengsta samfellda tímabilið var fjórir dagar, en þrisvar varð íss einungis vart í einn dag (sjá mynd 9). Fyrsta tímabilið var seint í janúar. Í stillu og frostakafla í lok mánaðarins myndaðist ís, bæði á höfninni og innarlega í firðinum þann 30. janúar. Ísinn var ekki samfelldur, heldur voru stöku ísflákar á reki. Þann 1. febrúar var frekar samfelldur ís frá Hattareyri að botni Álftafjarðar, en ísflákar á reki austan megin í firðinum, hálfra leið að Langeyri. Næstu daga er einungis ís innst í firðinum, en þann 3. febrúar er hann einnig horfinn. Á þeim tíma sem þessi lagnaðarískafli stóð yfir var frost og sunnan átt. Vindhraði var mestur um 7 m/s dagana 30. og

31. janúar en um leið og dró úr vindi minnkaði ísrek á firðinum. Þrátt fyrir frostið var sjávarhiti vel yfir frostmarki allan tímann.

Næsti er smávægileg ísmyndun skráð 7. og 8. febrúar en einnig er minnst á ís á höfninni þann 10. og 11. en þá er óverulegur ís á firðinum. Í lok febrúarmánaðar eru íssþangir á reki frá 27. febrúar til 1. mars. Um miðjan dag þann 27. er skráð að þunna ísspöng með frekar mjúkum lagnaðaris hafi rekið út fjörðinn. Eftir þetta sést smávægilegur ís á höfninni og firðinum stöku sinnum, en aldrei meira ein einn dag í senn.



Mynd 8. Álftafjörður. (Grunnkort frá Landmælingum Íslands)

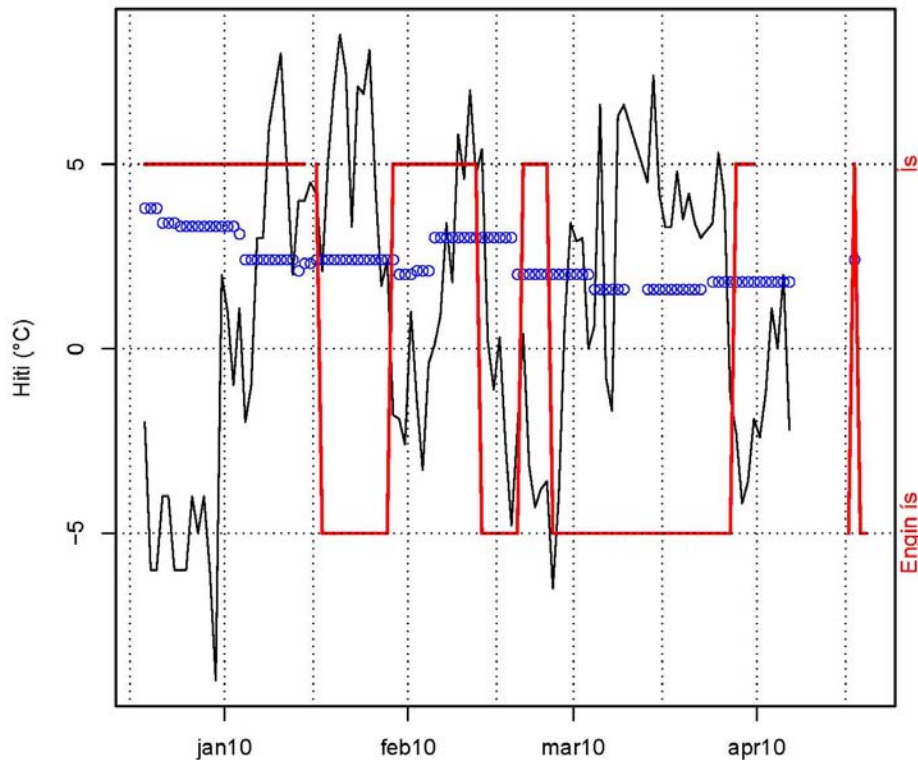


Mynd 9. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Súdavík. Mælingar frá sjálfvirkri veðurstöð Veðurstofu Íslands. Rauða línan sýnir hvort vart varð við lagnaðarís á Álftafirði, sjá merkingar á hitamyndinni. Á vindáttamyndinni er merkt hvaða vindáttir blása inn fjörðinn og hvaða áttir blása út fjörðinn. Ísferlinum er hliðrað þannig að vindur og hiti eru meðaltöl síðustu 24 tíma (gert er ráð fyrir að ísathugun sé gerð um hádegi).

2.3 Framhald ísathugana á Tálknafirði veturinn 2009–2010

Veturinn 2009–2010 var athugunum á lagnaðarís framhaldið á Tálknafirði. Þessar athuganir gáfu tækifæri til að skoða breytileika þróunar íspekjunnar milli ára. Mynd 10 sýnir athuganir á lagnaðarís, auk sjávar- og lofthita. Eins og myndin sýnir þá voru tveir langir lagnaðarískaflar þennan vetur, tveir stuttir og einn örstuttur í lok vetrar. Sjávarhiti var stöðugur á bilinu 4 til 1.8°C yfir veturinn.

Tálknafjörður (des09 – apr10)



Mynd 10. Gögn um hita og lagnaðaris frá Tálknafirði veturinn 2009–2010. Svört heildregin lína sýnir lofthita, bláir hringir sýna sjávarhita og rauða línan sýnir skráningu lagnaðaríss.

Kortið á mynd 11 sýnir lagnaðarisjaðarinn um veturinn og mynd 12 sýnir meðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á veðurstöðinni á Tálknafirði.

Fyrsti lagnaðariskaflinn átti sér stað um miðjan desember. Þá var megnið af Hópinu ísi hulið, og lá jaðarinn eftir línu merkt A. Ísinn myndast í frosti og stillu, en næstu daga hélst hiti að mestu undir frostmarki. Þann 22. er ísinn um 8 cm þykkur. Í NA átt brotnaði ísinn upp og þann 24. og 25. desember var ís í innri hluta hópsins (fyrir innan línu merkt B) og upp við eyrina (milli eyrar og línu merkt C). Næsta dag höfðu vindar þjappað ísnum nær botni fjarðarins og losað frá ísfylluna upp við eyrina. Um tíma náði því ísspöng frá eyrinni yfir fjörðinn (sjá línur merktar D), en 27. desember snerist vindur og blés út fjörðinn og þá hvarf spöngin við eyrina. Næstu daga var lagnaðaris innarlega í Hópinu (sjá línu merkta E). Síðust tvo daga fyrir áramót var hægviðri og þá myndaðist lagnaðaris frammar í Hópinu, og safnaðist hann fyrir upp við eyrina fyrstu daga nýja ársins (sjá línu C), en var horfinn þann 6. janúar. Í annarri viku ársins var því einungis ís innst í Hópinu (milli línu E og botns). Í kjölfar hlýinda og SV-átta fyrir miðjan mánuðinn losnaði ísinn frá og 14. janúar var ísspöng innarlega í Hópinu (milli línu E og F). Þessi spöng rak út Hópið og upp að eyrinni 15. janúar (sjá línu C) þar sem hún bráðnaði.

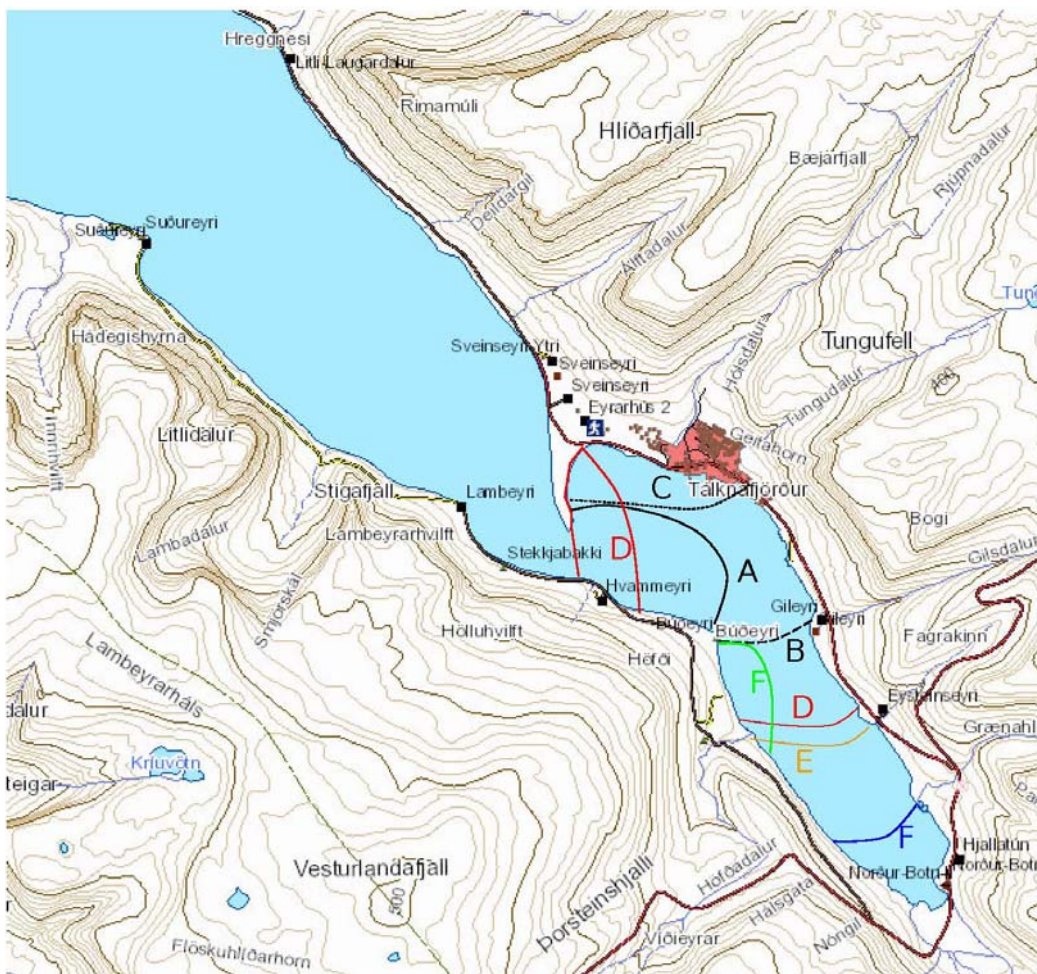
Næsti lagnaðariskaflí hófst í lok janúar mánaðar þegar Hópið lagði (sjá línu A). Ísdreifur söfnuðust fyrir í botni Hópsins (milli botns og línu E) og við eyrina (lína C). Næstu daga færðist jaðarinn í Hópinu fram (að línu B), en ísinn upp við eyrina hvarf. Frá 7. febrúar var

ís í innri hluta Hópsins (milli botns og B) en hann bráðnaði í hlýindum og var horfinn 12. febrúar.

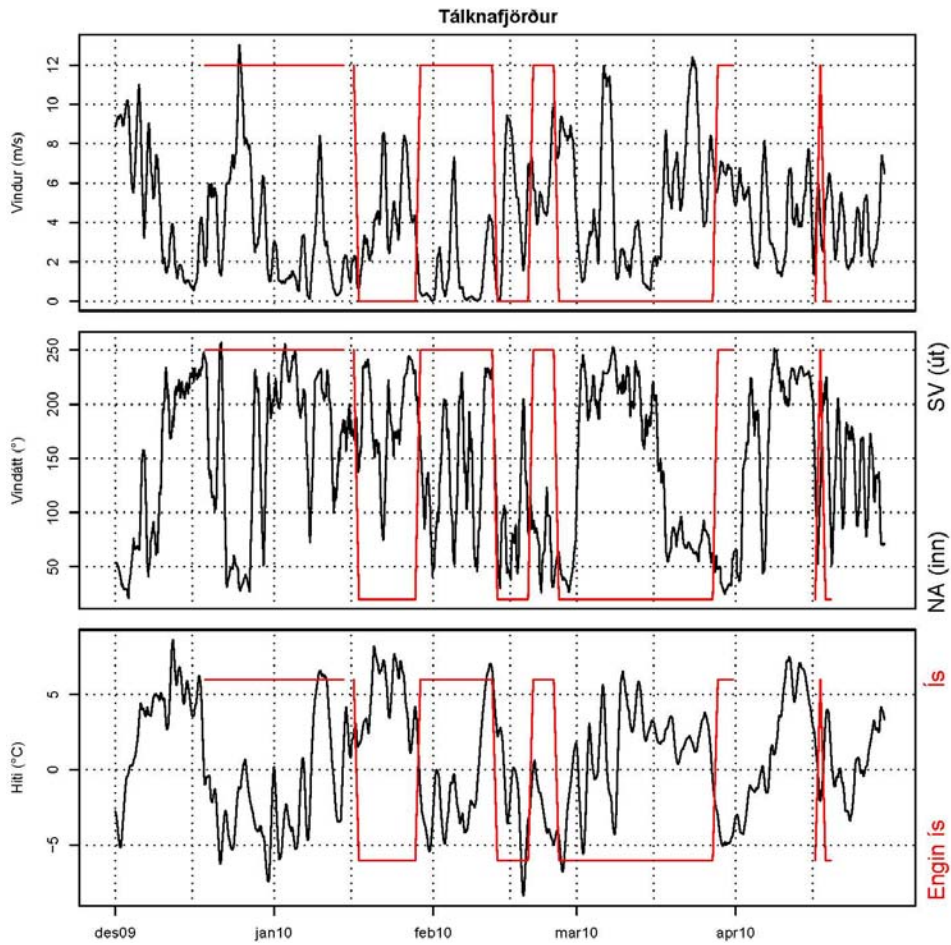
Þriðji lagnaðarískaflinn byrjaði álika og hinir, megnið af Hópinu lagði þann 20. og 21. febrúar en NA áttir söfnuðu ísdreifunum saman inni í botni Hópsins (fyrir innan línu B). Næstu tvo daga rak þessi ís um hópið og safnaðist upp að vesturhluta þess (sjá línu F) auk þess sem ísspöng náði frá eyrinni yfir fjörðinn (sjá D). Næsta dag er ís horfinn úr Hópinu.

Fjórði lagnaðarískaflinn kom um mánuði síðar, í kuldakasti í lok marsmánaðar. Ekki var þó um mikinn ís að ræða heldur söfnuðust ísdreifar í fjöruna vestanmegin í Hópinu og upp við eyrina. Þessu hélt áfram næstu daga og rak ís upp í fjörur eftir því hvernig vindur blés.

Í stuttum kuldakafla í miðjum apríl myndaðist ís víða á Hópinu þann 17. apríl, en hvarf næsta dag.



Mynd 11. Tálknafjörður. Líurnar sýna gróflega legu lagnaðarísjaðarsins veturinn 2009–2010. (Grunnkort frá Landmælingum Íslands)



Mynd 12. Sólarhringsmeðaltöl vindstyrks, vindáttar og hita á Tálknafirði. Mælingar frá sjálfvirkri veðurstöð Veðurstofu Íslands. Rauða línan sýnir hvort vart varð við lagnaðarís, sjá merkingar á hitamyndinni. Á vindáttamyndinni er merkt hvaða vindáttir blása inn fjörðinn og hvaða áttir blása út fjörðinn. Ísferlinum er hliðrað þannig að vindur og hiti eru meðaltöl síðustu 24 tíma (gert er ráð fyrir að ísathugun sé gerð um hádegi).

3 Samantekt á athugunum heimildum og frekari úrvinnsla

3.1 Samantekt

Athuganirnar hér að framan sýna að lagnaðarísinn myndast í nánast öllum tilvikum í frosti og hægviðri. Einu undantekningarnar eru smávægilegt íshrafl á Skutulsfirði vorið 2009. Því fer nærri að þetta séu nægjanleg skilyrði ísmyndunar, en lagnaðaríss gætir í flest skipti þegar saman fer frost og hægviðri á öllum stöðum. Greinilegt dæmi um þetta má sjá í Álftafirði í marsbyrjun 2009. Frost er síðustu daga febrúarmánaðar, en lagnaðaríss verður ekki vart fyrr en dregur úr vindi rétt fyrir mánaðarmótin. Í þessu tilviki hverfur ísinn síðan þegar vindur eykst á ný.

Þó áhrif vinda og lofthita séu greinileg þegar lagnaðarís myndast er samband veðurs og afdrifa íssins flóknari. Stærð þess svæðis sem leggur upphaflega virðist fara eftir frosti og staðháttum. Þannig leggur megnið af Hópinu í Tálknafirði og Pollinum á Skutulsfirði en þetta eru þau svæði þar sem yfirborðssjór er ferskastur. Fyrst leggur innst í fjörðunum og síðast í rennunni meðfram eyri (en þar gætir áhrifa saltari sjávar sem finnst utar í firðinum).

Eftir að lagnaðarís myndast má hlýna nokkuð án þess að ísinn hverfi. Ef hlýindin vara í nokkra daga hverfur ísinn þó að lokum. Dæmi um þetta má sjá á Tálknafirði og Skutulsfirði árið 2009 en öllum lengri lagnaðarísköflum lýkur í kjölfar hlýinda. Áður en ísinn hvarf var hann þó yfirleitt byrjaður að brotna upp og reka undan vindum.

Í Pollinum á Skutulsfirði og Hópinu á Tálknafirði getur ísinn rekið fram og aftur áður en hann hverfur. Í Álftafirði eru staðhættir þannig að hinn ferskari innri hluti fjarðarins er ekki skilinn frá ytri hlutanum með stórra eyri, og þar eiga vindar auðveldara með að blása ísnum á haf út.

Þessu ber ágætlega saman við niðurstöður fyrri heimildaöflunar⁵, en þar segir um þessa þrjá firði:

- Skutulsfjörður: Ís myndast á Pollinum, inn af Eyrinni. Þangað rennur mikið ferskvatn og kólnar fljótt, leggur á 1–2 sólarhringum.
- Álftafjörður: N-áttir bera saltríkan sjó inn í fjörðinn og þá leggur síður. Þó leggur gjarnan í botni fjarðarins þar sem rennur mikið ferskvatn. V-áttir þóttu boða lagnaðarís. Ís myndast helst í febrúar og mars. Frekar að undiralda sem berst úr Djúpinu sem brjóti upp ísinn frekar en vindur, enda veðursæld í Álftafirði. Rekur að Langeyri og hrannast þar upp.
- Tálknafjörður: Myndast frá lok nóvember fram í mars. Nokkur ís er þar á hverjum vetri. Mest í Hópinu þar sem renna ferskvatnsár. Oft lygnt og veðursælt við Tálknafjörð. Kaldur sjór berst með V-áttum. Ís fer af stað í A- og SA-áttum. Safnast í massa við Eyrina, Hópsmegin. Sjókvíar eru handan við Eyrina og ver hún þær að einhverju leyti fyrir ís.

Heimildaöflunin leiðir greinilega í ljós að í þessum fjörðum eru þættir sem stuðla að myndun lagnaðaríss: afmarkað svæði þar sem ferskvatn safnast fyrir, stillur og frost. Í frosti eru þeir þættir sem vinna á móti lagnaðarísmyndun: a) nægilega sterkur vindur til að blanda fersku yfirborðslaginu saman við saltari sjó fyrir neðan það og b) vindáttir sem

⁵ Eiríkur Valdimarsson (2010).

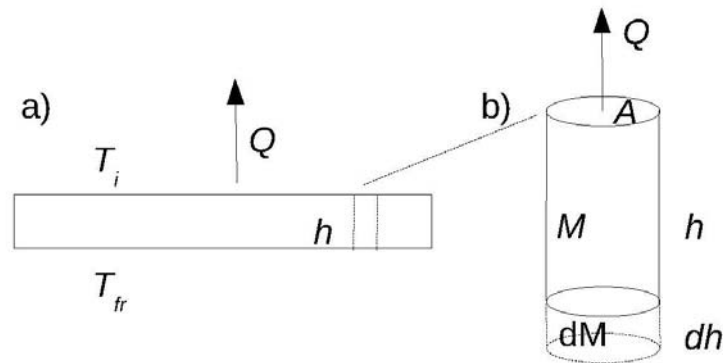
færa saltari sjó inn í fjarðarbotn. Af þessu leiðir að skilyrði til ísmyndunar eru betri í þröngum fjörðum þar sem innblöndun saltari sjávar er minni.

3.2 Fræðileg úttekt og niðurstöður líkanreikninga

Jafnframt því að skipuleggja athuganir á lagnaðarís, var einnig á vegum verkefnisins athugað hvort nota mætti reiknilíkön til að herma hegðan íssins. Áður en niðurstöður líkanreikninga eru kynntar er við hæfi að skoða við hverju má búast í líkanreikningum, með því að skoða einföld eðlisfræðileg líkön af ísmyndun og hegðan íss undir álagi.

3.2.1 Samband varmataps og hraða ísmyndunar

Þegar yfirborð sjávar tapar varma kólnar það uns það nær frostmarki. Þegar frostmarki er náð leiðir frekara varmatap til ísmyndunar⁶. Mynd 13a sýnir ísfleka af þykkt h sem flýtur á sjó þar sem yfirborðið hefur náð frostmarki (T_{fr}). Yfirborðshiti íssins er T_i og varmatap á flatareiningu er Q .



Mynd 13. Skýringamynd af ísfleka og ísmyndun. a) Ísfleki með þykkt h , yfirborðshita T_i og botnhita T_{fr} . Varmatap flekans á tíma og flatareiningu er Q . b) Stækkuð mynd af ísbút með massa M og flatarmál A . Varmatapið leiðir til þess að ís frýs neðan á bútinn þannig þykknar hann um dh og þyngist um dM .

Skoðum sérstaklega ísbút með flatarmál A (mynd 13b). Heildar varmatap á tímaeiningu er $A \times Q$ sem þykkir ísinn um dh og þyngir hann um dM . Ef bræðsluvarmi íssins er L þá er samband massaaukningar og varmataps gefið með $L \frac{dM}{dt} = A \times Q$ og ef eðlismassi íssins er ρ má skrifa massaaukninguna sem $\frac{dM}{dt} = \rho \times A \frac{dh}{dt}$. Þetta má einfalda í

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q}{L\rho}$$

Ef gert er ráð fyrir að varmaflæðið um ísinn uppfylli varmaleiðnireglu Fourier er Q í beinu hlutfalli við hitastigulinn í ísnum⁷, þ.e.

$$Q = \kappa \frac{\Delta T}{\Delta z} = \frac{\kappa}{h} \times (T_{fr} - T_i)$$

⁶ Sjá nánar í Björnsson ofl (2001).

⁷ Þessa niðurstöðu má einnig leiða út með því að skoða orkuvarðveislu í ísflekanum og gera ráð fyrir að ísinn sé nægilega þunnur til þess að áhrif varmarýmdar séu lítil og hitasnið hans óháð tíma.

Þessi síðasta jafna segir að varmaflæðið um ísinn er háð þykkt hans og er því minna sem ísinn er þykkari, en jafnan fyrir ofan segir að þykking íssins (dh/dt) er í beinu hlutfalli við varmaflæðið. Af þessu leiðir að þykkari ís vex hægar en þynnri ís.⁸

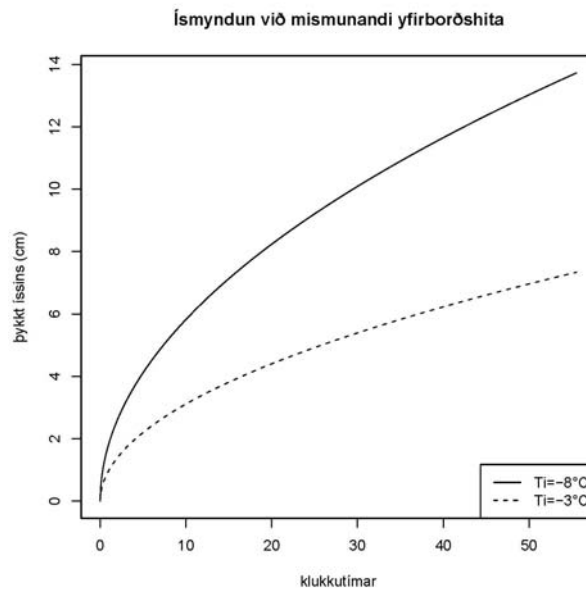
Nú má útrýma Q og fá $\frac{dh}{dt}h = \frac{1}{2} \frac{d}{dt}(h^2) = \frac{\kappa}{L\rho}(T_{fr} - T_i)$. Ef gert er ráð fyrir að $h = 0$ klukkan $t = 0$ fæst loks jafna sem lýsir því hvernig þykkt íssins breytist með tíma.

$$h(t) = \sqrt{\frac{2\kappa}{L\rho}(T_{fr} - T_i)t}$$

Hægt er að setja raunsæ gildi inn í jöfnuna hér að ofan og meta hversu hratt ísinn vex. Föstu stuðlarnir eru þekktir⁹ en yfirborðs- og botnhiti íssins þarfnast aðeins meiri útskýringar.

Ferskt vatn frýs við 0°C , en frostmark sjávar er lægra eftir því sem sjórinn er saltari. Meðalsjór er um 35 seltueiningar og þá er frostmarkið -1.9°C en ferskari sjór hefur frostmark sem liggur á bilinu 0 til -1.9°C . Yfirborðshiti íssins ræðst af orkuskiptum hafs, íss og lofts. Þessi orkuskipti má brjóta niður í nokkra þætti, s.s. upphitun sólarljóss, varmageislun íss og endurgeislun lofthjúpsins og beint varmaflæði. Vegna varmageislunar frá yfirborði íssins getur hann tapað varma til loftsins þó yfirborðshiti hans sé lægri en lofthitinn. Fyrir þunnan ís getur þessi munur verið nokkrar gráður.

Ísmyndunin í fjörðunum hér að framan átti sér gjarnan stað þegar lofthiti var á bilinu 0 til -5°C . Ef gert er ráð fyrir að yfirborð íssins hafi að jafnaði verið þremur gráðum kaldara en loftið, og að frostmark sjávar hafi verið -1°C fæst sú niðurstaða úr jöfnunni að ísmyndun sé hröðust á fyrstu 6 tímum en eftir það þykkni ísinn hægar (sjá mynd 14).



Mynd 14. Vöxtur ísfleka á fyrstu sólarhringum eftir að hann fer að myndast.

⁸ Sú staðreynd að minna varmaflæði er um þykkari ís þýðir að yfirborðshiti þykkari íss getur verið lægri en yfirborðshiti þynnri íss, sjá nánar í niðurstöðum líkanreikinga.

⁹ $\rho = 900\text{kgm}^{-3}$, $\kappa = 2\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ og $L = 3.3 \times 10^5\text{Jkg}^{-1}$

Þó varmageislun frá ísnum geti kælt yfirborð hans verulega þá getur varmageislun frá loft-
hjúpnum dregið úr kælingunni. Síðarnefnda ferlið er háð lofthita og skýjahulu og vegna
breytileika þeirra er ólíklegt að hitamunur milli neðra byrðis íssins og efra byrðis haldist
stöðugur sólarhringum saman. Þetta þýðir að forsendurnar á mynd 14 eru ýktar, en eftir
sem áður sýna þær að lagnaðarísmyndun getur numið nokkrum sentimetrum á sólarhring.

3.2.2 Rek lagnaðaríss og uppbrot.

Þegar ísinn hefur myndast sýna athuganirnar hér að framan að hann rekur gjarnan út
fjörðinn, eða fram og aftur innan eyrar. Í síðara tilvikinu getur ísinn brotnað við að hlaðast
upp við ströndina.

Skoðum ísfleka sem frosinn fastur við ströndina. Ef flekinn er kyrrstæður og vindur blæs
yfir hann (sjá mynd 15) er aflfræðilegt jafnvægi milli vindálagsins (τ_s) og innri spennu í
ísnum¹⁰ gefið með

$$\tau_s = \frac{-\partial\sigma_{ss}}{\partial s}$$

þar sem s er stefna samsíða ísflekanum og σ_{ss} er innri spenna í stefnu samsíða s vegna
álags í sömu átt (sjá mynd 16).

Ef ísflekinn nær vegalengdina L frá ströndinni og $\sigma_{ss}(l)$ er spennan í fjarlægðinni l frá
ströndinni getum við notað okkur að spennan á ísjaðrinum er hverfandi (þ.e. $\sigma_{ss}(L)=0$) og
skrifað

$$(L - l) \times \tau_s = \sigma_{ss}(l)$$

Það sem þessi jafna segir er að á sérhverjum stað í ísflekanum er innri spennan jöfn
uppsöfnuðu vindálagi að ísjaðrinum. Innri spennan vex því frá því að vera hverfandi við
jaðarinn að hámarksgildi við ströndina (þar sem $l=0$). Í þessu tilviki skiptir ekki máli hvort
vindurinn blæs að eða frá ströndinni. Ef vindálagið fer yfir þolmörk íssins brestur hann.
Þessi þolmörk eru ólík fyrir samþjöppun (hafátt) eða togspennu (landátt). Í fyrra tilvikinu
þjappast ísinn saman og brotnar upp í garða við ströndina ef innri þrýstingur (P) vegna
samþjöppunar verður of mikill, þ.e. ef $|\sigma_{ss}(0)| > P_{max}$. Í síðara tilvikinu gildir á sama hátt að
ef togspennan (F) fer yfir ákveðin mörk þá slitnar ísinn frá ströndinni $|\sigma_{ss}(0)| > F_{max}$. Oft¹¹
er gert ráð fyrir að P_{max} sé fall af þykkt íssins, gjarnan er notað $P_{max} = P^* h$ þar sem P^* er
fasti. Á sama hátt má skilgreina F^* þ.a. $F_{max} = F^* h$.

Ef gert er ráð fyrir að samband vindálags τ og vindsins u sé gefið á hefðbundinn hátt¹²
með $\tau = c\rho u^2$ má leiða út samband vinds og innri spennu í ísnum við ströndina

$$\sigma_{ss}(0) = L \times \tau_s = Lc\rho u^2,$$

sem má hagræða til að fá þann hámarksvind sem ísinn ræður við án þess að brotna:

$$u_{max} = \sqrt{\frac{P_{max}}{Lc\rho}}.$$

Þetta er öflugasta hafátt sem ísinn þolir án þess að brotna upp í garða. Sambærilega jöfnu
má leiða út fyrir öflugustu landátt sem ísinn ræður við án þess að slitna frá ströndinni

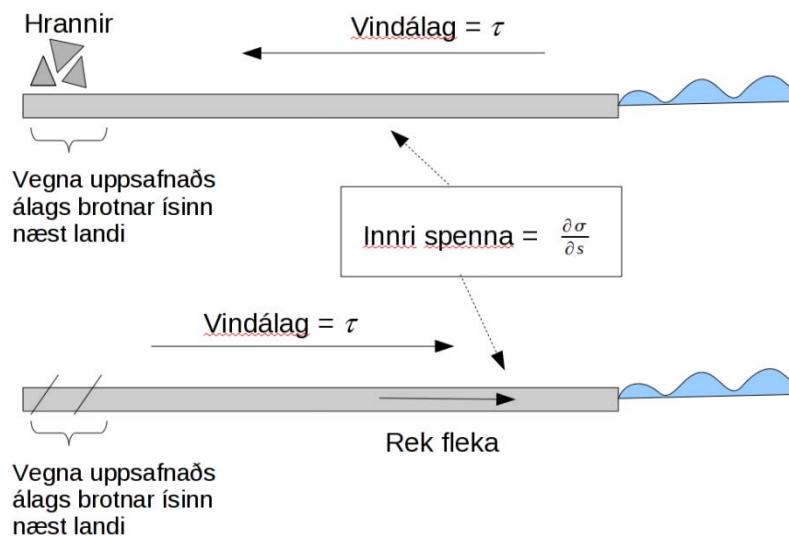
¹⁰ Sjá t.d. Björnsson ofl (2001), Tremblay og Hakakian (2006) eða Beatty og Holland (2010).

¹¹ Beatty og Holland (2010) ræða hámarks þrýsting og togspennu í nokkrum smáatriðum.

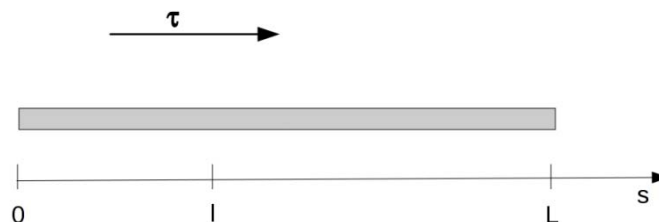
¹² Hér er ρ_a eðlismassi loftsins og c er skiptistuðull (gjarnan notað 1/1000) sjá nánar í Beatty og Holland (2010).

(setjið T_{max} í stað P_{max} í jöfnunni hér að ofan). Ef þykkt íssins og P^* (eða T^*) eru þekkt má meta P_{max} (eða T_{max}) og þar með meta hvaða vindhraða lagnaðarísinn þolir¹³.

Ef athuganirnar hér að framan eru skoðaðar má finna nokkur dæmi þess að ís hrannist upp í botni fjarðar. Dæmi má t.d. sjá þann 20. febrúar 2009 í Skutulsfirði þegar ís rekur úr höfninni og inn að botni þar sem hann brotnar. Eins má sjá dæmi um að landfastur ís losni frá landi, t.d. um miðjan marsmánuð 2009 í Skutulsfirði og þann 14. janúar 2010 í Tálknafirði. Í öllum þessum tilvikum eru þó ekki nægar upplýsingar um ísþykkt og aðstæður til að hægt sé að meta P_{max} , T_{max} og þá hversu mikið vindhraðinn var yfir þeim mörkum sem ísinn þolir. Skipulegar athuganir sem leiða þetta í ljós eru viðameiri en þær athuganir sem fóru fram á vegum AVS verkefnisins.



Mynd 15. Samband vindálags og innri spennu er þannig að ísinn brestur nærri ströndinni.



Mynd 16. Hnitakerfi samsíða ísflekanum.

¹³ Umfjöllunin hér lítur framhjá því að í landátt getur skipt máli í mjóum fjörðum að ísinn fær líka styrk af því að vera frosinn fastur beggja vegna fjarðarins. Til að taka þetta með í reikninginn þarf að skoða skerspennu í ísnum, en um hámarks skerspennu gildir sambærileg eðlisfræði og rakin er hér að framan. Sjá nánar Björnsson ofl (2001) eða Tremblay og Hakakian (2006).

3.2.3 Niðurstöður reikninga með hafíslíkani

Fræðileg úttekt hér að ofan sýnir að ísmyndun getur verið nokkrir sentimetrar á sólarhring, og einnig að þegar vindhraðinn er nægilegur brestur ísinn, og það fer svo eftir vindátt hvort hann rekur í garða eða frá landi. Gerðir voru tilraunir með að beita hafíslíkani¹⁴ sem nær að herma eftir ísmyndun og garðamyndun.

Fyrsta tilraun með líkanið var í mjög einfölduðum aðstæðum, kassalaga firði sem var 5 km á breidd en tugir km á lengd (sjá mynd 17). Gert var ráð fyrir 15 stiga frosti og stöðugum 15 m/s vindi í nokkra daga. Við slíkar kringumstæður er vitað¹⁵ að jafnvægi myndast þar sem gisinn og þunnur ís er næst ströndinni, en þéttleiki og þykkt íssins vex eftir því sem utar dregur í fjörðinn. Þetta jafnvægi má sjá á mynd 17, en það ræðst af ísmyndun og reki íss út fjörðinn. Mynd 18 sýnir þróun lagnaðarísmyndunar á nokkrum stöðum í firðinum. Sýnd er þróun ísmyndunar fyrir tilvik þar sem reiknað er með ísreki og tilvik þar sem ekki er reiknað með ísreki. Án ísreks leggur allan fjörðinn jafnt, hraðast fyrst í stað. Með ísreki er flutningur af nýmynduðum ís (íshrafli) frá ströndinni og bætist við ísinn fjær ströndinni. Jafnvægisástand myndast fyrr næst ströndinni og þar er ísþykktin minni. Myndin sýnir ekki rekhraða íshraflsins en hann er um 20 cm/s. Samband jafnvægis ísþykktar, rekhraða og fjarlægðar frá strönd er þekkt stærð fyrir hafísvakir, og er lýst með s.k. Lebedev-Pease lengd¹⁶. Þessi stærð lýsir því hversu stórt ísmyndunarsvæði þarf að vera til þess að ísframleiðslan sé jöfn ísrekinu um jaðar svæðisins. Þannig sýnir myndin að jafnvægisþykkt íssins 400 m frá ströndinni er um 3 cm. Samkvæmt Lebedev-Pease samsvarar þá heildarísframleiðslan frá strönd að línu sem er dreginn 400 m frá strönd því að 3 cm íslag reki á hraðanum 20 cm/s yfir 400 m línuna. Eftir því sem svæðið er stærra (línun er dregin lengra frá strönd) er heildarísframleiðslan meiri og ísinn því þykkari við jafnvægisáðstæður.

Þykktaraukningin er 10 cm á sólarhring fyrstu dagana, en það verður að teljast mjög hröð ísmyndun. Þessi hraði stafar af því að varmatapið frá sjónum er mjög mikið í hörkufrosti og vindi. Þessar kringumstæður gætu átt við hafísmýndun í íshafinu, en ekki fyrir lagnaðarísmyndun í íslenskum firði. Auk þess taka reikningarnir ekki tillit til þess að sterkur vindur blandar kalda yfirborðslaginu við hlýrri og saltari sjó. Kjörskilyrði lagnaðarísmyndunar eru hægviðri, heiðskírt og frost. Mynd 19 sýnir niðurstöður útreikninga við slík skilyrði, en hún sýnir ísmyndun við 15 stiga frost, 2 m/s vind og varmageislun frá lofthjúpi sem samsvarar heiðskírurum aðstæðum¹⁷. Við þessi skilyrði er ísmyndunin hægari eða um 5 cm á sólarhring fyrstu dagana. Þetta má greinilega sjá með því að bera saman reikninga án ísreks á myndunum. Með hægari ísmyndun tekur lengri tíma að ná jafnvægisþykkt, og þar sem árhrif ísreks eru minni er verður ísinn 400, 1000 og 2000 m frá landi þykkari við jafnvægi.

Einnig var reiknuð ísmyndun við eðlilegri strandlínu. Skutulsfjörður var valinn og ísmyndun reiknuð fyrir þriggja daga kuldakafla með 7 stiga frosti, heiðskírurum himni og 2 m/s suðvestlægum vindi (út fjörðinn). Reikniniðurstöðurnar (sjá mynd 20) sýna greinilega hvernig ísinn safnast upp innan við eyrina, og hvernig ís rekur út fjörðinn. Í forsendum var einnig gert ráð fyrir að kalda ferskvatnslagið inni í Pollinum næði ekki út fyrir eyrina, og því bráðnar lagnaðarísinn þegar hann rekur út fyrir eyrina. Mynd 21 sýnir niðurstöður

¹⁴ sem var notað er lýst í Tremblay og Mysak (1997).

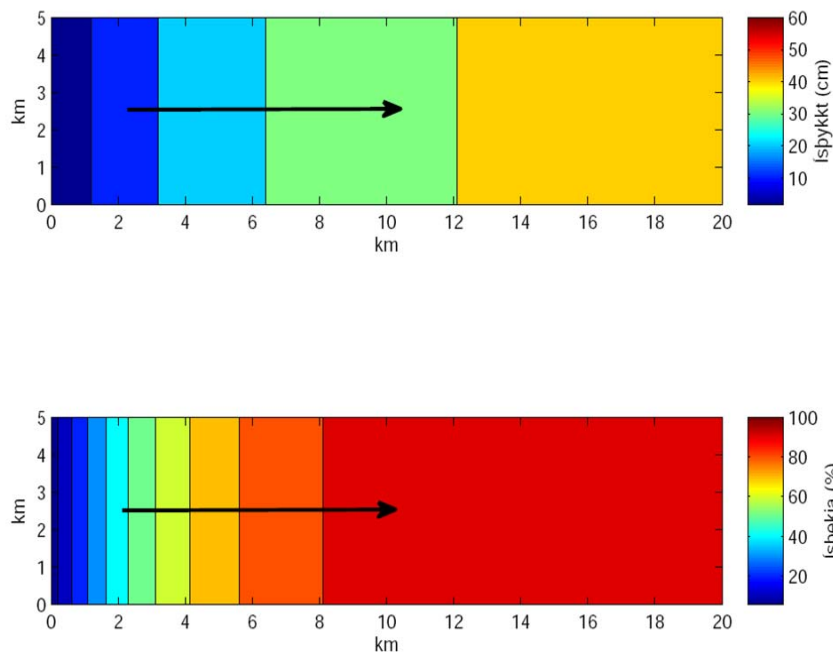
¹⁵ Sjá nánar Björnsson ofl. (2000).

¹⁶ Sjá nánar Björnsson ofl. (2001).

¹⁷ Á mynd 17 er varmageislunarstuðull lofthjúps um 0.88, sem er dæmigert gildi fyrir lofthjúpin, en á mynd 18. hefur þessi stuðull verið lækkaður í 0.75 sem er dæmigert fyrir heiðskýrar kringumstæður. Eftir því sem stuðullinn er lægri er varmageislun frá lofthjúpinum niður á ísinn minni.

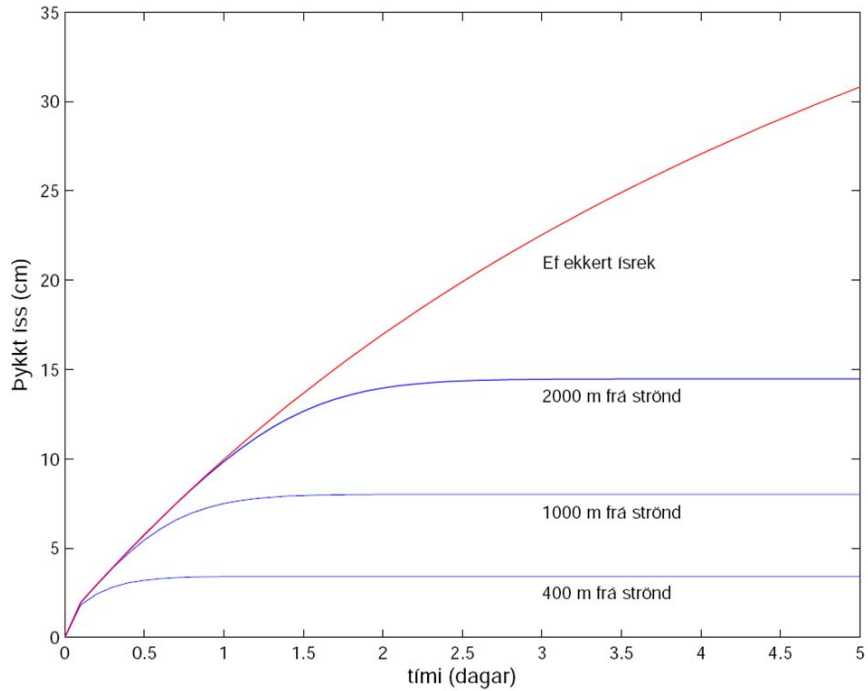
þegar gert er ráð fyrir hægum vindi inn fjörðinn. Í þessu tilfelli helst ísinn upp við botn Skutulsfjarðar og inni á Pollinum.

Niðurstöður útreikninga fyrir Skutulsfjörð sýna að hafislíkanið getur náð að herma eftir myndun og uppsöfnunarsvæðum íssins. Flæði íssins í líkaninu er samt ekki í nægilega góðu samræmi við athuganir. Ísrekið út fjörðinn fram hjá eyrinni er meira en athuganir segja til um. Athuganir sýna að eftir 3 daga kuldakast með hægum vindi má gera ráð fyrir að íspekjan sé nokkuð samfelld en ekki mikið rek út fjörðinn. Hluti vandans hér er að meðhöndlun innri spennu í ísnum (s.k. hnigfræði íssins) er líklega ekki allskostar rétt í líkaninu og almennt eiga hafislíkön í erfiðleikum með að herma eftir landföstum ís¹⁸. Hér er það meðhöndlun togspennu í ísnum sem er ófullnægjandi. Hægt er að aðlaga hafislíkanið fyrir heppilegri hnigfræði, en til að gera slíkt vel þarf að byggja á ítarlegri athugunum. Einnig vantar að mæla betur þykkt og þróun kalda lagsins í Pollinum, m.a. til að vita hversu hraðar hitabreytingar í því geta verið. Í útreikningunum hér að framan var ekki reynt að reikna með breytilegum sjávarhita og seltu, enda ónægar upplýsingar til að byggja á.

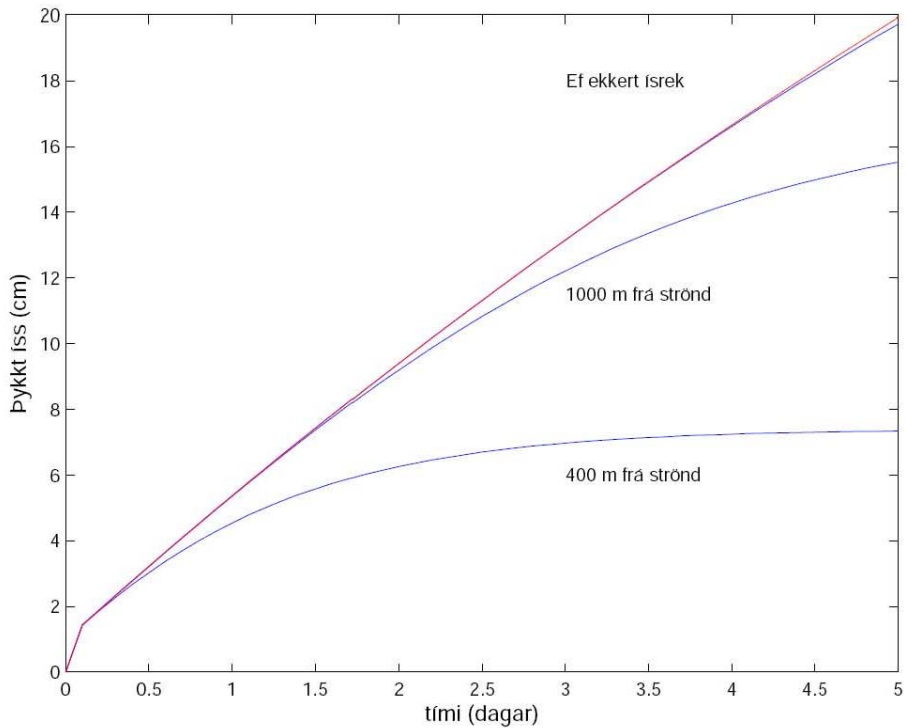


Mynd 17. Jafnvægisástand ísþykktar (efri mynd) og íspekjuhlutfalls (neðri mynd) í kassalaga firði eftir langvarandi 15 gráðu frost og sterkan vind (15 m/s) út fjörðinn (sjá ör).

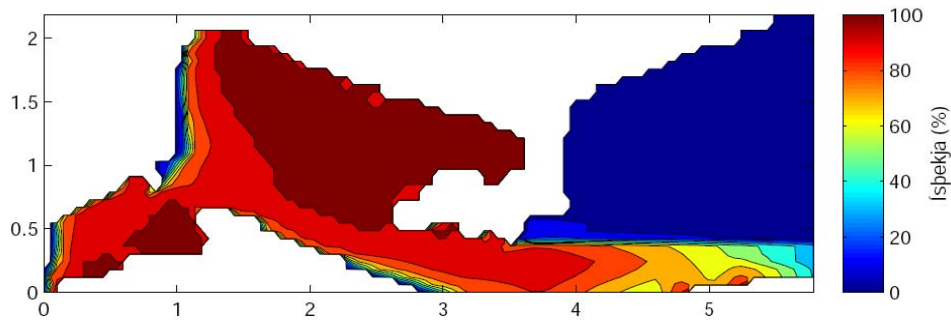
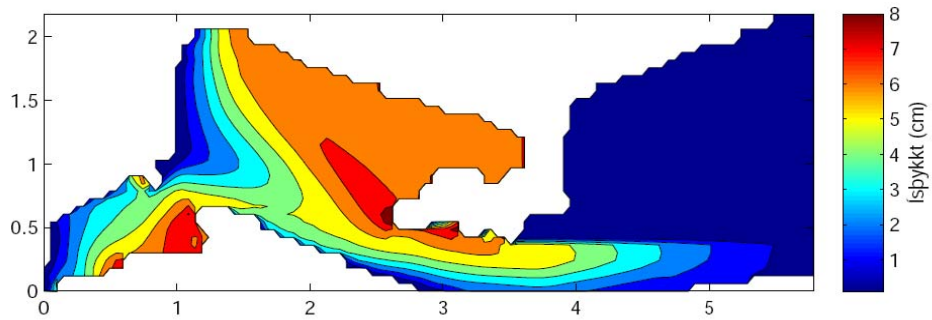
¹⁸Sú staðreynd að hafislíkön herma illa eftir landföstum ís er þekkt og m.a. rædd í Beatty og Holland (2010).



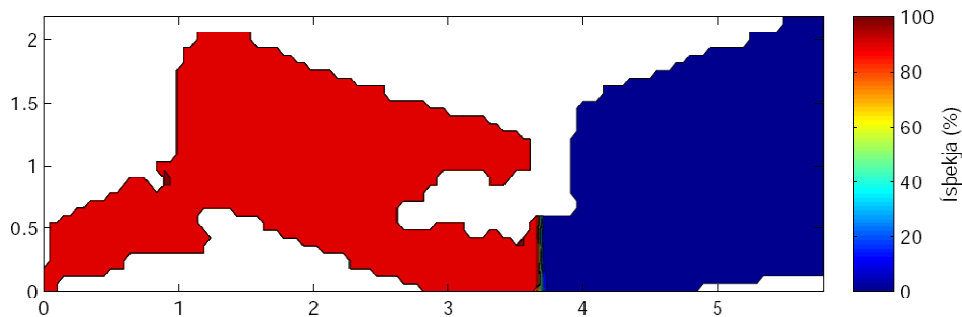
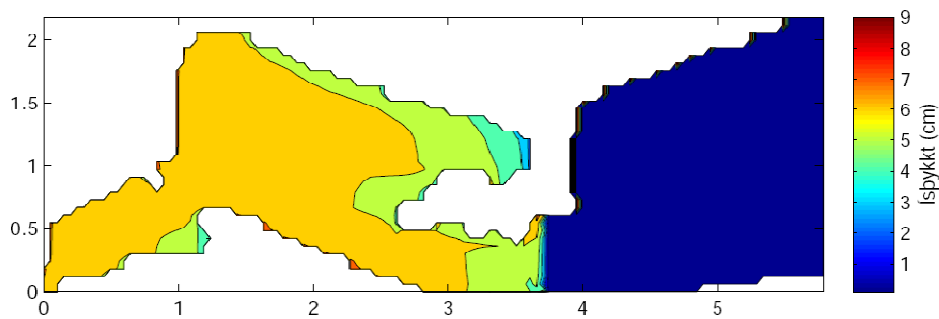
Mynd 18. Þróun lagnaðarísmýndunar í firði þar sem hægur en stöðugur 10 m/s vindur blæs út fjörðinn í 15 stiga frosti. Rauða línan sýnir ísmýndun ef ekki er reiknað með ísreki, bláu línurnar sýna jafnvægisástand sem myndast ef gert er ráð fyrir ísreki frá ströndinni. Vegna reksins næst jafnvægisástandið fyrr nær ströndu og jafnvægisþykktin vex eftir því sem fjær dregur ströndinni.



Mynd 19. Eins og mynd 18, nema hér er 15 stiga frost, 2 m/s vindur og heiðskírt.



Mynd 20. Ísþykkt (efri mynd) og þéttleiki íss (neðri mynd) á Skutulsfirði eftir 3 daga frostakafla (-7°C) og hægán vind (2 m/s) út fjörðinn. Sjávarhiti utan eyrar er yfir frostmarki.



Mynd 21. Ísþykkt (efri mynd) og þéttleiki íss (neðri mynd) á Skutulsfirði eftir 3 daga frostakafla (-7°C) og hægán vind (2 m/s) inn fjörðinn. Einnig er gert ráð fyrir að sjávarhiti utan eyrar sé yfir frostmarki.

4 Viðbrögð við hættu á lagnaðarís

Fræðileg umfjöllun hér að framan og hermireikningar með líkani sýna að hægt er að spá fyrir um lagnaðarísmyndun, og rek lagnaðaríss. Nægilega gott samhengi er milli athugana á vindi og hita til þess að hægt sé að spá fyrir um líkur á ísmyndun og jafnvel reki. Til þess að betrubæta spár um myndunarhraða, og uppbrot íssins þarf viðameiri athuganir en gerðar voru í þessu verkefni. Áður en slíkt er gert er hinsvegar eðlilegt að spurt sé hvernig nýta ætti upplýsingar um hættu á myndun eða reki lagnaðaríss.

Innan NorthCage verkefnisins¹⁹ var kannað sérstaklega hvernig best væri að verja fiskeldi fyrir lagnaðarísmyndun. Aðferðir við að brjóta upp ísinn (t.d. með því að sigla yfir ísfleka og brjóta þá) eða koma í veg fyrir ísmyndun (með því að blanda saltari og hlýrri neðri lögum við kaldan og ferskari yfirborðssjó) eru ekki taldar áreiðanlegar. Verkefnið skoðaði sérstaklega sjókvíar sem staðsetja má undir sjávaryfirborði, nægilega djúpt til þess að lagnaðarísinn nái ekki til þeirra. Kvíar sem eru neðansjávar að staðaldri eru fyrir margra sakir óheppilegar, en kvíar sem sökkva má tímabundið²⁰ eru líklegri sameina auðvelt aðgengi og öryggi.

Ef slík kví væri notuð myndi spá um ísmyndun, byggð á reiknilíkani eða reynslu vera nauðsynlegur hluti af rekstrinum. Ef spáð væri ísmyndun, eða reki íss á því svæði þar sem kvíin er staðsett mætti sökkva kvínni uns hættan væri liðin hjá. Það færi eftir hönnun kvíar hversu langur viðbragðstíminn þyrfti að vera, en líklega má sökkva kvíum um 1 m á skömmum tíma. Ekki gerist þörf að sökkva kvínni dýpra vegna lagnaðaríss, en ef líkur væru á rekis frá Grænlandssundi mætti sökkva þeim enn dýpra eða allt að 5 m. Líklegast er að hætta á rekis frá Grænlandssundi væri þekkt með nokkurra daga fyrirvara.

Ef spá á fyrir lagnaðarísmyndun má hugsa sér tvær aðferðir, líkanspá eða spá byggða á eftirliti og reynslu. Í fyrra tilvikinu þyrfti að þróa hermilíkan sem gæti spáð fyrir um lagnaðarísmyndun, uppbrot og rek íssins. Eins og fram hefur komið þyrfti nokkrar rannsóknir til að slíkt skilaði árangri. Hinn möguleikinn er að nota upplýsingar um samband frosts og vinds á hverjum firði þar sem sjókvíaeldi er til staðar og gera sérspár í samvinnu við rekstraraðila kvíanna. Slíkar spár myndu byggja á veðurspá, ef í aðsigi væri veður sem ísmyndun fylgir gjarnan, væri rekstraraðili varaður við. Ef ísmyndun ætti sér stað væri fylgst með vindspám og hætta á ísreki metin. Jafnframt þessum spám yrði eftirliti á lagnaðarís haldið áfram og þannig myndi bætast enn frekar í sarp þekkingar á sambandi ísmyndunar og veðurþátta. Það má einnig hugsa sér að byrjað yrði með reynslu-spár og spám byggðum á líkanreikningum bætt við síðar meir. Í þessu samhengi skiptir kostnaður þó nokkru, en ekki er ljóst hvernig fjármagna eigi sérspár eða þróun spálíkans.

Niðurstaðan er því sú að hægt er að spá fyrir um lagnaðarísmyndun. Til að gera áreiðanlegar spár þarf viðameiri rannsóknir, en miðað við þær upplýsingar sem þegar liggja fyrir væri hægt, í samvinnu við rekstraraðila sjókvía að spá fyrir um líklega ísmyndun, og rek íss ef svo bæri undir. Ef nýttar væru sökkvanlegar kvíar mætti koma þeim í skjól undir sjávaryfirborði áður en ísinn færi yfir þær.

¹⁹ NorthCage verkefnið er styrkt af Tækniþróunarsjóði Rannís 2008–2012. Þátttakendur eru MATÍS, Náttúrustofa Vestfjarða, SINTEF Fiskeri og Havbruk, Hafrannsóknastofnunin, Veðurstofa Íslands og Hraðfrystihúsid-Gunnvör Ltd. Verkefnið snýr að hönnun sjókvía fyrir fiskeldi á norðurslóðum.

²⁰ NorthCage group (2011) Icelandic solutions in Cod farming in sea cages. Mátis, Reykjavík.

Heimildir

- Beatty C. K. & David M. Holland (2010). *Modeling Landfast Sea Ice by Adding Tensile Strength*. *J. Phys. Oceanogr.*, 40, 185–198.
- Bjornsson H. ofl (2001). *Polynya Simulations: A comparison of a Flux Model with a High Resolution Dynamic-Thermodynamic Sea Ice Model*. *Tellus Series A* 53, 245–265.
- Eiríkur Valdimarsson (2010). *Stutt yfirlit um lagnaðarís í fjörðum við Ísland*. Skýrsla VÍ 2010-010. 22 síður.
- Markús Einarsson (ritstj) (1969). *Hafisinn*. Almenna Bókafélagið, Reykjavík. 552 síður.
- Sveinn Víkingur ofl (ritstj) (1968). *Hafís við Ísland*. Kvöldvökuútgáfan. 208 síður.
- Tremblay, L. B. & Hakakian M. (2006) „Estimating the Sea Ice Compressive Strength from Satellite-Derived Sea Ice Drift and NCEP Reanalysis Data.“ *J. Phys. Oceanogr.*, 36, 2165-2172.
- Tremblay L.-B. & Mysak L. A (1997). „Modelling sea ice as a granular material, including the dilatancy effect.“ *J. Phys. Oceanogr.* . 27, 2342–2360.
- Valdimar I. Gunnarsson (2008). *Reynsla af sjókvíaeldi á Íslandi*. Hafrannsóknastofnunin fjölrit nr. 136, Reykjavík. 52 síður.
(http://www.hafro.is/Bokasafn/Timarit/fjolrit_136.pdf)