

Sjávarhiti, straumar og súrefni í sjónum við strendur Íslands

Steingrímur Jónsson (steing@unak.is)

Hafrannsóknastofnunin og Háskólinn á Akureyri
Pósthólf 224, 600 Akureyri

ÁGRIP

Steingrímur Jónsson 2004. *Sjávarhiti, straumar og súrefni í sjónum við strendur Íslands. Í: Björn Björnsson & Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.), Þorskeldi á Íslandi. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 111: 9-20.*

Þegar fiskeldi hófst á Íslandi á nýnda áratug síðustu aldar varð mikil eftirspurn eftir upplýsingum um umhverfisaðstæður og þá sérstaklega eftir hitastigi á ýmsum stöðum við landið, en hitastigið er einn af þeim þáttum sem hvað mestu máli skipta fyrir fiskeldi. Til þess að kanna aðstæður til fiskeldis hér við land hóf Hafrannsóknastofnunin hitamælingar árið 1987 víða við strendur landsins og er hér gerð grein fyrir þessum mælingum fram til ársins 2000. Gerður er samanburður á hitastigi í þeim löndum við norðanvert Norður-Atlantshaf sem líklegast er að verði helstu keppinautar Íslendinga í þorskeldi. Hitastig er almennt lægra við Ísland en við nágrannalöndin. Það er því mjög lítil hættu á of háu hitastigi til þorskeldis hér við land. Meðalhitinn lækkar þegar farið er frá suðurströndinni sölarsinnis kringum landið. Það eru ekki margir dagar á ári sem hitastigið fer undir 0°C en það virðist einkum gerast vestanlands. Því er frekar ólíklegt að þorskur í eldi drepist hér vegna kulda. Árstíðasveiflan í hitanum er frekar lítil. Hún er mest vestanlands en minnst er hún við suður- og austurströndina. Breytingar milli ára eru töluverðar, einkum norðan- og vestanlands. Einnig er fjallað um strauma í fjörðum og endurnýjunartíma sjávar í þeim. Þar sem íslenskir firðir eru frekar breiðir og opnir fyrir úthafinu er endurnýjunartími þeirra frekar stuttur eða fáeinir vikur. Fáir firðir hafa þröskuld í mynninu og þeir eru því almennt ríkir af súrefni sem einnig endurnýjast tiltölulega hratt með straumum.

ABSTRACT

Steingrímur Jónsson 2004. *Temperature, currents and dissolved oxygen in the coastal sea around Iceland. In: Björn Björnsson & Valdimar Ingi Gunnarsson (eds), Cod farming in Iceland. Marine Research Institute. Report 111: 9-20.*

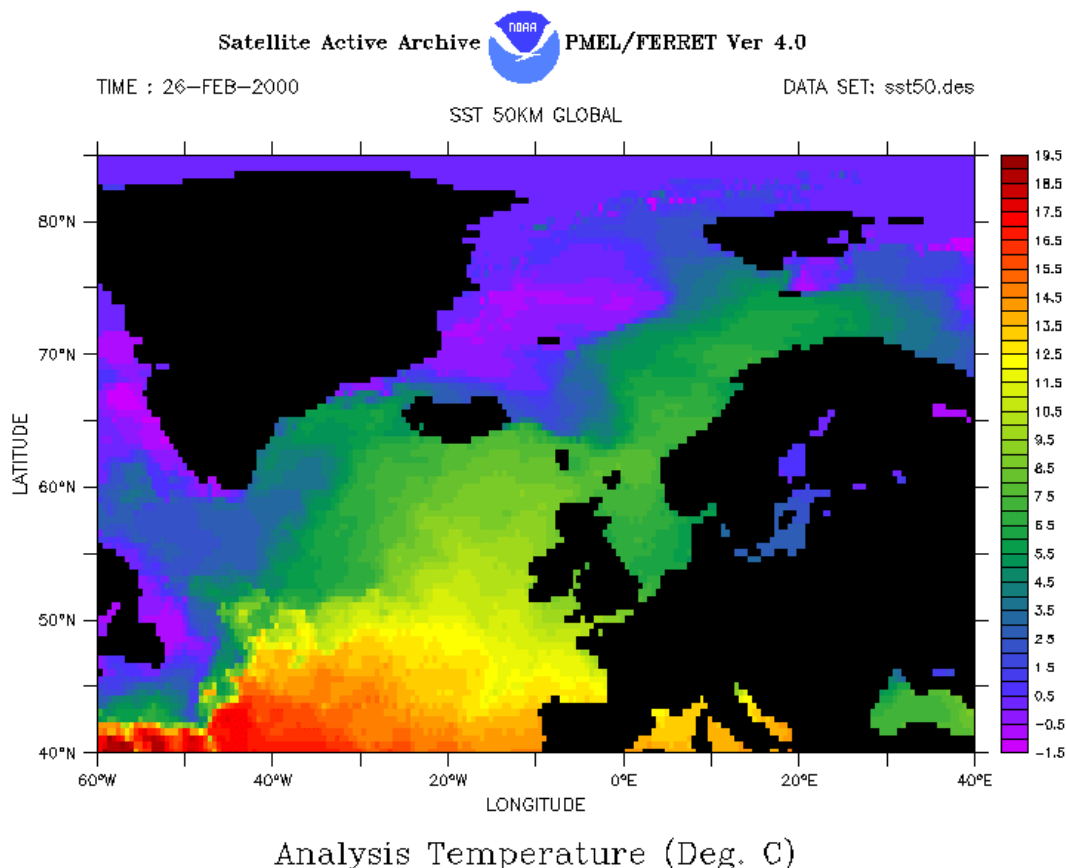
When aquaculture started to grow in Iceland in the 1980's there was an increasing demand for information concerning conditions for aquaculture, especially temperature, since it is one of the most important parameters for aquaculture. In response to this demand the Marine Research Institute began in 1987 measurements of temperature at various locations and in this paper the measurements until the year 2000 are described. A comparison is made with the temperature in the countries bordering the northern North Atlantic that are most likely to be the main competitors of Iceland in farming of cod. The temperature is generally lower around Iceland than can be found in the neighboring countries. There is therefore very little danger of too high temperature for cod farming. The average temperature lowers when going clockwise from the south coast and around the country. There are not many days per year with temperature below 0°C and this is most frequent along the west coast. It is therefore rather unlikely that cod in cages will die here because of too low temperature. The amplitude of the seasonal temperature cycle is generally rather small. It is largest at the west coast but smallest on the south and east coasts. Inter annual variations are significant, especially along the north and west coasts. Current measurements in fjords are discussed and related to the residence time of water in them. Since the Icelandic fjords are rather broad and open to the ocean outside, the flushing time is rather short or of the order of a few weeks. Very few Icelandic fjords have sills at their mouth and they are generally well oxygenated.

INNGANGUR

Þegar fiskeldi hófst á Íslandi á níunda áratug síðustu aldar varð mikil eftirspurn eftir upplýsingum um umhverfisaðstæður og þá sérstaklega eftir hitastigi á ýmsum stöðum við landið, en hitastig er einn af þeim þáttum sem hvað mestu máli skipta fyrir fiskeldi. Stafar það af því að vöxtur misheitra lífvera, svo sem fiska og hryggleysingja, er verulega háður hitastigi ef fæðuframboð er nægjanlegt (Björn Björnsson, 1997). Þetta er afar mikilvægt fyrir vistkerfið í hafinu við Ísland og einnig þegar hugað er að fiskeldi í sjó. Hvað varðar fiskeldi þá skiptir ekki eingöngu máli hversu hár meðalhitinn er, heldur einnig breytileiki hitans, svo sem hvort komið geti langir frostakaflar sem geti hreinlega drepíð eldisfiskinn eins og gerst hefur hér við land, t.d. lax í Hvalfirði (Eldisfréttir, 1988). Of

hátt hitastig getur einnig verið óhagstætt þar sem það getur aukið hættu á útbreiðslu sjúkdóma í eldisfiski (Björn Björnsson, 1997). Þá getur of hátt hitastig hamlað vexti fiska (Björn Björnsson & Agnar Steinarsson, 2002). Til þess að kanna aðstæður til fiskeldis hér við land hóf Hafrannsóknastofnunin hitamælingar árið 1987 víða við strendur landsins og verður hér gerð grein fyrir þessum mælingum fram til ársins 2000.

Það er tilgangslaust að ræða um aðstæður til fiskeldis á Íslandi, án þess að gera samanburð við aðstæður í öðrum löndum þar sem þessi atvinnuvegur er stundaður, vegna þeirrar samkeppni sem hlýtur að verða við þá staði. Bent hefur verið á að fiskeldi sé nú stundað á nyrstu nöfum Noregs, á breiddargráðum sem liggja langt norðan heimskautsbaugs. Það segir þó lítið um hvort hagkvæmt geti verið að stunda



1. mynd. Hitastig mælt frá gervihnöttum í norðanverðu Norður-Atlantshafi 26. febrúar 2000. Útbreiðsla Atlantssjávar markast í stórum dráttum af skilunum milli græna og bláa litarins á myndinni. Það sem er þar fyrir norðan og vestan er sjór sem er að verulegu leyti ættaður úr Norður-Íshafi (frá National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, www.saa.noaa.gov/).

Figure 1. Sea surface temperature in the northern North Atlantic on 26 February 2000 measured from a satellite. The distribution of Atlantic water is marked by the separation between green and blue. To the north and west of that separation is water originating in the Arctic Ocean (based on data from National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, www.saa.noaa.gov/).

fiskeldi á Íslandi eða Labrador en það síðar-nefnda nær þó suður undir 50°N, en enn hefur engum dottið í hug að þar sé hægt að ala fisk á hagkvæman hátt. Það er dreifing sjógerða í Norður-Atlantshafi sem ræður mestu um hitafar í sjónum á þessum slóðum og er því ekki úr vegi að byrja á því að kynna sér hana.

Hitastig í norðanverðu Norður-Atlantshafi er sýnt á 1. mynd. Um mestan hluta Norður-Atlantshafs er svokallaður Atlantssjór ríkjandi í yfirborðslögum og er þykkt hans hundruð metra. Hann á uppruna sinn langt suður í höfum og megineinkenni hans eru hátt hitastig og há selta. Atlantssjórinn sést á 1. mynd sem rauður syðst en kólnar eftir því sem norðar dregur, táknað með gulu og síðan grænu á myndinni. Þessi sjór berst með Golfstraumnum meðfram austurströnd Bandaríkjanna en þegar hann kemur að Cape Cod sveigir hann til austurs yfir Atlantshafið og heitir eftir það Norður-Atlantshafsstraumurinn. Megnið af honum streymir aftur til suðurs við Portúgal (Azoreyjastraumur). Stærsta greinin, sem heldur áfram til norðurs fer inn í Noregshaf (Noregsstraumur) og er næstum jafnmikið streymi milli Skotlands og Færeyja og fyrir norðvestan Færeyjar. Hluti af straumnum fer síðan inn í Barentshaf en hluti heldur áfram í átt að Svalbarða sem Vestur-Svalbarðastraumur.

Til Íslands berst ein grein Norður-Atlantshafsstraumsins (Irmingerstraumur) og er suður- og vesturströnd landsins umlukin þeim sjó. Meginhluti þessa straums sveigir síðan í átt til Grænlands út af Breiðafirði. Norður fyrir land berst einungis lítill hluti þessa sjávar eða u.þ.b. 1/10 af því sem er í Noregsstraumi og einnig er þessi sjór mun kaldari en sjórinn í Noregsstraumi. Mjög miklar sveiflur eru í þessu flæði og er það mjög breytilegt milli ára og hefur það veruleg áhrif á hitafar í sjónum úti fyrir Norður- og Austurlandi. Á 1. mynd sést vel hversu veikur þessi straumur er, en mjó græn tunga nær rétt norður fyrir Horn en síðan hverfur hún. Eftirtektarvert er að í Barentshafi er tunga Atlantssjávar mun breiðari en norðan Íslands og nær græni liturinn þar austur fyrir 30°A, en það er svipað og austustu mörk Noregs.

Úr Norður Íshafinu berst ískaldur og seltulítill pólsjór milli Grænlands og Svalbarða sem síðan streymir meðfram austurströnd Grænlands. Megnið af honum berst út um Grænlandsund og mætir þar Atlantssjónum. Pólsjórinn, sem er léttari en Atlantssjórinn flýtur ofan á Atlantssjónum og heldur honum frá ströndinni.

Pólsjór liggur því við ströndina innan við Atlantssjóinn allt frá Grænlandssundi, og yfir til Labrador og Nýfundnaland.

Hitastig við strendur norðanverðs Norður-Atlantshafsins mótast mest af þessum tveim sjógerðum, þ.e. Atlantssjó og pólsjó.

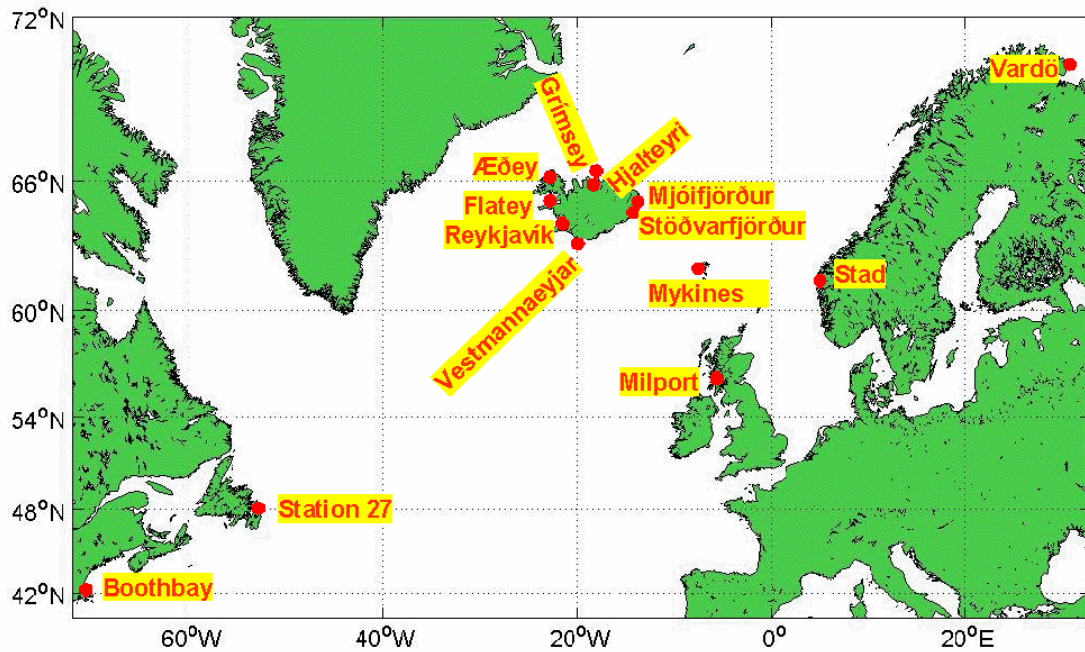
GÖGN

Síðan 1987 hefur Hafrannsóknastofnunin verið með nokkuð reglulegar mælingar á hitastigi sjávar á sjö stöðum við landið, þ.e. í Reykjavík, Flatey, Æðey, Grímsey, Hjalteyri, Mjóafirði og Stöðvarfirði. Í Vestmannaeyjum hófust samskonar mælingar um áramótin 1998/1999. Hitamælarnir hafa að jafnaði verið festir á bryggjustólpa um 1,5 metra neðan við stórstraumsfjöru. Notaðir hafa verið hitamælur sem fyrirtækið Hugrún ehf. framleiddi en Stjörnu-Oddi framleiðir nú. Mælarnir eru stilltir þannig að hitastigið er skráð á tveggja klukkustunda fresti. Af ýmsum ástæðum s.s. gölluðum rafhlöðum og skemmdum á mælingastað eru eyður í mælingunum. Þessar eyður skapa ýmsa erfiðleika við tölfræðilega úrvinnslu þessara gagna. Á 4. mynd má sjá yfir hvaða tímabil mælingarnar ná á hverjum stað og einnig hvar eyður eru í mælingunum. Hér verður gerð grein fyrir niðurstöðum þessara mælinga fram til ársins 2000. Til eru margar styttri mælingar frá fleiri stöðum og vísast í Stefán Kristmannsson (1989, 1991) hvað þær varðar, en þar er gerð grein fyrir þessum mælingum fram til 1990. Hægt er að nálgast þessi gögn á vef Hafrannsóknastofnunarinnar (www.hafro.is).

Hér verður einnig gerð grein fyrir hitastigi við strendur norðanverðs Norður-Atlantshafs og byggt á mánaðarmeðaltölum frá þeim stöðum sem merktir eru á kortinu á 2. mynd. Heimilda hefur verið aflað víða, frá Skotlandi (www.marlab.ac.uk/Ocean/OCEAN.html), Færeyjum (Hansen, Bogi 2000), Svartnes (Eilertsen o.fl. 1981), öðrum stöðum í Noregi (Breen, 1986) og Kanada (www.maritimes.dfo.ca/science/ocean/ocean_data.html og www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/zmp/hydro_data_e.html).

Meðalhiti

Meðalhiti allra almanaksmánaða er sýndur á 3. mynd fyrir alla reglubundna mælingastaði við landið og sýnir myndin dæmigerða árstíðasveiflu hitans. Einnig eru sýnd staðalfrávik sem eru í þessu tilviki mælikvarði á breytileika hitastigsins milli ára. Þar er líka gefinn upp



2. mynd. Kort af Norður-Atlantshafi þar sem sjávarhiti við yfirborð var skoðaður.

Figure 2. A map of the North Atlantic where sea surface temperature was studied.

ársmeðalhiti og er hann hæstur í Vestmannaeyjum $8,02^{\circ}\text{C}$ en þess ber þó að geta að einungis er þar um að ræða mælingar frá árunum 1999 og 2000 en bæði þessi ár voru fremur hlý. Hitinn fer síðan í meginatriðum lækkandi þegar farið er sólarinnis kringum landið og er lægstur í Stöðvarfirði $3,84^{\circ}\text{C}$. Þetta er í samræmi við minnkandi áhrif Atlantssjávar og aukin áhrif kalds sjávar úr norðri þegar farið er sólarinnis kringum landið.

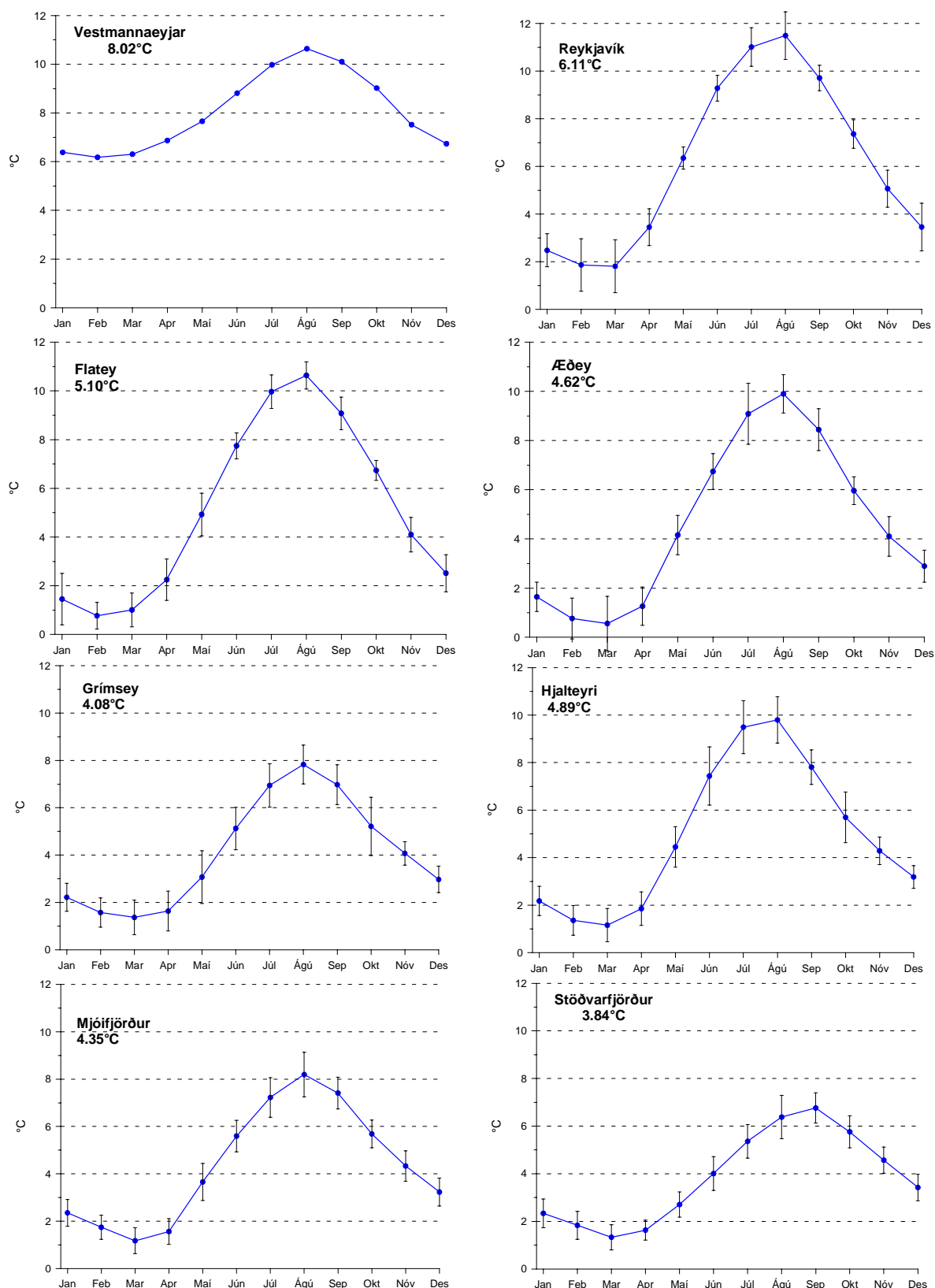
Lægstum meðalhita er náð í febrúar eða mars og hitinn hefur hækkað nokkuð í apríl á öllum stöðum. Langhæst er lágmarkið í Vestmannaeyjum, rúmlega 6°C en lægst við Aðey $0,6^{\circ}\text{C}$. Á myndinni sést að hiti er mjög svipaður við landið yfir köldustu mánuðina eða um $1-2^{\circ}\text{C}$ ef undan eru skildar Vestmannaeyjar.

Hámarkshita er náð síðla sumars eða í ágúst á öllum stöðum nema í Stöðvarfirði þar sem hitinn er örlítið hærri í september. Mun meiri munur er á hámarkshita á milli staða en á lágmarkshita. Þannig er hámarkshiti í Reykjavík hæstur eða $11,5^{\circ}\text{C}$ en lægstur í Stöðvarfirði $6,8^{\circ}\text{C}$. Ástæðan fyrir meiri mun á hámarkshita en lágmarkshita milli staða er sú að yfir kaldari mánuði ársins er meiri blöndun á sjónum og því þarf að hita eða kæla þykkara lag af sjó yfir vetrarmánuðina. Það þarf því meiri orku til að hafa áhrif á hitastigið. Yfir sumarmánuðina er minni blöndun og þá myndast tiltölulega þunnt

yfirborðslag sem er einangrað frá kaldari sjó sem liggur undir og minni orku þarf þá til að hækka hitastigið í þessu tiltölulega þunna lagi. Árstíðasveiflan er þess vegna töluvert mismunandi milli staða og er hún mest í Reykjavík eða $9,7^{\circ}\text{C}$ en minnst $4,2^{\circ}\text{C}$ í Vestmannaeyjum og $5,5^{\circ}\text{C}$ í Stöðvarfirði. Einnig er hún tiltölulega lítil í Grímsey og Mjóafirði.

Vestmannaeyjar skera sig úr hvað varðar háan vetrarhita og litla árstíðasveiflu. Þetta stafar af því að eyjarnar eru umluktar einsleitum Atlantssjó allt árið og lagskipting verður aldrei mikil. Svipað má segja um Grindavík en þar var lægsti meðalhitinn í febrúar $5,0^{\circ}\text{C}$ en hæstur í ágúst $11,0^{\circ}\text{C}$ (Unnsteinn Stefánsson, 1985). Því er ástæða til að ætla að slíkt hitafar eigi við um alla suðurströnd landsins.

Stöðvarfjörður virðist vera afbrigðilegur um margt. Árstíðasveiflan er mjög lítil, með mjög lágt hitastig yfir sumarið en vetrarhitinn er svipaður og annars staðar. Hámarkshitinn í Stöðvarfirði mælist ekki fyrr en í september og sumarupphitunin er mun hægari sem sést af minni halla ferilsins yfir vor- og sumarmánuðina en annars staðar. Allir þessir þættir stafa af því að blöndun af völdum sjávarfallastrauma, sem eru kröftugir við Austurland, er mjög mikil og hindrar það að þunnt yfirborðslag myndist í firðinum. Upphitunin að sumarlagi dreifist því yfir meira dýpi en annars staðar og hitastigið



3. mynd. Meðalhitastig í °C í hverjum mánuði. Lóðréttu strikin sýna eitt staðalfrávik. Í Vestmannaeyjum er einungis um að ræða gögn frá 1999 og 2000 og því eru ekki teiknuð staðalfrávik þar. Einnig er ársmeðalhitinn sýndur.

Figure 3. The average temperature for each month showing the seasonal variation. The vertical bars indicate one standard deviation. For Vestmannaeyjar only data from the years 1999 and 2000 exist and therefore the standard deviation is not shown. Also the average temperature is indicated.

nær því ekki að hækka jafnmikið. Stöðvarfjörður er einnig frekar stuttur og blöndun við sjóinn úti fyrir er því tiltölulega mikil sem hindrar enn frekar að lagskipting myndist.

Mælingarnar hafa yfirleitt verið gerðar við bryggju inni í höfnum en þar eru sveiflur yfirleitt meiri en lengra úti. Því gæti hugsast að hitastigsdreifingin væri eitthvað önnur þar sem kvíar yrðu staðsettar en inni í höfnum. Ef skoðað er hitastig á siglingaleið umhverfis landið á tímabilinu 1949-1966, en það tímabil var fremur hlýtt hér við land (Unnsteinn Stefánsson, 1969), þá kemur í ljós að munurinn á meðalhita þar og þeim gögnum sem hér er fjallað um er ekki mikill. Árstíðasveiflan er dálítið minni á siglingaleiðinni en hér er greint frá.

Unnsteinn Stefánsson (1970) rannsakaði hitastig á fjórum stöðum við landið, þ.e. Reykjavík, Látrabjarg, Grímsey og Vestmannaeyjar, fyrir tímabilið 1960-1969. Niðurstöður hans eru mjög áþekkar því sem hér kemur fram.

Kjörhiti til vaxtar lækkar með þyngd frá um 17°C fyrir tveggja g seiði í um 7°C fyrir tveggja kg fisk, (Björn Björnsson o.fl. 2001; Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002). Einnig kemur þar fram að kjörhiti til fóðurnýtingar, m. t.t. affalla er nokkru lægri en kjörhiti til vaxtar.

Miðað við þessar tölur er lítil hætt á að hitastig sjávar við Ísland verði of hátt. Reyndar er meðalhitastig í sjónum við Ísland frekar nálægt kjörhita stærri þorsks. Gögn um árstíðabreytingar á hita á mismunandi dýpum eru til frá Eyjafirði (Steingrímur Jónsson, 1996) og Ísafjarðardjúpi (Ólafur Ástþórsson & Ástþór Gíslason, 1992; Ólafur Ástþórsson & Guðmundur S. Jónsson, 1988).

Frávik frá meðalhita hvers mánaðar

Það er vel þekkt að árferði í sjónum við Ísland getur verið mjög mismunandi milli ára. Sérstaklega á þetta við um hafsvæðið norðan og austan við landið þar sem mjög mismunandi er hversu mikil áhrif Atlantssjávarins eru. Frávik frá meðalhita hvers mánaðar eru sýnd á 4. mynd. Á henni sést að 1987 var fremur hlýtt, sérstaklega um vorið. Síðan tók við kalt tímabil fram til haustsins 1990 en þá hófst hlýindakaflinn sem entist til vorsins 1992. Þessara hlýinda gætti á öllum stöðum en mest þó við norður- og austurströndina.

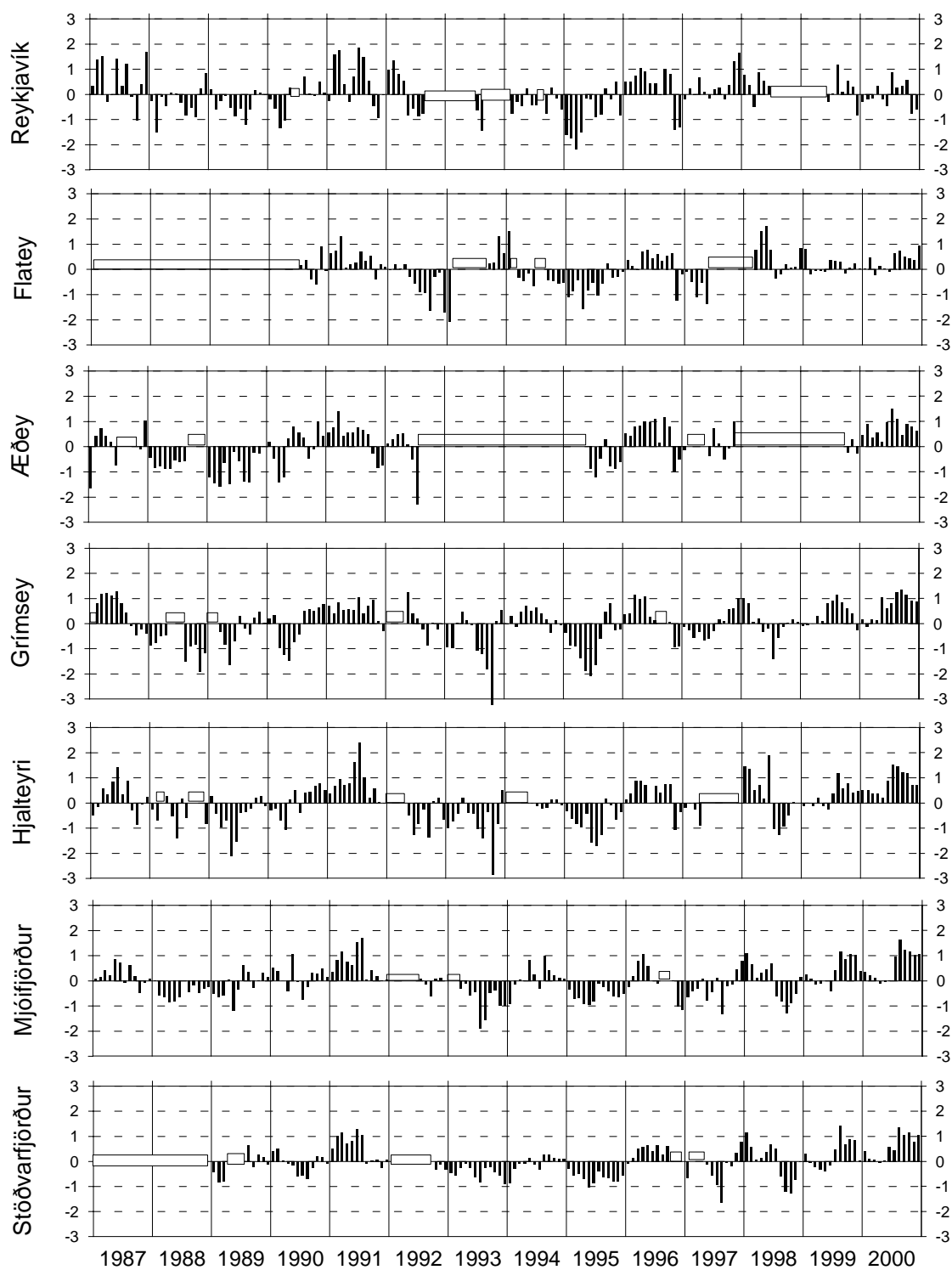
Seinni hluta ársins 1992 og fram til 1996 var fremur kalt en þó breytilegt ástand. Vorið 1995 var mjög kalt í Grímsey og við Hjalteyri og upphitun yfirborðslagsins um vorið hófst ekki

fyrir en seint í apríl. Kælingin var þó ekki bundin við svæðið fyrir norðan land heldur gætti hennar á öllum stöðunum. Þetta vor og veturinn á undan var mjög lítið streymi Atlantssjávar inn á Norðurmið. Árið 1996 varð síðan breyting til batnaðar á öllum stöðum nema hvað tveir síðustu mánuðir ársins voru undir meðaltali. Árin 1997 og 1998 skiptust á köld og hlý tímabil en breytingar voru fremur litlar. Síðustu tvö árin voru mjög hlý og var þetta tímabil það hlýjasta á þessu fjórtán ára tímabili sem hér er til umfjöllunar, sérstaklega norðanlands og austan, en á þessum árum varð vart við aukið streymi Atlantssjávar inn á Norðurmið.

Það vekur athygli hversu mikið samræmi er í frávikunum á milli staða, sérstaklega milli þess sem gerist fyrir norðan og austan land, þar sem meiri áhrifa af kaldari sjó að norðan gætir, og svo þess sem gerist fyrir sunnan og vestan land þar sem nær eingöngu gætir áhrifa Atlantssjávarins. Þetta gæti bent til þess að hitamælingarnar séu að einhverju leyti tengdar lofthita yfir landinu sem ekki er óeðlilegt þar sem um er að ræða yfirborðsmælingar nálægt landi.

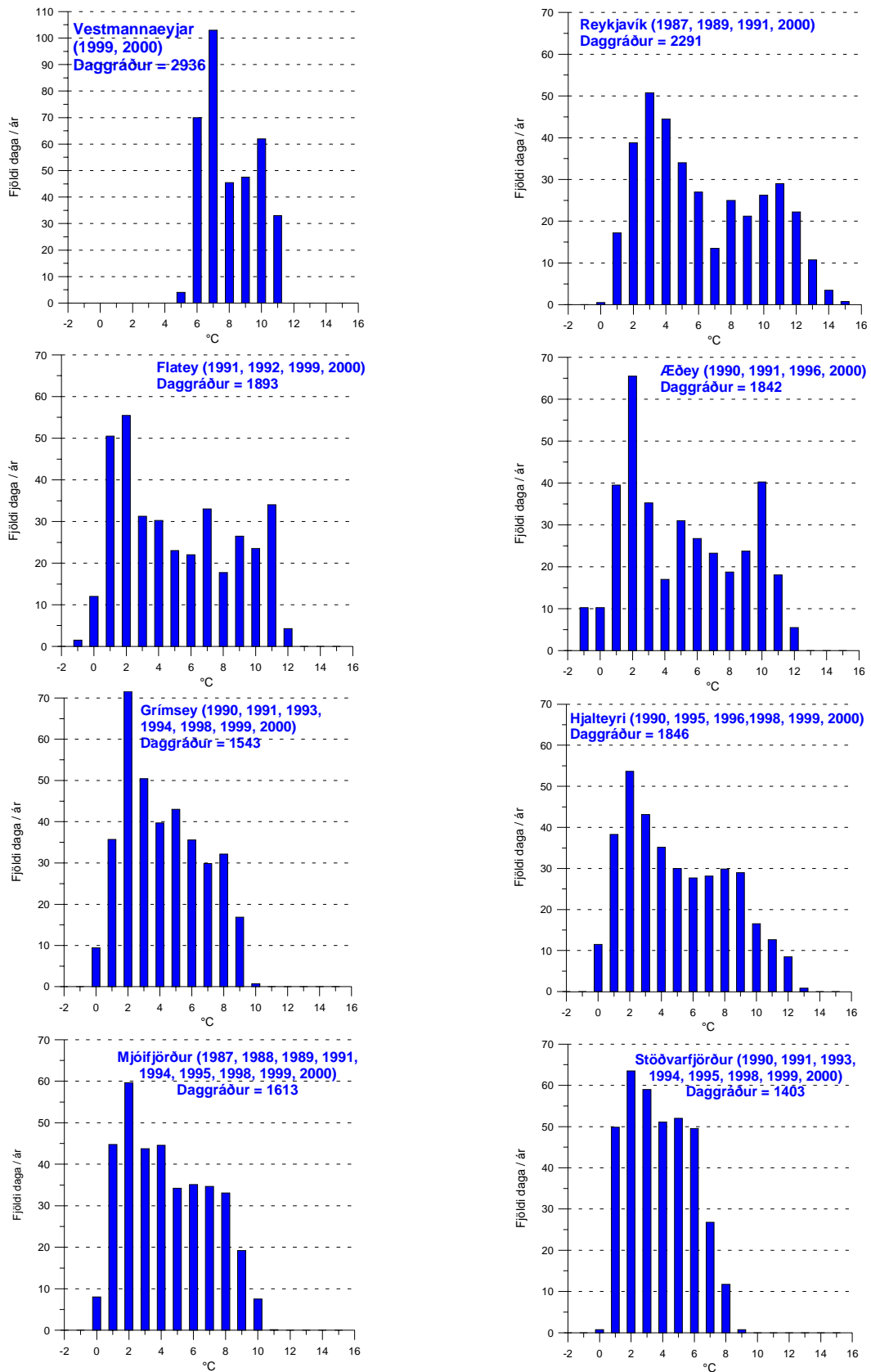
Daggráður

Breytileiki hitans er mjög mikilvægt atriði þegar hugað er að staðsetningu fiskeldis. Nauðsynlegt er t.d. að hafa hugmynd um hvort eða hversu oft megi búast við löngum frostaköflum sem geti haft áhrif á ástand fisksins, en í Hvalfirði olli slíkur frostakaflinn dauða laxa í kvíum í firðinum, (Eldisfréttir 1988). Ennfremur getur of hátt hitastig valdið aukinni hættu á útbreiðslu sjúkdóma í eldisfiski (Björn Björnsson 1997). Til þess að átta sig á þessum þáttum er á 5. mynd sýndur fjöldi daga að meðaltali á ári sem hitastigið er á einnar gráðu bili í kringum heila gráðu. Eingöngu eru notuð þau ár þar sem nægileg gögn eru til fyrir allt árið til að hægt sé að brúa þau línulega. Árin sem notuð eru á hverjum stað eru tiltekin á hverju línuriti. Aðeins í Æðey og Flatey hefur hitastig mælst undir -0,5°C á þeim árum sem notuð voru. Algengasta hitastigið er 1,5-2,5°C sem eins og fram hefur komið er algengasta hitastig seinni hluta vetrar. Mesta dreifingu sýnir hitastig sjávar vestanlands en dreifingin er minni fyrir norðan, en þó sérstaklega í Stöðvarfirði en þar fer hitastigið sjaldan niður fyrir frostmark en líka mjög sjaldan yfir 8°C. Ástæður þessa hafa verið raktar hér á undan. Einnig er dreifing hitastigsins mjög lítil í Vestmannaeyjum þar sem vetrarhitinn fer nánast aldrei niður fyrir 5°C.



4. mynd. Frávik frá meðalhita hvers mánaðar í °C. Eyðurnar tákna að mælingar séu ekki til.

Figure 4. The deviation from the average temperature for each month of the year. Gaps indicate that data do not exist.



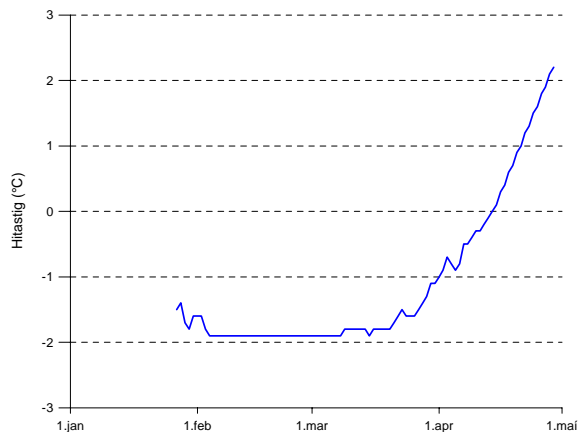
5. mynd. Fjöldi daga að meðaltali á ári sem hitastigið er $\pm 0,5^\circ\text{C}$ frá heilli gráðu. Árin sem notuð eru á hverjum stað eru gefin upp á myndinni. Daggráðurnar eru summan af margfeldi á hæð súlnanna með tilheyrandi hitastigi.

Figure 5. The average number of days where the temperature lies within $\pm 0.5^\circ\text{C}$ from each degree. The years used for each site are shown. The day-degrees are the sum of the heights of the columns multiplied by the corresponding temperature indicating the amount of heat present at each site.

Mælikvarði sem oft er notaður í fiskeldi eru svokallaðar daggráður en það er summan af margfeldi hitastigsins og dagafjölda sem hitastigið er á ákveðnu bili. Hér er það reiknað þannig að hæð súlnanna á 5. mynd er margfölduð með hitastiginu sem á við hverja súlu og þær tölur síðan lagðar saman. Með þessu fæst ein tala sem á einfaldan hátt gefur til kynna heildarvarmamagnið á staðnum og segir því mikið til um vaxtarskilyrðin fyrir eldisfiskinn. Þessi tala er gefin upp á 5. mynd og er hún hæst í Vestmannaeyjum eða 2936 en þess ber þó að geta að einungis er þar um að ræða mælingar frá árunum 1999 og 2000 en bæði þessi ár voru fremur hlý. Þessi tala lækkar síðan í meginatriðum þegar farið er sólarinnis kringum landið svipað og meðalhitinn gerir og er hún lægst í Stöðvarfirði, 1403.

Hitastig og frostþol þorsks

Frostþol þorsks hefur verið kannað við Kanada. Komið hefur í ljós að þorskur þolir allt að $-1,7^{\circ}\text{C}$ sem er mjög nálægt frostmarki fullsalts sjávar (Fletcher o. fl. 1997). Skilyrði fyrir því er að þorskurinn komist ekki í snertingu við ískristalla sem geta borist niður í sjóinn með umróti. Nánar er fjallað um frostþol þorsks annars staðar í þessu riti (Valdimar Ingi Gunnarsson o. fl. 2004). Hættan á þessu hér við land er sennilega frekar lítil ef þess er gætt að velja ekki staði inni á grunnnum fjörðum. Á árunum 1987-2000 voru einungis örfáir dagar með hitastig undir 0°C . Að meðaltali voru þeir flestir vestanlands, fjórir á ári í Reykjavík, 6 í Flatey og 14 í Æðey en mun færri eða engir á öðrum stöðum. Ef skoðaður er dagafjöldi með hita undir -1°C þá eru þeir enn færri og flestir eða tveir að meðaltali á ári í Æðey en annars staðar undir einum á ári. Þó að þetta séu fáir dagar á ári að meðaltali þá eru árin mismunandi og voru t.d. 42 dagar í Æðey undir 0°C fyrri part árs 1990, þar af 10 undir -1°C . Flesta þessa köldu daga eru sennilega froststillur þannig að það eru einungis allra efstu metrarnir sem kólna svona mikið en undir er svo heitari sjór og ískristallar ná ekki að berast niður í sjóinn. Þess vegna er sennilega lítil ástæða til að óttast að þorskur drepist vegna kulda í kvíum sem eru staðsettar í dýpri fjörðum við Ísland. En það eru til dæmi um að hitastig í fjörðum við Ísland sé við frostmark sjávar í lengri tíma og er það sýnt á 6. mynd sem sýnir yfirborðshita í Kjálkafirði á Barðaströnd. Þessi fjörður er mjög grunnur og aðgengi að úthafinu takmarkað og því nær hann



6. mynd. Hitastig í Kjálkafirði á Barðaströnd árið 1989.

Figure 6. The surface temperature at Kjálkafjörður, west Iceland in 1989.

að kólna að frostmarki alveg niður til botns.

Þess ber að geta að ekkert af þessum 14 árum sem hér er fjallað um er svokallað hafísár eins og árin 1965 og 1967-1969 en ef hafís leggst að landinu þá fylgir honum sjór sem getur verið mjög nálægt frostmarki sjávar niður á nokkurra tuga metra dýpi. Í slíku árferði gæti komið til þess að þorskur mundi drepast vegna kulda. Um hafís og hafískomur til Íslands er nánar fjallað annars staðar í þessu riti (Þór Jakobsson 2004).

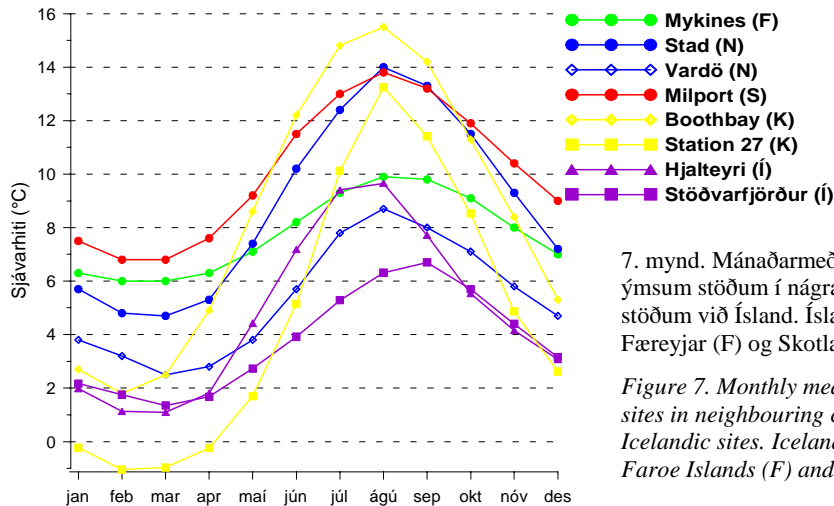
Samanburður við önnur lönd

Á 7. mynd eru sýnd mánaðarmeðaltöl sjávarhita á nokkrum stöðum í nágrannalöndunum. Við Kanada getur hitastig að vetrarlagi orðið mjög lágt og víða farið niður að frostmarki sjávar í lengri tíma sem skapar hættu fyrir þorsk í kvíum. Þetta sést einkar vel á Station 27 sem er austast á Nýfundnalandi en þar er yfirborðshitinn undir 0°C í fjóra mánuði á ári. Einnig getur hitastig orðið óþarflega hátt til þorskeldis að sumri víða við austurströnd Kanada sem líka er óhagstætt.

Við Færeyjar er ástandið mjög áþekkt því sem er í Vestmannaeyjum en báðir þessir staðir eru umluktir Atlantssjó árið um kring. Færeysku firðirnir kólna þó mun minna að vetrarlagi og haldast sennilega nær kjörhita þorsks en þeir íslensku.

Við Skotland sem einnig er umlukið Atlantssjó árið um kring getur yfirborðshiti yfir sumarið orðið óþarflega hár til eldis á stærri þorski.

Í Norður-Noregi eru aðstæður áþekkar því sem gerist hér við land. Eftir því sem farið er sunnar með Noregi hækkar hitastigið og getur þá farið vel yfir kjörhita stærri þorsks yfir sumarið.



7. mynd. Mánaðarmeðaltöl sjávarhita við yfirborð á ýmsum stöðum í nágrannalöndunum ásamt nokkrum stöðum við Ísland. Ísland (Í), Noregur (N), Kanada (K), Færeyjar (F) og Skotland (S)

Figure 7. Monthly means of surface temperature at some sites in neighbouring countries together with some Icelandic sites. Iceland (Í), Norway (N), Canada (K), Faroe Islands (F) and Scotland (S).

Til að koma í veg fyrir að fiskurinn sé við of hátt hitastig yfir sumarið er hægt að sökkva kvíunum dýpra þar sem sjór er kaldari og fiskurinn getur einnig leitað þangað af sjálfsdáðum ef kvíarnar eru nægilega djúpar.

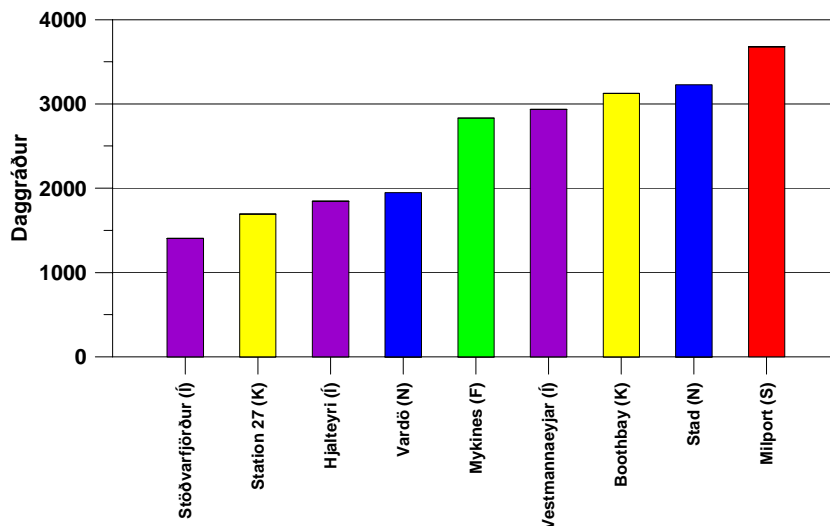
Ef miðað er við daggráður raða staðir við Ísland sér að mestu í neðstu sætin að undanteknum Vestmannaeyjum (8. mynd). Einnig eru daggráður hér álíka margar og í Norður-Noregi og við Nýfundnaland, en þar er stundað þorskeldi.

Straumar

Ýmis önnur atriði en hitastig geta haft áhrif á fiskeldi og eitt þeirra er hvernig umhverfið ræður við það aukna álag og mengun sem eldinu fylgir og einnig hvernig það getur fært fiskunum það súrefni sem til þarf. Í því sambandi er nauðsynlegt að athuga strauma og endurnýjun sjávar. Firðir á Íslandi eru frekar breiðir og opnir fyrir úthafinu. Margir firðir, t.d. í Færeyjum og Noregi, hafa þröskuld nálægt mynninu

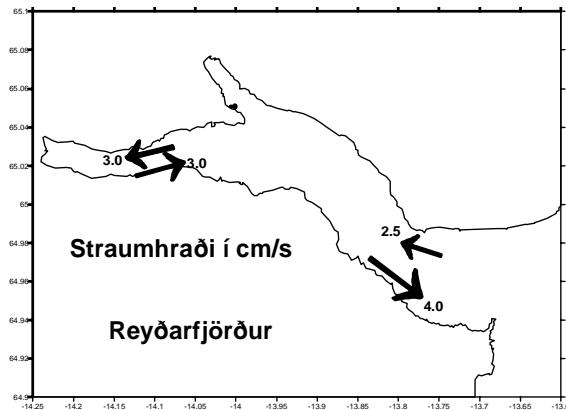
sem þýðir að endurnýjun sjávar í djúplögum fyrir innan þröskuldinn er hægt sem oft leiðir til súrefnisskorts þar. Getur úrgangur frá fiskeldi haft veruleg áhrif til hins verra á súrefnissinnihald í djúplögum slíkra fjarða. Einungis örfáir firðir við Ísland hafa slíkan þröskuld og þeir liggja frekar djúpt. Því er endurnýjun sjávar í íslenskum fjörðum oft hraðari en annars staðar þar sem fiskeldi er stundað. Straumar geta einnig valdið álagi á kvíar og jafnvel skemmdum ef ekki er rétt að málum staðið.

Ekki hafa verið gerðar margar umfangsmiklar rannsóknir á straumum í fjörðum á Íslandi og hafa þær aðallega verið gerðar að sumarlagi. Þetta hefur verið gert t.d. í Eyjafirði, Reyðarfirði og reyndar víðar. Oftast hafa þessar mælingar verið gerðar í tengslum við einhverjar framkvæmdir svo sem stóriðju, fiskeldi eða frárennsli. Í Reyðarfirði voru gerðar straum-mælingar með siritandi mælum sem mældu á 10 mínútna fresti frá 28. júlí til 2. október 2000 (Hafsteinn Guðfinnsson o.fl. 2001). Samskonar mælingar voru gerðar í Eyjafirði sumarið 1992,



8. mynd. Daggráður á þeim stöðum sem sýndir eru á 2. mynd. Ísland (Í), Noregur (N), Kanada (K), Færeyjar (F) og Skotland (S).

Figure 8. Day-degrees, i.e. the product of temperature and the number of days for the sites in Fig. 2. Iceland (Í), Norway (N), Canada (K), Faroe Islands (F) and Scotland (S).



9. mynd. Meðalstraumur í cm/s á 10 metra dýpi í Reyðarfirði yfir tímabilið frá 28. júlí til 2. október 2000.

Figure 9. Mean current in cm/s at 10 m depth in Reyðarfjörður in the period from 28 July to 2 October 2000.

(Steingrímur Jónsson og Kristinn Guðmundsson, 1994; Steingrímur Jónsson, 1996).

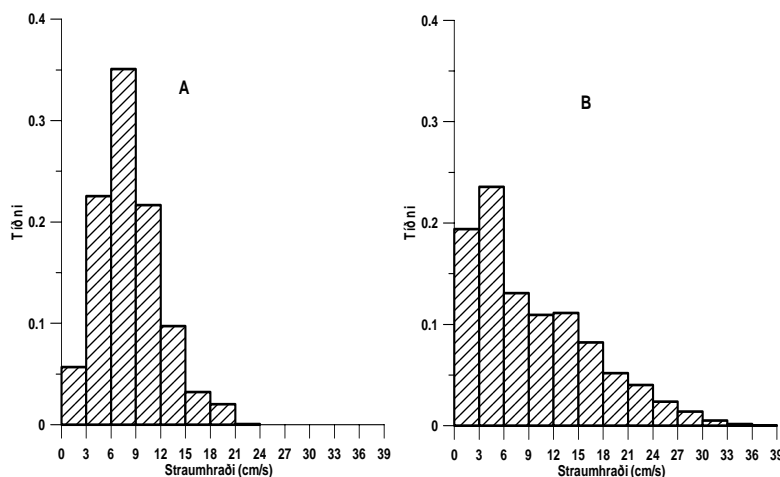
Svo virðist sem svipuð megineinkenni séu á straumum í þessum fjörðum. Straumur liggur yfirleitt samsíða dýptarlínum. Innstreymi virðist vera hægra megin fjarðarins þegar horft er inn fjörðinn en útstreymi hinum megin (9. mynd). Meðalstraumhraði hefur mælst í kringum 5 cm/s en breytileikinn er töluverður. Sjórinn er þó yfirleitt alltaf á einhverri hreyfingu t.d. vegna sjávarfallastrauma. Endurnýjunartími sjávar hefur verið metinn fyrir Reyðarfjörð og fyrir fjörðinn í heild var niðurstaðan 4-5 vikur, en ef einungis var tekinn innri hluti fjarðarins fengust 8-9 dagar (Hafsteinn Guðfinnsson o.fl. 2001). Fyrir Eyjafjörð hefur endurnýjunartíminn verið áætlaður 9-10 dagar. Vindur úti fyrir fjarðarmynninu virðist hafa áhrif á straumana og stjórna að verulegu leyti vatnsskiptunum. Þar sem hér hefur eingöngu verið rætt um mælingar

að sumarlagi má vænta þess að vatnsskiptin séu jafnvel örari að vetrarlagi þegar meiri vindur er. Einnig má búast við að straumhraði geti orðið meiri að vetrarlagi í hvassviðrum en ekki eru til nægilega miklar mælingar til að meta hversu mikill straumhraðinn getur orðið.

Of lítill straumhraði getur valdið lækandi súrefnismagni í kvíum en of mikill straumhraði veldur miklu álagi á kvíar með hugsanlegum skemmdum á þeim. Dreifing straumhraðans er því mikilvæg, sérstaklega til að átta sig á hversu oft má búast við straumleysi og einnig hvenær megi búast við mjög miklum straumi. Á 10. mynd er sýnd dreifing straumhraða á tveim stöðum í Eyjafirði á 15 metra dýpi byggð á mælingum á 10 mínútna fresti, annars vegar við Dagverðareyri þar sem botndýpi er 55 metrar, og hins vegar í mynni fjarðarins vestanmegin þar sem botndýpi er 103 metrar. Straumhraðinn er minni innar í firðinum en út við mynnið. Þessar mælingar voru gerðar sumarið 1992 (Steingrímur Jónsson, 1996). Mjög lítið er til af straummælingum að vetrarlagi í íslenskum fjörðum og því lítið hægt að segja um hversu mikill straumur getur orðið en slíkt er ábyggilega mjög staðbundið.

Súrefni

Vegna atriða sem fram komu í síðasta kafla má gera ráð fyrir að endurnýjun sjávar í íslenskum fjörðum sé oft hraðari en í öðrum löndum þar sem fiskeldi er stundað. Samt sem áður hefur fiskur drepist vegna súrefnisskorts í eldiskvíum hér við land. Það var árið 2001 í Lóni í Kelduhverfi en þar háttar þannig til að sjór streymir inn í lónið og leggst á botninn en yfir liggur ferskara og léttara vatn sem einangrar sjóinn frá því að endurnýja súrefni sitt með



10. mynd. Dreifing straumhraða á tveim stöðum í Eyjafirði á 15 metra dýpi byggð á mælingum á 10 mínútna fresti, annars vegar við Dagverðareyri þar sem botndýpi er 55 metrar (A), og hins vegar í mynni fjarðarins vestanmegin þar sem botndýpi er 103 metrar (B).

Figure 10. Distribution of current speed at two sites in Eyjafjörður, north Iceland, at 15 m depth based on measurements at 10 minutes interval: (A) at Dagverðareyri in the inner part of the fjord where the bottom depth is 55 m, (B) at the mouth of the fjord on the western side where the bottom depth is 103 m.

snertingu við andrúmsloftið. Með tímanum eyðist súrefnið í neðra laginu vegna niðurbrots á fódurleifum og saur þar til það er uppuríð. Ef þetta súrefnissnauda vatn nær síðan að streyma upp og fylla kvíarnar er fiskinum bráður bani búinn. Ekki er vitað til að staðfest hafi verið súrefnisþurrð í íslenskum fjörðum nema þar sem eru lón sem sjór streymir inn í. Það hefur til dæmis gerst í Lóni í Kelduhverfi, í Ólafsfjarðarvatni (Unnsteinn Stefánsson og Björn Jóhannesson 1983) og í Miklavatni í Fljótum (Unnsteinn Stefánsson og Björn Jóhannesson 1978).

ÞAKKIR

Mjög margir aðilar hafa komið að söfnun og úrvinnslu þeirra gagna sem hér hefur verið fjallað um. Eru það bæði starfsmenn Hafrannsóknastofnunarinnar sem og ýmsir aðilar sem annast hafa umsjón með hitamælum á hverjum stað. Er þeim öllum þakkað þeirra framlag.

HEIMILDIR

- Björn Björnsson 1997. Vöxtur og fódurnýting þorsks í eldistilraunum ásamt mati á heildaráti íslenska þorskstofnsins. Í: Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 57*: 217-225.
- Björn Björnsson & Agnar Steinarsson 2002. The food-unlimited growth rate of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 494-502.
- Björn Björnsson, Agnar Steinarsson & Matthías Oddgeirsson 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science* 58: 29-38.
- Breen, O. 1986. *Oseanografi*. Gyldendal Norsk Forlag, Oslo, 179 bls.
- Eilertsen, H.Chr., Falk-Petersen, S., Hopkins, C.C.E. & Tande, K. 1981. Ecological investigations on the plankton community of Balsfjorden, Northern Norway. Program for the project, study area, topography, and the physical environment. *Sarsia*, 66: 25-34.
- Eldisfréttir 1988. Sjávarkuldí í Hvalfirði. *Eldisfréttir* 4(1): 19.
- Fletcher, G.L., Wroblewski, J.S., Hickey, M.M., Blanchard, B., Kao, M.H. & Goddard, S.V. 1997. Freezing resistance of caged Atlantic cod (*Gadus morhua*) during a Newfoundland winter. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54(Suppl. 1): 94-98.
- Hafsteinn Guðfinnsson, Héðinn Valdimarsson, Jóhannes Briem, Steingrímur Jónsson, Jón Ólafsson, Sólveig Ólafsdóttir, Ástþór Gíslason & Sigmar A. Steingrímsson 2001. Rannsóknir á straumum, umhverfispáttum og lífríki Reyðarfjarðar í júlí til september árið 2000. *Hafrannsóknastofnunin*, 133 bls. (óbirt skýrsla).
- Hansen, Bogi 2000. *Havið*. Föroya skúlabókagrunnur. Tórshavn, 232 bls.
- Ólafur Ástþórsson & Guðmundur S. Jónsson 1988. Seasonal changes in zooplankton abundance in Ísafjord-deep, northwest Iceland, in relation to Chlorophyll a and hydrography. *ICES CM 1988/L:3*.
- Ólafur Ástþórsson & Ástþór Gíslason 1992. Investigations on the ecology of the zooplankton community in Ísafjord-deep, northwest Iceland. *Sarsia* 77: 225-236.
- Stefán S. Kristmannsson 1989. Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1987-1988. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 17*: 1-102.
- Stefán S. Kristmannsson 1991. Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1989-1990. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 24*: 1-105.
- Steingrímur Jónsson 1999. Ecology of Eyjafjörður project: Physical parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1991-August 1992. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 48*: 1-160.
- Steingrímur Jónsson 1999. Temperature time series from Icelandic coastal stations. *Rit Fiskideildar* 16: 59-68.
- Steingrímur Jónsson & Kristinn Guðmundsson 1994. An interdisciplinary study of Eyjafjörður, North Iceland. *ICES C.M. 1994/L:24*, 13 bls.
- Unnsteinn Stefánsson 1969. Sjávarhiti á siglingaleið umhverfis Ísland. Í: Markús Á Einarsson (ritstj.), *Hafsinn*, Almenna bókafélagið, Reykjavík, bls. 131-149.
- Unnsteinn Stefánsson 1970. Sjávarhiti og selta á nokkrum stöðum við strendur Íslands áratuginn 1960-1969. *Hafrannsóknir* 2: 9-22.
- Unnsteinn Stefánsson 1985. *Near-shore oceanographic conditions south of the Reykjanes peninsula, southwest Iceland*. Skýrsla fyrir Íslandslax.
- Unnsteinn Stefánsson & Björn Jóhannesson 1983. Ólafsfjarðarvatn - a saline meromictic lake in North Iceland. *Rit Fiskideildar* 7(3): 115-152.
- Unnsteinn Stefánsson & Björn Jóhannesson 1978. Miklavatn í Fljótum. *Náttúrufræðingurinn* 48: 24-51.
- Valdimar Ingi Gunnarsson, Björn Björnsson & Jón Þórðarson 2004. Matfiskeldi á þorski. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 111*: 87-120.
- Þór Jakobsson 2004. Hafís við strendur Íslands. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 111*: 21-28.

Netheimildir:

- National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, (www.saa.noaa.gov/).
- Hafrannsóknastofnunin (www.hafro.is/~argos/siritar/siritar.html)